

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ
ПРИ СОВЕТЕ МИНИСТРОВ СССР

ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

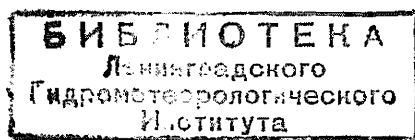
55143

3-22

А. А. ЗЕНИН

ГИДРОХИМИЯ ВОЛГИ И ЕЕ ВОДОХРАНИЛИЩ

864.108



ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЛЕНИНГРАД • 1965

Ответственный редактор
член-корреспондент АН СССР
О. А. АЛЕКИН

В монографии описана история изучения химического состава воды р. Волги и ее притоков. Основное внимание уделено химическому составу воды р. Волги до зарегулирования и химии волжских водохранилищ (Горьковского, Куйбышевского и Волгоградского). Данные по химическому составу воды р. Волги и волжских водохранилищ получены автором в результате восьмилетних исследований на р. Волге (1954—1961 гг.). Кроме того, им использованы некоторые данные и других исследователей.

Монография содержит материалы по химическому составу воды р. Волги до и после зарегулирования, Горьковского, Куйбышевского и Волгоградского водохранилищ, по ионному стоку и стоку биогенных и органических веществ в Каспийское море. Рассмотрены процессы смещения и перемещения водных масс в водохранилищах и в реке.

Монография может быть использована различными специалистами, занимающимися исследованиями на р. Волге: ихтиологами, гидрологами, работниками коммунальных учреждений и промышленных предприятий и гидромелиораторами.

ОТ РЕДАКТОРА

Величайшая водная магистраль нашей Родины — река Волга за последние тридцать лет подверглась полной реконструкции. Зарегулирование стока для развития энергетики, транспорта и орошения превратило ее в систему водохранилищ, существенно изменивших водный режим реки.

При строительстве водохранилищ возникало много неясных тогда вопросов, связанных с изменением режима реки: размером и характером волнения, размывом берегов, новыми величинами испарения и, в частности, возможными гидрохимическими изменениями. Существовали различные мнения о гидрохимическом режиме строящихся водохранилищ, особенно о будущем режиме растворенных газов и биогенных веществ, что весьма важно для рыбного хозяйства. Сейчас, когда уже создана большая часть намечавшихся водохранилищ, наступило время подвести итог изменениям, которые произошли после зарегулирования реки. Это необходимо, с одной стороны, для характеристики новых условий формирования состава воды, создавшихся в настоящее время на Волге, с другой — для выяснения направленности и размера изменений гидрохимического режима, возникающих в водохранилищах подобного типа, по сравнению с рекой до зарегулирования. Ведь строительство водохранилищ еще только начинается и накопление опыта представляет большую ценность для прогноза будущих водоемов.

Работа А. А. Зенина «Гидрохимия Волги и ее водохранилищ» является вообще первой монографией, посвященной гидрохимическим особенностям р. Волги. Материалов по химическому составу волжской воды очень много, как это можно видеть из весьма обстоятельного обзора исследований, приведенного автором в данной монографии. Но, к сожалению, весь этот материал чрезвычайно разрознен, относится к различным пунктам, срокам, неоднороден по объему анализа и применяемой методике.

Однако автор не ставил целью дать всестороннюю характеристику химического состава воды Волги на основе обобщения

всего имеющегося гидрохимического материала. Главная цель его работы — рассмотреть те изменения, которые произошли в химическом составе волжской воды и его режиме после создания Горьковского, Куйбышевского и Волгоградского водохранилищ. Естественно, что подобное исследование могло быть осуществлено только в том случае, если оно основано на однородном материале, собранном унифицированно по одной и той же методике.

Для осуществления этой задачи автором с группой помощников были начаты исследования химического состава воды р. Волги еще перед ее реконструкцией. Эти материалы сейчас являются неповторимыми, так как передают характер изменения состава воды Волги от Рыбинского водохранилища до устья с учетом времени добегания воды.

Продолжая подобные работы в течение всего времени создания водохранилищ с 1956 по 1961 г., автор получил материал, характеризующий отдельные этапы химического «созревания» волжских водохранилищ и становления их гидрохимического режима. Таким образом, собран уникальный материал, позволяющий проследить неоднородность состава волжской воды на протяжении 2600 км, существовавшую прежде и создавшуюся в настоящее время. Особое внимание уделяет автор последовательности изменения состава воды по течению реки в разные сезоны и после реконструкции Волги. Большое внимание уделено также неоднородности состава волжской воды, для чего был широко использован метод определения электропроводности воды. Особенно подробно изучена неоднородность химического состава воды Куйбышевского водохранилища, создающаяся в силу слабой перемешиваемости воды рек Камы и Волги.

Использованный материал почти целиком собран экспедицией Гидрохимического института АН СССР под руководством и при непосредственном участии автора, и лишь частично им использован материал сетевых наблюдений станций ГУГМС. Значительная часть обширного табличного и графического материала приводится автором в других его работах.

Проведенная работа вносит в изучение химического состава воды Волги новый ценный вклад, в результате чего наша великая река становится наиболее изученной в гидрохимическом отношении не только среди рек нашей Родины, но, пожалуй, и среди рек всего мира.

ВВЕДЕНИЕ

Экономическое значение р. Волги для Советского Союза огромно. На территории бассейна р. Волги проживает более 50 млн. человек, что составляет почти четвертую часть населения страны.

Социалистическое строительство коренным образом изменило характер хозяйственного использования р. Волги. Если до Великой Октябрьской социалистической революции р. Волга использовалась только как транспортная магистраль и как рыбо-промысловый бассейн, то за годы пятилеток использование р. Волги приобрело комплексный характер. Уже сейчас построен ряд гигантских гидроузлов, позволяющих получать огромное количество дешевой электроэнергии, улучшающих условия водного пути и водоснабжения и создающих исключительно благоприятные возможности для широкого развития орошения полей в засушливых районах Поволжья.

В бассейне р. Волги расположен ряд крупных промышленных районов. Кроме того, Поволжье имеет огромное значение и как район крупного сельскохозяйственного производства, где развито зерновое хозяйство и животноводство. Поволжье — одна из важнейших житниц Советского Союза.

Таким образом, сильно развивающиеся промышленность и сельское хозяйство, рост народонаселения волжских городов и населенных пунктов явились причиной все большего и большего потребления волжской воды. А это в свою очередь вызывает необходимость изучения ее свойств для разнообразных практических целей.

Более чем за вековое изучение химического состава воды р. Волги накопился огромный материал. Но весь этот материал представляет собой разрозненные данные, полученные разными лицами, в разные годы и сезоны и в различных пунктах или на небольших ее участках, а иногда по разной методике и поэтому не дающие возможности проследить процесс формирования химического состава воды по длине реки.

Известны лишь три работы в этом направлении. Первая — экспедиционная поездка от г. Рыбинска до г. Астрахани, выполненная В. А. Арнольдовым в 1901 г. Вторая — экспедиционная поездка от истока до устья р. Волги, проведенная сотрудниками Государственного гидрологического института летом 1934 г. Третья — работа О. А. Алекина, который, обработав и систематизировав все имевшиеся материалы по химическому составу воды р. Волги, описал изменения гидрохимического режима р. Волги на всем ее протяжении и влияние на него впадающих в р. Волгу притоков.

Первые два обследования р. Волги могут характеризовать только летний период и только за один год, и, кроме того, они совершенно не затрагивали изучение биогенных и органических веществ, газового состава и микроэлементов. Необходимость систематического изучения р. Волги от Рыбинского водохранилища до ее устья вызывалась еще и тем, что 1955 г. был последним годом существования реки в бытовых условиях, так как осенью 1955 г. началось заполнение Горьковского и Куйбышевского водохранилищ, а осенью 1958 г. — Волгоградского водохранилища. Сооружение же на р. Волге водохранилищ должно было изменить гидрохимический режим реки, так как должно было произойти перераспределение водного стока в течение года, увеличение расхода воды на испарение за счет увеличения водного зеркала, усиление влияния ветрового перемешивания водных масс, изменение режима грунтового питания и т. д. С этой целью Гидрохимическим институтом проводилось обследование р. Волги на участке от г. Ярославля до г. Астрахани протяженностью 2600 км в течение 8 лет (с 1954 по 1961 г.). Из 8 лет наблюдений на р. Волге 2 года приходится на обследование реки в бытовых условиях и 6 лет — после ее зарегулирования, когда на ней были сооружены Горьковское, Куйбышевское и Волгоградское водохранилища.

Многолетние наблюдения на р. Волге и ее водохранилищах, выполненные Гидрохимическим институтом, имели целью изучить:

- 1) гидрохимический режим р. Волги до зарегулирования;
- 2) процесс формирования гидрохимического режима вновь созданных водохранилищ (Горьковского, Куйбышевского и Волгоградского);
- 3) изменения химического состава воды р. Волги до и после сооружения на ней крупных водохранилищ, химический состав воды водохранилищ и притоков (внутригодовые изменения химического состава, его изменения по длине реки и водохранилищ и др.).

Полученные сведения о химическом составе воды р. Волги, водохранилищ и их притоков необходимы при проектировании различных водохозяйственных мероприятий (орошение, питьевое

и промышленное водоснабжение, рыборазведение, гидротехническое строительство), а также для сопоставления с теми изменениями, которые произойдут в будущем в связи со строительством на р. Волге новых гидроузлов.

На основании изучения изменений гидрохимического режима р. Волги и сооруженного на ней каскада водохранилищ представляется возможность судить по аналогии о вероятных изменениях гидрохимического режима других больших рек, таких, как Енисей, Лена, Обь, Амур, Ангара, Иртыш, при сооружении на них каскада водохранилищ.

В настоящей работе совершенно не затрагивается вопрос о загрязнении р. Волги промышленными и сточными водами. Мы считаем этот вопрос очень важным, тем более что загрязнение р. Волги непрерывно возрастает и поэтому требует тщательного его изучения с помощью хорошо разработанных методов и отдельного его описания.

Автор приносит глубокую благодарность чл.-корр. АН СССР О. А. Алекину за ценные указания, сделанные им как во время проведения исследовательской работы, так и при редактировании рукописи.

Автор выражает большую благодарность сотрудникам Гидрохимического института и особенно канд. хим. наук К. Г. Лазареву за оказанную помощь в работе и за ценные советы как при проведении исследовательской работы, так и при просмотре рукописи.

В выполнении экспедиционных работ и химического анализа проб воды принимали участие сотрудники Гидрохимического института В. А. Беляева, В. Л. Васильева, В. В. Кирюшкина, Г. М. Морозова, А. В. Проценко, Л. Г. Синдеева и А. С. Якушева.

Автор благодарит команду экспедиционного судна «Академик Дубинин» за хорошее обеспечение экспедиций и помощь в работе.

Глава I

КРАТКИЙ ОБЗОР ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА р. ВОЛГЕ И ЕЕ ПРИТОКАХ

Начало изучения р. Волги можно отнести к концу XVIII и началу XIX веков.

Основным стимулом исследований р. Волги являлось развитие судоходства (обеспечение безопасного плавания, борьба с мелководьем в межень и проблемы морского порта в устье р. Волги). Исследование притоков р. Волги проводилось в целях обеспечения судоходства, сплава леса и добычи соли. Позже круг исследуемых вопросов расширился и включил водоснабжение сельского и городского населения, водоснабжение железных дорог и орошение засушливых земель. В настоящее время эти исследования еще более расширились (вопросы рыбозабоев, санитарии и строительства гидротехнических сооружений).

Исследовательские работы на Волге по времени можно разделить на три периода:

1) период экспедиционных обследований реки главным образом в целях изучения ее гидрографии. Этот период заканчивается приблизительно в 70-х годах XIX в.;

2) период стационарных наблюдений, включающих уточнение гидрографии реки и гидрологические вопросы. Эти наблюдения на Волге были начаты в 1876 г.;

3) период разностороннего изучения р. Волги, включающий, кроме гидрографических и гидрологических исследований, исследования по химическим, бактериологическим, биологическим и другим вопросам. Санитарно-бактериологическое и биологическое изучение р. Волги начато примерно в 1900 г., а систематическое изучение химического состава, которое вначале носило эпизодический характер, началось еще позже — в советское время.

Первые письменные сведения о р. Волге теряются в глубокой древности. Уже в «Географии» Птолемея (II в.) имеются упоминания о р. Волге, называемой им Ра. Водный путь по р. Волге к «булгарским землям» и хазарской столице Итилю (в устье

р. Волги), а затем к кавказским и персидским берегам Каспийского моря был издавна известен славянам. По свидетельству русских летописей X в., арабских писателей X и XI веков и по другим источникам, славяне посещали Среднее и Нижнее Поволжье. Тверской купец Афанасий Никитин на пути в Индию в 1466 г. проплыл по р. Волге от г. Твери до Каспийского моря и в своих путевых записках «Хождение за три моря» оставил сведения о реке.

После присоединения г. Астрахани к России в 1556 г. вся Волга находится в пределах Русского государства и приобретает значение главнейшего пути сообщения русских с Востоком.

Первым документом, характеризующим облик р. Волги вниз от г. Нижнего Новгорода (г. Горького), является описание и глазомерная съемка реки с расположенными на ней островами, заснятая в 1636 г. Олеарием при следовании по р. Волге Гольштинского посольства в Персию [49].

В 1782—1783 гг. штурманы Макеев и Сарычев произвели съемку и описание р. Волги между г. Тверью (г. Калинин) и Нижним Новгородом (г. Горький). С 1875 по 1894 г. описными партиями Министерства путей сообщений под руководством проф. Н. А. Богуславского были произведены исследования р. Волги от г. Рыбинска до ее устья. В 1894 г. была организована «Экспедиция по исследованию источников главнейших рек Европейской России» под руководством А. А. Тилло.

К работам, посвященным режиму р. Волги и ее притоков, следует отнести труды М. А. Рыкачева, Е. А. Гейнца и особенно Н. Н. Соколова.

Первые измерения расхода воды р. Волги ниже Камышина были проведены по поручению Петра I. Стационарные наблюдения на Волге были впервые организованы Описной партией, работавшей под руководством Н. А. Богуславского в 1876 г., в виде гидрометрических станций, которые были одновременно открыты по всей р. Волге: Ржеве, Калинин (Твери), Рыбинске, Ярославле, Костроме, Кинешме, Пучеже, Горьком (Нижнем Новгороде), Васильсурске, Чебоксарах, Верхнем Услоне (у Казани), Камском Устье, Тетюшах, Самаре (Куйбышеве), Саратове, Астрахани. В 1877 г. такие же станции были открыты в Ульяновске (Симбирске), Вольске, Камышине, Волгограде (Царицыне). В большинстве случаев это были станции I разряда, т. е. гидрометеорологические станции со систематическим измерением жидкого и твердого стока [321, 322].

За годы пятилеток в связи с разработкой комплексной водохозяйственной проблемы реконструкции р. Волги рядом организаций были произведены подробные гидрометрические и гидрологические работы на р. Волге.

С 1936 г. в системе Главного управления гидрометслужбы проводится систематическое стационарное изучение химического

состава речных, озерных и морских вод Советского Союза, в том числе и рек бассейна р. Волги.

В связи с развернувшимися работами по строительству гигантских гидроэлектростанций и оросительных систем разнообразные исследовательские работы на р. Волге, особенно после Великой Отечественной войны, приобрели грандиозный, невиданный в истории изучения рек размах.

На первых порах исследование химического состава воды р. Волги имело односторонний характер и ограничивалось сбором сведений, необходимых большей частью для водоснабжения или санитарной техники. Эти работы не отличались глубиной изучения явлений, происходящих в воде р. Волги, и не имели теоретических обобщений.

К самым ранним сведениям по химическому составу воды р. Волги следует отнести данные, полученные казанскими исследователями, которых можно считать пионерами в изучении химического состава воды р. Волги. К ним следует отнести И. А. Яковкина [374], Дунаева [Р. Тиле, 327], К. Клауса [175], А. М. Бутлерова [65], И. А. Больцани [47]. Эти исследователи ограничивались проведением химического анализа единичных проб воды, отобранных из р. Волги у г. Казани.

В остальных же пунктах р. Волги и ее притоках изучение химического состава воды началось гораздо позже, примерно в конце XIX в.

Химический состав воды верховья р. Волги и ее притоков изучался А. Н. Петунниковым [265], М. Б. Коциным [183], А. Соколовым [314, 315], А. А. Яковкиным [375], А. Д. Первовым [262] и др. К более позднему периоду нужно отнести работы С. Ф. Бубнова [61], С. С. Орлова [251], С. А. Озерова [245—247], А. В. Францева [349]. Эти исследователи проводили уже систематические наблюдения за изменением химического состава воды р. Волги и ее притоков, что было необходимо для водоснабжения г. Москвы.

Следующим пунктом, у которого были проведены большие исследования химического состава воды р. Волги и ее притоков, является г. Нижний Новгород (г. Горький). К самым ранним сведениям по химическому составу воды р. Волги и р. Оки у г. Нижнего Новгорода следует отнести работу П. Голубева [96], в которой приводятся данные А. В. Пеля, Шенвальда, Н. В. Соколова и самого автора, и работы А. Ф. Никитина [238—240]. Более систематические исследования были проведены Г. И. Долговым [115—117], А. И. Россолимо [289], Р. М. Павлиновой [256, 257], А. С. Викторовым [80], Н. П. Заяшниковым [135], Л. П. Рожественской [288], Н. А. Быковым [73, 74].

А. Тэгартен [333] приводит данные по химическому составу волжской воды у г. Самары (г. Куйбышев), полученные И. Шпади. В течение лета 1913 г. В. Г. Девриен [106] проанализировал

9 проб волжской воды, которые он отобрал выше и ниже г. Самары. В самое последнее время (1957 г.) опубликованы данные по химическому составу волжской воды у Куйбышева в статьях О. Н. Зиминной и Е. Г. Стяжкиной [159], О. Н. Зиминной с сотрудниками [160] и Н. Н. Колосовой и Нат. Н. Колосовой [178, 179].

Первые сведения по химическому составу воды р. Волги у Саратова опубликованы в статье И. Н. Матвеева [219], который приводит результаты химического анализа волжской воды, полученные А. Г. Фридолиным. Затем данные по химии волжской воды опубликованы в Отчетах химического отделения лаборатории г. Саратова [253].

Изучение химического состава воды р. Волги у г. Саратова всецело связано с работой Волжской биологической станции. Ее сотрудниками в первые 30 лет XX в. были проведены значительные работы на р. Волге. Работы В. П. Радищева [283, 284], В. В. Фофонова [348], Д. А. Шутова [366], А. Л. Бенинга [39—43] являются классическими и к ним все время возвращаются новые исследователи, чтобы сравнить современные данные с данными этих авторов и проследить происходящие изменения в химическом составе.

Пожалуй, наибольшее число опубликованных работ по химии р. Волги относится к району г. Астрахани, т. е. к устьевой ее части. Здесь работали П. Ольдекоп [248, 249], Н. Я. Шмидт [362, 363], И. Ларин [206], С. М. Попов [277], К. А. Чапковский [355], Ю. Ц. Балталон [30], А. И. Балыклейский [31], Н. Н. Пушкарёв [282], Е. Н. Цигина и С. А. Хачиков [354]. В более позднее время были проведены многолетние систематические наблюдения в устье Волги С. В. Бруевичем и Н. И. Аничковой [53, 59], М. М. Бабанским [25, 26] и Л. А. Барсуковой [34, 35].

Для изучения изменений химического состава воды на большом участке р. Волги В. А. Арнольдов [21—24] отобрал 11 проб воды на участке от г. Ярославля до г. Астрахани. Вторым таким исследованием по длине р. Волги явилась экспедиционная поездка от истока до устья, выполненная летом 1934 г. сотрудниками ГГИ А. А. Горюновым [100], К. А. Макаровой [217], Е. А. Пастак [259]. Гидрохимическим институтом в течение 8 лет (с 1954 по 1961 г.) были проведены систематические исследования химического состава воды р. Волги. Исследования проводились более чем в 50 пунктах р. Волги на участке от г. Ярославля до г. Астрахани и в 14 главнейших ее притоках [137—158].

Эти работы позволили изучить гидрохимический режим р. Волги до создания водохранилищ (Горьковского, Куйбышевского и Волгоградского), а также после их заполнения.

Более чем за столетний период изучения химического состава воды р. Волги и ее притоков на разных этапах истории ставились различные цели. Первый химический анализ воды, выполненный казанскими исследователями [65, 175, 327], имел целью опре-

деление качества волжской воды для водоснабжения г. Казани. Такую же цель имели работы исследователей, изучавших химический состав воды р. Волги у Казани [250, 299, 370, 371] и у других городов, таких, как Нижний Новгород [96], Самара [333], Саратов [219], Астрахань [206, 277, 362, 363], Москва [61, 245—247, 251, 285, 286].

Большие исследования были проведены на р. Москве и ее притоках (р. Неглинке и р. Яузе) по изучению влияния загрязненных сточными водами, сбрасываемыми фабриками, заводами и населением, на химический и бактериологический состав воды [61, 183, 251, 265, 279, 314, 315, 375]. С этой же целью были проведены работы на различных участках р. Волги и на других ее притоках. Так, большие исследования были проведены на р. Волге и р. Каме [256—258, 289], показавшие загрязняющее действие сточных вод, сбрасываемых бумажными комбинатами, на химический состав воды этих рек. Влияние сбрасываемых в р. Волгу сточных вод изучалось и у городов Астрахани [277, 354, 362, 363], Самары [106], Казани [299], Нижнего Новгорода [96].

Кроме того, изучалась неоднородность воды в р. Волге и Каме под влиянием впадения в них притоков [115—117, 73, 74, 137—140, 328].

В связи с наблюдавшимися в 1939—1940 гг. заморными явлениями на р. Волге было проведено много исследований с целью объяснить эти явления. Наиболее остро развернулась полемика о причинах, вызвавших заморные условия на р. Волге, между С. П. Ждановым [129, 130] и Б. А. Скопинцевым [300—302]. Оба автора считают, что заморные условия возникли в результате дефицита кислорода в воде р. Волги, но причину такого дефицита первый приписывает сбросу больших количеств сточных и промышленных вод в р. Волгу, а второй — метеорологическим условиям предшествующих лет и частично за счет сброса сточных и промышленных вод. Кроме указанных исследователей, этим вопросом занимались А. М. Шурчилова [365], А. В. Лукин [212, 213], Г. В. Аристовская [20], Н. А. Мосевич [231]. На притоках р. Волги этот вопрос изучали Н. А. Покровский [271] и А. В. Хруль [353] (р. Цна), А. П. Щербаков [369] (р. Молога), З. М. Балабанова [29] (Камское водохранилище). Большинство этих исследователей объясняют заморные явления влиянием как гидрометеорологических факторов, так и сточных и промышленных вод, сбрасываемых в р. Волгу и ее притоки.

В связи с сооружением крупных водохранилищ на р. Волге, предусмотренных планом «Большая Волга», возник вопрос: какая минерализация воды будет в создаваемых на Волге водохранилищах? Для ответа на этот вопрос некоторые исследователи на основании многолетних наблюдений за изменением минерализации и водного стока произвели расчеты будущей мине-

рализации воды Куйбышевского и Волгоградского водохранилищ. Прогнозированием минерализации воды волжских водохранилищ занимались П. П. Воронков [86], М. И. Кривенцов, К. Г. Лазарев и Н. Г. Фесенко [188] (Куйбышевское водохранилище), М. И. Кривенцов [189] (Куйбышевское и Волгоградское водохранилища). Впоследствии на основании многолетних натурных наблюдений на Куйбышевском водохранилище А. А. Зенин и К. Г. Лазарев [147] сделали сравнение минерализации, полученной при прогнозировании, с минерализацией воды, фактически наблюдаемой.

Кроме рассмотренных вопросов, в исследовании химического состава воды р. Волги и ее притоков преследовались и другие цели, как, например, изучение влияния изменения химического состава (газового состава и биогенных веществ) на рыбопродуктивность водоемов, влияния воды на гидротехнические сооружения, строящиеся на р. Волге, влияния химического состава воды на почвы при орошении и т. д.

За последние 25 лет на р. Волге и ее притоках создано большое число водохранилищ. В связи с этим появилась необходимость изучения изменений в химическом составе воды как самих водохранилищ во времени, так и тех изменений, которые произошли на р. Волге в связи с сооружением на ней каскада водохранилищ.

В настоящее время химия волжских водохранилищ изучается рядом научно-исследовательских учреждений: Институтом биологии внутренних вод АН СССР (Иваньковское, Угличское, Рыбинское и частично Горьковское и Куйбышевское водохранилища), Гидрохимическим институтом (Горьковское, Куйбышевское, Волгоградское, Пермское и Воткинское водохранилища), Татарским, Волгоградским и Уральским отделениями ВНИОРХ и Саратовским отделением ВНИРО (Горьковское, Куйбышевское, Волгоградское, Пермское водохранилища).

Волга, являясь крупнейшей водной артерией Европейской территории СССР и имея колоссальное экономическое значение для всей нашей страны, в первую очередь привлекала к себе внимание гидрохимиков. И можно сказать, что ни на одной реке Советского Союза не проведено столько исследований, сколько их выполнено на р. Волге.

Глава II

ОБЪЕМ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

1. Объем работы

Наши исследования на р. Волге проводились на участке от г. Ярославля до г. Астрахани (рис. 1). Включение в обследование верхней части р. Волги, расположенной выше г. Ярославля, было нецелесообразным, так как эта часть реки в то время (в 1954 г.) представляла собой каскад водохранилищ (Верхневолжский бейшлот, Ивановское, Угличское и Рыбинское водохранилища), существовавших уже продолжительное время (последним было сооружено Рыбинское водохранилище в 1941 г.) и довольно хорошо изученных. Кроме того, на них продолжались исследования Институтом биологии внутренних вод АН СССР, лабораторией Учинского водохранилища, Дарвинским заповедником «Борок» и др.

В программу гидрохимического исследования р. Волги, водохранилищ и притоков, впадающих в них, входило изучение режима следующих компонентов химического состава и свойств воды:

- 1) главных ионов (Cl' , SO_4'' , HCO_3' , Ca'' , Mg'' , $\text{Na}^+ + \text{K}^+$);
- 2) физических свойств воды (температура, pH, цвет, прозрачность, электропроводность);
- 3) биогенных веществ (NO_3' , NO_2' , NH_4' , $\text{P}_{\text{мин. раств.}}$, Si, Fe, различные другие формы азота и фосфора);
- 4) органических веществ по бихроматной и перманганатной окисляемости и по цветности воды;
- 5) растворенных в воде газов: O_2 и CO_2 ;
- 6) микроэлементов (Cu, Ni, Zn, Mo, Pb, F, Br, J, B и др.);
- 7) неоднородности воды по ширине реки и водохранилищ, обусловленной впадением в них притоков, и процессов перемещения и смешения водных масс.

Изучение гидрохимического режима р. Волги и водохранилищ, сооруженных на ней, выполнялось как экспедиционными

поездками по длине реки в навигационный период, так и стационарными наблюдениями в различных пунктах реки.

Экспедиционные поездки проводились большей частью на экспедиционном судне «Академик Дубинин», одна поездка была совершена на пассажирском пароходе «Память Шмелева» (октябрь 1954 г.) и три поездки — на судах Института биологии внутренних вод АН СССР, так как работа проводилась в комплексе с этим институтом.

Экспедиционные работы проводились с таким расчетом, чтобы охватить три сезона года в навигационный период: весну, лето и осень. Причем весеннюю поездку приурочивали к пику паводка на р. Волге. В этих экспедициях работа всегда выполнялась при движении судна по течению реки, причем скорость перемещения судна по реке до зарегулирования в среднем равнялась скорости течения воды в реке, т. е. время добегания воды от г. Ярославля до г. Волгограда и время экспедиционных работ на этом участке составляло 20—21 сутки.

Пробы воды отбирали по возможности в местах, где река имеет одно русло, а в водохранилище — на разрезах, охватывающих все элементы акватории. В некоторых пунктах реки пробы воды отбирали только в одной точке с поверхности на середине реки, в других пунктах — в трех точках по ширине реки: у левого берега, на середине и у правого берега, иногда пробы воды отбирали и у дна. На водохранилищах пробы воды отбирали на разрезах, которые в большинстве случаев располагались поперек водохранилищ. На каждом разрезе пробы отбирали в трех или пяти точках и в каждой точке с трех горизонтов, если наблюдалась вертикальная стратификация, — у поверхности, на половине глубины и у дна. Кроме того, наблюдения проводили на трех суточных станциях: у плотины Горьковской, Куйбышевской и Волгоградской ГЭС. На суточных станциях наблюдения вели за изменением содержания растворенных газов (O_2 и CO_2), pH и температуры воды. Дважды в сутки отбирали пробы воды на полный анализ.

В течение 8 лет в навигационный период по р. Волге и ее водохранилищам было проведено 19 экспедиций, из них в 1954, 1956 и 1960 гг. — по три экспедиции, в 1955, 1957, 1958, 1959 и 1961 гг. — только по две.

Стационарные наблюдения проводились нами в трех пунктах: у г. Казани (р. Волга), у р. п. Лаишево (р. Кама — 40 км выше бывшего устья) и у г. Волгограда (р. Волга). В этих пунктах вели наблюдения только в зимний период по той же программе, что и в навигационный период. У г. Казани наблюдения проводили зимой 1955, 1956 и 1957 гг., у р. п. Лаишево — зимой 1957 г., у г. Волгограда — зимой 1955 и 1956 гг.

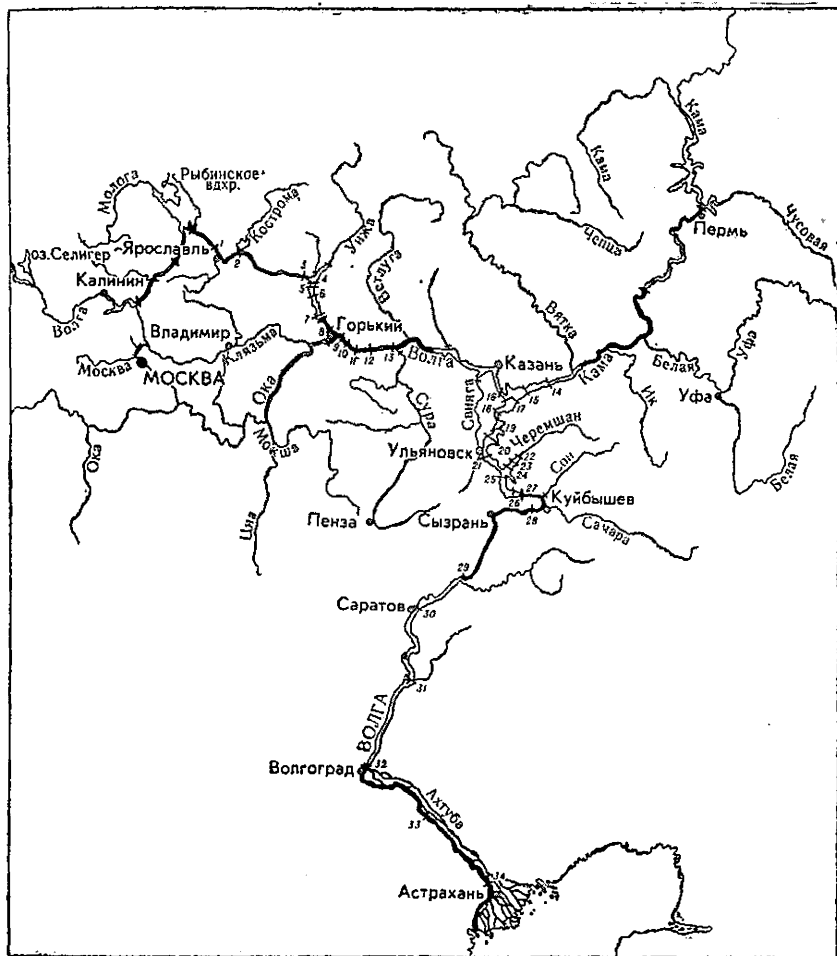
В 1957 г. Гидрохимический институт организовал постоянные станции наблюдения в нижнем бьефе Куйбышевского водохра-

нилища (р. п. Комсомольский) и на р. Волге, а затем в нижнем бьефе Волгоградского водохранилища (г. Волжский). На этих пунктах пробы воды отбирали преимущественно один раз в декаду, в 1957 и 1958 гг. у г. Волжского пробы отбирали один раз в 5 дней, а в паводок — ежедневно.

2. Методы химического анализа воды

Химический анализ воды выполняли по методикам, описанным О. А. Алекиным в его руководстве «Химический анализ вод суши» [11], кроме определений Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , pH.

Содержание Cl^- определяли меркуриметрическим методом в спиртовой среде в присутствии дифенилкарбазона в качестве индикатора [205], содержание Ca^{2+} — трилонометрическим мето-



дом в присутствии мурексиде в качестве индикатора [338], содержание Mg^{++} — по разности мг-экв/л жесткости ($Ca^{++} + Mg^{++}$), которую также определяли трилометрическим методом в присутствии эриохрома черного ET-00 в качестве индикатора и мг-экв/л Ca^{++} . Содержание $Na^{+} + K^{+}$ определяли по разности между суммой мг-экв/л анионов ($Cl^{-} + SO_4^{--} + HCO_3^{-}$) и суммой мг-экв/л катионов ($Ca^{++} + Mg^{++}$). При подсчете $Na^{+} + K^{+}$ в мг/л величину мг-экв/л умножали на 25 [172].

В некоторых пробах воды содержание Na^{+} определяли стеклянным электродом по методу В. Э. Горемыкина [98] или на пламенном фотометре.

Величину рН определяли или колориметрически с фосфатными буферными растворами с последующим введением солевых поправок, или электрометрически со стеклянным электродом; прозрачность воды — по глубине исчезновения белого диска Секки и выражали ее в сантиметрах; электропроводность воды — специально сконструированным для этой цели прибором. Датчик, состоящий из платиновых электродов, опускался на длинном кабеле непосредственно в водоем, как это описано у Г. И. Долгова [117], с одновременным определением температуры воды в точке измерения электропроводности.

Для измерения скорости течения воды в реке и водохранилищах пользовались модернизированной морской вертушкой ВМ-М с плексигласовым лопастным винтом, служащим для измерения скоростей течения выше 0,02 м/сек. [79].

Рис. 1. Схема бассейна р. Волги с указанием на ней пунктов отбора проб воды. 1 — р. Волга — 335 км выше плотины Горьковской ГЭС (2596 км), 2 — р. Волга — 266 км выше плотины Горьковской ГЭС (2520 км), 3 — р. Волга — 100 км выше плотины Горьковской ГЭС (2350 км), 4 — Горьковское водохранилище — 80 км выше плотины Горьковской ГЭС (2332 км), 5 — Горьковское водохранилище — 65 км выше плотины Горьковской ГЭС (2315 км), 6 — Горьковское водохранилище — 40 км выше плотины Горьковской ГЭС (2287 км), 7 — Горьковское водохранилище — 1 км выше плотины Горьковской ГЭС (2246 км), 8 — р. Волга — 800 км выше плотины Волжской ГЭС им. В. И. Ленина (2193 км), 9 — р. Волга — 785 км выше плотины Волжской ГЭС им. В. И. Ленина (2180 км), 10 — р. Волга — 770 км выше плотины Волжской ГЭС им. В. И. Ленина (2165 км), 11 — р. Волга — 743 км выше плотины Волжской ГЭС им. В. И. Ленина (2140 км), 12 — р. Волга — 690 км выше плотины Волжской ГЭС им. В. И. Ленина (2092 км), 13 — р. Волга — 615 км выше плотины Волжской ГЭС им. В. И. Ленина (2020 км), 14 — р. Кама — 140 км от устья, 15 — р. Кама — 70 км от устья, 16 — Куйбышевское водохранилище — 306 км выше плотины Волжской ГЭС им. В. И. Ленина (1720 км), 17 — Куйбышевское водохранилище — 293 км выше плотины Волжской ГЭС им. В. И. Ленина (1707 км), 18 — Куйбышевское водохранилище — 240 км выше плотины Волжской ГЭС им. В. И. Ленина (1650 км), 19 — Куйбышевское водохранилище — 210 км выше плотины Волжской ГЭС им. В. И. Ленина (1620 км), 20 — Куйбышевское водохранилище — 170 км выше плотины Волжской ГЭС им. В. И. Ленина (1577 км), 21 — Куйбышевское водохранилище — 125 км выше плотины Волжской ГЭС им. В. И. Ленина (1528 км), 22 — Куйбышевское водохранилище — 45 км от устья Черемшанского залива, 23 — Куйбышевское водохранилище — 30 км от устья Черемшанского залива, 24 — Куйбышевское водохранилище — 10 км от устья Черемшанского залива, 25 — Куйбышевское водохранилище — 70 км выше плотины Волжской ГЭС им. В. И. Ленина (1470 км), 26 — Куйбышевское водохранилище — 20 км выше плотины Волжской ГЭС им. В. И. Ленина (1416 км), 27 — Куйбышевское водохранилище — у плотины Волжской ГЭС им. В. И. Ленина (1396 км), 28 — р. Волга — 787 км выше плотины Волжской ГЭС им. XXII партсъезда (1287 км), 29 — Волгоградское водохранилище — 520 км выше плотины Волжской ГЭС им. XXII партсъезда (1020 км), 30 — Волгоградское водохранилище — 395 км выше плотины Волжской ГЭС им. XXII партсъезда (895 км), 31 — Волгоградское водохранилище — 200 км выше плотины Волжской ГЭС им. XXII партсъезда (700 км), 32 — Волгоградское водохранилище у плотины Волжской ГЭС им. XXII партсъезда (500 км), 33 — р. Волга — 290 км от г. Астрахани, 34 — р. Волга — 50 км от г. Астрахани. В скобках указаны расстояния от г. Астрахани до каждого пункта.

Глава III

ВОДНЫЙ, ЛЕДОВЫЙ И ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ р. ВОЛГИ

1. Водный режим

Водный режим р. Волги формируется главным образом за счет впадения в нее притоков. Приток грунтовых вод непосредственно в русло р. Волги по сравнению с количеством воды, поступающей из притоков, очень мал.

Изменения водности р. Волги по ее длине от г. Ярославля до г. Астрахани и данные расходов ее главных притоков (средние многолетние данные) представлены в табл. 1 и на рис. 2.

Главным источником питания р. Волги является снежный покров. Вниз по течению возрастает значение снежного покрова в питании реки, уменьшается роль дождевых вод и возрастает роль подземных вод. Верхняя Волга принадлежит к типу рек смешанного питания с преобладанием снегового, а Средняя и Нижняя Волга — к типу рек преимущественно снегового питания.

По характеру водного режима Верхняя Волга до зарегулирования относилась к восточноевропейскому типу с отчетливо выраженным весенним половодьем, устойчивой летней меженью, нарушаемой дождевыми паводками, подъемами уровней осенью от дождей и относительно устойчивой зимней меженью [104].

После создания ряда водохранилищ на Верхней Волге произошли значительные изменения в ее водном режиме. Значительная часть объема весеннего половодья задерживается этими водохранилищами. Построенные плотины подняли уровень воды в р. Волге у Верхневолжского бейшлота на 5 м, у Ивановской плотины на 12 м, у Угличской на 13 м, у Рыбинской — на 18 м и у Горьковской на 17 м.

Распределение стока ниже Рыбинского и Горьковского водохранилищ стало более равномерным. Сток весеннего периода уменьшился более чем вдвое, сток летнего и осеннего периодов

возрос в 1,5 раза, а сток зимнего — в 2,8 раза. Распределение по месяцам стало также равномерным, изменяясь от 10 (ноябрь—декабрь) до 7% (май—июнь) годового стока, в то время как до сооружения этих водохранилищ наибольший сток приходился на апрель (31%), наименьший — на февраль (2%).

Таблица 1

Средние многолетние расходы воды р. Волги и ее притоков,
по К. П. Воскресенскому [90]

№ п. п.	Река	Пункт	Площадь водо-сбора, км ²	Средний многолетний расход		
				м ³ /сек.	км ³ /год	л/сек. км ²
1	Волга	г. Ярославль	154 000	1110	35,0	7,2
2	"	г. Горький	479 000	2970	93,7	6,2
3	"	с. Вязовые	629 000	3780	119,2	6,0
4	"	г. Тетюши	1 170 000	7580	239,0	6,5
5	"	пос. Поляна им. Фрунзе	1 210 000	7600	239,7	6,3
6	"	г. Волгоград	1 350 000	8220	259,2	6,1
7	"	с. Верхне-Лебяжье	1 380 000	7720	243,5	5,6
8	Которосль	г. Гаврилов-Ям	4 860	39,3	1,24	8,1
9	Кострома	г. Буй (ниже впадения р. Вексы)	8 870	69,2	2,18	7,8
10	Немда	д. Селище	3 710	26,0	0,82	7,0
11	Унжа	г. Макарьев	18 530	159,0	5,01	8,6
12	Ока	с. Нижний Избылец . . .	244 000	1300	41,0	5,3
13	Керженец	с. Хахалы	3 590	18,7	0,59	5,2
14	Сура	д. Княжиха	54 400	207,0	6,53	3,8
15	Ветлуга	с. Воскресенское	35 000	231,0	7,28	6,6
16	Б. Кокшага	с. Гришкино	5 680	28,4	0,89	5,0
17	Свияга	с. Бурундуки	13 200	34,2	1,08	2,6
18	Кама	с. Соколы Горы	504 000	3770	118,9	7,5
19	Сок	ст. Сургут	4 730	18,0	0,57	3,8
20	Самара	с. Елшанка	22 500	51,8	1,63	2,3
21	Б. Ирғиз	г. Пугачев	18 200	25,4	0,80	1,4

Средний многолетний расход воды Верхней Волги (у устья р. Оки) составляет 1670 м³/сек. (модуль стока 7,2 л/сек. км²).

Главные черты уреченного режима р. Волги в среднем ее течении те же, что в верхнем. Отличительной чертой является большая мощность и продолжительность весеннего паводка, более устойчивая межень, меньшая повторяемость и интенсивность дождевых паводков. Осенние паводки, так же как на Верхней Волге, наблюдаются ежегодно.

Минимальные уровни наблюдаются зимой, перед весенним половодьем, максимальные — во второй половине мая. Амплитуда колебания уровней иногда достигает 17,3 м. Половодье заканчивается в конце июня. Продолжительность весеннего

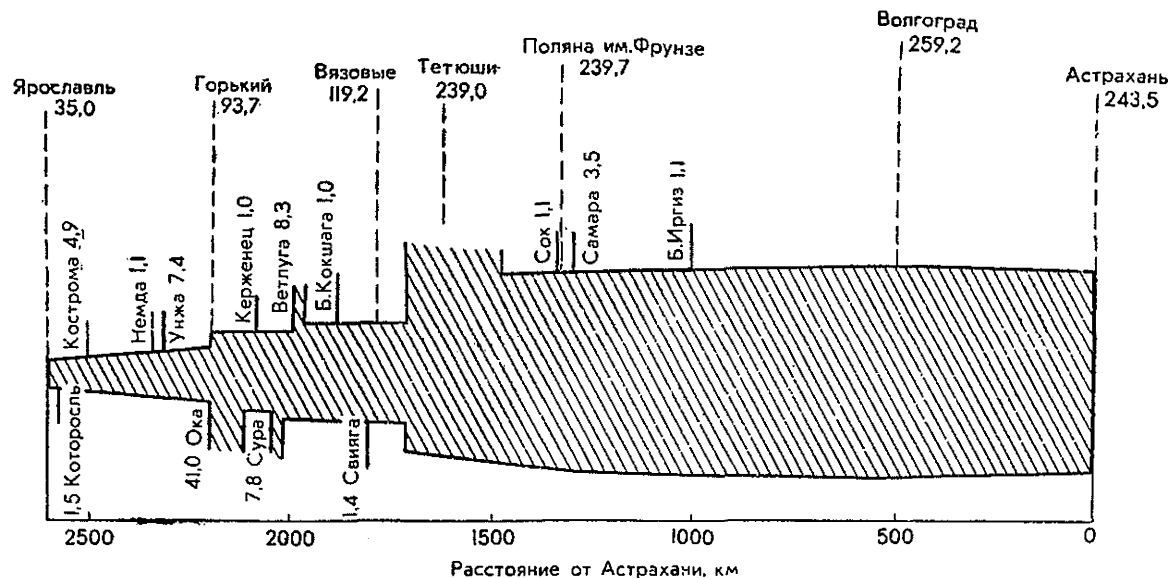


Рис. 2. Средний многолетний сток р. Волги и ее притоков ($\text{km}^3/\text{год}$), по К. П. Воскресенскому [90].

паводка у г. Горького 72 дня, у г. Чебоксар 79 дней, к устью р. Камы продолжительность еще более увеличивается вследствие более позднего наступления половодья на р. Каме. Иногда продолжительность паводка у устья р. Камы составляла 118 дней.

Средний многолетний расход воды Средней Волги у с. Вязовые 3780 м³/сек. (модуль стока 6,0 л/сек. км²) [90].

Водный режим Нижней Волги в настоящее время определяется режимом двух крупных водохранилищ, сооруженных на ней, — Куйбышевского и Волгоградского. Куйбышевское водохранилище в весенний период аккумулирует часть волжского стока, а в остальные периоды года расходует его, т. е. это водохранилище является перераспределителем водного стока р. Волги. Однако и при наличии Куйбышевского и Волгоградского водохранилищ основная масса воды по Нижней Волге проходит в весенний период. В гидрографе произошло некоторое сглаживание амплитуд колебания расходов воды в весенний (паводковый) период по сравнению с другими (меженными) периодами.

Понижение уровня воды в Куйбышевском водохранилище за счет сработки составляет примерно 4 м от НПГ, в Волгоградском водохранилище будет поддерживаться постоянный уровень во все сезоны года.

Если до сооружения Куйбышевского водохранилища в весенний период сток у г. Тетюши составлял 66% [104], то в настоящее время в нижнем бьефе Куйбышевского водохранилища в этот период проходит только 50%, а в нижнем бьефе Волгоградского — 46% (среднее за 1959—1961 гг.). За счет этого увеличились расходы воды в меженные периоды.

Средний многолетний расход р. Волги у г. Волгограда 8220 м³/сек. (модуль стока 6,1 л/сек. км²), а у г. Астрахани — 7720 м³/сек. (модуль стока 5,6 л/сек. км²) [90].

Таким образом, нарастание расходов продолжается до г. Волгограда, после чего начинается уменьшение его за счет потерь на инфильтрацию и испарение. Эти потери от г. Волгограда до устья составляют в среднем около 500 м³/сек.

Основной источник питания р. Оки — снежный покров. Сток р. Оки у г. Муромы состоит на 65% из талых вод, на дождевые воды приходится немного более 20%, на подземное питание — около 15% [104, стр. 171]. Основной фазой водного режима р. Оки является весеннее половодье. Наступление наивысших уровней запаздывает вниз по течению. Половодье заканчивается в верховье реки во второй половине мая, а в низовье в начале июня. Летняя межень довольно устойчива, но наблюдается несколько дождевых паводков с подъемами уровней до 1,0—1,5 м. Осенние подъемы также имеют место, но более закономерны и ежегодны. Зимние уровни устойчивы и несколько выше летних меженных.

Амплитуда уровней значительно меняется по длине реки: у г. Орла наибольшая годовая амплитуда примерно 10 м, у г. Калуги она достигает максимума — 17,6 м, а в среднем течении у г. Муромы 11 м.

Средний многолетний годовой расход воды р. Оки у устья 1300 м³/сек. (модуль стока 5,3 л/сек. км²) [90].

Годовой сток р. Оки в нижнем ее течении распределяется по сезонам года следующим образом: весна — 73%, лето — 7—8%, осень — 10%, зима — 7—9% годового стока.

Основной источник питания р. Камы — талые воды, доля которых до г. Перми составляет около 57% годового стока; доля подземных вод — 25%, дождевого питания — 18% [104].

После создания Камского водохранилища весной около $\frac{1}{3}$ объема талых вод задерживается в водохранилище и расходится в летний и особенно в зимний периоды [122, стр. 105].

В результате регулирования Камской ГЭС в нижнем бьефе часто меняется уровень воды в зависимости от пусков через плотину. Иногда в течение суток уровень воды может изменяться более чем на 2 м.

Средний годовой расход воды р. Камы у устья 3840 м³/сек. (модуль стока 7,5 л/сек. км²) [90].

Сток р. Камы по сезонам года в нижнем бьефе Камского водохранилища распределяется следующим образом: основная масса стока проходит в весенний период (март—июнь) — 62%, летом (июль—август) — 13%, осенью (сентябрь—ноябрь) — 18%, зимой (декабрь—февраль) — 7% [122].

2. Ледовый режим

Изучение ледового режима реки и водохранилищ необходимо для определения тесно связанного с ним режима растворенных в воде газов, особенно кислорода. Знание режима растворенных газов в подледный период даст возможность определить условия существования в воде живых организмов в зимнее время.

Раньше всего ледостав наступает (в начале третьей декады ноября) в наиболее северных верхних участках Волги, не подвергшихся регулированию стока. У г. Кинешмы р. Волга замерзает в конце ноября, у г. Горького — в конце ноября — начале декабря, у г. Куйбышева — в середине декабря, а у г. Астрахани еще позже — примерно в конце декабря.

Возведение гидротехнических сооружений на р. Волге изменило ледовый режим на всем ее протяжении. После создания водохранилищ продолжительность осеннего ледохода резко сократилась, а иногда он совсем не наблюдается.

Наблюдения на Куйбышевском [50] и Камском [122] водохранилищах показали, что их сооружение увеличило время ледостава по сравнению с бытовыми условиями рек на участках этих

водохранилищ. На Куйбышевском водохранилище ледостав наступает на 5—10 дней раньше, чем при естественном режиме рек Волги и Камы. Очищение водохранилища ото льда наступает в среднем примерно $1/V$, в то время как в бытовых условиях очищение ото льда заканчивалось примерно в середине апреля (13/IV) [122], т. е. происходит запаздывание на 18 дней.

На Камском водохранилище наступление ледостава на всей его территории в 1956 г. наблюдалось от 31/X до 10/XI, т. е. на 15 дней раньше, чем в бытовых условиях реки на этом участке (в реке ледостав наступал в среднем 18/XI).

Очищение ото льда Камского водохранилища происходит на 10 дней позже, чем до сооружения этого водохранилища. Например, на р. Каме у г. Перми ледоход заканчивался 29/IV, а водохранилище очистилось ото льда в 1955 г. 7/V, в 1956 г. 13/V, хотя весны этих лет были обычными.

Таким образом, продолжительность ледостава на Куйбышевском и Камском водохранилищах примерно на 25 дней больше, чем на рр. Волге и Каме в естественных условиях на участках этих водохранилищ. Удлинение времени ледостава также относится и к Волгоградскому водохранилищу.

Вскрытие на всем протяжении р. Волги происходит в обратном порядке по сравнению с появлением ледостава: раньше всего река вскрывается у г. Астрахани (в середине марта), затем у г. Куйбышева и на Средней Волге (в начале апреля), а в верхних ее участках — в середине апреля.

3. Температурный режим

Изменения температуры воды р. Волги и ее притоков довольно точно следуют изменениям температуры воздуха, за исключением подледного периода, когда температура воды держится около 0° .

Максимум температуры наступает обычно в июле, однако в зависимости от состояния погоды он может наступить и в июне, и в августе. В низовьях р. Волги максимум температуры воды достигает $28-29^{\circ}$, а у г. Саратова $24-25^{\circ}$. В августе начинается медленное охлаждение воды, а с половины сентября оно идет быстро вплоть до ледостава.

Распределение температуры воды по вертикали в реке обычно равномерное; отклонения наблюдаются в отдельных более глубоких местах с замедленным течением, в дельте реки, а также в глубоких затонах.

Распределение температуры воды по вертикали в водохранилищах большей частью равномерное, когда наблюдаются продолжительные ветры, хорошо перемешивающие воду в водохранилищах. Но при многодневной тихой погоде устанавливается стратификация температуры: нижние слои более холодные, верх-

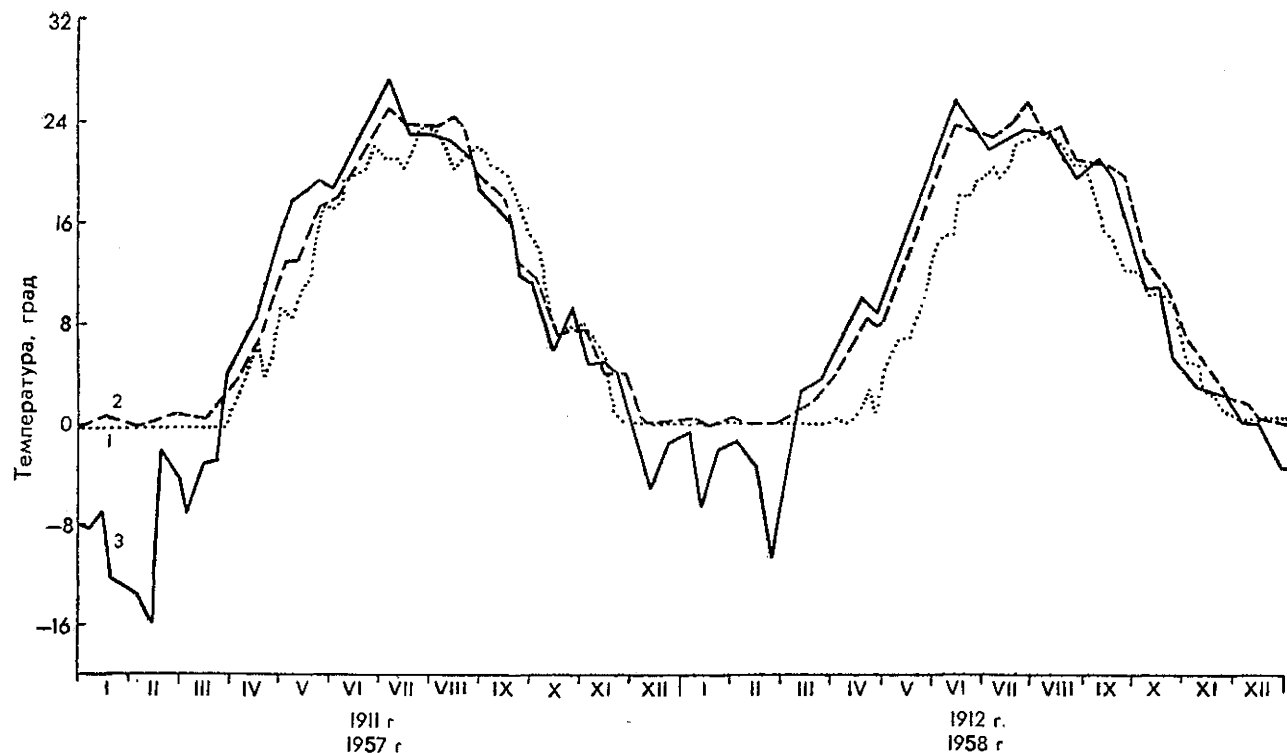


Рис. 3. Годовой ход температуры воды и воздуха в нижнем течении р. Волги, по Ю. Ц. Балталону [30].
 1 - температура воды у г. Волгограда в 1957—1958 гг., 2 — температура воды у г. Астрахани в 1911—1912 гг., 3 — температура воздуха у г. Астрахани в 1911—1912 гг.

ние — более теплые за счет прогрева солнцем с разницей температур на Горьковском водохранилище 3—4°, иногда до 5,7°, на Камском 5—6°, иногда до 8°, на Куйбышевском 4—5°, в некоторые периоды до 6°, на Волгоградском до 2°.

На рис. 3 нанесены значения температуры воды р. Волги у г. Астрахани за 1911—1912 гг. (по Ю. Ц. Балталону [30]) и у г. Волгограда по нашим наблюдениям в 1957—1958 гг.

Результаты наших наблюдений за изменением температуры воды р. Волги после создания на ней каскада водохранилищ показывают, что эти изменения примерно такие же, какие они наблюдались у г. Астрахани в 1911—1912 гг. Изменения температуры воды после сооружения Волгоградского водохранилища почти одинаковые с наблюдавшимися нами в 1957—1958 гг.

Глава IV

ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ОСНОВНЫХ ПРИТОКОВ р. ВОЛГИ

Из многочисленных притоков р. Волги ниже Рыбинского водохранилища существенное влияние на формирование ее химического состава оказывают только большие притоки: Которосль, Кострома, Немда, Унжа, Ока, Керженец, Сура, Ветлуга, Б. Кокшага, Свияга, Кама, Сок, Самара, Б. Иргиз. Остальные мелкие притоки составляют очень малую долю в водном питании р. Волги и почти не оказывают влияния на формирование химического состава ее воды.

Все притоки Верхней и Средней Волги по ионному составу воды относятся к гидрокарбонатному классу, кальциевой группе, первому и второму типам. На Нижней Волге некоторые притоки относятся к сульфатному классу, кальциевой группе, второму типу (р. Сок), а р. Б. Иргиз в меженный период относится к хлоридному классу, натриевой группе, третьему типу.

Рассмотрим гидрохимический режим каждого притока в отдельности.

1. Река Которосль

Средняя минерализация воды р. Которосли в весенне-летне-осенний период изменялась от 138,9 мг/л (май 1956 г.) до 385,1 мг/л (сентябрь 1954 г.) [156, табл. 2]. В зимнее время, по данным других исследователей [4], минерализация воды еще более высокая. Повышенная минерализация воды этой реки объясняется составом пород бассейна, относящихся к юрским и пермским отложениям.

Относительный состав воды р. Которосли характеризуется значительным преобладанием HCO_3' , доля которого колеблется в пределах 38,0—44,2% экв. Относительное содержание SO_4'' изменяется от 4,3 до 8,7% экв., Cl' — от 0,4 до 5,0% экв. Среди катионов преобладает Ca'' , относительное содержание которого

колеблется от 20,8 до 32,2% экв. Доля Mg^{++} в воде реки довольно значительная, его относительное содержание колеблется от 11,7 до 21,9% экв., один раз содержание Mg^{++} даже превышало содержание Ca^{++} (сентябрь 1955 г.). Содержание $Na^{+}+K^{+}$ обычно невелико — 2,4—10,4% экв.

Преобладание в реке ионов HCO_3^{-} , Ca^{++} и Mg^{++} находится в соответствии с составом богатых карбонатами пород, слагающих бассейн реки.

По классификации О. А. Алекина [6] вода р. Которосли относится к гидрокарбонатному классу, кальциевой группе, второму типу.

Величина рН колебалась в пределах 7,83—8,23. Насыщенность воды кислородом достигало 77,8—97,9%, а содержание CO_2 не превышало 11,3 мг CO_2 /л. Окисляемость воды составляла 5,7—11,4 мг О/л при изменении цветности от 22 до 56° [156, табл. 4].

Содержание суммы минерального азота $NO_3^{-}+NO_2^{-}+NH_4^{+}$ в воде р. Которосли очень мало и не превышало 0,18 мг N/л, а содержание фосфатов колебалось в больших пределах — от 0,003 до 0,058 мг P/л. Содержание железа в весенний период больше, чем в летне-осенний, оно колебалось в пределах от 0,12 до 0,44 мг Fe/л. Содержание кремния в воде изменялось от 0,8 до 2,5 мг Si/л. Малое содержание минерального азота можно объяснить отсутствием сброса сточных и промышленных вод в эту реку, а увеличение содержания железа в весенний период — смывом болотных вод во время паводка.

2. Река Кострома

Изменения содержания отдельных ионов и минерализации воды р. Костромы согласуются с изменениями ежедневных расходов воды: двум максимумам в расходах воды (апрель—май и октябрь—ноябрь) соответствуют два минимума в содержании отдельных ионов и минерализации воды (рис. 4).

Общая минерализация воды р. Костромы в течение года изменяется в довольно широких пределах: от 62,0 (в весенний паводок) до 498,1 мг/л (в зимнюю межень).

В зимнюю и летнюю межень вода р. Костромы относится к среднеминерализованным водам, а в весенний и осенний паводки — к маломинерализованным. Повышенная минерализация воды р. Костромы в среднем ее течении в летний и зимний периоды объясняется питанием высокоминерализованными подземными водами в верхнем течении реки, которые проходят по пермским морским отложениям (цехштейн) и обогащаются ионами HCO_3^{-} , Ca^{++} и SO_4^{--} . В районе Солигалича подземные воды использовались даже для добычи соли.

В весенний и осенний паводки, когда объем талых и дождевых вод намного превышает приток подземных вод, минерализа-

ция воды р. Костромы резко падает и весной достигает 62,0 мг/л, а осенью — 157,4 мг/л.

Среди анионов первое место принадлежит HCO_3' , содержание которого в течение всего года изменяется от 28,7 до

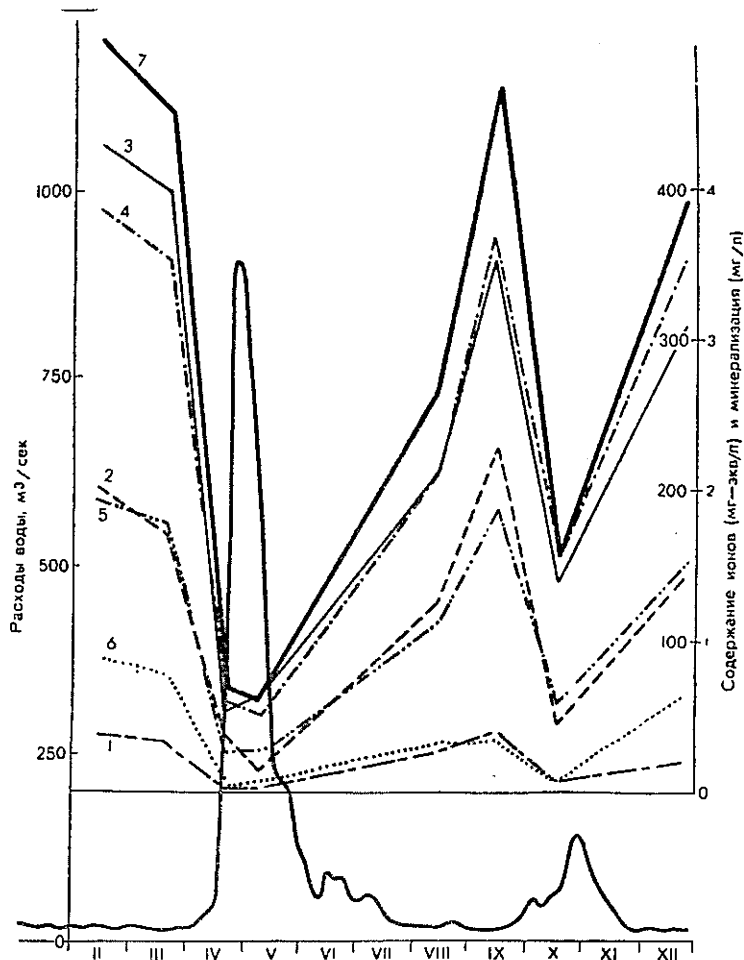


Рис. 4. Средневзвешенные содержания ионов и минерализация и средние ежедневные расходы воды р. Костромы у г. Буя за 1954—1958 гг.

1 — Cl' , 2 — SO_4'' , 3 — HCO_3' , 4 — Ca^{++} , 5 — Mg^{++} , 6 — $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, 7 — $\Sigma_{\text{и}}$.

38,6% экв.; содержание SO_4'' — от 10,2 до 19,4% экв., Cl' — от 1,1 до 3,8% экв. Из катионов превалирует Ca^{++} — 27,9—33,7% экв. Содержание Mg^{++} — 14,1—15,1% экв., $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ — 1,7—6,8% экв.

В устье реки минерализация уже не так резко изменяется в течение года, как это было показано выше для пункта реки у г. Буя. Минерализация воды в устье изменялась, если сравнивать соответствующие периоды года, от 74,8 до 308,8 мг/л (против 62,0 и 566,6 мг/л) [156, табл. 2]. Причиной этого является разбавление высокоминерализованных вод р. Костромы, идущих с верховьев, маломинерализованными водами притоков, впадающих в нижнем течении.

Относительное содержание главных ионов в воде р. Костромы в устье и у г. Буя также различно. В устье увеличивается доля HCO_3^- (иногда достигает 43,5% экв.) и уменьшается доля SO_4^{2-} (большой частью не более 7,5% экв.) при одинаковом содержании Cl^- . В относительном содержании катионов изменений почти не происходит: несколько увеличились амплитуды колебания Ca^{2+} и Mg^{2+} .

Вода р. Костромы как в среднем течении (у г. Буя), так и у устья относится к гидрокарбонатному классу, кальциевой группе, второму типу.

Величина рН воды р. Костромы изменялась в пределах 7,45—8,29, причем в летне-осенний период она более высокая, чем в весенний период; это обусловлено смывом весной с болот талых вод, содержащих большое количество органических кислот, что подтверждается высокой перманганатной (до 15,5 мг О/л) и бихроматной (до 61,6 мг О/л) окисляемостью и высокой цветностью воды (до 116°). Насыщение воды кислородом колебалось в пределах 73,5—91,0% при содержании CO_2 от 1,6 до 12,0 мг/л [156, табл. 4]. Содержание минерального азота невелико—0,06—0,31 мг N/л, что указывает на незначительное загрязнение воды бытовыми и промышленными сбросами. Содержание железа в воде р. Костромы повышенное и достигает 0,62 мг Fe/л, что связано, опять-таки, со смывом болотных вод, богатых органическим веществом и железом. Содержание кремния иногда наблюдалось повышенное, достигавшее 7,0 мг Si/л [156, табл. 4].

3. Река Немда

На р. Немде в течение года наблюдаются два паводка: весенний, обусловленный таянием снега, и осенний, обусловленный обильными атмосферными осадками. Этим двум максимумам на гидрографе соответствуют и два минимума в минерализации воды и в содержании отдельных ионов (в апреле—мае и в октябре).

По величине минерализации воды р. Немда относится к рекам с маломинерализованной водой. У д. Селище в 1954—1958 гг. минерализация воды изменялась от 30,5 до 175,4 мг/л. Первое, самое сильное, понижение минерализации воды происходит в апреле—мае во время весеннего паводка. Второе,

небольшое, понижение минерализации наблюдается осенью (в октябре) после обильных дождей (рис. 5).

Наличие маломинерализованных вод в р. Немде объясняется тем, что площадь водосбора ее сложена в основном отложениями

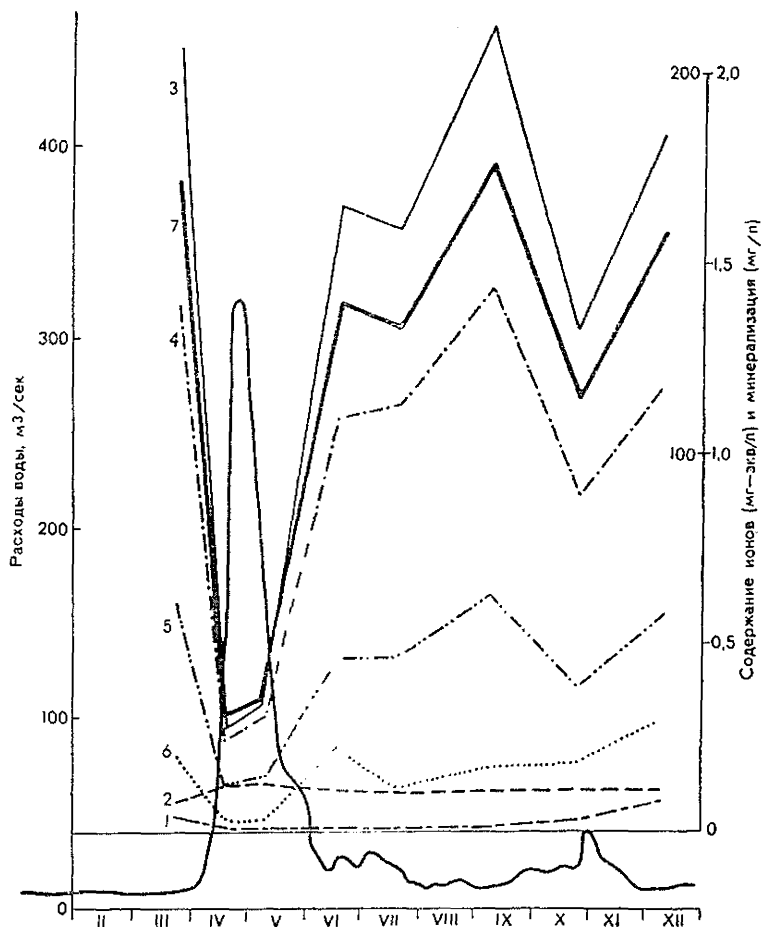


Рис. 5. Средневзвешенные содержания ионов и минерализация и средние ежедневные расходы воды р. Немды у д. Селище за 1954—1958 гг.

1 — Cl^- , 2 — SO_4^{2-} , 3 — HCO_3^- , 4 — Ca^{2+} , 5 — Mg^{2+} , 6 — $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, 7 — $\Sigma_{\text{и}}$.

меловой системы, среди которых преобладают пески, фосфориты и глины.

Среди ионов в воде р. Немды у д. Селище преобладающее значение имеют HCO_3^- и Ca^{2+} , содержание которых изменяется

соответственно в пределах 33,7—47,3 и 28,8—33,0% экв. Содержание $\text{SO}_4^{''}$ в весеннее время (апрель—май) достигает 13,8—15,0% экв., в остальное же время года — всего несколько % экв. (не более 4% экв.), так же как и содержание Cl' . Среди катионов второе место занимает $\text{Mg}^{''}$, относительное содержание которого довольно постоянно в течение года — 13,0—15,0% экв. Небольшая доля (но большая, чем Cl') приходится на $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ — 3,1—7,2% экв.

Данные, полученные нами, также показывают, что вода р. Немды в устье имеет малую минерализацию (от 40,6 до 156,2 мг/л). Относительный состав остается примерно таким же, как и у д. Селище, но с некоторым увеличением доли Cl' и $\text{SO}_4^{''}$ [156, табл. 2].

Вода р. Немды у д. Селище в течение всего года, кроме апреля—мая (паводок), относится к гидрокарбонатному классу, кальцевой группе, первому типу, а в паводок — ко второму типу. В устьевой части вода р. Немды иногда относится к первому типу, а иногда ко второму.

В результате того что вода р. Немды содержит большое количество органических кислот (цветность 37—89°), перманганатная окисляемость достигает больших величин — 8,2—16,1 мг О/л, а рН воды в весенний период падает до 6,54 (май 1957 г.). Летом рН повышается до 8,02 [156, табл. 4].

Насыщение воды кислородом достигает 70,4—105,0% при содержании CO_2 , равном 2,3—7,3 мг/л. Содержание суммарного минерального азота, так же как и в рр. Которосле и Костроме, незначительно и не превышает 0,25 мг N/л. Содержание железа очень высокое (0,35—1,13 мг Fe/л), что также связано с большим содержанием в воде органических веществ. Содержание кремния 1,1—4,0 мг Si/л, но иногда (сентябрь 1954 г.) достигает 10,0 мг Si/л [156, табл. 4].

4. Река Унжа

На р. Унже наблюдается два паводка: весенний, обусловленный таянием снега, и осенний, обусловленный выпадением дождей. Этим двум повышением расходов воды соответствуют два понижения минерализации воды. Вода р. Унжи в зимнюю и летнюю межень относится к среднеминерализованным водам, в весенний паводок — к очень маломинерализованным, а в осенний период — к маломинерализованным водам.

В течение года минерализация воды изменяется от 45,3 (весенний паводок) до 330,1 мг/л (зимняя межень) (рис. 6). Такая большая амплитуда колебания минерализации воды р. Унжи объясняется тем, что в зимнюю и летнюю межень р. Унжа в основном питается довольно минерализованными грунтовыми водами, проходящими юрские отложения, оксфордский ярус которых представлен мергелистыми глинами.

Ионный состав воды р. Унжи характеризуется преобладанием HCO_3' (34,6—37,6% экв.) и малым содержанием Cl' — 0,6—5,0% экв.

В катионном составе преобладает Ca'' (27,0—34,8% экв.). Содержание Mg'' в воде р. Унжи достигает иногда 12,2—19,1% экв. при малом содержании $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ (от 2,3 до 5,9% экв.).

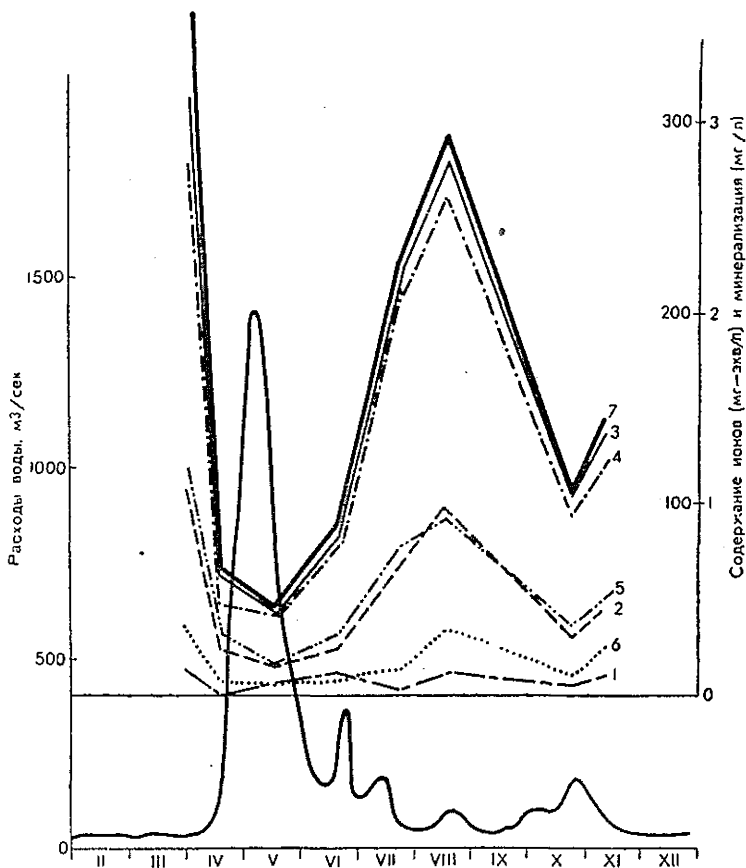


Рис. 6. Средневзвешенные содержания ионов и минерализация и средние ежедневные расходы воды р. Унжи у г. Мантурова за 1954—1958 гг.

1 — Cl' , 2 — SO_4'' , 3 — HCO_3' , 4 — Ca'' , 5 — Mg'' , 6 — $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, 7 — $\Sigma_{\text{и}}$.

Упоминание О. А. Алекина [4, стр. 15] о том, что содержание Na^+ нередко достигало значительных величин (до 20% экв.), по-видимому, объясняется несовершенством анализа, проведенного в прошлые годы.

Данные по содержанию главнейших ионов в воде р. Унжи [156, табл. 2] показывают, что и в устьевой части реки вода является маломинерализованной (43,8—184,8 мг/л). Так же как у г. Мантурово в устьевой части имеет место резкое различие в минерализации воды в паводковый и меженный периоды, что объясняется, как это было показано выше, различным питанием реки по сезонам.

В устьевой части несколько изменяется соотношение между ионами. Превалирующим анионом (это наблюдалось и в среднем течении реки) является HCO_3^- , но при этом увеличилась амплитуда колебания в содержании этого иона (31,3—41,0% экв.). Вторым по содержанию ионом является SO_4^{2-} (5,6—13,4% экв.), малая доля приходится на Cl^- . Главным из катионов является Ca^{2+} (27,1—37,8% экв.), затем Mg^{2+} (9,6—16,3% экв.), при малом содержании $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ (1,5—6,8% экв.).

Вода р. Унжи как в среднем ее течении (у г. Мантурово), так и у устья относится к гидрокарбонатному классу, кальциевой группе, второму типу.

Вода р. Унжи содержит большое количество органических веществ, что видно по цветности воды (23—113°) и перманганатной (3,0—16,7 мг О/л) и бихроматной (14,5—48,7 мг О/л) окисляемости [156, табл. 4]. Наибольшее содержание органических веществ наблюдалось в весенний паводок, когда талые воды в большом количестве сбрасывались с болот, богатых органическими веществами. В связи с этим величина рН в весенний период падала до 6,65—7,19, а в летний период поднималась до 7,74—8,12.

Насыщение воды р. Унжи кислородом невелико и колеблется в пределах 52,7—91,0% при содержании CO_2 от 1,9 до 14,4 мг CO_2 /л. Слабое насыщение воды кислородом и большое содержание CO_2 в воде р. Унжи, по-видимому, объясняются расходом растворенного кислорода на окисление органических веществ.

Содержание суммарного минерального азота (ΣN), так же как в трех предыдущих притоках, незначительно и не превышает 0,30 мг N/л. Содержание же железа довольно высокое, иногда достигающее 2,34 мг Fe/л, что также связано с болотным питанием реки. Содержание кремния колебалось в пределах 1,2—4,7 мг Si/л [156, табл. 4].

5. Река Ока

На р. Оке наблюдается только один паводок — весенний, поэтому одному максимуму расходов воды в весенний период соответствует один минимум минерализации. Река Ока большую часть года относится к рекам со средней минерализацией воды (263,1—482,6 мг/л) и только в весенний период (апрель—май) имеет маломинерализованную воду (130,2—140,1 мг/л) (рис. 7).

Минерализация р. Оки (от устья Москвы-реки до впадения в р. Волгу) непрерывно возрастает. Это происходит за счет растворения близко залегающих отложений пермской системы (известняки и мергели татарского яруса и местами нижнеперм-

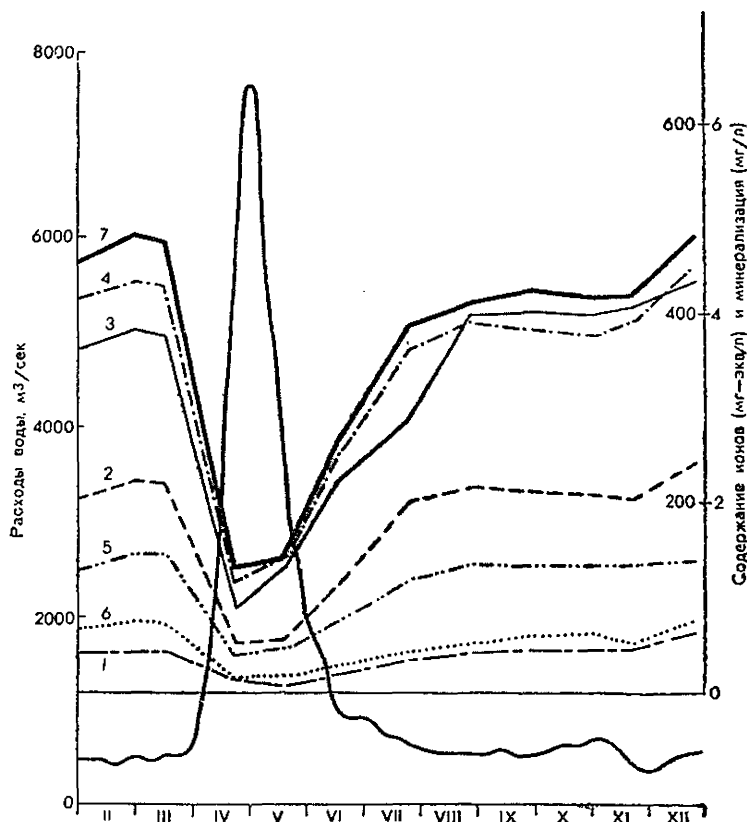


Рис. 7. Средневзвешенные содержания ионов и минерализация и средние ежедневные расходы воды р. Оки у д. Новинки за 1954—1961 гг.

1 — Cl^- , 2 — SO_4^{2-} , 3 — HCO_3^- , 4 — Ca^{2+} , 5 — Mg^{2+} , 6 — $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, 7 — Σ .

ские доломиты и гипсы). Увеличение минерализации происходит преимущественно за счет увеличения SO_4^{2-} и Ca^{2+} , что указывает на растворение гипса. Почвенный покров и климатические условия также влияют на формирование химического состава воды р. Оки: смена подзолисто-песчаных почв на севере серыми опод-

золенными почвами лесостепи, а затем тучными черноземами на юге увеличивает минерализацию грунтовых вод; уменьшение с севера на юг количества выпадающих осадков и увеличение интенсивности испарения тоже увеличивает минерализацию.

В весенний период большое количество талых вод, поступающих в р. Оку, сильно разбавляет грунтовые воды, вследствие чего происходит резкое понижение минерализации воды.

Несмотря на сильное увеличение содержания SO_4^{--} вниз по течению реки, все-таки преобладающим анионом является HCO_3^- — 27,1—33,7% экв. Содержание SO_4^{--} занимает второе место (14,3—19,3% экв.) при очень малом значении Cl^- (2,0—4,7% экв.). Среди катионов главное место принадлежит Ca^{++} , относительное содержание которого довольно постоянно в течение всего года (32,7—34,4% экв.). Содержание Mg^{++} (почти одинаковое во все сезоны года) 10,6—12,3% экв.; очень малая доля приходится на $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ (4,0—5,9% экв.).

Результаты химического анализа воды р. Оки у с. Новинки, полученные нами с 1954 по 1961 г. (соотношение ионов и общая минерализация) [156, табл. 9], такие же, как и по данным Гидрометслужбы, о которых говорилось выше.

Вода р. Оки в устьевой части относится к гидрокарбонатному классу, кальциевой группе, второму типу.

Содержание органических веществ в воде р. Оки меньше, чем это наблюдалось нами в вышеописанных притоках — Костроме, Немде и Унже. Это видно по величине цветности воды (10—60°), по перманганатной (6,0—12,9 мг О/л) и бихроматной (16,5—54,9 мг О/л) окисляемостям [156, табл. 9]. Интересно отметить, что наибольшая величина перманганатной окисляемости наблюдается в весенний период, что объясняется смывом в весенний паводок органических веществ с немногочисленных болот в бассейне р. Оки, которые соединяются с р. Окой только в половодье, и вымыванием гумуса из почвы талыми водами.

Величина рН воды р. Оки изменялась от 7,50 до 8,66. Насыщение воды р. Оки кислородом довольно высокое по сравнению с другими притоками (Костромой, Немдой, Унжой) и изменялось в пределах 80,3—113,8% при содержании CO_2 от 0,3 до 12,1 мг/л, причем большие содержания CO_2 наблюдались в весеннее половодье, а малые — в летнюю межень [156, табл. 9].

Суммарное содержание минерального азота (ΣN) в воде р. Оки довольно высокое и достигает 1,49 мг N/л, что намного превышает его содержание в рр. Костроме, Немде, Унже. Это следует объяснить загрязнением промышленными и бытовыми сбросами.

Содержание железа колеблется в пределах 0,08—0,84 мг Fe/л. Исключение составляет май 1956 г., когда было обнаружено 3,66 мг Fe/л, что можно считать случайным явлением, обусловленным каким-либо залповым сбросом сточных вод.

Содержание кремния колеблется в больших пределах — 0,5—6,7 мг Si/л.

6. Река Керженец

На р. Керженце наблюдается два паводка: главный — весенний паводок и небольшой — летний. Этим двум максимумам расходов соответствуют два минимума минерализации воды.

Вода р. Керженца относится к маломинерализованным водам и в зимнее время не превышает 110,3 мг/л. Во время весеннего половодья минерализация воды сильно падает и достигает 31,7 мг/л (апрель) (рис. 8). Такая низкая величина минерализации воды р. Керженца объясняется геологическим строением бассейна. Бассейн р. Керженца сложен главным образом континентальными пермскими отложениями (красными глинами и песками сарминской свиты).

По соотношению ионов в воде р. Керженца главное место принадлежит HCO_3' , содержание которого колеблется в пределах 29,1—42,2% экв. Содержание SO_4'' и Cl' очень небольшое (соответственно 5,0—9,5 и 2,3—4,5% экв.) за исключением паводкового периода, когда содержание SO_4'' достигает довольно больших значений (в апреле—мае 15,5—17,4% экв.). Такое повышение SO_4'' в паводковый период некоторые авторы [4] объясняют или смывом с болот сульфатов, которые иногда накапливаются в сфагномах в довольно значительных количествах, или поступлением с поверхности продуктов окисления, распространенных среди многих пород пиритов.

В катионном составе преобладает Ca'' , обычно составляющий 23,3—27,3% экв., затем Mg'' и $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, которые имеют почти одинаковые значения (соответственно 11,3—13,9 и 9,5—13,5% экв.).

По соотношению ионов вода р. Керженца может быть отнесена к гидрокарбонатному классу, кальциевой группе, первому типу, за исключением паводкового периода, когда она относится ко второму типу.

Данные по содержанию в воде р. Керженца отдельных ионов и общей минерализации воды в устьевой части реки, полученные нами в 1954—1961 гг., показывают, что как общая минерализация, так и относительное содержание некоторых ионов вниз по течению (от с. Хахалы к устью) увеличиваются [156, табл. 7]. В весенний паводок (май) общая минерализация в 1954—1961 гг. колебалась от 55,3 до 106,1 мг/л, а в летнюю межень — от 120,0 до 239,3 мг/л. В относительном составе произошли изменения: увеличилось значение SO_4'' за счет уменьшения HCO_3' и увеличилось значение Ca'' за счет $\text{Na}^+ + \text{K}^+$. Увеличение доли SO_4'' и Ca'' и повышение минерализации указывает на растворение гипса.

В воде р. Керженца содержится большое количество органических веществ, на что указывает цветность воды, достигающая иногда 162°, и перманганатная окисляемость — 7,3—24,1 мг О/л. Величина рН изменялась от 6,51 (весенний паводок) до 8,30 (летняя межень) [156, табл. 9].

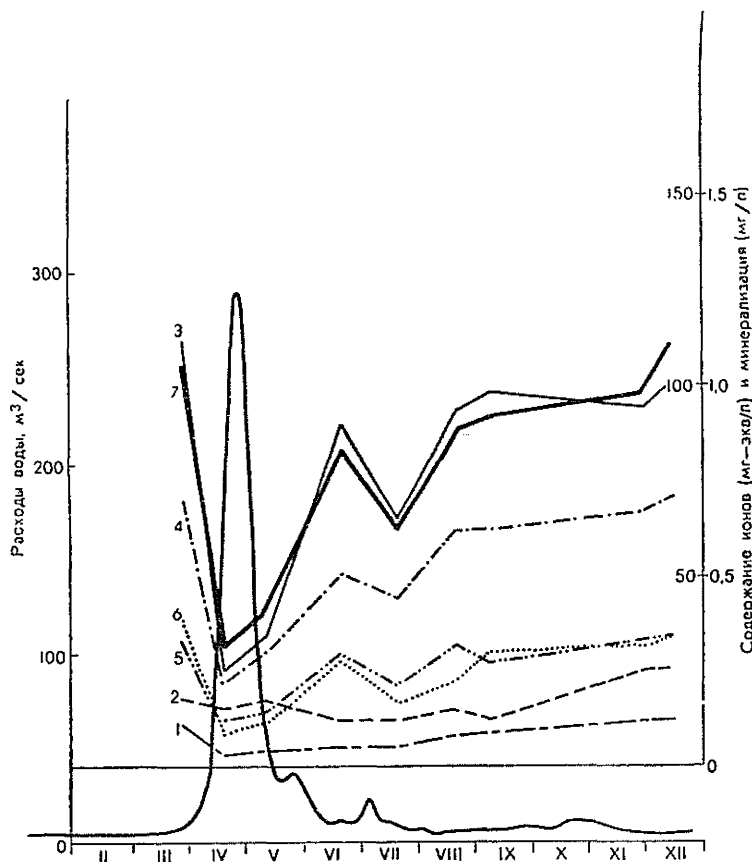


Рис. 8. Средневзвешенные содержания ионов и минерализация и средние ежедневные расходы воды р. Керженца у с. Хахалы за 1954—1959 гг.

1 — Cl^- , 2 — SO_4^{2-} , 3 — HCO_3^- , 4 — Ca^{2+} , 5 — Mg^{2+} , 6 — $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, 7 — $\Sigma_{\text{и}}$.

Содержание кислорода и насыщение им воды невысокое и изменялось от 70,8 до 97,1%, за исключением августа 1961 г., когда степень насыщения достигала 122,2%.

Содержание CO_2 изменялось от 1,8 до 17,2 мг/л [156, табл. 9].

Сумма минерального азота (ΣN) колебалась от 0,13 до 0,61 мг N/л, содержание фосфора — 0,003—0,023 мг P/л. Содержание железа в воде р. Керженца иногда достигало 1,00—1,80 мг Fe/л, что также связано с болотным питанием реки и большим содержанием в воде органических веществ. Содержание кремния изменялось от 1,0 до 6,6 мг Si/л [156, табл. 9].

7. Река Сура

На р. Сура наблюдается только один (весенний) паводок в апреле—мае. В остальное время года ежедневные расходы воды почти постоянные (70—80 м³/сек.). Основная масса воды (70%) проходит в паводок. Поэтому в течение года наблюдается только один минимум минерализации воды в паводок (рис. 9).

Минерализация воды р. Суры в зимнее время (январь—март) достигает довольно значительных величин (634,8 мг/л) [4, стр. 50] и в это время р. Суру можно отнести к рекам с повышенной минерализацией воды. В остальное время года вода имеет среднюю минерализацию — от 160,2 (в паводок) до 423,2 мг/л. Формированию воды с такой минерализацией способствует геологическое и почвенное строение верхнего и среднего течения реки (третичные отложения — палеоген). В верхнем течении породы состоят из песков, песчаников, опок и глин, залегающих на породах меловой системы. В среднем течении минерализацию еще несколько повышают аптские глины, глауконитовые пески, сидеритовые плитняки, кремнистые мергели и др. Кроме того, часть повышения минерализации воды необходимо отнести за счет выщелачивания черноземных почв.

Ионный состав воды р. Суры характеризуется преобладанием HCO_3^- (34,3—40,6% экв.). В воде р. Суры содержится довольно значительное количество сульфатов (8,0—14,8% экв.) при незначительной доле Cl^- (0,9—2,5% экв.).

В катионном составе преобладает Ca^{2+} , содержание которого колеблется от 32,3 до 38,0% экв. Содержание Mg^{2+} (9,5—10,4% экв.) несколько больше содержания $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ (2,1—7,5% экв.).

По относительному составу вода р. Суры относится к гидрокарбонатному классу, кальциевой группе, второму типу.

Результаты химического анализа воды р. Суры в ее устье, полученные нами, показывают, что минерализация воды к устью еще более повышается по сравнению с пунктом у д. Княжихи. Даже в паводковый период (конец мая) минерализация воды р. Суры достигает 224,3—376,6 мг/л, в летнюю межень — 517,2 мг/л [156, табл. 7]. Увеличению минерализации воды к устью реки способствуют р. Алатырь и р. Пьяна, которые дренируют в своем бассейне пермские морские отложения казанского яруса и выщелачивают большие количества гипса, в результате чего

развиты карстовые явления. Это объяснение подтверждается относительным составом воды. Доля $\text{SO}_4^{''}$ в относительном составе воды сильно возрастает (до 16,9—22,5% экв.) с соответ-

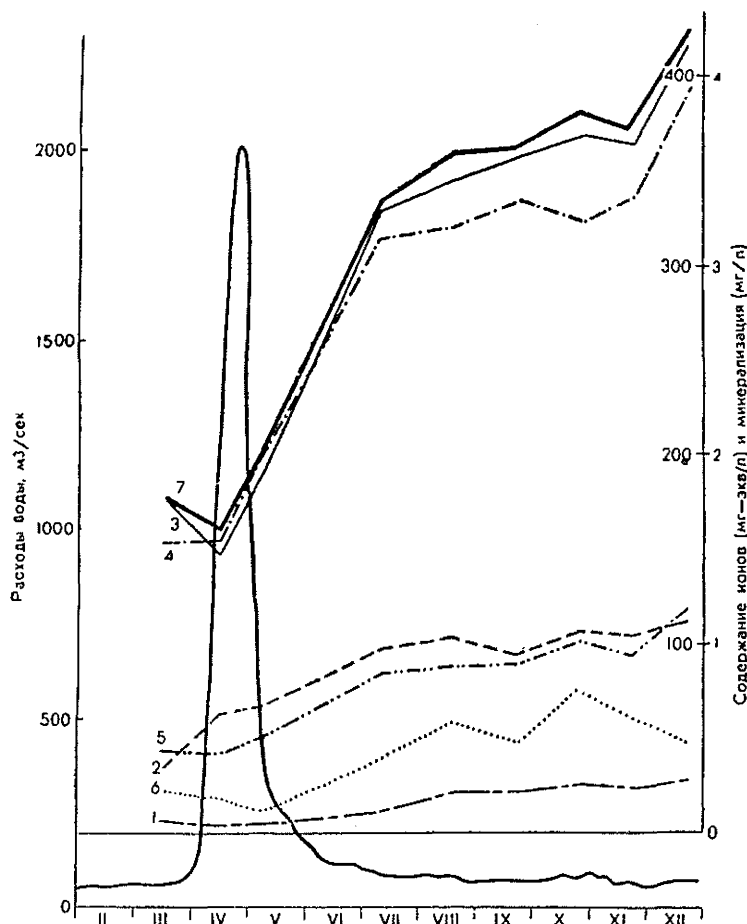


Рис. 9. Средневзвешенные содержания ионов и минерализация и средние ежедневные расходы воды р. Суры у д. Княжиха за 1954—1959 гг.

1 — Cl' , 2 — SO_4'' , 3 — HCO_3' , 4 — Ca^{++} , 5 — Mg^{++} , 6 — $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, 7 — $\Sigma\text{и}$.

ствующим уменьшением значения HCO_3' при почти неизменном содержании Cl' . В катионном составе изменений почти не происходит.

В воде р. Суры содержится очень мало органических веществ по сравнению с другими притоками р. Волги (Костромой,

Немдой, Керженцем), что отчетливо видно по цветности воды (9—40°), перманганатной (4,3—8,4 мг О/л) и бихроматной (11,9—39,1 мг О/л) [156, табл. 9].

Величина рН в весенний и летне-осенний периоды довольно высокая — 7,78—8,40.

Насыщение воды кислородом колеблется в больших пределах — от 57,8 до 104,6% при содержании CO_2 от 2,7 до 16,8 мг/л. Малое насыщение воды кислородом можно объяснить расходом растворенного кислорода на окисление взвешенных веществ, так как в устьевой части река несет их большое количество. Кроме того, в мутной воде менее интенсивно протекают процессы фотосинтеза, продуктом которых является кислород. Это подтверждается тем, что в воде р. Суры мало фитопланктона [280].

Содержание минерального азота (ΣN) не очень велико и колеблется в пределах 0,05—0,55 мг N/л. Содержание растворенного фосфора достигает больших величин — 0,095—0,098 мг P/л. Содержание железа очень мало — 0,04—0,32 мг Fe/л, а кремния очень велико — до 11,5 мг Si/л [156, табл. 9].

8. Река Ветлуга

На гидрографе видно, что на р. Ветлуге имеет место два паводка: весенний (вторая половина апреля — первая половина июня), обусловленный таянием снега, и осенний (вторая половина октября — конец ноября) за счет выпадающих дождей.

В соответствии с этим происходит и изменение минерализации: минимум минерализации наблюдается весной и осенью. Река Ветлуга относится к рекам с малой минерализацией воды, колеблющейся в течение года в пределах 48,0—217,7 мг/л (рис. 10). Такая малая минерализация воды р. Ветлуги объясняется геологическим и почвенным строением и климатическими условиями бассейна, которые похожи на физико-географические условия бассейна р. Керженца. Бассейн р. Ветлуги сложен в основном континентальными пермскими отложениями (красными глинами и песками сарминской свиты).

По соотношению ионов в воде р. Ветлуги преобладающее значение имеет HCO_3^- (38,9—45,3% экв.) при малом содержании SO_4^{2-} и Cl^- (соответственно 2,5—10,3 и 0,5—4,1% экв.). В паводковый период (апрель—май), так же как это наблюдалось и на р. Керженце, содержание SO_4^{2-} повышается до 8,9—10,3% экв., тогда как в остальное время года его доля составляет 2,5—5,3% экв. Такое явление может быть объяснено теми же условиями, которые были указаны для р. Керженца: накоплением сульфатов в сфагномах болот или окислением имеющихся на поверхности пород, содержащих пирит. Из катионов наибольшая доля приходится на Ca^{2+} (27,4—33,3% экв.), второе место

принадлежит Mg^{++} (9,9—13,9% экв.) и малое значение имеет $Na^+ + K^+$ (3,2—10,7% экв.).

Вода р. Ветлуги может быть отнесена к гидрокарбонатному классу, кальциевой группе, первому типу (кроме паводкового периода, когда она относится ко второму типу).

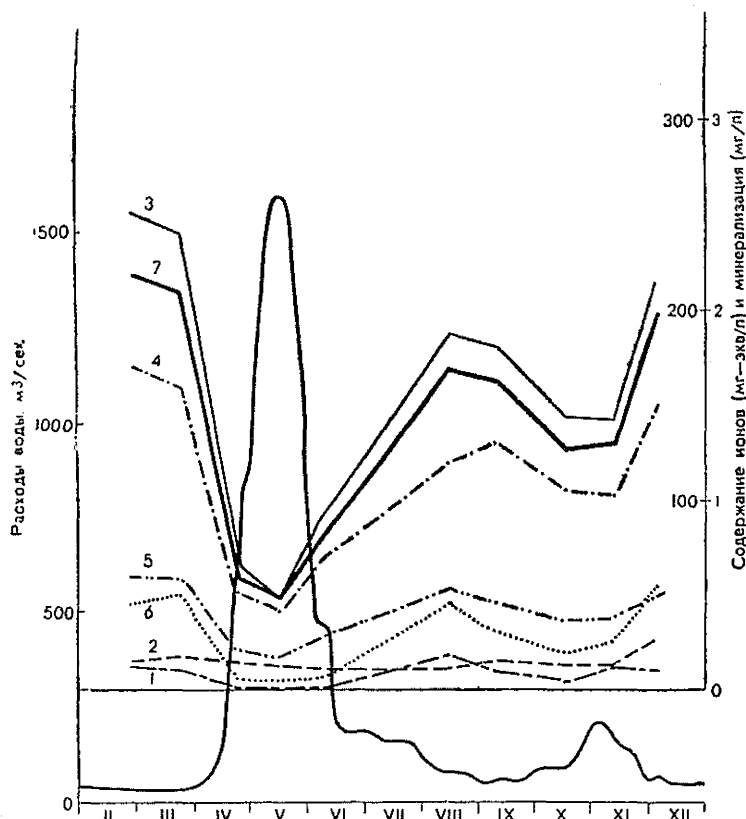


Рис. 10. Средневзвешенные содержания ионов и минерализация и средние ежедневные расходы воды р. Ветлуги у с. Дубники за 1954—1959 гг.

1 — Cl^- , 2 — SO_4^{--} , 3 — HCO_3^- , 4 — Ca^{++} , 5 — Mg^{++} , 6 — $Na^+ + K^+$, 7 — $\Sigma и$.

Минерализация воды в устьевой части реки [156, табл. 7] почти не отличается от минерализации воды у с. Дубники. В свободный ото льда период (май—октябрь) минерализация воды изменялась в пределах 47,9—185,0 мг/л. Почти без изменений остается и относительный состав. Увеличилась доля Mg^{++} (до 10,6—20,6% экв.) и уменьшилось относительное содержание Ca^{++} (до 20,1—30,7% экв.).

Вода р. Ветлуги содержит большое количество органических веществ, подтверждением чего является высокая цветность воды (18—102°) и большая величина перманганатной (7,8—19,3 мг О/л) и бихроматной (15,9—69,8 мг О/л) окисляемости [156, табл. 9].

Величина рН в весенний и летне-осенний периоды изменялась от 6,76 до 8,00. Наименьшая величина рН наблюдалась нами в весенний паводок, что объясняется смывом с болот вод, содержащих большие количества гуминовых кислот.

Насыщение воды кислородом имеет средние значения (70,4—107,7%) при довольно больших содержаниях CO_2 (2,4—14,4 мг CO_2 /л). Содержание минерального азота (ΣN) не очень велико и колебалось в пределах 0,07—0,39 мг N/л, что указывает на малое загрязнение воды р. Ветлуги. Содержание растворенных фосфатов в большинстве случаев было малым и изменялось от 0,003 до 0,046 мг P/л. Содержание железа в воде р. Ветлуги довольно значительно и достигало до 0,95—1,04 мг Fe/л, что также связано с болотным питанием реки. Содержание кремния колебалось в пределах 1,1—6,8 мг Si/л [156, табл. 9].

9. Река Большая Кокшага

На р. Б. Кокшаге наблюдается только один паводок — весенний, а отсюда и изменение минерализации имеет один минимум, наблюдающийся в конце апреля — начале мая. По величине минерализации р. Б. Кокшагу можно отнести к рекам с малой минерализацией воды, которая изменяется в течение года от 57,1 (апрель) до 252,1 мг/л (март) (рис. 11). Минерализация воды р. Б. Кокшага имеет несколько большую величину, нежели это наблюдается в рр. Ветлуге и Керженце. Это объясняется тем, что на участке р. Волги от г. Горького до г. Казани, чем дальше на восток, тем большая минерализация воды имеет место в левых притоках р. Волги. Здесь повышение минерализации воды р. Б. Кокшаги по сравнению с минерализацией рек Ветлуги и Керженца определяется возросшим влиянием подземных вод пермских морских отложений (известняки казанского яруса).

Основным анионом в воде р. Б. Кокшаги является HCO_3' , содержание которого колеблется от 38,7 до 44,8% экв., второе место по относительному содержанию принадлежит SO_4'' (3,7—10,0% экв.) и очень малая доля приходится на Cl' (0,6—1,7% экв.).

Из катионов главное значение принадлежит Ca'' (29,7—31,1% экв.). Следующим по величине является Mg'' (12,7—14,3% экв.) и последнее место по относительному содержанию принадлежит $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ (4,9—6,7% экв.).

Увеличение относительного содержания Ca'' и SO_4'' в воде р. Б. Кокшаги по сравнению с рр. Ветлугой и Керженцем объяс-

няется увеличением влияния грунтовых вод, проходящих по породам пермских морских отложений, в которых имеется гипс.

По относительному содержанию отдельных ионов вода р. Б. Кокшаги может быть отнесена к гидрокарбонатному классу, кальциевой группе, первому типу во все сезоны, кроме весеннего (паводок), когда эта вода относится ко второму типу.

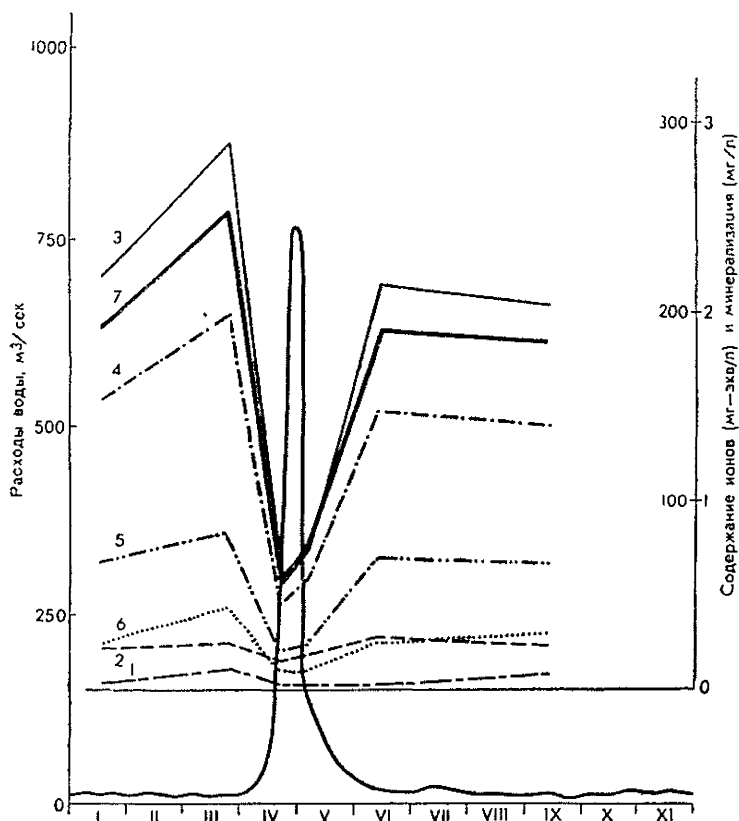


Рис. 11. Средневзвешенные содержания ионов и минерализация и средние ежедневные расходы воды р. Б. Кокшаги у с. Гришкино за 1954—1959 гг.

1 — Cl^- , 2 — SO_4^{2-} , 3 — HCO_3^- , 4 — Ca^{2+} , 5 — Mg^{2+} , 6 — $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, 7 — Σ_n .

Величина минерализации и относительный состав воды р. Б. Кокшаги у устья по нашим наблюдениям в 1954—1961 гг. [156, табл. 7] и у с. Гришкино почти не отличаются между собой, т. е. на таком коротком участке реки (52 км) не происходит существенных изменений в химическом составе воды.

Вода р. Б. Кокшаги содержит очень большое количество органических веществ, благодаря чему вода сильно окрашена. Цветность воды очень большая и изменялась от 15 до 116°. Перманганатная окисляемость очень велика и составляла 6,8—23,4 мг О/л, а бихроматная — 54,8 мг О/л (одно определение 11/IX 1955 г., когда цветность воды была равна 36° и перманганатная окисляемость — 6,9 мг О/л) [156, табл. 9].

Величина рН в наблюдаемый период изменялась от 7,14 до 8,00. Насыщение воды кислородом колебалось в широких пределах: от 65,3 до 98,4%, причем наименьшие величины насыщения наблюдались в весенний паводок, наибольшие — в летне-осенний период. Содержание CO_2 иногда достигало больших величин — 4,3—15,9 мг/л [156, табл. 9].

Содержание общего минерального азота (ΣN) очень мало — 0,09—0,33 мг N/л, что указывает на малое загрязнение реки сбросом сточных вод.

Содержание железа, как ни в какой другой реке, изучавшейся нами, очень велико и изменялось от 0,14 до 1,92 мг Fe/л. Наибольшие величины (1,09, 1,75 и 1,92 мг Fe/л) наблюдались в весенний паводок, когда и содержание органических веществ было также наибольшим. Содержание кремния изменялось в пределах 2,2—6,7 мг Si/л [156, табл. 9].

10. Река Свияга

В гидрографе р. Свияги наблюдается только один, весенний, паводок, во время которого в течение одного апреля происходит резкое увеличение и уменьшение расходов воды. В этот период наблюдается и минимум минерализации воды (251,3 мг/л). Максимальная минерализация воды р. Свияги наблюдается в осенне-зимний период (674,0—630,0 мг/л) (рис. 12). По величине минерализации р. Свиягу нужно отнести к рекам с повышенной минерализацией воды в течение почти круглого года, за исключением апреля, когда минерализация снижается до 250,0 мг/л. Такая высокая минерализация воды р. Свияги объясняется наличием в бассейне пород пермских отложений (татарский и казанский ярусы), залегающих непосредственно под четвертичными, которые сильно минерализуют воду при ее прохождении через них. Кроме того, распространение в бассейне р. Свияги серых и бурых почв лесостепи, которые содержат большое количество органических веществ, увеличивает содержание угольной кислоты в почвенных и грунтовых водах.

Наибольшая доля среди анионов приходится на HCO_3' (24,3—34,9% экв.), второе место (в некоторые периоды года почти достигает значений HCO_3') принадлежит SO_4'' (9,8—22,0% экв.) при незначительном содержании Cl' (2,6—5,3% экв.). Среди катионов главенствующее значение принадлежит Ca'' (32,3—

36,3% экв.), затем идут Mg^{++} (4,1—13,1% экв.) и $Na^+ + K^+$ (3,8—10,1% экв.). Большие содержания Ca^{++} , SO_4^{--} и HCO_3^- объясняются растворением гипсов и известняков, имеющих в бассейне р. Свияги.

Результаты химического анализа воды р. Свияги в ее устьевой части, полученные нами в период наблюдений 1954—1961 гг., показывают, что минерализация воды в летне-осенний период

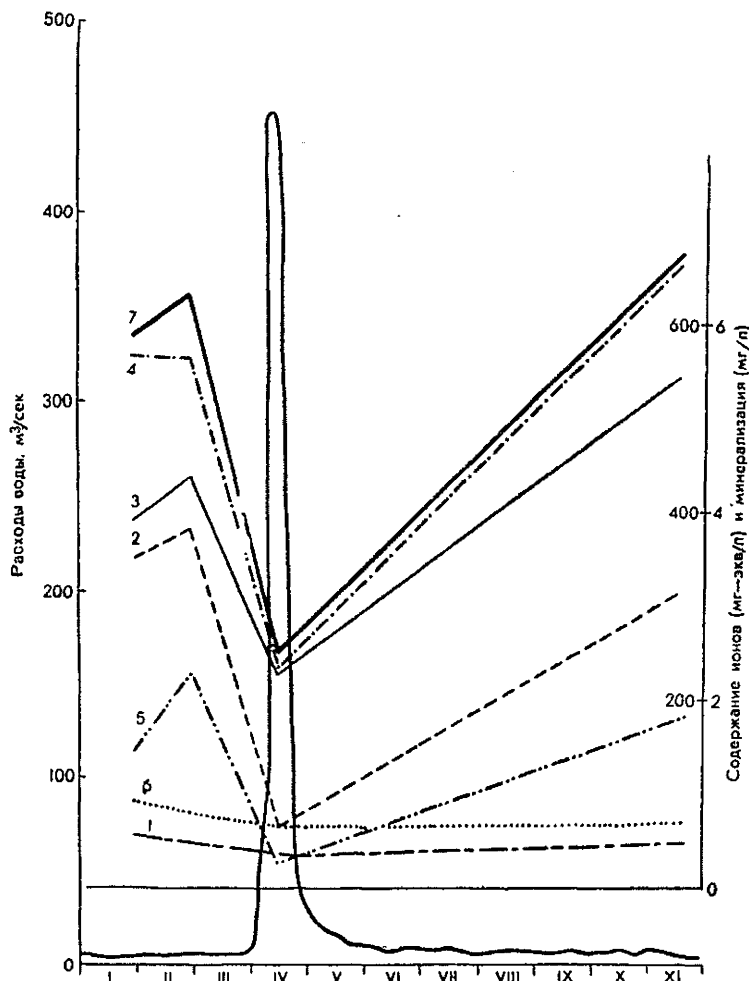


Рис. 12. Средневзвешенные содержания ионов и минерализация и средние ежедневные расходы воды р. Свияги у с. Ивашевка за 1954—1960 гг.

1 — Cl^- , 2 — SO_4^{--} , 3 — HCO_3^- , 4 — Ca^{++} , 5 — Mg^{++} , 6 — $Na^+ + K^+$, 7 — $\Sigma и$.

еще более возрастает от среднего течения реки к ее устью. Она иногда достигает 937,2 мг/л (12/IX 1955 г.) [156, табл. 7]. В то же время и относительный состав воды также сильно изменяется: значения Ca^{++} и HCO_3^- уменьшаются, а SO_4^{--} и Mg^{++} возрастают. Доля SO_4^{--} иногда возрастает до 28,6% экв., превосходя значение HCO_3^- . Такое изменение относительного состава связано с увеличением общей минерализации воды, которое происходит за счет растворения гипса и доломитизированных известняков.

Вода р. Свияги как в среднем течении, так и в устьевой части относится к гидрокарбонатному классу, кальциевой группе, второму типу. Иногда вода р. Свияги относится к сульфатному классу, кальциевой группе, второму типу (12/IX 1955 г.).

Содержание органических веществ в воде р. Свияги не очень большое, на что указывают небольшие значения цветности (8—58°) и перманганатной окисляемости (4,7—10,8 мгО/л) [156, табл. 9].

Величина рН воды р. Свияги очень высокая, колеблется в пределах 8,00—8,74. Только один раз (в августе 1959 г.) нами наблюдалось снижение рН ниже 8,00.

Насыщение воды кислородом также очень высокое, достигающее иногда 179,2%. Но, несмотря на высокое содержание кислорода, нами наблюдались и большие содержания CO_2 , достигающие до 26,5 мг CO_2 /л, при одновременном насыщении воды кислородом 80,6% [156, табл. 9].

Величина суммы минерального азота (ΣN) в воде р. Свияги несколько выше, чем это наблюдалось нами в других малых притоках, и колебалось в пределах 0,03—0,49 мг N/л. Малые содержания минерального азота следует отнести за счет потребления его фитопланктоном.

Содержание железа в воде р. Свияги очень мало и колебалось от 0,00 до 0,22 мг Fe/л. Содержание кремния имеет большую амплитуду колебания — от 0,5 до 7,0 мг Si/л [156, табл. 9].

11. Река Кама

На гидрографе р. Камы видно, что на реке проходят два паводка: весенний и осенний. В результате этого минерализация и содержание отдельных ионов имеют два минимума: весной (май) и осенью (ноябрь).

Минерализация воды р. Камы в зависимости от сезона года изменяется от 183,7 до 445,0 мг/л (рис. 13), и р. Кама может быть отнесена к рекам со средней минерализацией, но в зимний период некоторых лет наблюдается повышенная минерализация, более 600 мг/л (10 и 24/III 1954 г.).

В бассейне р. Камы встречаются породы очень многих систем. Но главное влияние на формирование химического состава

воды оказывают часто встречающиеся пермские отложения осадков древнего пермского моря в виде растворимых солей, таких как поваренная соль, гипс, ангидрит, образующих в некоторых местах мощные залежи.

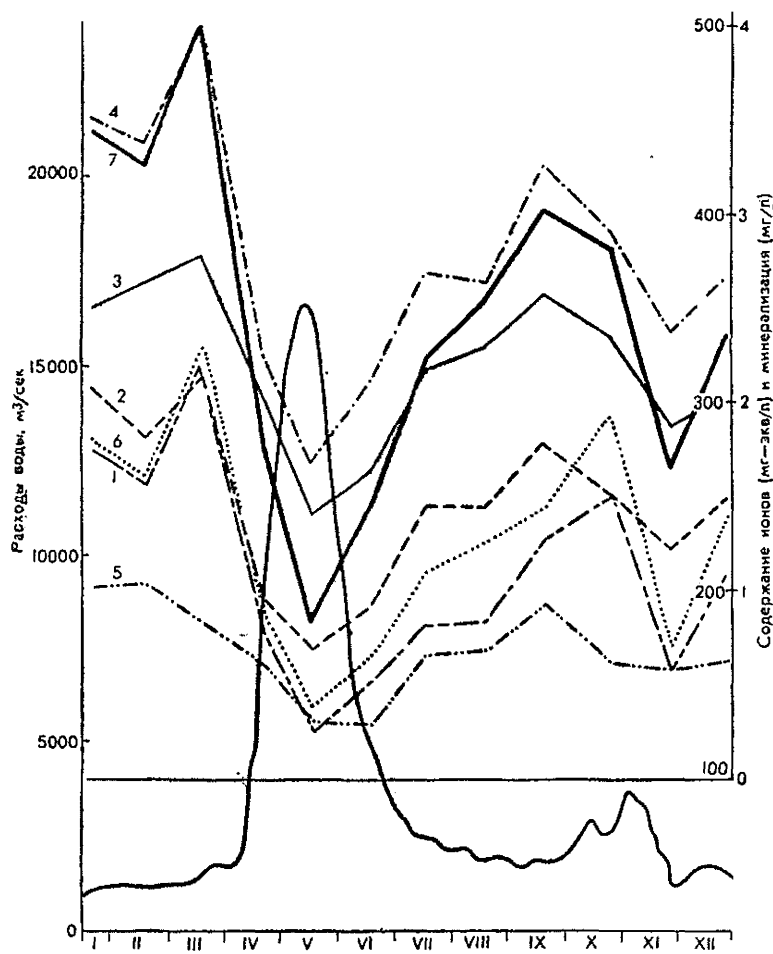


Рис. 13. Средневзвешенные содержания ионов и минерализация и средние ежедневные расходы воды р. Камы у г. Чистополя за 1954—1960 гг.

1— Cl^- , 2— SO_4^{2-} , 3— HCO_3^- , 4— Ca^{2+} , 5— Mg^{2+} , 6— $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, 7— $\Sigma_{\text{и}}$.

Изменение почвенного покрова также способствует увеличению минерализации воды с севера на юг. Имеющиеся на севере бассейна подзолистые и песчаные почвы с многочисленными

массивами болот создают низкую минерализацию воды р. Камы. К югу подзолистые почвы сменяются серыми и темно-серыми оподзоленными почвами, переходящими в деградированные и тучные (на юге) черноземы. Черноземы увеличивают содержание двуокси углерода в почвенных и грунтовых водах, что способствует растворению известняков, которые увеличивают минерализацию воды.

Величина выпадающих осадков также уменьшается с севера на юг, что способствует созданию меньшей минерализации на севере и востоке с последующим увеличением ее к югу и западу.

Относительный химический состав воды р. Камы в нижнем течении характеризуется двумя особенностями по сравнению с другими притоками р. Волги:

1) содержание HCO_3' во все сезоны года не намного превышает содержание других анионов SO_4'' и Cl' , а иногда (март) их содержание почти одинаково;

2) среди катионов второе место занимают $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, содержание которых колеблется от 8,4 до 17,1% экв., таким образом, содержание $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ иногда превышает содержание Mg'' в 2—3 раза.

Среди анионов первое место принадлежит HCO_3' (19,5—29,6% экв.), второе — SO_4'' (12,8—16,6% экв.) и последнее место занимает Cl' , но его содержания очень большие (7,9—15,4% экв.).

Из катионов преобладающее значение имеет Ca^{++} , содержание которого составляет больше половины всех катионов (27,1—35,4 экв.), второе значение имеет $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ (8,4—17,1% экв.) и сравнительно небольшое значение принадлежит Mg'' (4,8—8,6% экв.).

Большое содержание хлоридов и щелочных металлов в воде р. Камы вызвано интенсивными промышленными разработками калийных солей в районе Соликамска.

По соотношению ионов вода р. Камы относится к гидрокарбонатному классу, кальциевой группе, второму и третьему типам.

Результаты химического анализа воды р. Камы у ее устья, полученные нами в 1954—1961 гг., показывают, что минерализация воды колебалась в тех же пределах, что и по данным Гидрометслужбы: от 113,2 (в весенний паводок) до 410,5 мг/л (зимой) [156, табл. 7]. В зимний период 1957 г. относительное содержание хлоридов превышало содержание сульфатов и занимало второе место после HCO_3' . В остальном относительный состав такой же, как и по данным Гидрометслужбы.

Величина рН воды р. Камы изменялась в пределах от 6,94 (февраль 1957 г.) до 8,44 (сентябрь 1954 г.) [156, табл. 9]. Содержание органических веществ в воде р. Камы довольно высокое, но меньше, чем в воде р. Волги в верхнем и среднем течении. На это указывает цветность воды р. Камы, которая изменялась от 40 до 84° до сооружения Куйбышевского водохранилища и от

15 до 39° — после его создания, и величины перманганатной (7,0—15,6 мг О/л) и бихроматной окисляемости (14,7—44,9 мг О/л) [156, табл. 9].

Насыщение воды кислородом невелико, особенно в зимний подледный период, когда оно достигало лишь 37,8% при больших содержаниях в это время двуокиси углерода (до 27,2 мг СО₂/л) [156, табл. 9].

Содержание минерального азота в воде р. Камы достигает довольно больших величин, особенно в зимнее время, когда сток воды наименьший — 0,09—0,79 мг N/л. Наименьшие величины минерального азота наблюдались нами в летний период, т. е. при максимальной жизнедеятельности фитопланктона, потребляющего соединения азота, наибольшие — в зимний подледный период, когда загрязнения, сбрасываемые в р. Каму, оказывают наибольшее влияние вследствие малого жидкого стока и почти полного отсутствия жизнедеятельности фитопланктона.

Содержание железа в весенне-летний период довольно велико и изменяется в пределах 0,08—1,00 мг Fe/л, но еще большее содержание железа в воде р. Камы наблюдается в зимний период, когда оно изменяется от 0,56 до 1,41 мг Fe/л, что объясняется увеличением доли грунтового питания в зимний период.

Содержание кремния изменяется от 1,4 до 6,7 мг Si/л.

12. Река Сок

Минерализация воды р. Сок высокая и в течение года изменяется в пределах от 513,4 (в апреле) до 1656,0 мг/л (в январе) (рис. 14). Река Сок питается в течение всего года (кроме весеннего паводка — апрель—май) исключительно подземными водами, имеющими высокую минерализацию за счет растворения солей пермских отложений казанского яруса. В весенний паводок минерализация воды резко падает за счет разбавления подземных вод талыми водами.

По величине минерализации вода р. Сок относится к высокоминерализованным водам.

Из анионов основная доля приходится на SO₄^{''}, содержание которого изменяется от 25,5 (паводок) до 33,2% экв. (зимняя межень), второе место принадлежит HCO₃['] (12,2—21,3% экв.) и незначительная доля приходится на Cl['] (2,6—5,3% экв.).

Среди катионов главное значение принадлежит Ca^{''} (30,6—34,3% экв.), а Mg^{''} и Na⁺+K⁺ занимают примерно равное положение, с небольшим превышением Mg^{''} (соответственно 7,2—14,2 и 3,4—9,4% экв.).

Вода р. Сок относится к сульфатному классу, кальциевой группе, второму типу.

Данные по химическому составу воды р. Сок в ее устье, полученные нами в период наших наблюдений в 1954—1961 гг.,

позволили установить, что величина минерализации воды р. Сок в ее устье в летнее время примерно такая же, как у ст. Сургут [156, табл. 11]. Изменения происходят только в весенний паводок, когда минерализация воды у устья понижается до 154,8—

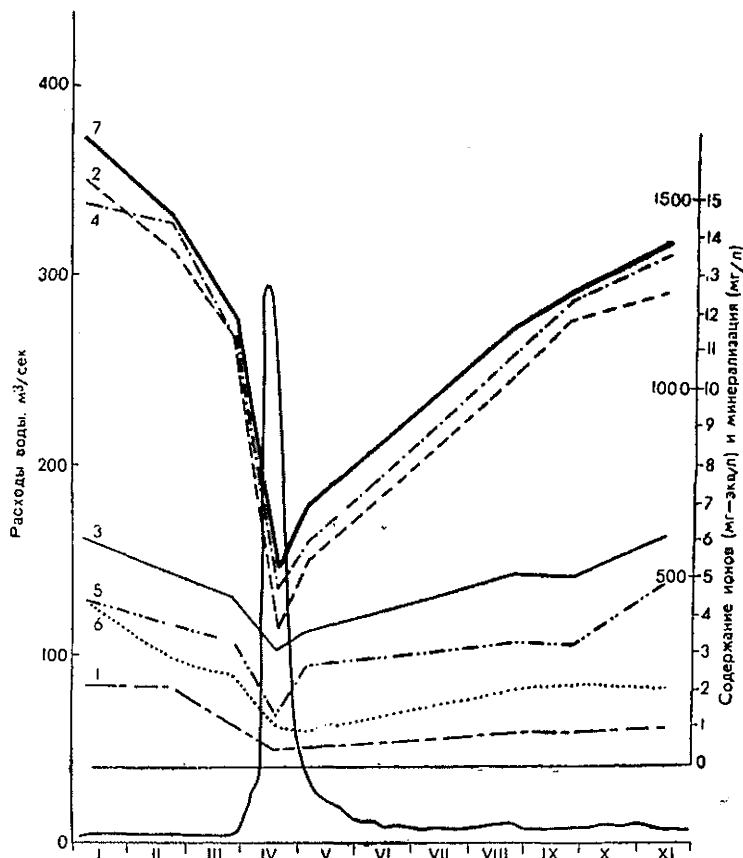


Рис. 14. Средневзвешенные содержания ионов и минерализация и средние ежедневные расходы воды р. Сок у ст. Сургут за 1954—1960 гг.

1 — Cl^- , 2 — SO_4^{2-} , 3 — HCO_3^- , 4 — Ca^{2+} , 5 — Mg^{2+} , 6 — $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, 7 — $\Sigma\text{и}$.

205,8 мг/л, что объясняется большим разбавляющим влиянием талых вод. Кроме того, в весенний период часто основную долю среди анионов составляет HCO_3^- , в остальные периоды — сульфаты, как это наблюдается у ст. Сургут. Среди катионов Ca^{2+} занимает главенствующее положение. Второе место, более четко, чем это наблюдалось у ст. Сургут, принадлежит Mg^{2+} , а затем $\text{Na}^+ + \text{K}^+$.

Величина рН воды р. Сок изменялась в пределах 7,70—8,17. Содержание органических веществ в воде р. Сок невелико, что показывает малая величина цветности воды (5—39°) и перманганатной окисляемости (3,7—7,9 мг О/л) [156, табл. 13].

Насыщение воды кислородом большей частью высокое, достигающее 130,0%, что объясняется большой интенсивностью жизнедеятельности фитопланктона почти во всей толще воды, так как вода в р. Сок очень прозрачна (до 225 см). Содержание двуокиси углерода колеблется в больших пределах — 1,3—20,0 мг CO_2 /л.

Содержание минерального азота (ΣN) в воде р. Сок изменяется в больших пределах — от 0,03 до 0,83 мг N/л, что объясняется подземным питанием и степенью разбавления воды талыми и дождевыми водами.

Содержание железа мало, несмотря на превалирующую роль подземного питания, и изменяется в пределах 0,00—0,24 мг Fe/л. Содержание кремния 2,1—9,0 мг Si/л [156, табл. 13].

13. Река Самара

Минерализация воды р. Самары является повышенной и в течение 1954—1960 гг. изменялась от 213,6 мг/л (апрель — паводок) до 787,9 мг/л (декабрь — зимняя межень) (рис. 15).

Бассейн правых притоков р. Самары (рр. Большой и Малый Кинель) характеризуется распространением пермских отложений, как это было указано для р. Сок (эти бассейны граничат между собой), что обуславливает превышение в химическом составе их воды SO_4^{--} над HCO_3^- . Бассейн левых притоков (рр. Бузулук, Съезжая) сложен юрскими отложениями (окрашенные пески, песчаники, глины), а пермские отложения в этом районе уходят вглубь под третичные и четвертичные отложения. В связи с этим вода этих притоков имеет меньшую минерализацию.

В относительном составе среди анионов главное значение имеет HCO_3^- (28,8—38,9% экв.), затем большая доля принадлежит SO_4^{--} (8,6—17,5% экв.) и небольшую часть составляет Cl^- (2,5—4,8% экв.). Наибольшие значения SO_4^{--} приобретают в зимний период, наименьшие — в весенний паводок, т. е. тогда, когда происходит сильное разбавление подземных вод талыми водами.

Из катионов главное место занимает Ca^{++} , содержание которого изменяется от 22,6 до 31,7% экв. Содержание же Mg^{++} и $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ по своему значению меняются местами: то Mg^{++} превышает $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, то, наоборот, $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ превышает Mg^{++} . Закономерности в таком изменении содержаний Mg^{++} и $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ подметить не удалось.

Вода р. Самары у с. Елшанка относится к гидрокарбонатному классу, кальциевой группе, второму типу.

Результаты химического анализа воды р. Самары, отобранной

в ее устье в 1954—1961 гг., показали, что величина минерализации воды в устьевой части р. Самары и у с. Елшанка почти одинаковы в одни и те же периоды. В относительном составе доля $\text{SO}_4^{''}$ несколько возрастает к устью (до 13,0—23,5% экв.),

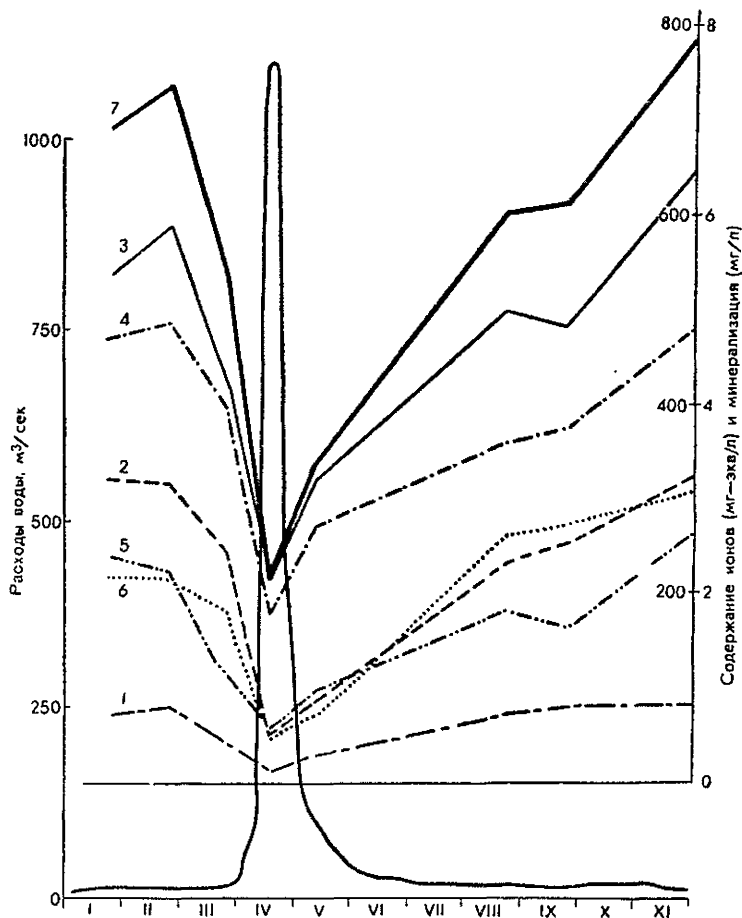


Рис. 15. Средневзвешенные содержания ионов и минерализация и средние ежедневные расходы воды р. Самары у с. Елшанка за 1954—1960 гг.

1 — Cl^- , 2 — $\text{SO}_4^{''}$, 3 — HCO_3' , 4 — Ca^{++} , 5 — Mg^{++} , 6 — $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, 7 — $\Sigma\text{и}$.

но остается ниже значения HCO_3' и увеличивается доля Mg^{++} (до 7,8—16,8% экв.) [156, табл. 11].

Величина pH воды изменялась от 7,84 до 8,42. Содержание органических веществ в воде р. Самары невелико, что обуслов-

ливаает низкую цветность воды (7—30°) и небольшую перманганатную окисляемость (3,4—8,4 мг О/л) [156, табл. 13].

Насыщение воды кислородом в различные периоды года различно и колеблется от 71,9 до 113,1% при содержании CO_2 от 0,0 до 16,8 мг/л. Закономерности в изменении насыщения воды кислородом не обнаружено.

Содержание минерального азота колеблется в больших пределах (0,05—1,14 мг N/л), что связано с загрязняющим действием г. Куйбышева. Содержание железа невелико и не превышает 0,20—0,30 мг Fe/л, а содержание кремния изменяется сильно — от 1,2 до 8,6 мг Si/л [156, табл. 13].

14. Река Большой Иргиз

Минерализация воды р. Б. Иргиз в течение года изменяется от 250,0 до 557,3 мг/л (рис. 16). Но в зимние месяцы эта минерализация, по-видимому, еще выше, на что указывают данные, приведенные О. А. Алекиным [4, стр. 79]. Она иногда достигает 1879,9 мг/л. Высокая минерализация воды р. Б. Иргиз объясняется растворением солей, имеющихся в породах, слагающих бассейн (татарский и казанский ярусы пермской системы). Кроме того, формирование ионного состава воды притоков р. Б. Иргиз протекает в засушливых условиях Заволжья, на территории которого развиты осолоделые почвы с многочисленными выцветами солей при весьма высокой минерализации грунтовых вод. В меженный период р. Б. Иргиз и ее притоки настолько уменьшают свой расход, что в некоторых местах пересыхают и вследствие испарения воды сильно минерализуются.

Относительный химический состав воды р. Б. Иргиз в течение года сильно меняется, переходя из одного класса в другой. В весенний период (паводок) преобладающим анионом является HCO_3' (29,9% экв.), содержание же Cl' и SO_4'' имеют примерно равные значения. В меженный период резко возрастает содержание Cl' (до 28,9% экв.) при сильном уменьшении HCO_3' (до 14,2% экв.) и малом содержании сульфатов.

Из катионов большую часть года превалирующее значение имеет Ca'' (15,0—20,1% экв.). В октябре (данных за зимние месяцы мы не имеем) содержание $\text{Na}'+\text{K}'$ превышает содержание Ca'' (соответственно 22,5 и 17,4% экв.). Наименьшее значение имеет Mg'' , относительное содержание которого в течение года мало меняется (6,9—10,1% экв.).

Вода р. Б. Иргиз в паводочный период относится к гидрокарбонатному классу, кальциевой группе, второму и третьему типам, в меженный период (особенно зимой) она относится к хлоридному классу, натриевой группе, третьему типу.

Результаты химического анализа воды р. Б. Иргиз в ее устье, полученные нами в течение 1954—1961 гг., показывают, что

минерализация воды р. Б. Иргиз от г. Пугачева к устью увеличивается, особенно в августе—сентябре [156, табл. 11].

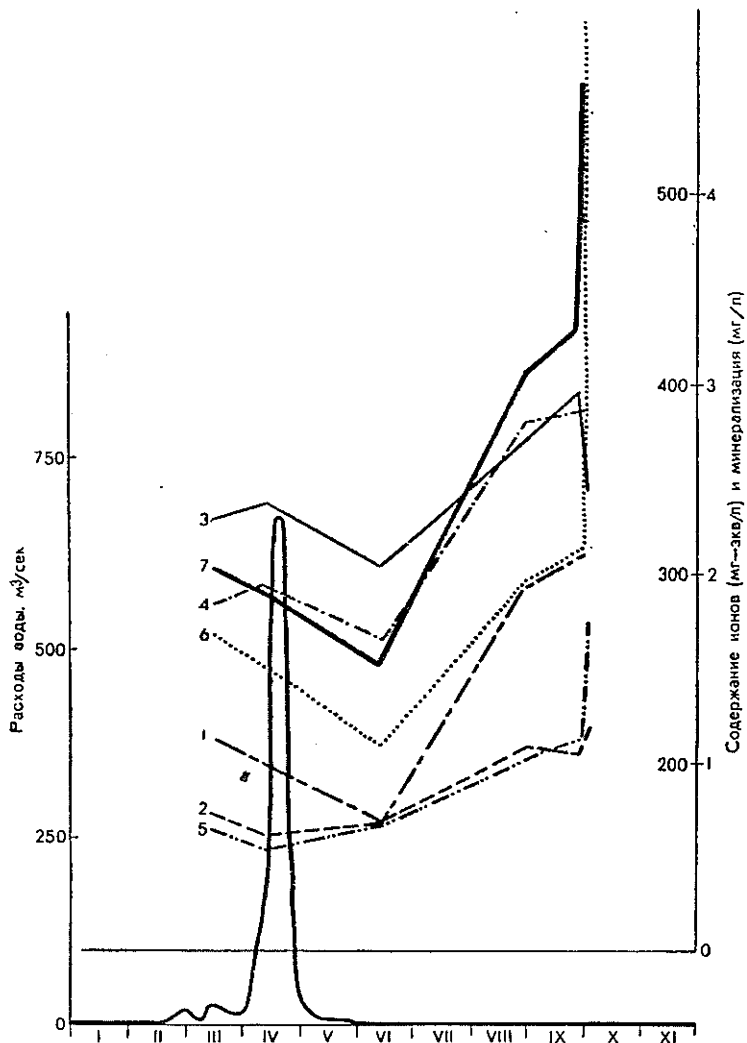


Рис. 16. Средневзвешенные содержания ионов и минерализация и средние ежедневные расходы воды р. Б. Иргиз у г. Пугачева за 1956—1960 гг.

1 — Ca^{2+} , 2 — SO_4^{2-} , 3 — HCO_3^- , 4 — Ca^{2+} , 5 — Mg^{2+} , 6 — $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, 7 — $\Sigma \text{и}$.

Величина рН изменялась от 7,60 до 8,62. Содержание органических веществ имеет средние величины, что видно по цветности

воды (11—63°) и перманганатной окисляемости (3,8—10,0 мг О/л) [156, табл. 13].

Насыщение воды кислородом колеблется в больших пределах — от 58,9 до 142,2% при небольших содержаниях двуокси углерода (0,0—10,0 мг СО₂/л).

Содержание минерального азота в воде р. Б. Иргиз в весенний паводок достигает довольно значительных величин (0,34—0,77 мг N/л), что может быть объяснено смывом с поверхности почв органических веществ, которые минерализуются до образования минерального азота.

Содержание железа изменяется в больших пределах — от 0,00 до 0,83 мг Fe/л. Содержание кремния невелико — 1,5—3,9 мг Si/л [156, табл. 13].

Глава V

ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ р. ВОЛГИ ДО ЗАРЕГУЛИРОВАНИЯ

А. ПЕРИОД ОТКРЫТОГО РУСЛА

1. Главнейшие ионы

Величины водности р. Волги в 1954 и 1955 гг. резко отличны. 1954 г. характеризуется как маловодный год, а 1955 г. — как многоводный. Данные расходов р. Волги в различных пунктах в 1954 и 1955 гг. и для сравнения средние многолетние для этих же пунктов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Расходы воды р. Волги в различных пунктах в 1954 и 1955 гг.
и средние многолетние расходы

Пункт	Площадь водосбора, м ²	1954 г.		1955 г.		Средний многолетний	
		м ³ /сек.	км ³ /год	м ³ /сек.	км ³ /год	м ³ /сек.	км ³ /год
г. Ярославль . . .	154 000	1120	35,3	—	—	1110	35,0
г. Горький . . .	479 000	2700	85,1	3890	122,7	2970	93,5
с. Вязовые . . .	628 600	3290	103,7	4700	148,2	3780	119,7
г. Тетюши . . .	1 170 000	6350 ¹	200,2	8420 ¹	267,3	7580	239,0
пос. Поляна им. Фрунзе . . .	1 210 000	6220	196,1	8340	264,8	7600	239,7
г. Дубовка . . .	1 350 000	6900	217,6	9760	307,9	8220	259,2

¹ Данные по расходу р. Волги у г. Тетюши, по-видимому, завышены, так как не согласуются с остальными расходами.

а) Общая минерализация. Химический состав воды р. Волги, так же как и всякой другой большой реки, формируется главным образом под влиянием ее притоков. Влияние же подземных вод, поступающих непосредственно в русло р. Волги, на химический

состав воды реки незначительно, как это будет показано ниже (см. главу VI, стр. 98 и главу VII, стр. 122), вследствие того, что поступление этих вод ничтожно мало по сравнению с количеством воды, поступающей с притоков.

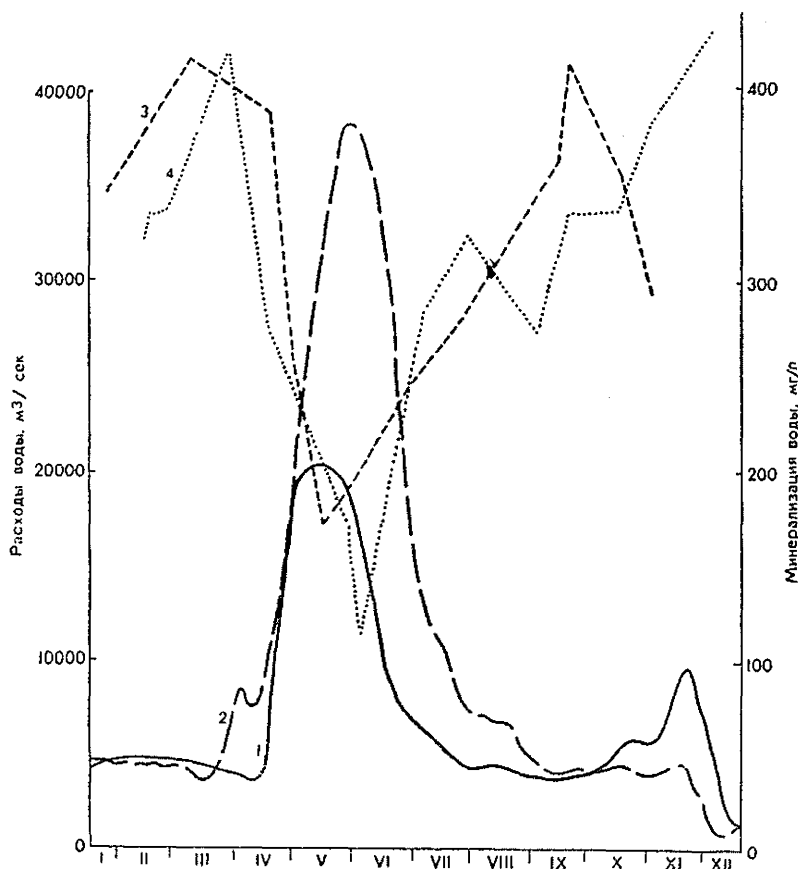


Рис. 17. Изменения минерализации и расходов воды р. Волги у г. Волгограда в 1954—1955 гг.

1 — расходы воды за 1954 г., 2 — расходы воды за 1955 г., 3 — минерализация воды за 1954 г., 4 — минерализация воды за 1955 г.

Основными факторами, определяющими химический состав воды р. Волги и ее притоков, являются климатические, почвенные, литологические и гидрогеологические условия их бассейнов.

Изменения минерализации воды р. Волги находятся в обратной зависимости от величины расходов воды: с увеличением расходов воды (паводок) уменьшается величина общей минерализации, а со спадом паводка и переходом на летнюю и зимнюю

межень она возрастает. Поэтому эти изменения зависят как от сезона года, так и от водности. Эта зависимость наглядно показана на рис. 17, построенном по данным Гидрометслужбы, и в ранее опубликованной статье [143].

Изменения минерализации воды р. Волги в весенний период (во время паводка) в 1954 г. отличаются от изменений ее в 1955 г. за тот же период, как по величине, так и по характеру (рис. 18

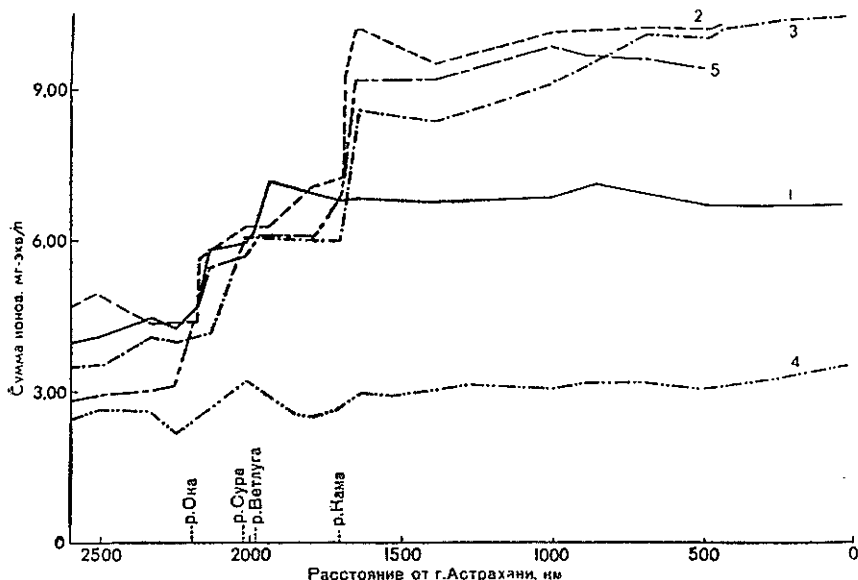


Рис. 18. Изменения минерализации воды р. Волги по длине реки и по сезонам в 1954—1955 гг.

1 — июнь 1954 г.; 2 — сентябрь 1954 г.; 3 — октябрь 1954 г.; 4 — май 1955 г.; 5 — сентябрь 1955 г.

и [143, табл. 2]). Изменения минерализации воды на участке Ярославль—Горький в обоих случаях незначительны по сравнению с изменением ее на других участках р. Волги (154,3—163,0 мг/л в 1954 г. и 95,7—83,8 мг/л в 1955 г.). Наибольшая разница в изменении минерализации за эти годы в весенний период выявляется на территории Средней Волги. В 1954 г. минерализация воды после впадения рек Оки и Суры резко возрастает с 163,0 мг/л (перед г. Горьким) до 253,5 мг/л (у с. Камское Устье), тогда как в 1955 г. минерализация воды на всем протяжении Волги от г. Ярославля до г. Астрахани изменялась незначительно и колебалась в пределах от 95,7 до 129,9 мг/л. Эта разница в изменении минерализации воды в весенний период двух годов объясняется тем, что 1954 г. был маловодным годом, что обуславливает более высокую минерализацию воды рек Оки,

Суры и других притоков и поэтому большее увеличение минерализации воды на участке Средней Волги. 1955 г. был многоводным годом, что обусловило понижение минерализации воды как р. Волги, так и всех ее притоков.

Ход изменения минерализации воды р. Волги в меженный период имеет один и тот же характер: малые изменения на протяжении Верхней Волги, резкое увеличение минерализации после впадения притоков Оки, Суры и Камы и затем опять малые изменения ее до самого устья. Минерализация воды р. Волги (рис. 18) в сентябре 1954 г. была наивысшей на всем протяжении реки, тогда как минерализация воды в октябре 1954 г. на Верхней Волге была выше, а на Средней и Нижней Волге — ниже минерализации воды, наблюдавшейся в сентябре 1955 г.

В меженный период наибольшее изменение минерализации воды р. Волги дает р. Кама, а затем притоки Средней Волги: рр. Ока, Сура, Свияга и др.

Режим главных ионов воды Верхней Волги главным образом зависит от гидрохимического режима Рыбинского водохранилища. Это объясняется тем, что на участке р. Волги от Рыбинского водохранилища до устья р. Оки водный сток из Рыбинского водохранилища составляет примерно $\frac{2}{3}$ водного стока Верхней Волги у устья р. Оки и на этом участке нет больших притоков, могущих значительно изменить состав воды р. Волги. Кроме того, химические составы р. Волги и ее притоков (рек Костромы, Унжи, Немды) сходны между собой.

Если сравнить полученные нами данные по общей минерализации воды р. Волги у Ярославля с данными Рыбинской обсерватории у с. Переборы за 1944 и 1954 гг. и данными ГГИ за 1946—1947 гг., то увидим, что минерализация воды за 11 лет почти не изменилась и находится в пределах 107,6—178,8 мг/л летом, несколько снижаясь во время половодья (до 83,8 мг/л) и повышаясь зимой (до 200 мг/л).

Сравнивая данные, полученные нами за 1954 и 1955 гг., с данными А. Викторова за 1931 г. [80], видим, что минерализация волжской воды перед г. Горьким несколько уменьшилась и уменьшились амплитуды ее колебания. В 1931 г. минерализация изменялась в пределах 190—220 мг/л в летний период, иногда достигая 280 мг/л, а в 1954 и 1955 гг. минерализация изменялась от 83,8 до 163,0 мг/л в паводок и от 118,9 до 178,8 мг/л в межень.

Уменьшение общей минерализации воды Верхней Волги на участке от г. Ярославля до г. Горького обусловлено сооружением Рыбинского водохранилища, которое, аккумулируя паводковые маломинерализованные воды, создает условия снижения общей минерализации воды на участке Волги, лежащем ниже Рыбинского водохранилища.

В среднем течении р. Волги минерализация воды непрерывно нарастает от г. Горького до с. Камское Устье: в июне 1954 г. —

от 163 до 253,5 мг/л, в сентябре 1954 г. — от 168,3 до 264,2 мг/л, в октябре 1954 г. — от 152,3 до 224,4 мг/л, в мае 1955 г. — от 83,8 до 100,2 мг/л и в сентябре 1955 г. — от 118,9 до 253,8 мг/л.

В среднем течении минерализация воды р. Волги возрастает за счет более высокой минерализации воды притоков: Оки, Суры, Свияги, Казанки и других мелких притоков, а также за счет грунтовых вод, которые на этом участке имеют минерализацию до 1 г/л.

В нижнем течении р. Волги минерализация воды после впадения р. Камы во все периоды возрастает довольно сильно, что объясняется повышенной минерализацией воды р. Камы по сравнению с минерализацией воды р. Волги (в сентябре 1954 г. — от 264,2 до 368,7 мг/л; в октябре 1954 г. — от 222,4 до 370,2 мг/л; в мае 1955 г. — от 100,2 до 129,5 мг/л и в сентябре 1955 г. — от 253,8 до 333,8 мг/л).

Минерализация воды р. Волги начиная от места, где наблюдается полное смешение волжской и камской вод (примерно в 300 км ниже устья р. Камы) и кончая с. Верхне-Лебяжье (у истока р. Бузан — 50 км выше г. Астрахани), остается почти постоянной, если спускаться вниз по реке со скоростью ее течения. По сезонам же года минерализация отличается сильно, увеличиваясь от весны к лету и снова понижаясь к осени. Она колеблется в пределах от 113,2 (весной 1955 г.) до 370,0 мг/л (в сентябре и октябре 1954 г.), т. е. более чем в три раза.

Увеличение минерализации воды по течению Нижней Волги происходит главным образом за счет большей минерализации воды р. Камы. Остальные же факторы, как-то: мелкие притоки, подземные воды, испарение, играют подчиненную роль.

После впадения р. Камы и после полного перемешивания вод рек Волги и Камы изменение минерализации воды на участке Нижней Волги почти не наблюдалось, за исключением октября 1954 г., когда минерализация ее воды увеличивалась от 301,3 до 370,2 мг/л.

В первой половине паводка (весеннего или осеннего) происходит разбавление меженных вод поступающими паводковыми водами. Поэтому в нижнем течении вода будет иметь большую минерализацию, чем в верхнем течении, так как паводковые воды поступают главным образом с притоков на Средней Волге. Отсюда следует, что если спускаться по Нижней Волге со скоростью, превышающей скорость добегания воды, то можно догнать воду с большей минерализацией, чем она была выше.

Этим и объясняется повышение минерализации воды в Нижней Волге на 68,9 мг/л в октябре 1954 г., так как в это время наблюдалось поднятие уровней воды за счет осенних дождей в бассейне реки и при отборе воды скорость передвижения по реке превышала скорость добегания воды (пробы воды отбирались с пассажирского парохода).

На участке Средней Волги впадают самые большие ее притоки — рр. Ока и Кама, а также и другие большие притоки рр. Сура и Ветлуга. Минерализация воды р. Оки превышала минерализацию воды Верхней Волги весной в 2 раза и летом в 2,5 раза. Минерализация воды р. Камы в весенний период была почти одинакова с минерализацией воды р. Волги у с. Камское Устье с небольшим превышением первой. Но в летний и осенний периоды минерализация воды р. Камы в 1,5 раза превышала минерализацию воды р. Волги перед впадением в нее р. Камы.

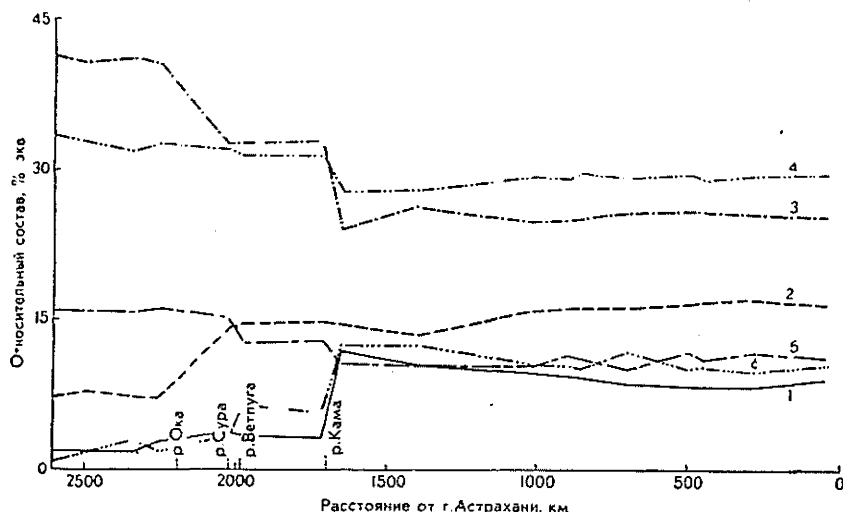


Рис. 19. Изменение относительного состава главных ионов в воде р. Волги по длине реки в октябре 1954 г.
1 — Cl^- , 2 — SO_4^{2-} , 3 — HCO_3^- , 4 — Ca^{2+} , 5 — Mg^{2+} , 6 — $\text{Na}^+ + \text{K}^+$.

Таким образом, минерализация воды р. Волги почти полностью формируется за счет притоков Средней Волги, так как на Нижней Волге нет больших притоков, которые могли бы оказать влияние на величину минерализации воды реки.

б) Относительный химический состав воды. Изменения абсолютного и относительного содержания главных ионов на отдельных участках р. Волги различны и зависят от относительного и абсолютного содержания главных ионов в воде притоков р. Волги и грунтовых вод.

Относительный состав воды Верхней Волги по длине реки во все сезоны года изменяется очень мало (рис. 19 и [143, табл. 2]). Это объясняется тем, что вода Рыбинского водохранилища и воды притоков на участке Верхней Волги имеют близкий

относительный состав и, кроме того, сток притоков составляет лишь $\frac{1}{3}$ стока самой р. Волги у устья р. Оки.

Основную часть анионов в течение всего периода наблюдений составляет HCO_3' . Меньше значение SO_4'' и еще меньше Cl' , причем доля Cl' от весны к осени то уменьшается, то увеличивается, а HCO_3' и SO_4'' — увеличивается. Из катионов основную долю составляет Ca'' , меньшую, но еще достаточно значительную часть составляет Mg'' и совсем незначительную часть составляет $\text{Na}^+ + \text{K}^+$. Содержание $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ приближается к содержанию Cl' (табл. 3).

Таблица 3

Изменения относительного химического состава воды р. Оки, Верхней и Средней Волги в 1954—1955 гг.

Ионы	Верхняя Волга, % экв.	р. Ока, % экв.	Средняя Волга, % экв.
HCO_3'	38,0—42,0	25,8—33,7	30,4—34,6
SO_4''	5,1—8,0	13,2—20,3	12,1—15,6
Cl'	1,7—5,2	1,4—5,2	2,7—4,8
Ca''	24,7—33,3	31,3—36,0	29,7—35,4
Mg''	12,1—19,5	10,0—12,4	11,5—14,9
$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	0,8—6,5	3,5—7,4	2,5—6,0

На участке Верхней Волги содержание HCO_3' всегда больше, чем содержание Ca'' , но меньше суммы $\text{Ca}'' + \text{Mg}''$.

Наблюдавшееся резкое изменение относительного состава воды р. Волги на участке Ярославль—Кострома в сентябре 1954 г. нужно считать случайным явлением, обусловленным либо сбросом больших количеств сточных вод на этом участке, либо отбором пробы воды в струе какого-либо притока.

В среднем течении химический состав воды р. Волги претерпевает значительные изменения. Эти изменения обусловлены сильным приростом на этом участке площади водосбора (с 233 700 до 1 170 000 км²) и увеличением водности реки (с 52,7 до 239,0 км³/год) [90], так как на этом участке впадают самые большие притоки р. Волги: рр. Ока, Сура, Ветлуга и Кама, физико-географические условия формирования ионного состава воды которых сильно отличаются друг от друга. Вследствие этого наблюдаются резкие различия в относительном составе воды р. Волги и ее притоков.

Первое изменение ионного состава воды р. Волги происходит после впадения р. Оки, вода которой имеет большую минерализацию и другой относительный состав. Отличие относительного состава рек Волги и Оки наблюдается только для четырех ионов: HCO_3' , SO_4'' , Ca'' и Mg'' . Что касается Cl' и $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, то их относительное содержание почти одинаково для вод обеих рек.

За весь период наблюдений преобладающим анионом в воде р. Оки является, так же как и в воде р. Волги, ион HCO_3' , а из катионов — Ca'' . Но относительное содержание их в воде обеих рек различно. Изменения в относительном содержании ионов в воде р. Оки показаны в табл. 3.

Если в воде Верхней Волги содержание HCO_3' всегда превышало содержание Ca'' , то в воде р. Оки, наоборот, содержание Ca'' всегда превышает содержание HCO_3' . Это объясняется увеличением минерализации воды р. Оки за счет растворения гипса, который имеется в бассейне р. Оки в отложениях пород пермской системы.

Впадение р. Оки, состав воды которой отличается от состава воды р. Волги, вызывает неоднородность в составе волжской воды на участке ниже устья р. Оки. Поэтому нельзя говорить о каком-то одном составе воды р. Волги ниже впадения р. Оки, так как этот состав на различном расстоянии от устья р. Оки различен как по длине, так и по ширине реки.

Для характеристики изменения химического состава волжской воды от влияния окской воды принимаем состав воды, отобранный на самом дальнем расстоянии от устья р. Оки, на котором нет еще других больших притоков. Эта точка отстоит от устья р. Оки на расстоянии 170 км и расположена у устья р. Суры.

В течение 1954 г. минерализация и относительный состав воды р. Волги у устья р. Суры оставались почти постоянными весной, летом и осенью (минерализация соответственно была 223,6, 232,9 и 223,4 мг/л). Неизменность минерализации волжской воды у устья р. Суры во все сезоны объясняется различной величиной стока р. Оки в эти периоды, в то время как сток Верхней Волги оставался примерно постоянным, регулируемый Рыбинской ГЭС. Поэтому, несмотря на увеличение минерализации окской воды от весны к осени, минерализация волжской воды после полного смешения с окской остается почти постоянной.

Относительный состав воды как весной, так и летом 1955 г. остается постоянным, несколько изменяясь при переходе от паводка к межени за счет увеличения относительного содержания SO_4'' и Mg'' и уменьшения HCO_3' и Ca'' .

Для характеристики химического состава воды р. Волги после впадения в нее других притоков, таких как рр. Керженец, Сура, Ветлуга, Б. Кокшага, Свияга, Казанка и другие, пробы воды отбирались перед устьем р. Камы. Рассматривать влияние каждого притока на относительный состав воды р. Волги не представляется возможным из-за неоднородности воды по ширине р. Волги, обусловленной впадением этих притоков. Поэтому влияние всех вышеуказанных притоков на химический состав волжской воды мы рассматриваем в пункте, находящемся

у устья р. Камы. В этом пункте вода р. Волги приобретает некоторую однородность по ширине реки.

Относительный состав воды р. Волги на участке Средней Волги после впадения в нее притоков рек Оки, Керженца, Суры, Ветлуги, Б. Кокшаги, Свияги, Казанки изменяется в сторону увеличения доли $\text{SO}_4^{''}$ и $\text{Ca}^{''}$ и уменьшения доли $\text{HCO}_3^{'}$ и $\text{Mg}^{''}$ при почти неизменных относительных содержаниях $\text{Cl}^{'}$ и $\text{Na}^{+} + \text{K}^{+}$.

Таблица 4

Изменения относительного химического состава воды рек Волги
и Камы в 1954—1955 гг.

Ионы	р. Волга у устья р. Камы, % экв.	р. Кама у устья, % экв.	р. Волга у г. Астра- хани, % экв.
$\text{HCO}_3^{'}$	28,2—33,3	17,1—29,3	32,3—24,1
$\text{SO}_4^{''}$	13,7—18,6	10,9—18,8	11,1—17,3
$\text{Cl}^{'}$	2,8—3,5	6,2—17,4	5,0—8,8
$\text{Ca}^{''}$	31,3—37,4	25,4—38,8	37,8—27,6
$\text{Mg}^{''}$	11,3—13,4	2,9—11,3	9,7—11,7
$\text{Na}^{+} + \text{K}^{+}$	0,8—5,8	7,1—18,9	1,5—12,3

Самым большим притоком р. Волги на всем ее протяжении является р. Кама, которая дает в среднем многолетнем полу-
вину водного стока р. Волги у пос. Поляна им. Фрунзе (г. Куй-
бышев), так как стоки р. Волги у с. Вязовые и р. Камы у с. Со-
кольи Горы почти равны — соответственно 3780 и 3840 м³/сек.
[90].

Химический состав и минерализация р. Камы сильно изме-
няются в зависимости от времени года. Минерализация увели-
чивается от весны к лету и колеблется в довольно широких
пределах от 118,4 (весна 1955 г.) до 623,9 мг/л (март 1954 г.).
Относительный состав воды р. Камы отличается от состава воды
р. Волги и ее притоков повышенным содержанием $\text{Cl}^{'}$, которое
иногда достигает значений $\text{HCO}_3^{'}$ и $\text{SO}_4^{''}$ (табл. 4).

Участок р. Волги от устья р. Камы до г. Астрахани является
самым большим — его длина 1700 км, что составляет почти по-
ловину длины всей реки от истока до устья. После впадения
р. Камы р. Волга на всем своем протяжении до устья имеет не-
значительную приточность (около 7% [198]) и поэтому состав ее
воды после смешения с камской водой очень мало изменяется.
Впадение небольших притоков, хотя и обладающих нередко по-
вышенной минерализацией, практически не меняет состав воды
р. Волги. Но небольшое увеличение минерализации имеет место,
что может быть отчасти объяснено впадением вод притоков
с повышенной минерализацией, отчасти увеличением сухости

климата, а отчасти притоком подземных вод, имеющих также повышенную минерализацию, которая колеблется в пределах 1—10 г/л.

Вследствие этого р. Волга в нижнем своем течении имеет состав воды, не отвечающий водам впадающих в нее малых притоков, т. е. состав ее воды не соответствует тем условиям формирования ионного состава речной воды, которые свойственны местным физико-географическим и петрологическим условиям данного района.

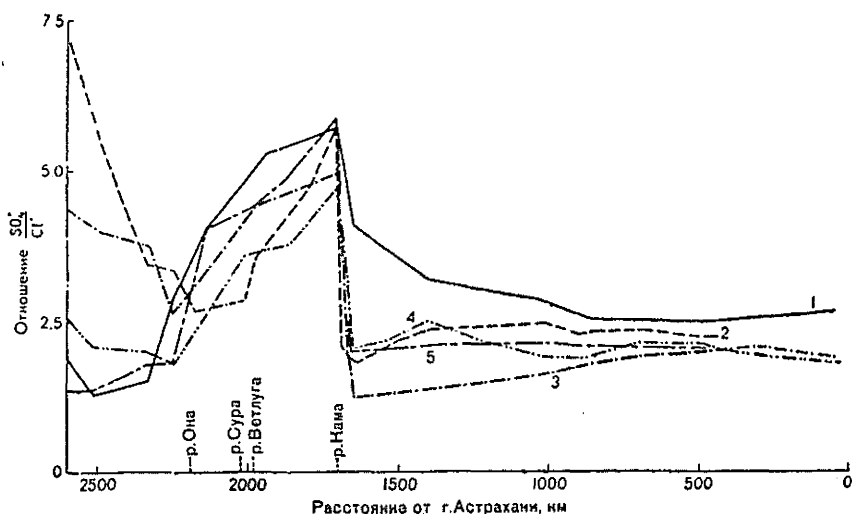


Рис. 20. Изменения отношения $\frac{SO_4''}{Cl'}$ в воде р. Волги по длине реки и по сезонам в 1954—1955 гг.

1 — июнь 1954 г.; 2 — сентябрь 1954 г.; 3 — октябрь 1954 г.; 4 — май 1955 г.; 5 — сентябрь 1955 г.

Это отражается на сезонных изменениях в химическом составе волжской воды, которые зависят не столько от климатических условий Нижней Волги, сколько от условий в основном Средней Волги.

Таким образом, химический состав воды р. Волги почти полностью формируется на Средней Волге за счет крупнейших ее притоков — рек Оки, Суры, Ветлуги и Камы.

Относительный состав воды р. Волги в нижнем ее течении по длине реки изменяется в пределах 1—2% экв. для некоторых ионов в каждом сезоне. Большие изменения в относительном составе происходят при переходе от одного сезона к другому. Изменения имеют место в относительных содержаниях всех ионов, а именно: содержания Cl' , SO_4'' , Mg'' и $Na+K$.

возрастают от весны к лету, а содержания HCO_3' и Ca'' , наоборот, уменьшаются. Изменения относительного содержания каждого иона в зависимости от сезона года колеблются в пределах, приведенных в табл. 4.

Изменения относительного состава воды р. Волги по длине реки хорошо прослеживаются на рис. 20, на котором отложены значения отношения SO_4''/Cl' по длине реки. По длине реки выделяются три области, имеющие различные изменения отношения SO_4''/Cl' .

Верхняя Волга характеризуется низким значением этого отношения (1,5—2,5), Средняя Волга — непрерывным ростом величины этого отношения (до 6,0), так как на этом участке происходит непрерывный рост содержания SO_4'' при почти постоянном содержании Cl' , и Нижняя Волга, которая характеризуется резким падением значения SO_4''/Cl' (до 2,0) с последующим постоянством его до самого устья, что объясняется увеличением содержания Cl' за счет р. Камы при малых изменениях содержания SO_4'' , так как содержание последнего в воде р. Камы мало отличается от содержания его в воде р. Волги.

Таким образом, притоки Средней Волги — рр. Ока, Сура, Свияга — являются источником накопления сульфатных ионов, а р. Кама — хлоридных ионов.

2. Физические свойства воды

Температура. Сопоставление среднемесячных температур воды р. Волги за 1954 г. со средними многолетними для тех же пунктов показывает, что первые выше, чем соответствующие многолетние температуры. Особенно большое превышение наблюдалось в июле 1954 г. — от $2,0^\circ$ (у г. Ярославля) до $3,6^\circ$ (у г. Вольска) [144, табл. 1].

При движении воды от г. Ярославля к г. Астрахани в некоторые сезоны наблюдалось резкое повышение ее температуры. В октябре 1954 г. это повышение температуры составило 4° (с $6,8$ до $10,8^\circ\text{C}$), в мае 1955 г. — около 11° (с $8,2$ до $18,9^\circ$) и в сентябре 1954 г. — около 11° (с $15,0$ до $25,8^\circ$). В остальные периоды температура воды колебалась незначительно, иногда вниз по течению понижалась с последующим повышением (июнь 1954 г.) или оставалась почти одинаковой на всем изучаемом участке р. Волги (сентябрь 1955 г.) (рис. 21).

Прозрачность. Изменения прозрачности воды р. Волги в наблюдаемые нами сезоны не имеют определенной закономерности, если не считать Верхней Волги, где наблюдались понижения прозрачности сверху вниз. Это объясняется тем, что вода в Рыбинском водохранилище имеет большую прозрачность (90—100 см), а по мере продвижения воды вниз по течению прозрачность уменьшается за счет размыва берега и дна, так как

увеличивается скорость воды в реке по сравнению с водохранилищем.

В течение 1954 и 1955 гг. по всей длине реки прозрачность воды изменялась в пределах 50—100 см [156, табл. 3]. Колебание прозрачности воды может быть объяснено тем, что в различных пунктах реки различна скорость воды, с которой связана прозрачность, а скорость воды зависит от живого сечения русла реки и от уклона его.

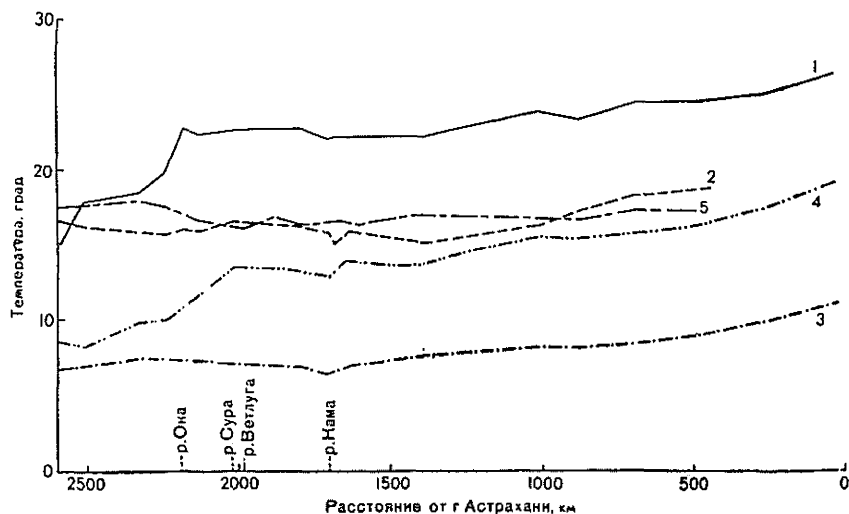


Рис. 21. Изменения температуры воды р. Волги по длине реки и по сезонам в 1954—1955 гг.

1 — июнь 1954 г.; 2 — сентябрь 1954 г.; 3 — октябрь 1954 г.; 4 — май 1955 г.; 5 — сентябрь 1955 г.

Цвет. Цвет волжской воды определяется количеством вносимых гумусовых веществ и взвешенных глинистых частиц. В Верхней Волге цвет воды достигает № 20—21 по шкале цветности, а по мере продвижения воды вниз по реке за счет разбавления воды р. Волги водами притоков (рр. Ока, Сура), содержащих меньшее количество гумусовых веществ, цвет воды понижается до № 17—18 по той же шкале. Причем во время половодья цвет воды по шкале цветности выше, чем в меженный период.

Электропроводность. Электропроводность воды р. Волги нами определялась только в 1955 г.: в мае — только на Нижней Волге, в сентябре — на всем протяжении от г. Ярославля до г. Волгограда.

Изменение электропроводности воды р. Волги строго соответствует изменениям общей минерализации воды, выраженной в мг-экв/л.

Электропроводность воды сильно увеличивается после впадения рек Оки и Камы. На Нижней Волге электропроводность как в мае, так и в сентябре почти не изменялась, так как почти не изменялась сумма ионов. В мае 1955 г. электропроводность воды Нижней Волги колебалась в пределах 154,8—171,1 μ сим, в сентябре этого же года — от 125,1 (у Ярославля) до 454,7 μ сим (у г. Волгограда).

Более подробно об электропроводности воды р. Волги описано в главе XI, стр. 188—217.

3. Биогенные вещества

Наличие биогенных веществ в воде является одним из важнейших факторов биологической продуктивности водотока и водоема. Изменения, происходящие в содержании биогенных веществ, влекут за собой изменения в развитии и размножении фитопланктона, который является первым звеном биохимического цикла в реке и в водоеме.

Биогенные вещества образуются в воде либо в результате превращений, которым подвергаются продукты распада, входящие в состав растительных и животных организмов, населяющих реку, либо приносятся в реку атмосферными, поверхностными и грунтовыми водами или в виде эоловых взвесей.

Наряду с распадом органических веществ в реке идет и обратный процесс — создание органического вещества. Его выполняют хлорофиллоносные растительные организмы, которые под воздействием солнечного света ассимилируют двуокись углерода, образуя органические вещества и выделяя кислород. В связи с этим большое значение для жизнедеятельности организмов в реке играют растворенные в воде газы CO_2 и O_2 .

Таким образом, биогенные вещества, органические вещества и растворенные газы тесно связаны.

В то время как изучением режима главнейших ионов в воде р. Волги занималось довольно большое число исследователей, по режиму биогенных и органических веществ и растворенных газов имеется ограниченное количество данных.

Наиболее полные данные по биогенным веществам и различным формам азота и фосфора получены С. В. Бруевичем и Н. И. Аничковой [53, 59], изучавшими их в воде р. Волги в ее устьевой части. В районе г. Куйбышева наблюдения за изменением биогенных и органических веществ проводили Нат. Н. Колосова и Н. Н. Колосова [178, 179]. Большие исследования содержания растворенного кислорода в воде р. Волги у г. Саратова проведены В. П. Радищевым [283]. Большая работа была проведена Б. А. Скопинцевым [304, 306, 309] по изучению растворенных органических веществ в воде р. Волги. Данные многих авторов по биогенным и органическим веществам и раство-

ренным газам в воде р. Волги обобщены и описаны О. А. Алейкиным [4].

Систематического изучения изменений биогенных и органических веществ и растворенных газов по длине реки в различные сезоны и годы никем не проводилось.

Общий минеральный азот. Общее содержание минерального растворенного азота (ΣN), представляющее сумму азота аммонийного, нитритного и нитратного, изменяется в довольно широких пределах — от 0,00 до 0,54 мг N/л [144, табл. 1] и тесно связано с изменением температуры воды, так как при разных

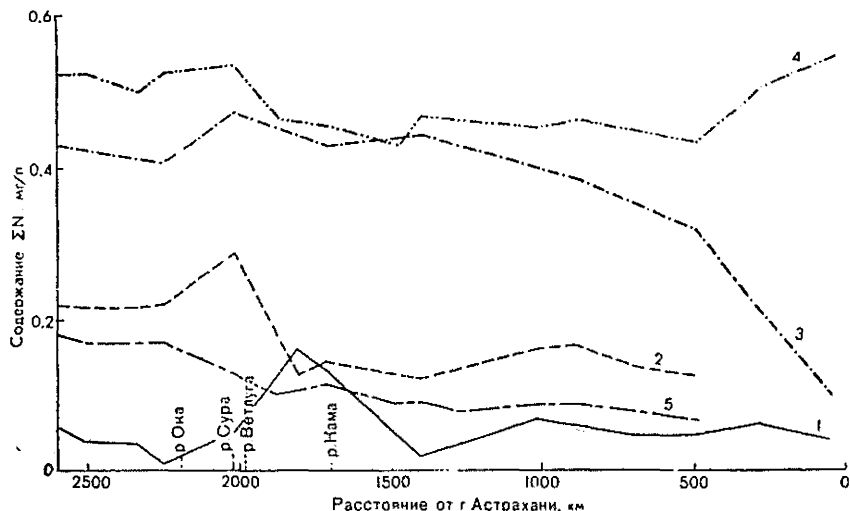


Рис. 22. Изменения содержания ΣN в воде р. Волги по длине реки и по сезонам в 1954–1955 гг.

1 — июнь 1954 г.; 2 — сентябрь 1954 г.; 3 — октябрь 1954 г.; 4 — май 1955 г.; 5 — сентябрь 1955 г.

температурах воды различна и жизнедеятельность фитопланктона, потребляющего азот. Такая связь содержания биогенных веществ и температуры хорошо прослеживается на рис. 21 и 22, на которых видно, что в сентябре 1954 и 1955 гг. наблюдались наивысшая температура воды и наименьшее содержание ΣN , а в октябре 1954 г. и мае 1955 г. наблюдались наименьшая температура воды и наибольшее содержание ΣN .

То же самое изменение суммы минерального азота наблюдается и по длине реки, но в меньшей степени. В верхней части р. Волги, где температура воды всегда ниже, чем температура воды в нижнем ее течении в одно и то же время, наблюдается повышенное содержание ΣN . По мере продвижения воды вниз по реке температура повышается, а в связи с этим увеличивается жизнедеятельность фитопланктона, который усваивает азот из

воды, тем самым уменьшая его содержание в минеральной растворенной форме.

Второй причиной уменьшения суммы минерального азота в воде р. Волги является разбавление волжской воды камской, так как в последней ΣN меньше, чем в волжской воде у устья р. Камы.

Органический азот. Изменения содержания органического азота, складывающегося из азота растворенных взвешенных органических веществ, не имеют строго закономерного характера и зависят, по-видимому, от многих факторов: от внесения органического азота в р. Волгу ее притоками, от различной интенсивности минерализации органического вещества по длине реки, от скорости осаждения взвешенных веществ и др. [144, табл. 2].

Изменения содержания органического азота в сентябре и октябре 1954 г. имеют примерно одинаковый ход: резкое увеличение содержания органического азота после впадения рек Оки и Камы с последующим резким падением до минимума. В июне 1954 г. и в сентябре 1955 г. содержание органического азота непрерывно уменьшается от г. Ярославля до г. Волгограда — г. Астрахани. Такие изменения органического азота связаны, как и для минерального азота, с изменениями температуры воды.

Наивысшей температуре воды, наблюдавшейся в июне 1954 г. и в сентябре 1955 г., соответствуют наименьшие содержания органического азота, и, наоборот, наинизшей температуре воды в октябре 1954 г. соответствует наивысшее содержание органического азота. Как правило, содержание органического азота падает вниз по течению реки.

Общий растворенный фосфор. Общий растворенный фосфор складывается из минерального и органического растворенного фосфора. Концентрация минерального растворенного фосфора в воде р. Волги в наблюдаемые 1954—1955 гг. колебалась в пределах 0,002—0,020 мг Р/л. Но подметить какую-либо закономерность в этих изменениях как по длине реки, так и по сезонам не представляется возможным [144, табл. 2].

Изменения концентрации общего растворенного фосфора гораздо меньше, чем минерального растворенного фосфора, и колеблются в крайних пределах 0,030—0,074 мг Р/л, а в большинстве случаев в пределах 0,040—0,060 мг Р/л [144, табл. 2].

Общий взвешенный фосфор. Изменения общего взвешенного фосфора не имеют строго закономерного характера ни по длине реки, ни по сезонам года. Но все же можно подметить, что концентрация общего взвешенного фосфора имеет тенденцию к увеличению от Верхней Волги к Средней Волге с последующим понижением к устью р. Волги. Эти изменения колеблются соответственно вышеуказанному в пределах 0,029—0,129—0,024 мг Р/л.

Валовое содержание фосфора. Изменения валового содержа-

ния фосфора имеют примерно тот же характер, что и изменения общего взвешенного фосфора: увеличение концентрации от Верхней Волги к Средней Волге с последующим понижением на Нижней Волге. Эти изменения валового фосфора имеют соответственно следующие пределы: 0,062—0,177—0,080 мг Р/л. Сезонных изменений в содержании валового фосфора не наблюдается: во все сезоны года содержания валового фосфора близки между собой [144, табл. 2].

Годовой сток азота и фосфора. Главнейшими биогенными веществами, лимитирующими развитие фитопланктона, являются азот и фосфор. В связи с этим представляет интерес сравнить данные, полученные нами, с данными других авторов, подсчитать сток этих элементов и проследить ход изменения их стока в Каспийское море. Наиболее полные данные по стоку азота и фосфора в Каспийское море получены С. В. Бруевичем и Н. И. Аничковой [53, 59].

Данные по концентрации различных форм азота и фосфора в воде р. Волги у г. Волгограда, полученные нами в 1954 и 1955 гг., приведены в табл. 5.

Таблица 5

Содержание различных форм азота и фосфора в воде р. Волги у г. Волгограда в 1954—1955 гг.

№ п/п	Время отбора проб воды	Фосфор, мг Р/л			Азот, мг N/л		
		растворенный	взвешенный	валовой	минеральный	органический	валовой
1	30/VI-54	0,046	0,086	0,132	0,044	0,427	0,471
2	18/IX-54	0,065	0,024	0,089	0,125	0,784	0,909
3	20/X-54	0,051	0,039	0,140	0,315	0,219	1,534
4	1/II-55 ¹	0,055	0,049	0,104	0,733	1,333	3,116
5	Годовая средне- взвешенная концентрация	0,052	0,068	0,120	0,238	0,801	1,039
6	6/VI-55	0,056	0,057	0,113	0,429	0,993	1,422
7	22/IX-55	0,067	0,034	0,101	0,066	0,629	0,695
8	1/III-56 ²	0,037	0,037	0,074	0,846	1,337	2,193
9	Годовая средне- взвешенная концентрация	0,056	0,052	0,108	0,405	0,934	1,339

¹ Содержание фосфора и азота является средним из четырех определений.

² Содержание фосфора и азота является средним из шести определений.

Сравнение данных табл. 5 с данными С. В. Бруевича и Ч. И. Аничковой [59, стр. 35, табл. 15] и с данными С. В. Бруевича [53] по концентрации различных форм азота и фосфора показывает, что годовые средневзвешенные концентрации валового

фосфора близки между собой: 1940 г. — 0,124 мг/л; 1954 г. — 0,120 мг/л; 1955 г. — 0,108 мг/л, а годовые средневзвешенные концентрации валового азота в 1954—1955 г. в 1,6—1,2 раза ниже, чем в 1940 г.

По содержанию различных форм азота и фосфора подсчитан сток этих элементов в Каспийское море. За 1954 г. принят период с апреля 1954 г. по март 1955 г., а за 1955 г. — с апреля 1955 г. по март 1956 г. Это сделано потому, что у нас нет данных на зиму (январь—март 1954 г.).

Данные по стоку азота и фосфора приведены в табл. 6.

Таблица 6

Сток фосфора и азота в Каспийское море в 1954—1955 гг.

Годы	Фосфор, тыс. т.			Азот, тыс. т.			Водный сток, км³	
	растворенный	взвешенный	валовой	минеральный	органический	валовой	за указанный период	за календарный год
1954 г. (IV—III)	11,3	15,0	26,3	51,9	174,7	226,6	216,9	217,6
1955 г. (IV—III)	16,7	15,2	31,9	120,3	285,9	406,2	297,0	307,8

Сравнение наших данных с данными С. В. Бруевича и Н. И. Аничковой [59, стр. 44, табл. 24] и с данными С. В. Бруевича [53] по стоку азота и фосфора показывает, что количества сбрасываемых азота и фосфора близки между собой и приблизительно пропорциональны водному стоку. Это указывает на то, что концентрация валового фосфора и азота в воде р. Волги по годам колеблется незначительно.

Железо. Наибольшие изменения в содержании железа происходят на территории Верхней и Средней Волги. На Нижней Волге эти колебания сглаживаются и содержание железа мало изменяется по длине реки. Это объясняется тем, что основную массу железа вносят в Волгу ее притоки, впадающие на территории Верхней и Средней Волги, воды которых маломинерализованы и содержат большее количество органических веществ. К таким притокам относятся р. Немда (содержание железа по нашим наблюдениям колеблется по сезонам от 0,35 до 1,13 мг/л, р. Унжа (от 0,12 до 0,41 мг/л), р. Керженец (от 0,29 до 1,00 мг/л), р. Ветлуга (от 0,21 до 0,95 мг/л), р. Б. Кокшага (от 0,21 до 1,75 мг/л). Содержание железа в воде р. Камы ниже, чем в воде р. Волги, поэтому содержание железа после впадения р. Камы падает вследствие разбавления камской водой [144, табл. 1].

Кремний. Содержание кремния в воде р. Волги по длине реки имеет тенденцию к повышению от верховьев к устью и изменяется от 1,0 (у г. Ярославля) до 1,2—2,9 мг/л (у г. Астрахани), т. е. идет накопление Si в воде, несмотря на потребление его диатомовыми водорослями для построения своего скелета [144, табл. 1].

4. Органические вещества

Для прямого определения органического вещества, содержащегося в воде, в настоящее время нет еще простой и достаточно достоверной методики. Поэтому о его содержании судят косвенным путем — по окисляемости воды: перманганатной и бихроматной.

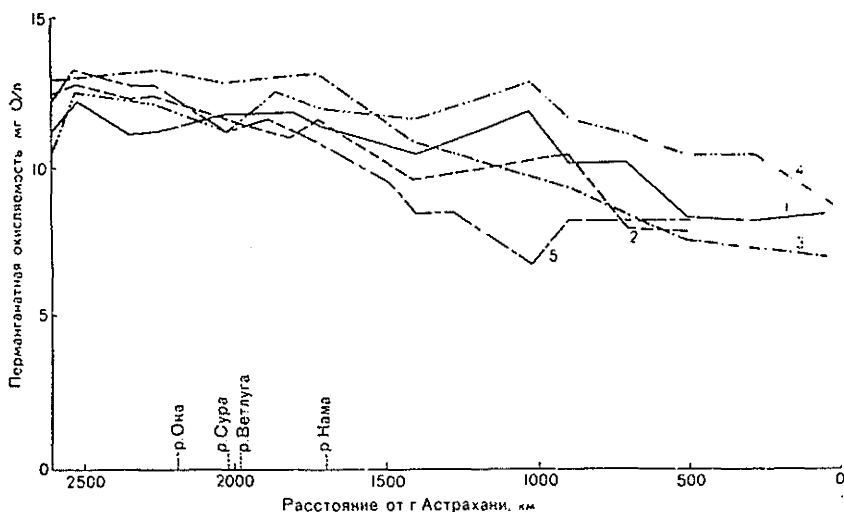


Рис. 23. Изменения величины перманганатной окисляемости воды р. Волги по длине реки и по сезонам в 1954–1955 гг.

1 — июнь 1954 г.; 2 — сентябрь 1954 г.; 3 — октябрь 1954 г.; 4 — май 1955 г.; 5 — сентябрь 1955 г.

Перманганатная окисляемость воды р. Волги (рис. 23) по сезонам года изменяется в небольших пределах: 11,0—13,0 мг О/л для Верхней и Средней Волги и 8,0—11,5 мг О/л для Нижней Волги. Кроме того, она уменьшается по длине реки сверху вниз в пределах от 11,0—13,0 мг О/л (у г. Ярославля) до 7,0—10,0 мг О/л (у г. Волгограда — г. Астрахани) [144, табл. 1].

Уменьшение перманганатной окисляемости вниз по реке и по сезонам объясняется следующими причинами:

а) разбавлением волжской воды, содержащей большое количество органических веществ, водами притоков и грунтовых вод с малым содержанием органических веществ. Бассейн

Верхней Волги включает большие территории заболоченной местности, вода которых содержит большое количество гумусовых веществ. Болота бассейна Верхней Волги дают главную массу органического вещества, содержащегося в воде. Первым большим притоком, вода которого содержит меньше органического вещества, является р. Ока в меженный период. Перманганатная окисляемость воды р. Оки в этот период в два раза ниже таковой воды р. Волги до впадения р. Оки (соответственно 6,0 и 12,0 мг О/л). В весенний период окисляемости воды рек Оки и Волги одинаковы (около 12,0 мг О/л);

б) увеличением скорости окисления органического вещества под воздействием кислорода, растворенного в воде;

в) минерализацией органического вещества под воздействием на него микроорганизмов, живущих в воде.

Последние два фактора в сильной степени зависят от температуры воды: чем выше температура, тем большая скорость окисления органических веществ и тем большая жизнедеятельность микроорганизмов, разлагающих органические вещества.

Если проследить ход изменения перманганатной окисляемости воды р. Волги сверху вниз (рис. 21 и 23), то можно заметить связь его с изменением температуры воды, правда, соблюдающейся не на всем протяжении реки. Наинизшая температура из пяти поездок наблюдалась осенью 1954 г., в это же время наблюдалась наибольшая величина перманганатной окисляемости от г. Ярославля до Куйбышевской ГЭС. Весной 1955 г. наблюдалась также низкая температура воды и высокая величина перманганатной окисляемости на Нижней Волге. Температура воды в сентябре 1954 и 1955 гг. была высокая, в это время наблюдались наименьшие величины перманганатной окисляемости.

Изменения бихроматной окисляемости воды р. Волги имеют тот же характер, что и изменения перманганатной окисляемости по длине реки: она уменьшается от верховьев к устью. Что касается изменений бихроматной окисляемости воды в зависимости от сезона, то они почти не наблюдались: величина ее в каждом пункте р. Волги оставалась почти постоянной во все наблюдаемые сезоны и колебалась в пределах от 33,0—37,0 мг О/л у Горьковской ГЭС до 19,0—24,0 мг О/л у г. Волгограда — г. Астрахани, т. е. уменьшается на 42—35%.

Отношение $\frac{\text{перманганатная окисляемость}}{\text{бихроматная окисляемость}} \cdot 100\%$ по всей длине реки имеет тенденцию оставаться постоянным и колеблется в пределах 35—47%.

Исследования Б. А. Скопинцева [310] показали, что по перманганатной и бихроматной окисляемости можно определить содержание органического вещества в природной воде. При определении количества органического вещества по перманганат-

ной окисляемости необходимо величину перманганатной окисляемости в мг О/л умножить на 2, а при определении органического вещества по бихроматной окисляемости необходимо ее величину в мг О/л разделить на коэффициент 1,2—1,4 [310]. Для волжской воды этот коэффициент принимаем равным 1,2.

В табл. 7 приводятся данные по стоку органического вещества в Каспийское море, подсчитанные по перманганатной и бихроматной окисляемости, как это сказано выше.

Таблица 7

Сток органического вещества в Каспийское море в 1954—1955 гг.

Годы	Сток органического вещества, тыс. т	
	по перманганатной окисляемости	по бихроматной окисляемости
1954 г. (IV—III)	3560	3600
1955 г. (IV—III)	5760	5350

Сравнение данных табл. 7 со стоком органических веществ, подсчитанным С. В. Бруевичем и Н. И. Аничковой [59, стр. 44, табл. 24], показывает, что наши величины для 1955 г. одинаковы с величинами, полученными ранее для 1937 и 1938 г. [59] (соответственно 5760, 5250 и 6560 тыс. т), если применять коэффициент для подсчета количества органических веществ по окисляемости, равной 2 вместо 3,75, как это указано у С. В. Бруевича и Н. И. Аничковой [59, стр. 45, сноска 6]. Для 1954 г. наши данные по стоку органических веществ примерно в 1,5—1,9 раза ниже величины С. В. Бруевича и Н. И. Аничковой. Следует отметить, как это указывается самими авторами, что содержание органического вещества подсчитано ими «крайне ориентировочно» со многими допущениями, так как у них в то время не было надежных данных.

Еще одной характеристикой органического вещества, присутствующего в воде, является цветность воды. Правда, цветность воды характеризует только окрашенные органические вещества.

Цветность воды во все наблюдаемые сезоны уменьшалась по длине реки сверху вниз, за исключением весны 1955 г., когда цветность воды возрастала на Верхней и Средней Волге, а на Нижней Волге оставалась постоянной. На Нижней Волге цветность внутри сезона почти не изменялась, а по сезонам колебалась в пределах 40—70°, причем в паводковые периоды она наибольшая, а в меженный период наименьшая.

Уменьшение цветности воды вниз по течению р. Волги объясняется теми же причинами, что и при объяснении изменения перманганатной и бихроматной окисляемости.

5. Растворенные газы и pH

Из растворенных в воде газов наибольшее значение для р. Волги имеют кислород и двуокись углерода.

Кислород. Зависимость растворенного в воде кислорода от температуры хорошо прослеживается для р. Волги на всем ее протяжении. На рис. 21 и 24 видно, что наинизшей температуре воды, наблюдаемой нами в октябре 1954 г., соответствует наибольшее содержание растворенного кислорода, а наивысшей

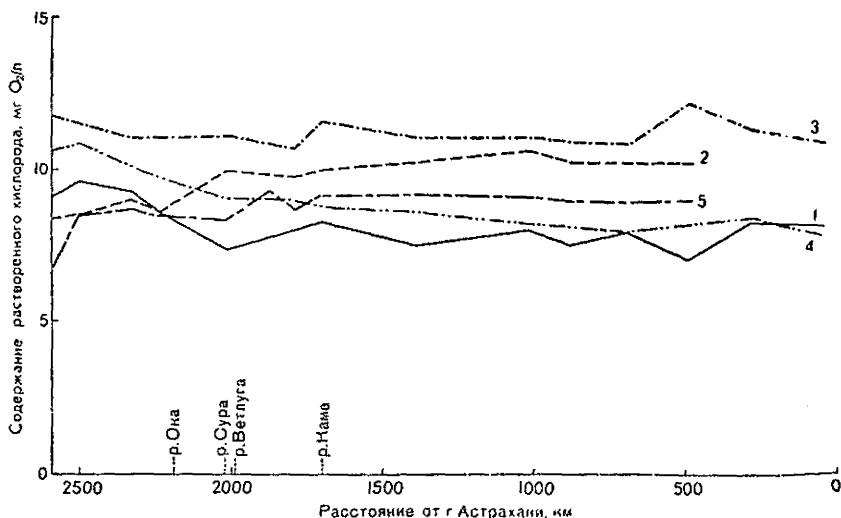


Рис. 24. Изменения содержания растворенного кислорода в воде р. Волги по длине реки и по сезонам в 1954—1955 гг.

1 — июнь 1954 г.; 2 — сентябрь 1954 г.; 3 — октябрь 1954 г.; 4 — май 1955 г.; 5 — сентябрь 1955 г.

температуре воды, наблюдаемой в сентябре 1954 г., соответствует наименьшее содержание растворенного кислорода [144, табл. 1]. Такая же зависимость наблюдалась в другие сезоны, кроме мая 1955 г. Несколько иначе изменяется содержание растворенного кислорода в зависимости от температуры в мае 1955 г., если его сравнивать с наблюдениями в июне 1954 г. и сентябре 1955 г. Несмотря на более низкую температуру воды в мае 1955 г., содержание растворенного кислорода также более низкое, чем в июне 1954 г. и в сентябре 1955 г. Это можно объяснить тем, что 1955 г. был многоводным годом с большим весенним паводком в мае. В результате прохождения больших водных масс уменьшились условия аэрации, а с другой стороны, быстрый рост температуры воды (с 8 до 19°С) замедлял растворение кислорода в воде после вскрытия реки, несмотря на низкое содержание кислорода в воде в зимний подледный пе-

риод. Таким образом, происходило отставание установления равновесия, соответствующего данной температуре.

В общем содержание растворенного кислорода в воде р. Волги изменяется по сезонам года в зависимости от температуры воды в пределах 7,0—12,0 мг O_2 /л с небольшими изменениями по длине реки в ту или другую сторону (рис. 24).

В весенний, летний и осенний периоды насыщение воды кислородом не снижалось ниже 80% и редко превышало 100%. В среднем насыщение воды кислородом составляло 80—90%.

Двуокись углерода. Содержание CO_2 в весенний, летний и осенний сезоны колеблется в пределах от 1,0 до 4,5 мг CO_2 /л. В изменении содержания CO_2 в воде р. Волги нет никакой закономерности ни по длине реки, ни по сезонам, ни от других каких-либо факторов (температуры и др.) [144, табл. 1].

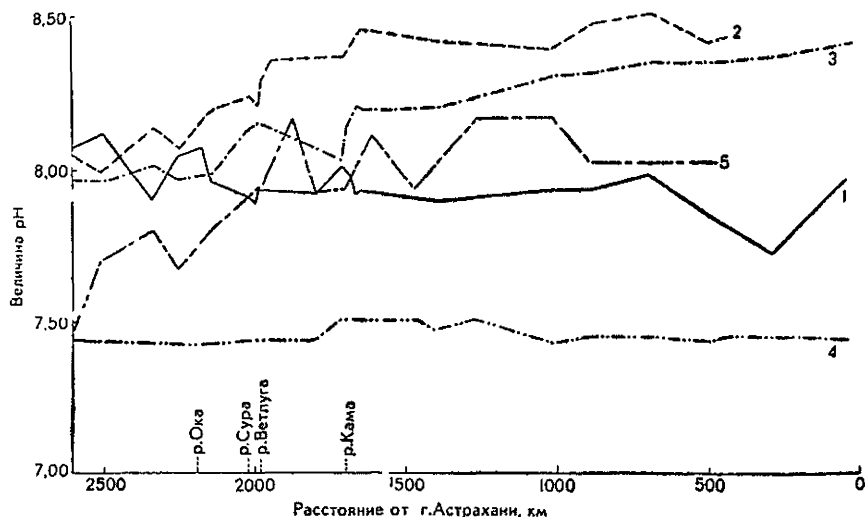


Рис. 25. Изменения величины рН в воде р. Волги по длине реки и по сезонам в 1954—1955 гг.

1 — июнь 1954 г.; 2 — сентябрь 1954 г.; 3 — октябрь 1954 г.; 4 — май 1955 г.; 5 — сентябрь 1955 г.

Величина рН. Величина рН определяется соотношением растворенных в воде многих ионов, но в основном зависит от соотношения таких ионов, как HCO_3' и CO_3'' и растворенной в воде двуокиси углерода CO_2 . Эти компоненты определяют величину рН потому, что они находятся в воде во много раз больших количествах, нежели другие компоненты, оказывающие влияние на величину рН.

Величина рН колеблется в пределах от 7,40 до 8,50 в зависимости от содержания в воде CO_2 (рис. 25 и [144, табл. 1].

Наинизшая величина рН наблюдалась весной 1955 г. у плотины Горьковской ГЭС (7,42), когда содержание CO_2 было наибольшим из всех наблюдаемых периодов, а наивысшая величина рН наблюдалась в сентябре 1954 г. у г. Саратова (8,47), когда содержание CO_2 было наименьшим. Остальные кривые согласованно располагаются между этими двумя кривыми, как для величины рН, так и для содержания CO_2 .

Изменение величины рН по длине реки не всегда имеет место. Весной 1955 г. величина рН почти не изменялась от г. Ярославля до г. Астрахани (7,42—7,50). Но в другие сезоны величина рН резко повышалась вниз по течению. Особенно большой рост величины рН наблюдался после впадения рек Оки, Суры (июнь и октябрь 1954 г. и сентябрь 1955 г.) и наибольшее повышение — после впадения р. Камы. В сентябре 1954 г. наблюдалось падение величины рН по длине реки от 8,10 (у г. Ярославля) до 7,70 (у с. Черного Яра).

Б. ПЕРИОД ЗАКРЫТОГО РУСЛА

В связи с наблюдавшимися в 1939 и 1940 гг. заморами в воде р. Волги на участке от г. Горького до г. Саратова, описанными Б. А. Скопинцевым [300—302], С. П. Ждановым [129, 130], Н. А. Мосевич [231] и другими, нами проведены наблюдения за изменением газового состава, органических и биогенных веществ в воде р. Волги зимой 1955, 1956 и 1957 гг. в двух пунктах — выше г. Казани и выше г. Волгограда и в воде р. Камы в 1957 г. у рабочего поселка Лаишево (40 км выше старого устья р. Камы).

Среди элементов гидрохимического режима кислород занимает особо важное место, так как падение содержания его в воде ниже допустимой величины вызывает у организмов нарушение нормального обмена веществ, что может привести к замору и частичной гибели водного населения реки. Поэтому указанные выше авторы появление заморов на р. Волге объясняют дефицитом кислорода в воде в подледный период, но причину дефицита кислорода эти исследователи объясняют по-разному.

Наблюдения у г. Казани и у г. Волгограда проводили примерно со середины ледостава и почти до вскрытия реки, т. е. в период, характеризующийся наиболее тяжелыми условиями для существования живых организмов в воде.

Данные наших наблюдений были опубликованы ранее [145, табл. 1] и нанесены на рис. 26, 27, 29 и 30.

Кислород. Содержание кислорода в воде р. Волги у г. Казани наблюдалось довольно низкое — в пределах 4,78—6,12 мг O_2 /л (32,5—41,6% насыщения) в 1955 г., 4,33—8,94 мг O_2 /л (29,3—61,0% насыщения) в 1956 г. и 6,83—10,78 мг O_2 /л (46,5—73,3% насыщения) в 1957 г. с тенденцией понижения к концу ледоста-

ва для первых двух лет. По содержанию кислорода в воде наиболее благоприятна зима 1957 г., а зима 1956 г. была более благоприятная, чем зима 1955 г.

Содержание кислорода в воде р. Волги у г. Волгограда выше, чем у г. Казани, и колеблется в пределах 7,34—7,83 мг O_2 /л

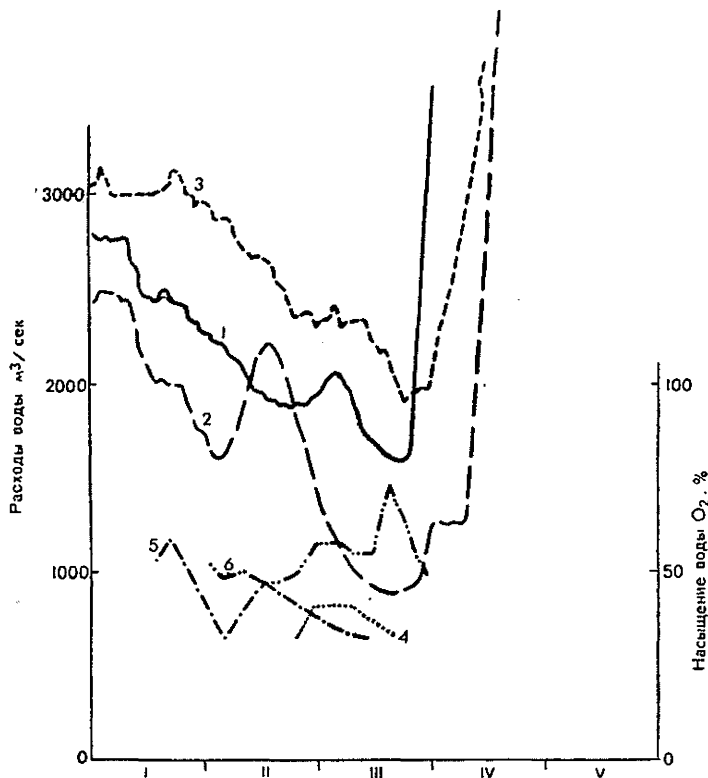


Рис. 26. Изменения расходов и степени насыщения кислородом воды р. Волги у г. Казани зимой в разные годы.

1 — расходы воды за 1955 г.; 2 — расходы воды за 1956 г.; 3 — расходы воды за 1957 г.; 4 — насыщение воды кислородом в 1955 г.; 5 — насыщение воды кислородом в 1956 г.; 6 — насыщение воды кислородом в 1957 г.

(49,9—53,4% насыщения) в 1955 г., 6,17—11,49 мг O_2 /л (42,0—78,2% насыщения) в 1956 г. и 6,75—10,93 мг O_2 /л (45,9—92,3% насыщения) в 1957 г. [145, табл 1].

По рис. 26 и 27 видно, что кривая содержания растворенного кислорода в воде р. Волги как у г. Казани, так и у г. Волгограда повторяет ход кривой расходов воды р. Волги у этих пунктов. Для середины зимы 1957 г. эта закономерность

несколько нарушается. Если сравнить концентрации растворенного кислорода и соответствующие им расходы воды, то нетрудно заметить, что наибольшим расходам воды соответствуют наибольшие содержания кислорода (1957 г.), наименьшим расходам воды соответствуют наименьшие содержания кислорода

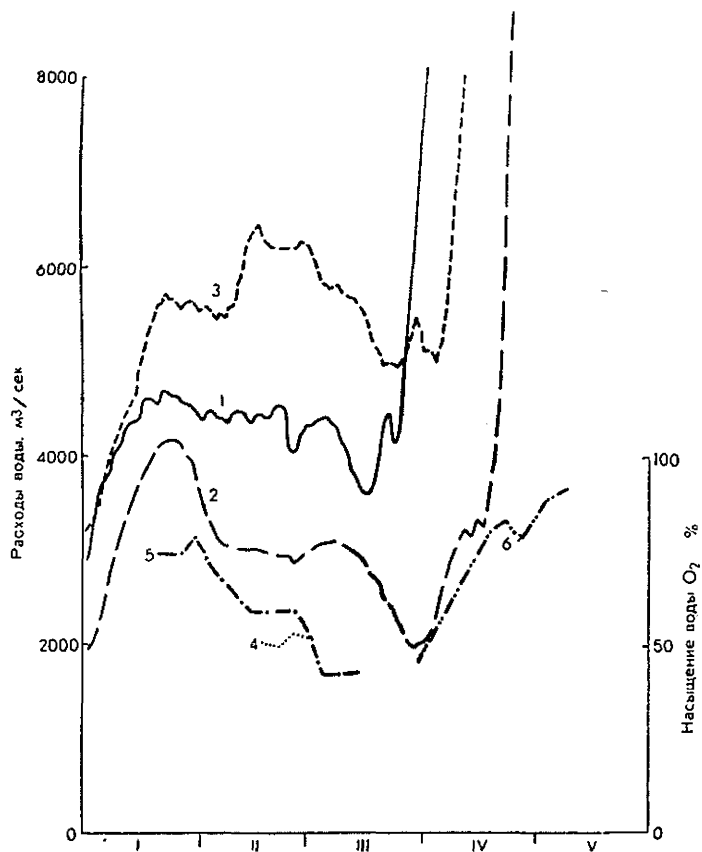


Рис. 27. Изменения расходов и степени насыщения кислородом воды р. Волги у г. Волгограда зимой в разные годы.

1 — расходы воды за 1955 г.; 2 — расходы воды за 1956 г.; 3 — расходы воды за 1957 г.; 4 — насыщение воды кислородом в 1955 г.; 5 — насыщение воды кислородом в 1956 г.; 6 — насыщение воды кислородом в 1957 г.

(1956 г.). Такая зависимость может быть объяснена тем, что питание реки в 1957 г. происходило за счет более «молодых» грунтовых вод, расположенных в более высоких горизонтах, а в 1955 г. — более «старых» грунтовых вод, расположенных на более низких горизонтах. Подразделение грунтовых вод на «мо-

лодые» и «старые», конечно, носит условный характер, но различие по времени образования их имеет место. По определению Б. И. Куделина [195, стр. 22], «равнинные реки основное грунтовое питание получают из водоносных горизонтов, гидравлически связанных с рекой», поэтому [195, стр. 9] «водоносные горизонты, гидравлически связанные с рекой, имеют режим, тесно связанный с режимом самого поверхностного водотока. При повышении уровня воды в реке происходит уменьшение гидравлических уклонов и расхода подземного потока в реку... При спаде половодья вскоре после прохождения его пика, когда уровень в реке быстро падает, зеркало грунтового потока вновь приобретает наклон к реке и начинается обратный сток в реку инфильтровавшейся в берега речной воды». По-видимому, такое же понижение зеркала грунтовых вод наблюдается и в зимнее время, когда сильно понижается уровень в реке, и грунтовые воды, поступающие в реку, будут относиться к более низким горизонтам, т. е. будут более «старые» воды, чем те, которые относятся к более верхним горизонтам. О роли вертикального расчленения подземных вод в питании рек пишет в своей статье М. П. Располов [287]. По его мнению, питание рек происходит главным образом за счет вод «зоны активного стока» и в меньшей степени — за счет вод «зоны замедленного стока».

Таким образом, наши наблюдения подтверждают вывод Б. А. Скопинцева [301, стр. 164] о том, что «...зимой реки несут исключительно грунтовые воды и, вполне естественно, подолдом реки должны отражать физико-химический характер грунтовых вод, и, в частности, их газовый режим» и далее [301, стр. 165], что «постепенное уменьшение в реке, покрытой льдом, растворенного кислорода от начала зимы к концу ее идет параллельно с непрерывным уменьшением расхода воды в реке». Расширяя утверждение Б. А. Скопинцева, констатируем, что изменение содержания растворенного кислорода такое же, как и изменение расходов воды в реке: при уменьшении расходов воды уменьшается содержание кислорода, при повышении расходов воды повышается и содержание кислорода.

Так как в зимний период река питается исключительно грунтовыми водами бассейна, содержащими пониженное количество растворенного кислорода [207, 216, 264, 297, 372], то при непрерывном уменьшении расходов воды запасы растворенного кислорода к концу зимы все время будут уменьшаться. Наблюдавшиеся подъемы воды и повышения концентрации растворенного кислорода в воде р. Волги у г. Казани в начале марта 1955 г. и в середине февраля 1956 г., обусловлены временными оттепелями, во время которых происходил сток в реку хорошо аэрированных талых вод, содержащих большее количество растворенного кислорода.

Такое явление наблюдалось нами у г. Волгограда.

Большое значение для газового состава воды р. Волги в зимний период имеют также окислительные процессы, протекающие в воде реки. При окислении органических и минеральных веществ, поступающих с грунтовыми и сточными водами, расходуется растворенный в воде кислород.

Определение основной причины дефицита кислорода в воде р. Волги в настоящее время пока невозможно, так как трудно учесть количество сбрасываемых сточных и промышленных вод, а отсюда неизвестно количество кислорода, расходуемое на окисление этих загрязнений, и неизвестна концентрация растворенного кислорода в грунтовых водах, питающих реку в зимний период, которая зависит от предыдущих гидрометеорологических условий.

Анализируя наши наблюдения на р. Волге, приходим к выводу, что первопричиной дефицита кислорода в воде р. Волги все же является низкое содержание его в грунтовых водах, питающих реку в подледный период. Если грунтовые воды содержат достаточно большое количество растворенного кислорода, то, несмотря на наличие окислительных процессов в воде, наблюдается меньший дефицит кислорода в реке.

В пользу этого заключения указывают и другие обстоятельства. Если проследить за изменением окисляемости воды р. Волги в течение года [145, табл. 1], то увидим, что окисляемость в зимний период всегда меньше, чем в другие сезоны при одинаковых расходах воды у г. Казани (январь—февраль и июнь—ноябрь 1956 г.) и, по-видимому, при одинаковых сбросах сточных вод, т. е. концентрация загрязнений в летне-осенний период даже большая, чем зимой. Таким образом, условия загрязнений одинаковы, а наличие дефицита кислорода можно объяснить только различием в концентрации кислорода в питающих грунтовых водах зимой и в летне-осенний период. Надо полагать, что сброс промышленных и сточных вод с каждым годом увеличивается, так как непрерывно увеличивается объем промышленного производства и происходит рост городского населения, а заморные явления на р. Волге за десятки лет наблюдений за газовым составом имели место только в 1939—1941 гг.

Нам кажется, что объяснения заморных явлений на р. Волге у Б. А. Скопинцева [300—302] ближе к истине, чем у С. П. Жданова [129, 130]. Б. А. Скопинцев основную причину заморных явлений видит в гидрометеорологических условиях, но не отрицает и влияние окислительных процессов, протекающих в реке, а С. П. Жданов заморные явления объясняет расходом растворенного кислорода в воде реки на окисление загрязнений, сбрасываемых городами и промышленными предприятиями в р. Волгу, и игнорирует роль гидрометеорологических условий, доказывая, что грунтовые воды содержат достаточное количество растворенного кислорода. Б. А. Скопинцев [302, стр. 26] совер-

шенно правильно пишет, что «... заморы наступили и окончились не в связи с какими-либо изменениями в режиме промышленно-бытовых сбросов, а в связи с изменениями в гидрометеорологических условиях».

На рис. 28 нанесены расходы воды за 1939, 1940, 1941, 1955, 1956 и 1957 гг. Самые низкие расходы воды в течение всей зимы

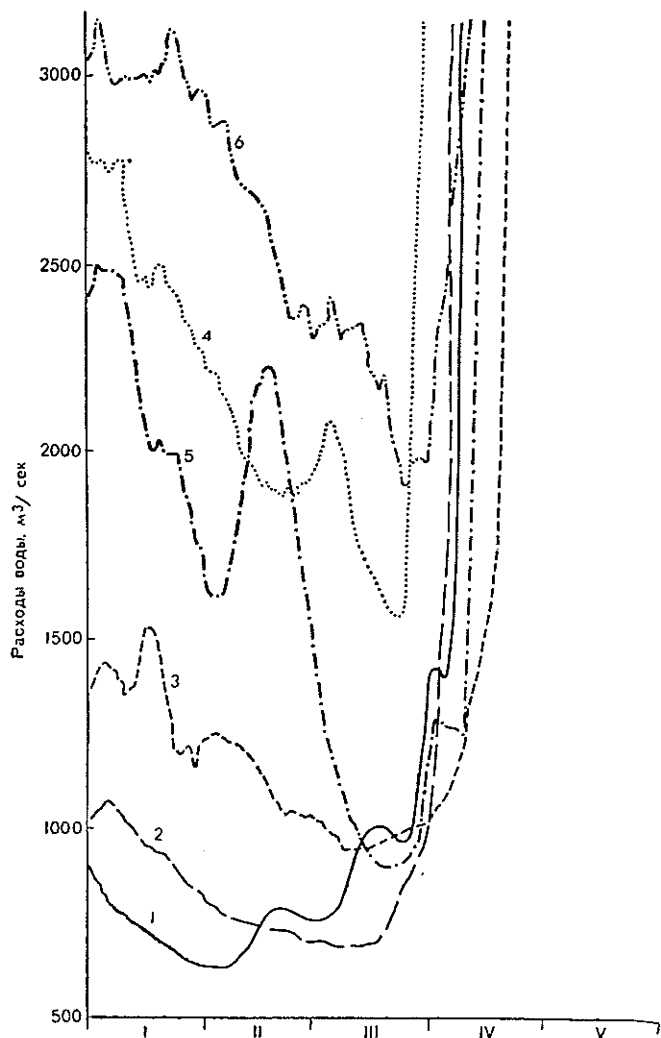


Рис. 28. Изменения расходов воды р. Волги у г. Казани в разные годы.

1 — 1939 г.; 2 — 1940 г.; 3 — 1941 г.; 4 — 1955 г.; 5 — 1956 г.; 6 — 1957 г.

наблюдались в 1939 и 1940 гг., несколько большие расходы — в 1941 г. В январе—феврале 1956 г. наблюдались расходы воды, в 2—2,5 раза превышавшие расходы 1939 и 1940 гг. в эти же месяцы, но во второй половине марта 1956 г. расходы во все указанные три года были примерно одинаковы. Кроме того, промышленное производство и количество населения в городах

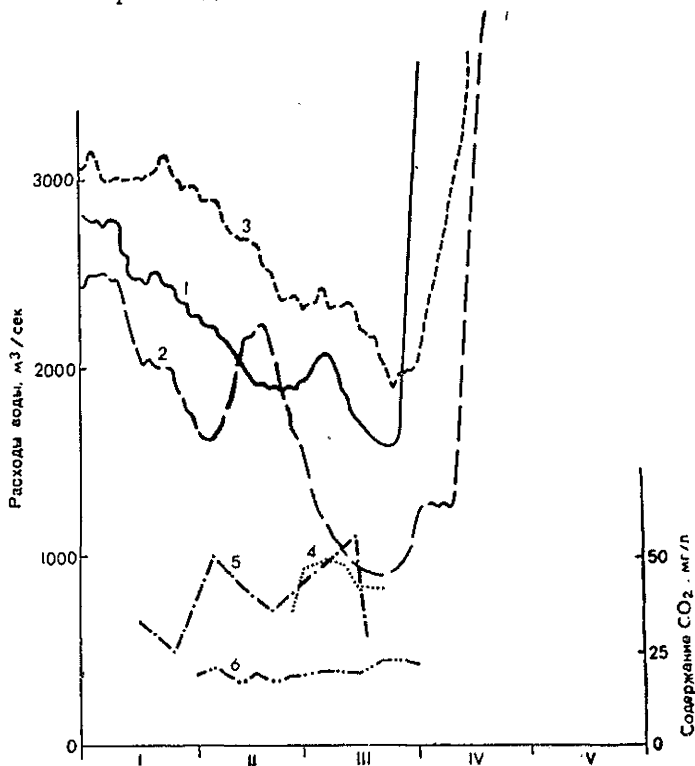


Рис. 29. Изменения расходов воды и концентраций растворенной CO_2 в воде р. Волги у г. Казани зимой в разные годы.

1 — расходы воды за 1955 г.; 2 — расходы воды за 1956 г.; 3 — расходы воды за 1957 г.; 4 — содержание CO_2 в 1955 г.; 5 — содержание CO_2 в 1956 г.; 6 — содержание CO_2 в 1957 г.

в 1956 г. было намного больше, чем в 1939 и 1940 гг. И, несмотря на это, содержание кислорода в воде р. Волги у г. Казани в 1956 г. было намного выше, чем это наблюдалось в 1939 и 1940 гг. (соответственно 32,7 и 3,1—13,4% насыщения).

Двуокись углерода. Изменения содержания растворенной в воде двуокиси углерода не имеют такой строгой закономерности, как это наблюдалось нами в содержании кислорода, но все-таки имеется тенденция к обратной зависимости содержания

CO_2 от расходов воды: при уменьшении расходов воды возрастает содержание растворенной двуокиси углерода и, наоборот, при повышении расходов воды ее содержание уменьшается. Эта зависимость хорошо прослеживается для зимы 1956 г. у г. Ка-

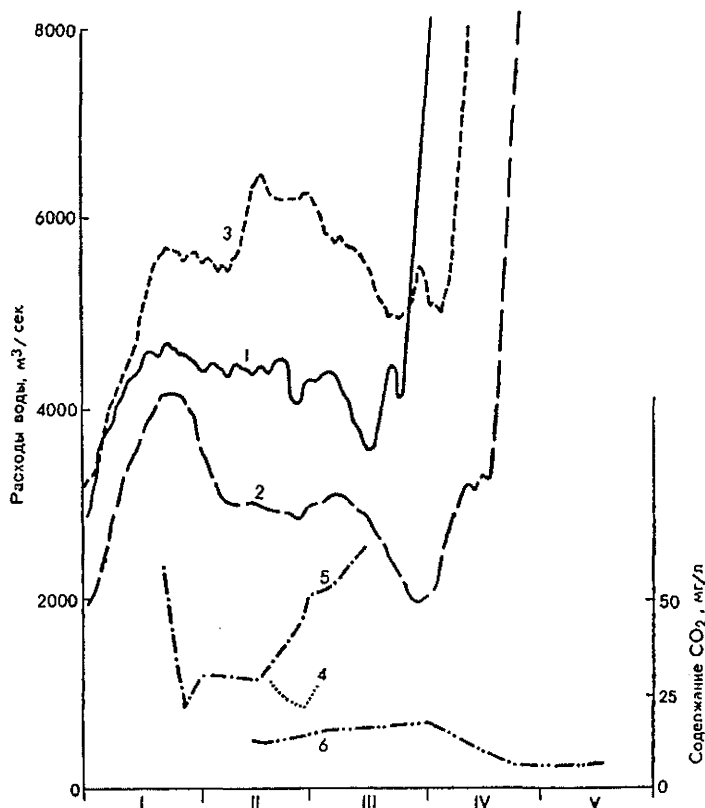


Рис. 30. Изменения расходов воды и концентраций растворенной CO_2 в воде р. Волги у г. Волгограда зимой в разные годы.

1 — расходы воды за 1955 г.; 2 — расходы воды за 1956 г.; 3 — расходы воды за 1957 г.; 4 — содержание CO_2 в 1955 г.; 5 — содержание CO_2 в 1956 г.; 6 — содержание CO_2 в 1957 г.

зани, несколько менее выражена она зимой 1955 и 1956 гг. у г. Волгограда (рис. 29 и 30 и [145, табл. 1]).

Обратная зависимость содержания CO_2 от расходов воды объясняется грунтовым питанием реки в зимний период. Грунтовые воды, фильтруясь через почву, теряют значительные количества растворенного кислорода на окисление органических веществ, и обогащаются растворимыми солями и CO_2 . Поэтому

при уменьшении расходов воды в реку поступают грунтовые воды более глубоких горизонтов и, по-видимому, более «старые» [301, стр. 165], содержащие меньшие количества O_2 и большие количества CO_2 вследствие более продолжительного соприкосновения с почво-грунтами.

Величина рН. Величина рН р. Волги у г. Казани в зимнее время довольно устойчива и колеблется незначительно в течение всего подледного периода. Пределы колебания величины рН во все зимы 7,00—7,19, что значительно ниже рН, наблюдавшейся нами в навигационный период (7,44—8,16) [145, табл. 1].

Величина рН воды у г. Волгограда выше, чем у г. Казани, и колеблется в более широких пределах — 7,30—7,60. Величина рН в зимнее время как у г. Казани, так и у г. Волгограда ниже величины рН в навигационный период для тех же пунктов. Это объясняется тем, что содержание двуокиси углерода в зимнее время в несколько раз больше, чем в другие сезоны года.

Биогенные вещества. Величина суммарного минерального азота в зимний период как для р. Волги у г. Казани и у г. Волгограда, так и для р. Камы у р. п. Лаишево всегда является наибольшей из всех сезонов [145, табл. 2]. Весной содержание минерального азота падает за счет разбавления талыми водами, летом достигает минимальной величины, а к осени снова возрастает. Такое изменение концентрации минерального азота по сезонам связано со слабым потреблением его в весеннее время, наибольшим усвоением растительными организмами в летнее время и с уменьшением интенсивности потребления его осенью.

Содержание суммарного минерального азота в воде р. Волги у г. Казани всегда выше, чем у г. Волгограда. Это объясняется, с одной стороны, разбавлением волжской воды камской, которая содержит меньшие количества азота, а с другой — частичным усвоением его растительными организмами, развивающимися в воде в подледный период.

Изменения в содержании минерального растворенного фосфора не имеют закономерного характера. Концентрации его колеблются в пределах 0,002—0,071 мг Р/л.

Концентрации железа в зимний период являются наибольшими в течение года с последующим уменьшением весной и особенно летом и повышением осенью. Такие изменения связаны, по-видимому, с характером питания в различные сезоны. В подледный период река питается исключительно грунтовыми водами, а поэтому и содержание железа является наибольшим. В весеннее время река питается в основном талыми водами, в том числе и талыми водами с болот, содержащими большие количества железа. Но в весенний период еще нет интенсивного фотосинтеза, поэтому и содержание железа еще довольно высокое, хотя и меньшее, чем зимой. А летом поступление железа с водой гораздо меньше, так как в реку поступают грунтовые воды с более

высоких горизонтов, содержащие меньшие количества железа, а с другой стороны, в меньшем количестве попадают в реку болотные воды. Кроме того, в этот период сильно развито потребление железа растительными организмами. Поэтому содержание железа в воде в летнее время оказывается наименьшим. В течение года концентрации железа в воде колеблются от 0,02 до 1,63 мг Fe/л.

Содержание кремния в зимний период является наибольшим, что также связано с грунтовым питанием реки. Дальнейшие изменения концентрации кремния по сезонам не имеют закономерного характера и она колеблется от 0,5 до 5,7 мг Si/л.

Органические вещества. Величина перманганатной окисляемости воды рек Волги и Камы в большинстве случаев является наибольшей в весенний период, что объясняется смывом талыми водами с поверхности почв и болот органических веществ. В зимнее время она близка к окисляемости в летнее время. Колебания величины перманганатной окисляемости для рек Волги и Камы во все наблюдаемые годы не выходит из пределов 7,2—13,1 мг O/л [145, табл. 1 и 2]. Величина окисляемости воды р. Волги уменьшается от г. Казани до г. Волгограда во все сезоны, что связано с частичной минерализацией органического вещества.

Глава VI

ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ГОРЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Перекрытием плотиной р. Волги у г. Городца было образовано Горьковское водохранилище. Его заполнение начато в октябре 1955 г. и закончено в мае 1957 г. Площадь Горьковского водохранилища равна 1611 км² и объем 10,3 км³. Водохранилище состоит из двух частей — озерной и речной (рис. 31). Озерная часть водохранилища имеет ширину до 14 км. Максимальная глубина в водохранилище 23 м, средняя 6,4 м [177]. Средний многолетний водообмен водохранилища равняется 5,5 раза в год.

Водность р. Волги в 1954—1958 гг. была различна: 1956 г. является маловодным годом, 1954 г. — средним по водности годом, а 1955, 1957 и 1958 гг. — многоводными годами. Данные расходов р. Волги у г. Ярославля у устья р. Оки приведены в табл. 8.

Таблица 8

Среднегодовые расходы воды р. Волги у г. Ярославля и у устья р. Оки
в 1954—1958 гг. (в м³/сек.)

	1954 г.	1955 г.	1956 г.	1957 г.	1958 г.	Средние многолетние расходы
р. Волга у Ярославля .	1120	1560	812	1320	1320	1110
% к среднему многолет- нему	101	141	73	119	119	100
р. Волга у устья р. Оки	1860	2385	1540	2005	2035	1670 ¹
% к среднему многолет- нему	111	143	92	120	122	100

¹ Средний многолетний расход воды р. Волги у устья р. Оки подсчитан по разности средних многолетних расходов воды р. Волги у г. Горького (ниже устья р. Оки) и средних многолетних расходов р. Оки у д. Новинки (17 км выше устья р. Оки) [90].

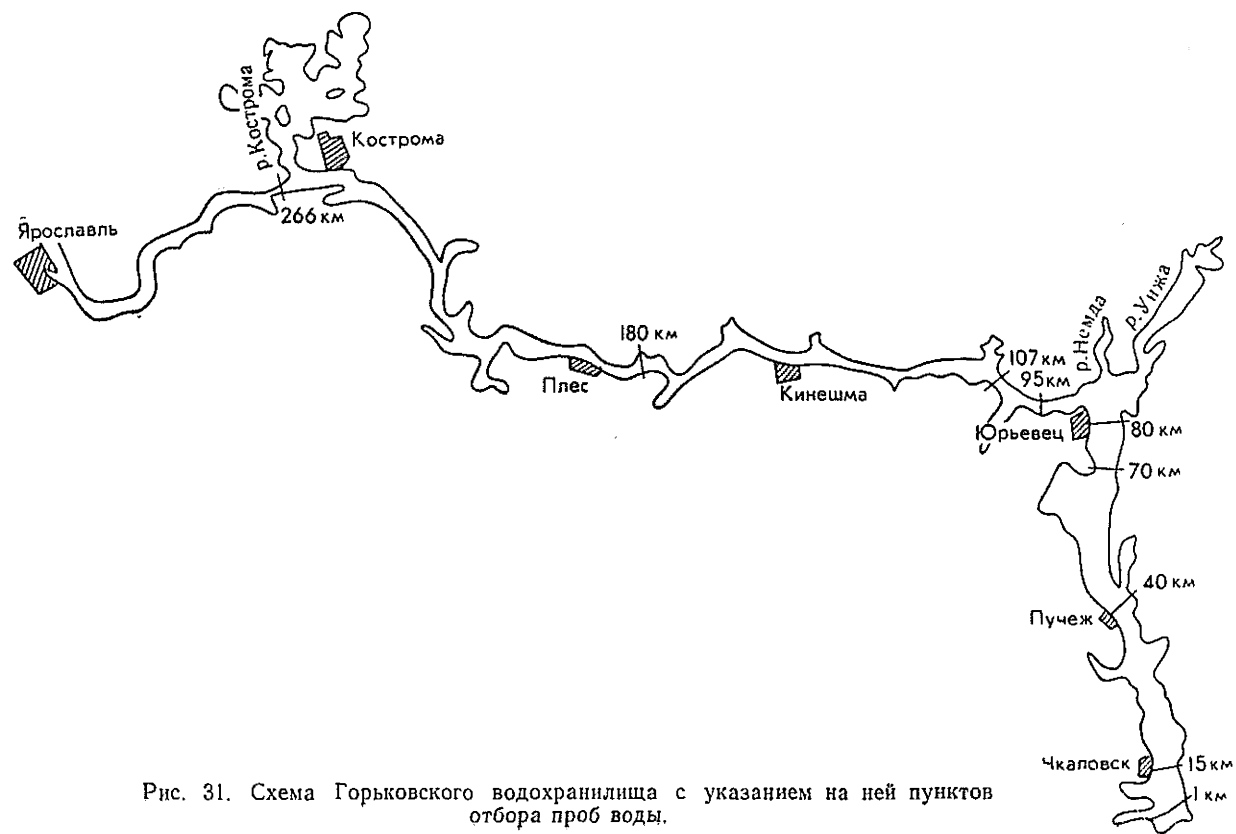


Рис. 31. Схема Горьковского водохранилища с указанием на ней пунктов отбора проб воды.

Пределы колебания в содержании отдельных компонентов
в 1954—

Компонент	1954 г.		
	июнь	сентябрь	октябрь
pH	7,91—8,12	8,00—8,22	7,97—8,02
Прозрачность, см	60—90	70—100	—
Цветность, град.	56—60	47—67	71—97
O ₂ { мг/л % насыщения	8,69—9,66 92,1—100,7	8,53—9,88 84,6—98,3	8,29—11,94 67,6—96,7
CO ₂ мг/л	1,6—3,1	1,2—3,0	2,6—2,9
Окисляемость { перманганатная окисляемость перманганатная окисляемость бихроматная окисляемость бихроматная окисляемость	11,1—12,2	12,0—12,9	12,9—13,2
	21—29	34—46	37—39
	100%		
	38,2—53,1	27,1—36,8	34,0—35,3
NO ₃ ' мгN/л	0,005—0,050	0,005—0,023	0,068—0,090
NO ₂ ' мгN/л	0,000—0,002	0,000—0,004	0,000—0,003
NH ₄ ' мгN/л	0,152—0,304	0,150—0,200	0,310—0,360
ΣN мгN/л	0,16—0,31	0,16—0,22	0,31—0,43
P _{мин.} раств мгP/л	0,003	0,002—0,005	0,003—0,004
ΣFe мгFe/л	0,06—0,81	0,06—0,25	0,16—0,38
Si мгSi/л	0,9—1,5	1,2—1,3	1,0—1,4
Температура, °C	15,4—20,4	15,6—16,4	6,8—7,5

Таблица 9

в воде Горьковского водохранилища и притоках Волги
1958 гг.

1955 г.		1956 г.	
май	сентябрь	май	август
—	—	6,45—7,42	7,20—8,08
70—80	70—90	50—140	80—205
27—33	61—69	21—116	49—82
9,78—10,95	7,0—9,0	7,72—10,65	6,5—8,7
85,6—98,3	70,0—91,5	70,1—87,0	64,2—85,9
4,2—6,6	1,4—3,2	8,4—12,5	6,9—12,5
10,5—12,4	11,9—13,2	8,7—17,4	9,2—15,4
36—41	36—37	39—48	25
25,3—33,4	33,1—33,4	20,2—26,5	40,4—82,6
0,339	0,011	0,01—2,26	0,07—0,170
0,000	0,000	0,000—0,025	0,000—0,029
0,16—0,18	0,16—0,17	0,08—0,24	0,10—0,29
0,51—0,52	0,17—0,18	0,11—2,36	0,055—0,47
0,004	0,003—0,004	0,003—0,047	0,028—0,074
0,25—0,33	0,03—0,12	0,26—0,57	0,22—1,80
2,4—4,7	1,1	1,0—1,8	0,6—1,8
8,2—10,5	17,2—17,8	5,8—13,2	15,4—17,5

Компонент	1957 г.		1958 г.
	май	август	май
pH	7,17—7,67	6,73—8,40	6,97—7,89
Прозрачность, см	100—160	90—170	60—90
Цветность, град.	24—50	25—52	27—62
O ₂ { мг/л ‰ насыщения	6,45—10,82 61,4—99,7	0,06—10,43 0,6—117,1	7,86—10,56 66,7—94,6
CO ₂ мг/л	2,9—8,2	0,7—15,1	2,6—7,3
Окисляемость { перманганатная окисляемость перманганатная окисляемость бихроматная окисляемость бихроматная окисляемость	10,3—16,3	10,1—15,2	4,7—17,8
	47	21—48	—
	26,0	—	—
	—	—	—
NO ₃ ' мгN/л	0,038—0,343	0,006—0,226	0,000—0,452
NO ₂ ' мгN/л	0,000—0,005	0,000—0,013	0,000—0,010
NH ₄ • мгN/л	0,08—0,29	0,04—0,24	0,145—0,727
ΣN мгN/л	0,20—0,45	0,07—0,33	0,18—0,92
P _{мин.} раств мг P/л	0,005—0,019	0,003—0,067	0,006—0,012
ΣFe мгFe/л	0,17—0,32	0,08—0,76	0,24—0,73
Si мгSi/л	1,7—2,7	1,3—2,9	2,3—4,5
Температура, °C	12,6—17,9	17,4—21,8	6,6—14,9

	Которосль	Кострома	Немда	Унжа
сентябрь				
—	7,83—8,23	7,45—8,29	6,54—8,02	6,65—8,12
80—155	50—100	50—105	55—120	45—150
14—23	22—90	25—116	17—89	23—113
10,00—11,04	7,15—9,76	6,67—11,05	6,47—10,66	4,80—10,95
88,2—93,2	77,8—97,9	74,3—91,0	70,4—105,0	52,7—91,0
1,4—3,6	21—11,6	1,6—12,0	2,3—7,3	1,3—14,4
—	5,7—14,1	7,6—15,5	3,5—16,1	5,0—16,7
—	—	25,1—35,0	—	20,7—34,3
—	—	21,7—61,6	—	14,5—48,7
0,000—0,113	0,000—0,090	0,005—0,139	0,000—0,045	0,000—0,045
0,000—0,004	0,000—0,006	0,000	0,000	0,000
0,043—0,157	0,043—0,184	0,05—0,246	0,053—0,248	0,05—0,29
0,10—0,25	0,05—0,86	0,06—0,31	0,10—0,25	0,06—0,30
0,002—0,022	0,003—0,058	0,003—0,077	0,003—0,030	0,003—0,071
0,06—0,31	0,12—0,44	0,07—0,63	0,07—1,13	0,12—2,34
1,5—5,6	0,8—2,7	0,8—7,0	1,9—10,0	1,2—4,7
8,1—11,0				

1. Главнейшие ионы

а) **Общая минерализация.** Изменения общей минерализации воды Верхней Волги зависят главным образом от гидрохимического режима Рыбинского водохранилища, потому что водный сток из этого водохранилища составляет 66,4% водного стока Верхней Волги у устья р. Оки. На этом участке нет больших притоков, способных изменить химический состав воды р. Волги. Водоносности притоков р. Волги составляют: р. Которосли — 2,9%, р. Костромы — 9,3%, р. Немды — 2,1%, Унжи — 14,0% от водоносности р. Волги у устья р. Оки, что вместе со стоком из Рыбинского водохранилища составит 94,7%. Остальные 5,3% притока в Горьковское водохранилище приходятся на другие мелкие притоки и на грунтовые воды, непосредственно поступающие в русло р. Волги и Горьковское водохранилище. Кроме того, химические составы воды р. Волги и ее притоков — рек Костромы, Немды и Унжи — сходны между собой.

Изменения минерализации воды на участке Верхней Волги (от г. Ярославля до г. Горького) были не очень большие, но, как правило, величина минерализации увеличивалась вниз по течению реки (табл. 9 и [155 и 156, табл. 1]).

За период наших наблюдений на речной части Горьковского водохранилища минерализация воды изменялась в пределах от 86,6 до 178,8 мг/л, т. е. изменения минерализации воды по сезонам в течение пяти лет наблюдений были одинаковыми как до, так и после сооружения Горьковского водохранилища. В весенний период минерализация воды речной части водохранилища всегда ниже, чем минерализация в летний и осенний периоды в те же годы. Кроме того, во все сезоны пяти лет минерализация воды увеличивается вниз по течению, за исключением сентября 1954 г. и мая 1955 г., когда минерализация соответственно изменялась от 179 до 168 мг/л и от 96 до 83 мг/л.

В озерной части водохранилища в 1956—1958 гг. в приплотинной части водохранилища минерализация воды была всегда ниже, чем минерализация воды в 100 км от плотины, т. е. в верховье озерной части водохранилища. Изменения минерализации воды озерной части водохранилища по сезонам года такие же, как и в речной его части, т. е. в весенний период минерализация воды во всем водохранилище всегда ниже, чем это наблюдалось в летний и осенний периоды.

Так как в водохранилище всегда имеется запас воды, который составляет значительную долю от годового стока (для 1957 и 1958 гг. объем водохранилища составлял $\frac{1}{6}$ годового стока р. Волги у устья р. Оки), то для смены воды в водохранилище необходимо довольно продолжительное время, зависящее от гидрологической фазы. Даже в 1956 г., когда водохранилище было наполнено менее чем наполовину, время обмена воды со-

ставляло от 12 до 33 суток, а в 1957 г. — после заполнения водохранилища до проектной отметки — от 23 (в мае) до 92 суток (в августе). Эти данные приведены в табл. 10.

Таблица 10

Объем Горьковского водохранилища и время, необходимое для полной смены воды в нем

Месяцы	1956 г.		1957 г.		1958 г.	
	объем водохранилища, км ³	время смены воды, сутки	объем водохранилища, км ³	время смены воды, сутки	объем водохранилища, км ³	время смены воды, сутки
V	4,5	12	9,5	23	10,3	23
VI	3,6	23	10,0	63	10,3	67
VII	3,4	28	10,0	69	10,3	84
VIII	3,6	33	10,0	84	10,3	92

Подсчет времени полной смены воды в водохранилище (или времени добегания воды) приведен в статье А. А. Зенина и К. Г. Лазарева [147] и в главе VII, стр. 125.

За счет накопленного в Горьковском водохранилище объема воды происходит запаздывание в повышении минерализации сбрасываемой из водохранилища воды, т. е. наблюдается несоответствие между минерализацией сбрасываемой воды и гидрологической фазой р. Волги по сравнению с бытовыми условиями. Здесь имеет место сдвиг на более позднее время изменения минерализации воды. А так как со времени паводка минерализация воды р. Волги и ее притоков непрерывно возрастает, то в приплотинной части в летне-осенне-зимний период и должна наблюдаться меньшая минерализация воды, чем минерализация воды в верховье водохранилища. Единственным периодом, когда минерализация воды у плотины будет выше, чем минерализация воды в верховье водохранилища, является начало паводка. В это время водохранилище будет заполнено зимней более минерализованной водой, а в верховье водохранилища будут поступать паводочные, минерализованные воды. Точно такое же явление наблюдалось А. И. Денисовой [111, стр. 101] на Каховском водохранилище в 1955—1960 гг.

Как было указано выше, Горьковское водохранилище состоит из двух частей: озерной и речной. В речной части водохранилища после его наполнения до проектной отметки скорость течения воды уменьшилась, но эти скорости были еще довольно заметными. По наблюдениям Н. В. Буторина [71] в летнюю межень (август 1957 г.) скорости течения воды в речной части Горьковского водохранилища были: у г. Ярославля — 0,30 м/сек., у г. Костромы — 0,25 м/сек., у г. Кинешмы — 0,10 м/сек.

В период паводка скорости течения воды еще большие. Поэтому и изменения общей минерализации воды этой речной части водохранилища незначительны, т. е. режим этой части водохранилища мало изменился по сравнению с бытовыми условиями реки.

Изменения скоростей течения воды в озерной части водохранилища еще большие, чем в речной. На разрезе у г. Юрьевца, по данным того же автора, скорости течения воды по вертикали изменялись в пределах $0,04—0,08$ м/сек., а у г. Пучежа течение было настолько незначительным, что инструментально не улавливалось. На разрезе у г. Чкаловска и особенно в 5 км выше плотины скорости течения воды снова становятся заметными: в первом случае $0,04—0,16$ м/сек., во втором — $0,13—0,33$ м/сек. Увеличение скорости течения воды в приплотинной части объясняется сбросом воды через турбины Горьковской ГЭС.

На основании проведенных нами исследований [137—142] и данных, полученных Н. В. Буториным [66, 68, 71, 72], можно сделать вывод, что вода в озерной части Горьковского водохранилища перемещается по всему живому сечению примерно с одинаковой скоростью. В связи с этим происходит в основном вытеснение накопленной в водохранилище воды позднее поступающей в него водой, и имеет место лишь незначительное смешение воды водохранилища с водой притока на границе их соприкосновения. Что касается стратификации минерализации воды по глубине, то мы ее в водохранилище никогда не наблюдали. Это можно объяснить тем, что в р. Волге до зарегулирования такая стратификация вообще никогда нами не наблюдалась, и поэтому вода притока, попадая в водохранилище, сохраняет полную однородность по вертикали. Кроме того, ветровое волнение на водохранилище также способствует перемешиванию воды по вертикали.

Как это было нами показано ранее [137—140] и будет более подробно рассмотрено в главе XI, неоднородность химического состава воды по ширине и длине Горьковского водохранилища имеет место почти во все сезоны года. Это явление объясняется различием минерализации воды впадающих в Горьковское водохранилище притоков (рр. Волги, Немды и Унжи) в различные гидрологические фазы. Как показали наши наблюдения в верховье озерной части Горьковского водохранилища, минерализация воды у левого берега весной всегда ниже, а летом — выше или равна минерализации воды у правого берега. Это происходит от того, что паводок на левых притоках — рр. Немде и Унже — проходит раньше, чем на р. Волге, и поэтому в весенний период (май) минерализация воды этих притоков всегда меньше, чем минерализация воды р. Волги (табл. 11). Летом же величины минерализации воды р. Волги и ее притоков близки между собой или даже минерализация притоков больше, чем р. Волги (август 1956 и сентябрь 1958 г.).

Таблица 11

Минерализация воды притоков Горьковского водохранилища (мг/л)

Река	1956 г.		1957 г.		1958 г.	
	май	август	май	август	май	сентябрь
Волга	134,1	148,0	144,1	136,5	97,3	141,9
Немда	—	—	45,5	85,1	—	156,0
Унжа	68,3	176,7	73,8	101,0	43,8	184,8

По мере продвижения водных масс от верховьев к плотине происходит постепенное перемешивание воды по ширине водохранилища и к плотине вода подходит уже совершенно однородной.

По продольной оси водохранилища также наблюдается различие в минерализации воды. В течение весны, лета и осени, как это уже отмечалось нами на стр. 94, минерализация воды в верховье водохранилища большей частью была выше минерализации воды у плотины, что также связано со сменой гидрологических фаз на р. Волге и ее притоках.

Теперь рассмотрим, какие произошли изменения в минерализации воды р. Волги после сооружения Горьковского водохранилища. Для сравнения данные по минерализации воды р. Волги до и после сооружения Горьковского водохранилища приведены в табл. 12.

Таблица 12

Минерализация воды р. Волги и ее притоков до и после сооружения Горьковского водохранилища, 1954—1958 гг. (мг/л)

Пункт отбора проб (расстояние от плотины)	1954 г.		1955 г.		1956 г.		1957 г.		1958 г.	
	июль	сентябрь	май	сентябрь	май	август	май	август	май	сентябрь
338 км	154,3	178,8	95,7	107,6	112,6	119,7	144,8	126,8	86,6	147,8
266 км	155,6	187,7	101,9	110,4	142,8	127,2	133,5	140,7	87,0	151,6
95 км	169,8	170,5	100,0	114,2	134,1	148,0	144,1	136,5	97,0	141,9
5 км выше плотины	163,0	168,3	83,8	118,9	77,3	135,6	74,7	151,0	59,0	144,8
57 км ниже плотины										
р. Унжа — 20 км от устья	145,2	182,8	50,3	197,6	68,3	176,7	73,8	101,0	43,8	184,8
р. Немда — 1—10 км от устья	105,9	131,2	—	156,2	—	—	45,5	85,1	—	156,0

Данные табл. 12 показывают, что минерализация воды р. Волги в весенний период (май) как до сооружения

Горьковского водохранилища, так и после увеличивается от Ярославля вниз по течению до устья рек Немды и Унжи, а ниже впадения этих притоков она резко падает за счет разбавления маломинерализованной водой рек Немды и Унжи, на которых в это время проходит пик паводка.

В августе—сентябре наблюдается, как правило, непрерывное увеличение минерализации воды от Ярославля до устья р. Оки.

Результаты сравнения минерализации воды р. Волги до и после сооружения Горьковского водохранилища показывают, что имеет место некоторое уменьшение общей минерализации воды после сооружения Горьковского водохранилища в наблюдаемые нами сезоны, обусловленное накоплением весенних маломинерализованных вод в этом водохранилище и постепенным их расхождением в нижний бьеф. Среднегодовая же минерализация воды, сбрасываемой в нижний бьеф Горьковского водохранилища, должна остаться без изменений, как это будет показано на примере Куйбышевского водохранилища (глава VII). Таким образом, в связи с сооружением Горьковского водохранилища, произошло некоторое перераспределение общей минерализации воды по сравнению с бытовыми условиями, связанное с перераспределением водного стока.

б) Относительный химический состав воды. Приток грунтовых вод, поступающих непосредственно в русло р. Волги на участке от г. Ярославля до г. Горького, очень мал. Это видно по слагаемым водного стока на участке: приток из Рыбинского водохранилища составляет 66,4%, из рек Которосли, Костромы, Немды и Унжи — 28,3% и только 5,3% приходится на другие мелкие притоки и приток грунтовых вод.

Поэтому естественно, что относительный состав воды р. Волги и ее притоков до и после сооружения Горьковского водохранилища (табл. 13) имеет колебания в тех же пределах, в каких они были до зарегулирования р. Волги. Такое же явление наблюдалось и другими исследователями на другом участке Верхней Волги. После сооружения Угличского и Рыбинского водохранилищ относительный состав воды р. Волги остался почти таким же, каким он наблюдался до сооружения этих водохранилищ [4, стр. 90—91].

Главную часть анионов в воде р. Волги на участке от г. Ярославля до г. Горького как до, так и после сооружения Горьковского водохранилища составляют HCO_3' , содержание которых колеблется в пределах 36—41% экв., затем SO_4'' — 6—15% экв. и незначительную часть составляет Cl' — 2—5% экв. Из катионов первое место занимает Ca'' — 25—33% экв., затем Mg'' — 12—18% экв. и последнее место занимают щелочные металлы $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ — 1—11% экв. В большинстве случаев нами наблюдалась почти точная эквивалентность в содержании хлоридов и

Пределы колебания относительного состава воды р. Волги и ее притоков
до и после сооружения Горьковского водохранилища

Ион	До зарегулирования		После зарегулирования		р. Кострома	р. Немда	р. Унжа
	у г. Ярославля	у г. Горького	у г. Ярославля	у г. Горького			
Cl ⁻	2,1—5,2	2,0—4,1	2,4—3,4	2,5—5,0	2,1—4,5	2,7—5,1	2,1—6,5
SO ₄ ²⁻	5,9—14,9	6,8—9,1	6,7—19,1	6,7—11,1	4,3—11,6	1,8—7,0	5,6—13,4
HCO ₃ ⁻	33,0—40,9	37,8—41,2	37,7—41,3	35,8—39,4	36,4—43,5	40,1—45,5	31,3—41,0
Ca ²⁺	24,0—32,9	26,6—32,9	29,7—35,5	27,7—33,8	23,7—33,0	25,9—33,0	27,1—35,0
Mg ²⁺	13,7—15,9	13,9—16,6	12,2—16,4	11,4—18,2	14,1—18,5	11,6—16,5	13,1—16,3
Na ⁺ + K ⁺	1,3—11,5	2,7—11,5	2,1—8,1	1,2—10,4	0,3—11,6	2,1—11,2	1,5—13,3

щелочных металлов, как это обычно наблюдалось другими исследователями на участке Верхней Волги [4, стр. 92] и вообще на протяжении всей р. Волги [153].

На этом участке Верхней Волги содержание HCO_3' во все сезоны года больше содержания Ca'' (соответственно 36—41 и 25—33% экв.), но меньше суммы $\text{Ca}'' + \text{Mg}''$ (43—45% экв.).

Вода Верхней Волги относится к гидрокарбонатному классу, кальциевой группе, второму типу.

2. Физические свойства воды

Температура. На Верхней Волге от Ярославля до Горького как до, так и после сооружения Горьковского водохранилища наблюдалось большое различие в температуре воды различных ее участков (табл. 9 и [155 и 156, табл. 3]). В открытый период температура воды верхних участков р. Волги в большинстве случаев ниже, чем нижних, что объясняется климатическими условиями отдельных участков реки и влиянием на верхний участок более холодных вод Рыбинского водохранилища. Разница в температуре воды верхних и нижних участков Верхней Волги колеблется от 0,0 до 7,9°. Наибольшая разность температур наблюдалась всегда в мае (май 1954 г. 5,0°, май 1955 г. 2,3°, май 1956 г. 7,2°, май 1957 г. 3,5°, май 1958 г. 7,9°). Интересно отметить, что в сентябре 1954, 1955 и 1958 гг. температура воды верхних и нижних участков была одинаковой, в другие же месяцы верхние участки имели более низкую температуру воды, чем нижние.

В р. Волге до сооружения Горьковского водохранилища вертикальной стратификации температуры не наблюдалось. В Горьковском водохранилище такая стратификация температуры воды имела место во все наблюдаемые периоды, но наиболее четко она была выражена в мае 1958 г., когда температура воды поверхностного горизонта превышала температуру воды придонного слоя на 5,7°, в мае 1957 г. — на 3,7° и в августе 1957 г. — на 2,9°. В остальное время эта разница не превышала 1°.

Прозрачность. Прозрачность воды р. Волги до зарегулирования колебалась в пределах 60—100 см по белому диску.

В Горьковском водохранилище прозрачность воды по сравнению с бытовыми условиями реки увеличилась и в некоторые периоды достигала 205 см, в среднем она колебалась в пределах 90—160 см (табл. 9 и [155 и 156, табл. 3]). Увеличение прозрачности объясняется уменьшением скорости течения воды в водохранилище по сравнению с рекой.

Электропроводность. Изменение электропроводности воды р. Волги, Горьковского водохранилища и их притоков подробно будет рассмотрено в главе XI. Здесь укажем только пределы колебания электропроводности воды р. Волги и Горьковского во-

дохранилища — 50,4—349,9 мсмм. Наименьшая электропроводность воды в водохранилище обусловлена впадением в него притоков — Немды и Унжи, электропроводность воды которых в весенний период составляла 36,0 и 56,9 мсмм. Наибольшей электропроводностью обладает вода р. Волги.

3. Биогенные вещества

а. Соединения азота. Содержание отдельных форм азота в воде р. Волги и Горьковского водохранилища изменяется в довольно широких пределах: нитратного — от 0,005 до 2,26 мг N/л, нитритного — от 0,000 до 0,029 мг N/л и аммонийного — от 0,04 до 0,73 мг N/л. Общее содержание минерального растворенного азота (ΣN), представляющее сумму азота нитратного, нитритного и аммонийного, изменяется в пределах 0,07—2,36 мг N/л (табл. 9 и [155 и 156, табл. 3]).

В изменении содержания как отдельных форм азота, так и его общей концентрации имеет место сезонная зависимость, определяемая температурой воды (см. стр. 69).

Во все годы в паводковый период (май) содержание азота больше, чем его содержание в летний период (август—сентябрь), с последующим повышением осенью (октябрь 1954 г.).

Если сравнить данные по содержанию различных форм азота в отдельности и общего минерального азота в воде р. Волги до и после создания Горьковского водохранилища и в воде самого водохранилища, то можно заметить увеличение амплитуды колебания в их содержании после сооружения Горьковского водохранилища. Это увеличение амплитуды колебания показано в табл. 14.

Таблица 14

Изменения содержания различных форм азота до и после сооружения Горьковского водохранилища

	NO_3' мг N/л	NO_2' мг N/л	NH_4' мг N/л	ΣN мг N/л
До сооружения	0,01—0,34	0,000—0,004	0,15—0,36	0,16—0,52
После сооружения . . .	0,00—0,26	0,000—0,029	0,04—0,73	0,06—2,36

Такое увеличение амплитуды колебания в содержании различных форм азота следует объяснить меньшей перемешиваемостью водных масс водохранилища по вертикали, по сравнению с рекой, т. е. в некоторые периоды времени имеет место вертикальная стратификация азота с большей концентрацией у дна за счет минерализации органических веществ и меньшей

в поверхностном слое за счет более интенсивного потребления азота фитопланктоном.

Общее содержание минерального азота довольно высокое во все сезоны года, вполне достаточное для развития фитопланктона, и, таким образом, не лимитирует его.

Такие же результаты наблюдений по содержанию различных форм азота получены А. В. Фотиевым [346], проводившим наблюдения на Горьковском водохранилище в течение 1956 г.

Указание А. И. Денисовой [111] на наблюдавшееся ею явление резкого увеличения содержания аммонийного азота в придонных слоях Каховского водохранилища, совпадавшее с резким уменьшением растворенного кислорода, подтверждается и для Горьковского водохранилища. Но такие случаи немногочисленны (6/VIII 1957 г. у левого берега на разрезе VII), так как редко наблюдались явления резкого дефицита кислорода в Горьковском водохранилище. Одновременно с этим на этом же разрезе, только на других вертикалях, нами наблюдалось резкое возрастание нитратов в придонном слое. Этот случай можно объяснить следующим образом: где наблюдался большой дефицит кислорода, как это было 6/VIII 1957 г. на разрезе VII у левого берега (содержание кислорода составляло 0,06 мг O_2 /л), там создавались условия для минерализации органического вещества до аммония и не происходило дальнейшего окисления аммония до нитратов; если же содержание кислорода было несколько большим, как это наблюдалось нами в других точках этого разреза (посередине — 2,26 мг O_2 /л и у правого берега — 0,98 мг O_2 /л), то этого количества кислорода, по-видимому, еще было достаточно для дальнейшего окисления аммония до нитратов, вследствие чего и наблюдалось повышенное по сравнению с другими станциями содержание нитратного азота.

Строгой закономерности в распределении общего минерального азота по акватории Горьковского водохранилища нам установить не удалось. Это, по-видимому, можно объяснить тем, что в водохранилище присутствует вода различных сезонов и разных притоков, кроме того, на изменения в содержании азота оказывают влияние фитопланктон, потребляющий азот, и процессы минерализации органического вещества, сопровождающиеся образованием различных форм азота.

Фосфор. Содержание растворимых фосфатов колебалось в пределах 0,002—0,074 мг P/л (табл. 9 и [155 и 156, табл. 3]).

После создания водохранилища амплитуда колебания содержания растворимых фосфатов увеличилась от 0,002—0,005 мг P/л (до зарегулирования) до 0,002—0,074 мг P/л (после сооружения Горьковского водохранилища). Это явление можно объяснить увеличением амплитуды колебания температуры воды Горьковского водохранилища по сравнению с бытовыми условиями реки. В связи с повышением темпе-

ратуры воды в водохранилище увеличилась жизнедеятельность фитопланктона, потребляющего фосфор, бактерий, которые переводят нерастворимые соединения фосфора в растворимые, и интенсифицировались процессы регенерации органических веществ.

Вертикальная стратификация в содержании растворимых фосфатов отчетливо наблюдалась нами только в августе 1957 г. В это время на разрезах V и VII в придонных слоях воды содержание фосфатов иногда достигало 0,067 мг P/л, в то время как в поверхностном слое содержание фосфатов было около 0,003 мг P/л. В остальные сезоны наблюдаемых лет такой стратификации не было, по-видимому, из-за полной перемешиваемости воды по вертикали ветром.

Железо. Содержание железа колеблется в широких пределах — от 0,06 до 1,80 мг Fe/л в зависимости от сезона года и места отбора проб воды (табл. 9 и [155 и 156, табл. 3]). В свободный ото льда период наибольшие содержания железа наблюдались весной (май), наименьшие — летом (август—сентябрь), а содержание железа в осенний период (октябрь) было несколько выше содержания железа в летний период, но ниже, чем в весенний. Много железа в р. Волгу вносят ее притоки, вода которых содержит большие количества его, например, воды р. Костромы содержат 0,12—0,63 мг Fe/л, р. Немды — 0,35—1,13 мг Fe/л, р. Унжи — 0,12—2,34 мг Fe/л. Кроме того, вода самой р. Волги иногда имеет довольно значительные концентрации железа. Так, у г. Ярославля концентрация железа в воде р. Волги в мае 1956 г. составляла 0,54 мг Fe/л, в мае — 1958 г. — 0,73 мг Fe/л. В остальное время наблюдений содержание железа в воде р. Волги было гораздо меньшим, чем в воде ее притоков.

После сооружения Горьковского водохранилища в содержании железа произошли изменения: во-первых, увеличилась амплитуда колебания концентрации железа от 0,03—0,81 мг Fe/л до 0,06—1,80 мг Fe/л, во-вторых, наблюдалась вертикальная стратификация железа с максимальным содержанием у дна и минимальным — в поверхностном слое воды.

Большие концентрации железа у дна являются следствием минерализации органических веществ (отмерший планктон), а малые содержания железа в поверхностном слое воды объясняются потреблением его фитопланктоном. Наиболее отчетливо вертикальная стратификация железа наблюдалась нами на Горьковском водохранилище в августе 1956 г. на приплотинном участке и в августе 1957 г. почти на всей территории водохранилища, т. е. в теплое время года и в штилевую погоду, когда нет вертикального перемешивания водных масс водохранилища.

Кремний. Содержание кремния колебалось в пределах 0,6—5,6 мг Si/л (табл. 9 и [155 и 156, табл. 3]). Строгой закономерности в изменении содержания кремния по сезонам года нам установить не удалось. Имеется тенденция в сторону уменьшения

его концентрации от весны к лету, что следует объяснить изъятием его из воды диатомовыми водорослями и некоторыми живыми организмами.

Создание Горьковского водохранилища несколько увеличило амплитуду колебания в содержании кремния: от 0,9—4,7 мг Si/л до 0,6—5,6 мг Si/л. Такое явление следует объяснить увеличившейся деятельностью растительных и животных организмов в водохранилище по сравнению с бытовыми условиями реки, которые в больших количествах (потому что их биомасса стала в несколько раз большей) стали перерабатывать соединения кремния.

Вертикальная стратификация содержания кремния отчетливо наблюдалась нами только лишь в августе 1957 г., когда была штилевая погода, с повышенным содержанием кремния у дна и с меньшей концентрацией его в поверхностном слое воды.

4. Органические вещества

О содержании органического вещества в воде Горьковского водохранилища и его притоков мы судили по перманганатной и бихроматной окисляемости и по цветности воды.

Перманганатная окисляемость. Перманганатная окисляемость воды р. Волги, Горьковского водохранилища и их притоков довольно высока и колеблется в пределах 4,7—17,8 мг О/л (табл. 9 и [155 и 156, табл. 3]). Особенно она значительна для весенних паводочных вод притоков р. Волги и Горьковского водохранилища. Так в половодье 1955, 1956 и 1957 гг. перманганатная окисляемость воды рек Костромы, Немды и Унжи составляла 15—17 мг О/л, в то время как ее величина для воды самой р. Волги (у г. Ярославля) достигала только 8—12 мг О/л.

После сооружения Горьковского водохранилища амплитуда колебаний величины перманганатной окисляемости воды увеличилась от 10,5—13,2 мг О/л до 4,7—17,8 мг О/л.

Это увеличение, по-видимому, объясняется повышением продуцирования органического вещества живыми организмами, которое свойственно изменившимся условиям в водоеме. К условиям, влияющим на жизнедеятельность живых организмов в водоеме, относятся повышение температуры воды и уменьшение скорости течения воды.

Вертикальной стратификации величины перманганатной окисляемости воды Горьковского водохранилища нами не наблюдалось, а имела место неоднородность воды по ширине водохранилища по содержанию в ней органических веществ. Особенно отчетливо она была выражена в мае 1956 г., когда величина перманганатной окисляемости воды на разрезе V у левого берега водохранилища была почти в полтора раза больше, чем у правого берега (соответственно 17,0 и 12,7 мг О/л). Такая не-

однородность воды, как это нами было показано ранее для других компонентов химического состава воды [137—140], обусловлена впадением притоков Немды и Унжи, воды которых в это время имели очень высокую величину перманганатной окисляемости (для р. Унжи она составляла 16,3 мг О/л).

Бихроматная окисляемость. Определения бихроматной окисляемости воды Горьковского водохранилища нами были выполнены только в 15 пробах воды и 14 пробах воды р. Костромы и р. Унжи (табл. 9 и [155 и 156, табл. 3]).

Бихроматная окисляемость определялась нами в пробах, отобранных у г. Ярославля и у плотины. Какой-либо закономерности в изменении величины бихроматной окисляемости воды Горьковского водохранилища установить нам не удалось. В изменении величины бихроматной окисляемости имеется некоторая тенденция к увеличению ее вниз по течению р. Волги. Такая тенденция может быть объяснена дополнительным внесением органических веществ с водой притоков, особенно таких притоков, как рр. Кострома, Немда и Унжа, бихроматная окисляемость воды которых несколько выше, чем воды р. Волги.

Отношение $\frac{\text{перманганатная окисляемость}}{\text{бихроматная окисляемость}} \cdot 100$ для воды р. Волги и Горьковского водохранилища колебалось в пределах 21—48%, для р. Костромы — 20—48%, для р. Унжи — 20—59%.

Цветность. Еще одной характеристикой органического вещества, присутствующего в воде, является ее цветность, которая обусловлена только окрашенными органическими веществами.

Цветность воды р. Волги до сооружения Горьковского водохранилища была довольно значительна и колебалась в пределах 27—97° (табл. 9 и [155 и 156, табл. 3]). В первый год существования Горьковского водохранилища как весной, так и летом наблюдалось увеличение цветности воды до 116° (май) и 49—82° (август). В последующие годы (1957—1958 гг.) нами наблюдалось уменьшение цветности воды, особенно в сентябре 1958 г., когда она достигала только 14—23°. Такие изменения в цветности воды, происшедшие после сооружения Горьковского водохранилища, можно объяснить следующими причинами. Увеличение цветности в первый год существования водохранилища обусловлено извлечением окрашенных органических веществ из вновь залитых пойменных территорий рек Костромы, Немды и Унжи (цветность воды р. Костромы весной 1956 г. составляла 116° и р. Унжи 113°). В пользу этого объяснения говорит и то, что цветность воды водохранилища на разрезе V у левого берега выше, чем у правого берега, что обусловлено внесением вод левобережных притоков. Уменьшение цветности воды в последующие годы, по-видимому, объясняется изменением качественного состава органических веществ с уменьшением доли окрашенных органических веществ, так как величина

перманганатной окисляемости не уменьшилась, а, наоборот, несколько повысилась в 1957—1958 гг.

Закономерность в изменении цветности воды по сезонам года нами не обнаружена, точно так же как не обнаружена и вертикальная стратификация цветности воды Горьковского водохранилища.

5. Растворенные газы и pH

Формирование газового режима реки, водохранилища в первый год его существования и водохранилища, существующего уже несколько лет, протекает по-разному, так как различные факторы, влияющие на это формирование.

К факторам, оказывающим влияние на формирование газового режима водохранилища, следует отнести следующие: замедленное движение водных масс и изменение температуры воды водохранилища по сравнению с бытовыми условиями реки, ветровое перемешивание, интенсивно протекающие в летний период процессы фотосинтеза, обогащающие воду кислородом и поглощающие двуокись углерода, значительное потребление кислорода на окисление органических веществ, сточных и промышленных вод, попадающих в водохранилище, с выделением двуокиси углерода и других продуктов.

Кислород. Как нами было уже описано выше (стр. 76), содержание растворенного в воде кислорода в бытовых условиях р. Волги (1954—1955 гг.) на участке Горьковского водохранилища определялось в основном температурой воды: с повышением температуры воды в летний период уменьшалось количество растворенного кислорода, с понижением ее наблюдалось увеличение содержания кислорода. В общем, содержание растворенного кислорода в воде р. Волги изменялось в пределах 7,0—12,0 мг O_2 /л в зависимости от сезона года (табл. 9 и [155 и 156, табл. 3]). В весенний, летний и осенний периоды содержание кислорода не падало ниже 7,0 и не превышало 11,9 мг O_2 /л, насыщение воды кислородом колебалось в пределах 67,6—100,7%. Величина насыщения преимущественно колебалась от 78 до 97%.

Что касается режима растворенного кислорода в воде Горьковского водохранилища, то здесь наблюдалась несколько иная картина. В первый год существования водохранилища имеет место снижение содержания растворенного кислорода за счет расходования его на окисление органических веществ, извлеченных из вновь залитых пойменных почв, до 6,5—10,6 мг O_2 /л (64—87% нас.). Но это снижение не такое сильное, как это наблюдалось на Цимлянском [340, стр. 91] и Каховском [111, стр. 44] водохранилищах.

Такое отличие в формировании режима растворенного кислорода в первый год существования Горьковского водохрани-

лища по сравнению с Цимлянским и Каховским объясняется несколькими причинами.

1. Горьковское водохранилище в первый год существования имело объем 3,6—4,5 км³, что составляло только лишь 1/15 часть годового стока воды р. Волги на этом участке, в то время как

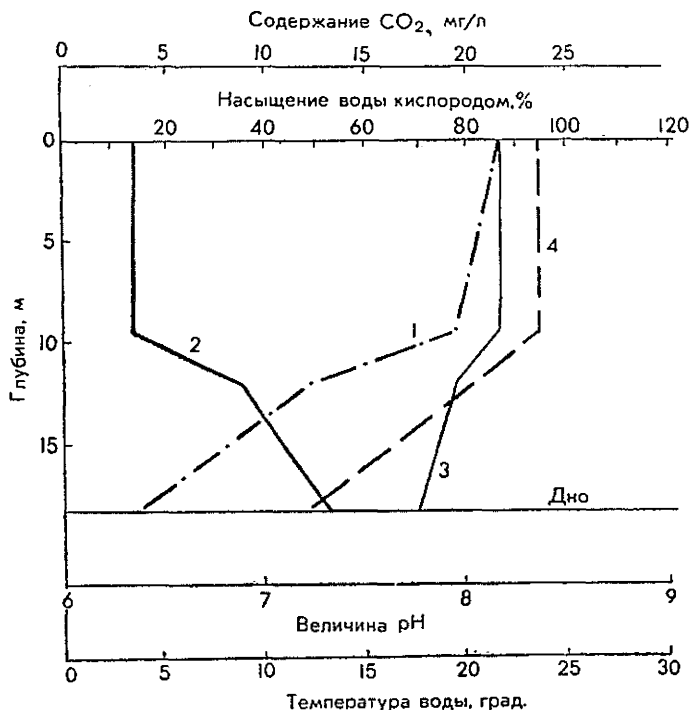


Рис. 32. Изменения температуры, O₂, CO₂ и pH по вертикали на Горьковском водохранилище (15 км от плотины) в августе 1957 г.

1 — степень насыщения воды кислородом; 2 — содержание CO₂; 3 — температура воды; 4 — величина pH.

в Цимлянском объем воды составлял около 1/3 годового стока и в Каховском — около 1/5. Такая разница в объемах водохранилищ обусловила более частую смену воды в Горьковском водохранилище по сравнению с Цимлянским и Каховским.

2. В связи с меньшим объемом воды в Горьковском водохранилище в 1956 г. была затоплена и относительно меньшая территория пойменных земель, что также обусловило меньший расход кислорода на окисление извлеченного из почв органического вещества.

3. В Горьковском водохранилище наблюдалась более низкая температура воды по сравнению с температурой воды

в Цимлянском и Каховском водохранилищах, вследствие чего окислительные процессы протекали менее интенсивно.

В следующем 1957 г., когда водохранилище было наполнено до проектной отметки и емкость его ($10,3 \text{ км}^3$) стала составлять $\frac{1}{6}$ годового стока, весной (май) наблюдалась уже большая амплитуда колебания в содержании кислорода. Особенно отчетливая и значительная стратификация содержания кислорода по глубине наблюдалась нами в августе 1957 г. (рис. 32), когда в поверхностном слое содержание кислорода достигло $10,4 \text{ мг O}_2/\text{л}$ ($117,1\%$ нас.), а в придонном слое содержание кислорода иногда составляло только $0,06 \text{ мг O}_2/\text{л}$ ($0,6\%$ нас.). Такой стратификации способствовали уменьшение скорости течения воды, метеорологические условия (тихая погода, высокая температура воздуха и воды, что интенсифицировало фотосинтез) и глубина водохранилища. В 1958 г. содержание кислорода достигало значительных величин ($7,86\text{—}11,04 \text{ мг O}_2/\text{л}$) и почти не было стратификации по глубине. Последнему обстоятельству способствовало интенсивное ветровое перемешивание водных масс в водохранилище по вертикали даже при сравнительно небольших ветрах, так как средняя глубина водохранилища составляет лишь $6,4 \text{ м}$ [177].

По наблюдениям А. В. Фотиева [346], содержание кислорода в речной части Горьковского водохранилища благоприятно в течение всего года, в том числе и в зимний период.

В подледный период на Чкаловском створе (разрез IX) происходит уменьшение содержания растворенного кислорода с $10,8\text{—}11,5 \text{ мг O}_2/\text{л}$ ($81\text{—}85\%$ нас.), которое наблюдалось им в октябре, до нуля в придонных слоях в марте.

Суточные колебания в содержании растворенного кислорода в воде водохранилища находятся под влиянием нескольких факторов, из которых главным является процесс фотосинтеза. Интенсивность фотосинтеза в свою очередь зависит от количества фитопланктона, условий освещения, температуры и скорости течения воды. На характер суточного хода изменения содержания кислорода оказывают влияние диффузии его внутри толщи воды, инвазия и эвазия его в поверхностном слое.

На Горьковском водохранилище проводились наблюдения на суточных станциях в одной и той же точке приплотинного участка водохранилища — в 4 км от плотины посредине водохранилища. Глубина колебалась от 13 до 20 м .

До образования водохранилища пробы отбирались только с поверхностного горизонта ($0,5 \text{ м}$) воды р. Волги. Наблюдения показали, что суточный ход изменения в содержании кислорода был едва заметен: было некоторое снижение в содержании кислорода в темное время суток с последующим возрастанием его в светлое время суток. Разность в содержании кислорода в течение суток колебалась в пределах $0,32\text{—}1,24 \text{ мг O}_2/\text{л}$.

Такое незначительное изменение в содержании кислорода объясняется тем, что в воде реки содержалось незначительное количество фитопланктона и в связи с этим в реке с довольно значительной скоростью течения воды процессы диффузии, эвации и инвазии кислорода играют большую роль, чем процесс фотосинтеза.

После создания Горьковского водохранилища пробы отбирались с нескольких горизонтов. Наблюдения показали, что и после создания Горьковского водохранилища не было обнаружено четкого суточного хода в изменении содержания кислорода, несмотря на то что биомасса фитопланктона в воде водохранилища стала гораздо большей, нежели она была в воде р. Волги до зарегулирования [280, 281]. Разница в содержании кислорода в светлое и темное время суток составляет 0,35—0,70 мг O_2 /л, т. е. еще меньшая, чем наблюдалась в воде р. Волги до сооружения Горьковского водохранилища.

Двуокись углерода. В навигационный период содержание двуокиси углерода в воде р. Волги до сооружения Горьковского водохранилища колебалось в небольших пределах—1,2—6,6 мг CO_2 /л (табл. 9 и [155 и 156, табл. 3]). Каких-либо сезонных изменений и стратификации в содержании двуокиси углерода не наблюдалось.

С созданием Горьковского водохранилища пределы колебания в содержании двуокиси углерода увеличились до 0,7—15,1 мг CO_2 /л. Правда, такое увеличение содержания двуокиси углерода наблюдалось нами только в первые два года существования водохранилища (1956—1957 гг.—6,9—12,5 мг CO_2 /л), а в 1958 г. ее содержание уменьшилось до 1,4—7,3 мг CO_2 /л. Увеличение пределов колебания в содержании двуокиси углерода можно объяснить усилением окислительных процессов в водохранилище, результатом которых является двуокись углерода, и наличием в водохранилище вертикальной стратификации в ее содержании: минимальное содержание ее в поверхностном слое воды, так как она ассимилируется фитопланктоном, и максимальное—в придонном слое за счет минерализации органического вещества (рис. 32). Стратификация в содержании двуокиси углерода наиболее отчетливо наблюдалась нами в августе 1957 г. когда этому способствовали метеорологические условия.

По наблюдениям А. В. Фотиева [346], содержание двуокиси углерода в воде Горьковского водохранилища на Чкаловском створе (разрез IX) в зимний период 1957 г. достигало 44,0—51,7 мг CO_2 /л.

Величина рН. Величина рН воды р. Волги до создания Горьковского водохранилища (1954 г.) изменялась в пределах 7,91—8,22 (табл. 9 и [155 и 156, табл. 3]).

Создание Горьковского водохранилища резко увеличило амплитуду колебания в изменении величины рН и резко уменьшило

абсолютные величины рН, особенно в весенний период первого года существования водохранилища — 6,45—7,72. Такое резкое уменьшение абсолютной величины рН объясняется увеличением содержания растворенной в воде двуокиси углерода за счет усиления окислительных процессов в водохранилище. Увеличение амплитуды колебания величины рН зависит от увеличения амплитуды колебания в содержании двуокиси углерода.

Наибольшая амплитуда колебания величины рН в воде Горьковского водохранилища наблюдалась нами в августе 1957 г. — 6,73—8,40 (табл. 9 и рис. 32).

В зимнее время в связи с увеличением содержания двуокиси углерода величина рН понижалась до 6,61 [346].

Закономерных суточных изменений величины рН в зависимости от времени суток нам установить не удалось, так как таких изменений не было и в содержании растворенных кислорода и двуокиси углерода.

Глава VII

ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Заполнение Куйбышевского водохранилища было начато 30/X 1955 г. и закончено в мае 1957 г. Уровень воды в Куйбышевском водохранилище поднят на 28 м и достиг отметки 53,0 м, что соответствует объему воды в нем 58,0 км³ [243]. Площадь Куйбышевского водохранилища составляет около 6500 км² с протяженностью от г. Тольятти до г. Чебоксар более 500 км. Ширина водохранилища колеблется от 2 до 28 км (рис. 33). Максимальная глубина 41 м, средняя 9 м. Средний многолетний водообмен в водохранилище 4,4 раза в год.

Водность рек Волги и Камы в 1954—1961 гг. была различной: 1954 г. — маловодный год для обеих рек; 1955 г. — многоводный год для р. Волги и средний по водности год для р. Камы; 1956 г. — средний по водности год, а 1957 г. и 1958 г. — многоводные годы для обеих рек. Данные расходов воды рек Волги и Камы приведены в табл. 15.

Таблица 15

Среднегодовые расходы воды рек Волги и Камы в 1954—1961 гг.

Годы	р. Волга — с. Вязовые		р. Кама — с. Соколы Горы		р. Волга — пос. Поляна им. Фрунзе	
	м ³ /сек.	км ³ /год	м ³ /сек.	км ³ /год	м ³ /сек.	км ³ /год
1954	3290	103,8	2750	86,7	6220	196,2
1955	4700	148,2	3420	107,9	8340	263,0
1956	3430	108,2	3470	109,4	6060	191,1
1957	4120	129,9	4480	141,3	8430	265,8
1958	4010	126,5	4120	129,9	8480	267,4
1959	—	—	—	—	7110	224,2
1960	—	—	—	—	6530	205,9
1961	—	—	—	—	7463	135,3

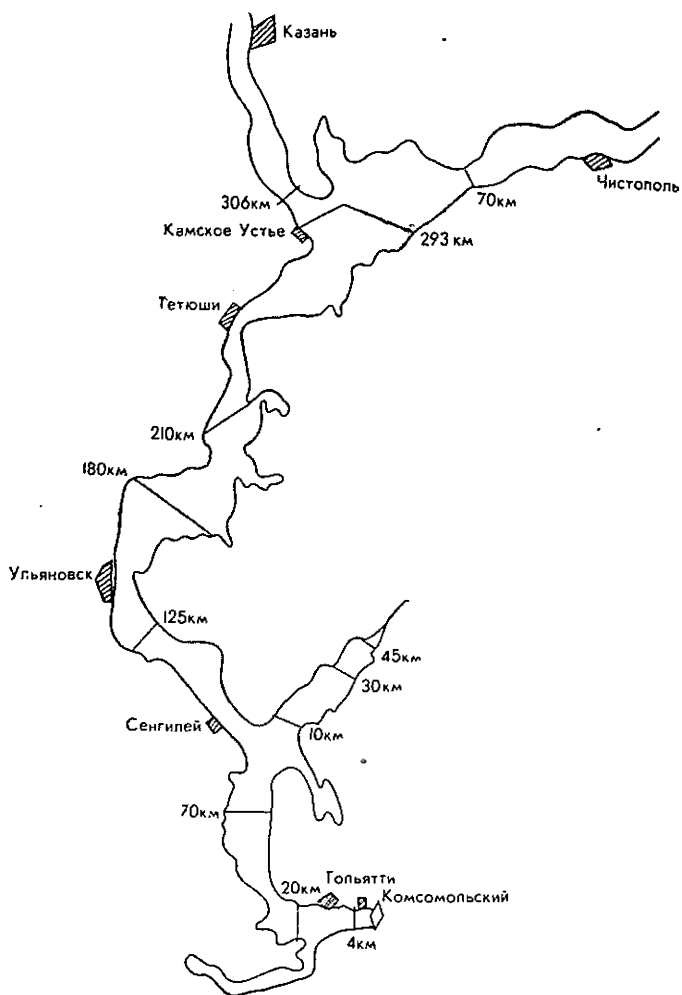


Рис. 33. Схема Куйбышевского водохранилища с указанием на ней пунктов отбора проб воды.

1. Главнейшие ионы

а) **Общая минерализация.** Изменения общей минерализации воды Куйбышевского водохранилища определяются гидрохимическим режимом главных его составляющих — рек Волги и Камы, так как водный сток в Куйбышевское водохранилище обеих этих рек составлял в 1954 и 1955 гг. 95,4% от стока р. Волги у пос. Поляна им. Фрунзе. На 400-километровом расстоянии от устья р. Камы до г. Куйбышева на боковую приточность приходилось лишь 4,6% водного стока.

Кроме того, изменения минерализации воды Куйбышевского водохранилища во многом зависят от скорости перемешивания водных масс в водохранилище, неоднородность химического состава воды которого обусловлена впадением рек Волги и Камы (более подробно см. в главе XI).

Куйбышевское водохранилище имеет три больших залива: Волжский отрог, Камский отрог и Черемшанский залив. Каждый

Таблица 16

Изменения минерализации воды в отдельных участках Куйбышевского водохранилища в 1954—1961 гг.

Год	Месяц	р. Волга (306 км от плотины)	р. Кама (3, 10, 24 и 70 км от устья)	р. Черемшан и Черемшан- ский залив	Куйбышевское водохрани- лище
1954	Июнь	250,7—225,1	252,5	—	231,3—261,9
	Сентябрь	264,2—273,5	402,3	—	265,7—398,6
	Октябрь	222,4	—	—	222,4—322,5
1955	Май	98,1—109,9	113,2—118,4	—	98,1—123,1
	Сентябрь	253,8—260,3	372,8	—	253,8—365,7
1956	Июнь	130,7—144,7	149,8	222,2—419,5	130,7—186,4
	Июль	199,5	273,2	180,3—511,2	181,8—224,8
	Август	261,1—264,1	271,7—276,1	—	218,2—273,0
	Октябрь	244,8—254,1	199,1	290,4—341,6	229,0—296,8
1957	Июнь	118,4—133,4	120,4—155,0	181,3—289,8	118,4—275,0
	Август	228,5	285,6—289,8	187,7—351,8	175,0—256,5
1958	Январь	—	—	—	287,0—345,1
	Июнь	117,3—142,8	123,0—149,5	231,4—287,3	117,3—235,5
	Сентябрь	254,8	347,2	209,8—317,7	191,4—324,5
	Декабрь	—	—	—	262,3—285,3
1959	Январь	—	—	—	232,6—338,7
	Май	130,7—142,3	150,9—165,8	229,0—263,4	130,7—260,0
	Сентябрь	268,5	292,9	206,3—293,0	191,3—292,1
1961	Август	237,2—244,8	254,8—265,1	259,1	149,6—247,8

из этих трех заливов имеет свой отличный от других гидрохимический режим, так как различные физико-географические условия их бассейнов (табл. 16). Остальная часть водохранилища от старого устья р. Камы до плотины является водоемом, в котором происходит смешение вод всех трех заливов и формирование химического состава водохранилища. Наличие в водохранилище расширенных и суженных частей на минерализацию воды никакого влияния не оказывает.

В отличие от Горьковского водохранилища, где у плотины минерализация воды была всегда ниже (кроме ранней весны), чем вода его верховьев, в Куйбышевском водохранилище нет такой строгой закономерности. Наименьшая минерализация у плотины наблюдалась нами только в летний период, а весной и осенью (весенний и осенний паводки), наоборот, наименьшая минерализация воды наблюдалась в верховьях водохранилища (Волжский и Камский отроги), а наибольшая — в более низких частях водохранилища или у плотины (табл. 17 и [156, табл. 5]).

Причиной этого может быть следующее:

1) большой объем воды в водохранилище не позволял быстрому продвижению воды из верховьев к плотине. Время, необходимое для добегания воды от верховьев к плотине, колеблется в зависимости от расходов воды от 15 до 138 суток (подробнее см. раздел 2 настоящей главы);

2) вскоре после прохождения пика весеннего паводка, когда вода имеет наименьшую минерализацию, в верховьях водохранилища наблюдалась маломинерализованная вода, тогда как остальная часть водохранилища была заполнена зимней и ранней весенней водой, имеющей более высокую минерализацию. Весенняя маломинерализованная вода подходила к плотине только летом, т. е. через довольно длительное время;

3) водохранилище питается двумя примерно равными притоками — рр. Волгой и Камой, вода которых в различные сезоны года имеет разную минерализацию, так как различные физико-географические условия формирования химического состава воды этих притоков. Кроме того, на рр. Волге и Каме наблюдается разновременность гидрологических фаз, особенно это относится к весеннему паводку, который на р. Каме проходит несколько позже, чем на р. Волге. Разновременность гидрологических фаз удлиняет паводковый период и, таким образом, удлиняет время пребывания наименьшей минерализации воды в верховьях водохранилища.

Если сравнить изменение минерализации воды р. Волги на участке Куйбышевского водохранилища (от устья р. Камы до плотины) до и после сооружения водохранилища (табл. 17 и [156, табл. 5]), то можно заметить, что в весенний период амплитуда колебания минерализации воды при прохождении ею этого участка р. Волги до зарегулирования невелика и составляла

в 1954 г. 25,1 мг/л, в 1955 г. 25,0 мг/л. В летне-осенний же период эта амплитуда заметно возрастала: в сентябре 1954 г. — 134,4 мг/л (264, 2 — 398,6 мг/л) и в октябре — 100,1 мг/л (222,4 — 322,5 мг/л), в сентябре 1955 г. — 111,9 мг/л (253,8 — 365,7 мг/л). После сооружения Куйбышевского водохранилища амплитуды колебания минерализации воды по сезонам года нивелировались и в течение года они близки между собой, т. е. для весеннего периода они увеличились, а для летне-осеннего уменьшились (в 1956 и 1957 гг.). В последующие годы, когда формирование гидрохимического режима почти закончилось (для 1958, 1959 и 1961 гг.), амплитуда колебания минерализации воды достигла величины, которая наблюдалась до зарегулирования в летне-осенний период, но осталась почти одинаковой для всех сезонов года (табл. 17). Увеличение амплитуды колебания минерализации воды всего водохранилища в весенний период после зарегулирования объясняется увеличением времени добегания воды от верховьев до плотины, так как резко уменьшились скорости течения воды в водохранилище. В связи с наполнением в водохранилище собирается много воды (до 58 км³), которая поступает в него в течение длительного периода времени (кроме паводка) и относится к различным гидрологическим фазам на рр. Волге и Каме.

В результате проведенных на Куйбышевском водохранилище наблюдений за неоднородностью воды как по ширине водохранилища, так и по его длине и за перемещением водных масс в водохранилище можно сделать вывод, что в водохранилище происходит в основном вытеснение накопленной воды позднее поступающей в него водой при незначительном смешении воды водохранилища с водой притока на границе их соприкосновения. Что касается стратификации минерализации воды по глубине, то она почти не наблюдалась нами, за исключением Черемшанского залива, где более минерализованная вода р. Черемшан идет по дну, создавая стратификацию минерализации воды залива. Отсутствие стратификации минерализации воды в водохранилище можно объяснить тем, что в рр. Волге и Каме в силу значительных скоростей течения такая стратификация нами никогда не наблюдалась и поэтому вода притока, попадая в водохранилище, сохраняет полную однородность по вертикали. Кроме того, ветровое волнение на водохранилище также способствует перемешиванию воды по вертикали.

В течение двух лет на Куйбышевском водохранилище в трех его пунктах отбирались пробы воды на химический анализ: в р. Волге у с. Вязовые, в р. Каме у с. Соколы Горы и в нижнем бьефе водохранилища или у пос. Поляна им. Фрунзе [156, табл. 6].

Результаты химического анализа воды в этих пунктах показывают те изменения, которые происходят в химическом составе воды при прохождении ее через Куйбышевское водохранилище. В частности, они показывают, что средневзвешенная годовая

Пределы колебания в содержании отдельных компонентов

Компоненты		1954 г.		
		июнь	сентябрь	октябрь
Температура, °C		21,6—22,3	14,8—15,9	6,5—7,6
pH		7,78—8,01	8,34—8,46	8,03—8,20
Прозрачность, см		60—80	60—90	—
Цветность, град.		25—52	40—49	52—97
Кисло- род	$\left\{ \begin{array}{l} \text{мг/л} \\ \text{\% нас.} \end{array} \right.$	7,22—8,77	9,71—10,70	10,84—11,58
		79,4—96,1	94,7—105,0	87,8—93,2
CO ₂ мг/л		2,8—4,7	0,8—2,4	2,6—3,2
Окисляемость	$\left\{ \begin{array}{l} \text{перманганатная, мг О/л} \\ \text{бихроматная, мг О/л} \\ \frac{\text{перманганатная}}{\text{бихроматная}} \cdot 100 \text{ \%} \end{array} \right.$	9,4—11,8 20,0—23,0 49	8,2—11,6 23,2—27,1 39	10,7—13,0 26,7—31,6 41
NO ₃ ' мг N/л		0,00—0,06	0,00—0,02	0,16
NO ₂ ' мг N/л		0,000—0,001	0,000—0,002	0,000—0,004
NH ₄ ' мг N/л		0,02—0,11	0,08—0,13	0,20—0,28
ΣN мг N/л		0,02—0,16	0,09—0,15	0,43—0,44
Р _{мин.} раств мг P/л		0,003—0,018	0,003—0,015	0,004—0,007
ΣFe мг Fe/л		0,06—0,32	0,02—0,37	0,32—0,54
Si мг Si/л		1,3—2,3	1,3—2,1	2,4—3,2
Σи мг/л		231,3—256,4	264,2—398,6	222,4—322,4

Таблица 17

в воде Куйбышевского водохранилища в 1954—1961 гг.

1955 г.		1956 г.		
май	сентябрь	июнь	август	октябрь
12,8—13,9	16,1—17,2	15,0—24,6	16,4—20,6	5,2—6,3
—	—	7,10—7,84	7,40—8,50	7,58—8,10
60—80	60—90	65—150	90—230	90—180
70—74	34—50	49—82	42—47	17—44
8,60—9,14	8,58—10,32	5,02—10,59	6,37—9,65	10,19—12,71
80,7—86,6	85,1—102,1	49,9—114,4	64,3—97,2	81,3—100,0
2,6—3,7	1,3—5,3	0,0—14,1	0,1—16,2	4,4—12,3
10,9—13,1	8,2—11,3	8,0—15,6	7,9—13,5	8,5—11,1
24,6—33,5	20,7—28,7	18,4—31,6	37,5—42,1	17,1—55,8
41	40	53	27	27
0,17—0,45	0,00—0,01	0,00—0,57	0,03—0,20	0,14—0,47
0,001—0,012	0,000	0,000—0,011	0,000—0,026	0,000—0,009
0,09—0,13	0,05—0,11	0,08—0,15	0,03—0,10	0,03—0,24
0,27—0,58	0,06—0,12	0,09—0,69	0,11—0,28	0,17—0,65
0,003—0,007	0,004—0,037	0,003—0,010	0,017—0,063	0,027—0,064
0,13—0,40	0,05—0,16	0,12—0,82	0,00—1,70	0,06—0,27
2,2—4,1	1,2—2,7	0,3—3,4	0,5—1,7	1,1—3,3
98,1—123,1	253,8—365,7	130,7—186,5	218,2—273,0	229,0—296,8

Компоненты	1957 г.		1958 г.	
	июнь	август	июнь	
Температура, °C	13,0—20,8	18,0—22,2	12,3—17,5	
pH	7,58—8,27	7,34—8,99	7,40—8,45	
Прозрачность, см	40—130	115—270	70—130	
Цветность, град.	16—37	17—26	22—37	
Кисло- род {	мг/л	6,63—8,89	0,64—12,92	7,69—10,48
	‰ нас.	61,6—93,9	6,6—142,6	75—104
CO ₂ мг/л	2,6—7,1	0,0—27,5	3,1—6,2	
Окисляемость {	перманганатная, мг O/л	7,4—15,2	7,0—14,4	7,0—11,8
	бихроматная, мг O/л	30,9—33,5	—	—
	$\frac{\text{перманганатная}}{\text{бихроматная}} \cdot 100 \%$	35	—	43
NO ₃ ' мг N/л	0,01—0,45	0,01—0,45	0,00—0,45	
NO ₂ ' мг N/л	0,000—0,011	0,000—0,027	0,000—0,010	
NH ₄ ' мг N/л	0,05—0,26	0,05—0,40	0,07—0,28	
ΣN мг N/л	0,15—0,55	0,09—0,65	0,15—0,72	
P _{мин.} раств мг P/л	0,006—0,077	0,004—0,079	0,005—0,010	
ΣFe мг Fe/л	0,10—0,31	0,02—0,32	0,13—0,57	
Si мг Si/л	2,1—3,7	2,0—3,4	2,1—3,8	
Σ _и мг/л	118,4—185,0	175,0—256,5	117,3—235,0	

	1959 г.		1961 г.
сентябрь	май	сентябрь	август
8,0—12,2	11,1—13,4	15,4—17,7	18,8—21,6
—	7,68—8,29	7,63—8,16	6,98—8,56
80—155	40—100	70—190	50—120
9—16	18—37	15—24	19—25
10,17—11,47	8,52—11,98	8,05—11,74	2,30—10,03
91—98	75,8—110,8	81,0—118,0	19,7—108,7
1,3—3,1	1,7—14,4	3,0—5,9	0,0—16,3
7,4—12,2	4,8—11,1	6,6—8,5	6,0—12,2
—	—	—	—
43	36	36	—
0,07—0,34	0,07—0,61	0,01—0,90	0,00—0,34
0,000—0,012	0,000—0,009	0,000—0,014	0,000—0,027
0,01—0,14	0,01—0,16	0,03—0,27	0,01—0,32
0,04—0,38	0,18—0,67	0,22—0,95	0,04—0,40
0,004—0,054	0,009—0,042	0,015—0,048	0,002—0,060
0,03—0,10	0,09—0,33	0,01—0,14	0,00—0,29
2,5—4,0	1,8—3,0	0,8—2,1	0,5—1,8
188,6—324,5	129,1—260,0	191,3—292,9	149,6—265,1

минерализация стока из Куйбышевского водохранилища в 1958 г. на 10% превышала минерализацию притока (р. Волга плюс р. Кама), т. е. средневзвешенная годовая минерализация воды стока составляла 230 мг/л, а притока — 207 мг/л. Увеличение минерализации воды при прохождении ее через водохранилище происходит за счет впадения других малых рек с высокой минерализацией воды (рр. Свияга, Черемшан и др.), притока в водохранилище грунтовых вод, имеющих также несколько выше минерализацию по сравнению с минерализацией воды притока (до 1 г/л), выщелачивания солей из подстилающих ложе и слагающих берега пород, выщелачивания солей из береговых пород фильтрующимися из водохранилища и затем возвращающимися при сбросе в водохранилище водами.

Сравним минерализацию воды р. Волги у пос. Поляна им. Фрунзе до и после сооружения Куйбышевского водохранилища. Рассмотрим два почти одинаковых по водности года: 1955 г. — 263,0 км³/год и 1958 г. — 269,3 км³/год. Данные изменения минерализации и расходов воды р. Волги у пос. Поляна им. Фрунзе нанесены на рис. 34.

При рассмотрении гидрографа можно сказать, что произошло некоторое перераспределение водного стока: увеличился сток в зимний период (январь—март и декабрь) и уменьшился сток в паводковый период, когда часть стока задерживается в водохранилище для его наполнения до нормального подпорного горизонта.

В связи с перераспределением водного стока произошло изменение и в годовом ходе минерализации воды.

Это изменение заключается в сдвиге минимума минерализации в паводковый период на более позднее время (на 16—20 дней) и в уменьшении минерализации в летне-осенний период. Оба эти изменения легко объясняются.

1. Перед паводком водохранилище заполнено осенне-зимней водой, которая более минерализована, нежели вода других сезонов. Весенняя минерализованная вода достигнет нижнего бьефа тогда, когда будет вытеснена вся зимняя вода, имевшаяся в водохранилище. А так как количество воды в водохранилище гораздо больше, чем ее было в реке на этом участке до зарегулирования, то тогда потребуется больше времени для ее вытеснения из водохранилища. За счет увеличения этого времени происходит сдвиг на более позднее время минимума минерализации (на 16—20 дней) по сравнению с бытовыми условиями реки в 1955 г.

2. Во время весеннего паводкового периода вода в водохранилище полностью сменяется маломинерализованной паводковой водой. Смена в межень большого объема накопленной в водохранилище маломинерализованной воды (58 км³) при небольших расходах в нижнем бьефе происходит продолжительное время,

достигающее 132—153 суток (см. стр. 128—130, табл. 19). В течение этого времени сбрасывается из водохранилища весенняя паводковая вода и таким образом растягивается паводковый период.

Если подсчитать средневзвешенную по стоку годовую минерализацию воды р. Волги до и после сооружения Куйбышевского

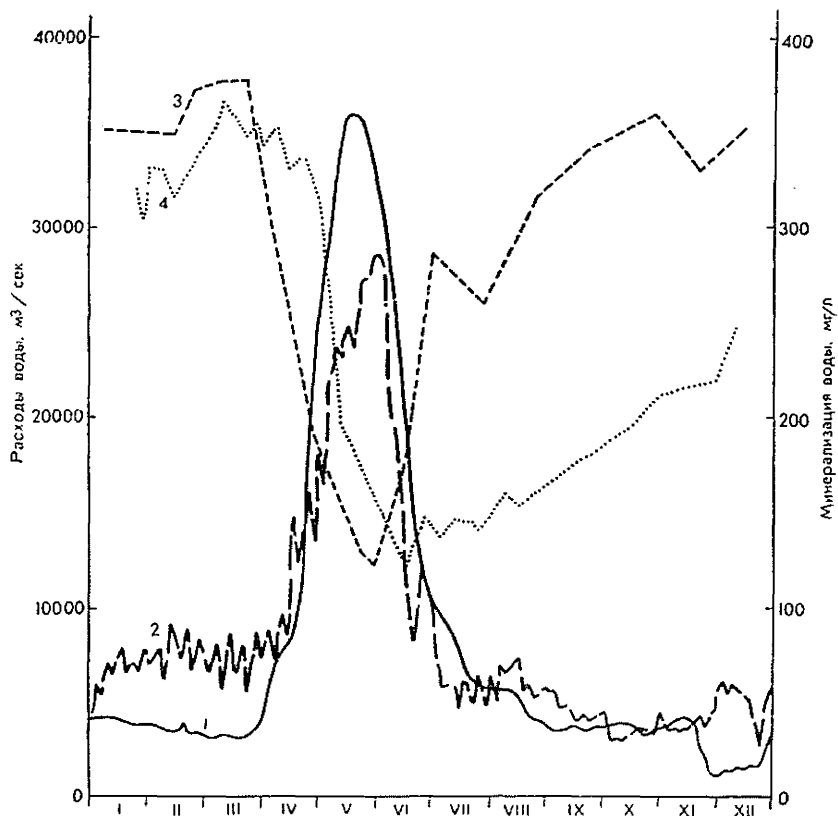


Рис. 34. Изменения минерализации и расходов воды р. Волги у пос. Поляна им. Фрунзе в 1955 и 1958 гг.

1 — расходы воды за 1955 г.; 2 — расходы воды за 1958 г.; 3 — минерализация воды в 1955 г.; 4 — минерализация воды в 1958 г.

водохранилища (за 1955 и 1958 гг.), то окажется, что она близка (соответственно 223,9 и 216,8 мг/л). Из этого видно, что годовой ионный сток р. Волги у пос. Поляна им. Фрунзе в 1955 и 1958 гг. был одинаковым: 45,9 и 44,4 млн. т (это близко к среднему многолетнему ионному стоку, подсчитанному О. А. Алекиным [4], — 45—50 млн. т).

б) **Относительный химический состав воды.** Химический состав воды Куйбышевского водохранилища, как это уже было сказано ранее (стр. 113), формируется под влиянием двух главных его притоков — рек Волги и Камы. Влияние подземных и грунтовых вод, непосредственно впадающих в Куйбышевское водохранилище, или влияние других мелких притоков (рр. Свияга, Черемшан, Караман и др.) должно быть незначительным, так как их сток составляет очень малую долю от объема воды, проходящий через водохранилище (по нашим расчетам боковая приточность составляет 4,6% [147]); эта величина боковой приточности подтверждается расчетом водного баланса, выполненным Комсомольской гидрометеорологической обсерваторией за 1958 г. [220, стр. 180] (по их расчетам она составляет 4,8%).

Рассмотрим изменения в относительном химическом составе воды р. Волги в связи с сооружением Куйбышевского водохранилища. Для этого сравним данные, помещенные в табл. 18 и в ранее опубликованной статье [143].

Сравнивая данные по химическому составу воды р. Волги, ее притоков и Куйбышевского водохранилища, полученные нами как до, так и после сооружения Куйбышевского водохранилища, можно заметить, что колебания относительного состава воды после создания Куйбышевского водохранилища остались в тех же пределах, в каких они наблюдались до зарегулирования. Такое явление наблюдалось нами и на участке Верхней Волги после сооружения Горьковского водохранилища и наблюдалось другими исследователями после сооружения Угличского и Рыбинского водохранилищ [4, стр. 90—91].

Неизменность относительного состава воды р. Волги после сооружения Куйбышевского водохранилища можно объяснить тем, что относительный состав воды главнейших притоков Куйбышевского водохранилища — рек Волги и Камы — колебался в тех же пределах, как и до зарегулирования (табл. 16 и 17); кроме того, большая приточность Куйбышевского водохранилища уменьшает влияние внутриводоемных процессов на химический состав воды этого водохранилища.

Основную часть анионов в воде р. Волги, вытекающей из Куйбышевского водохранилища, как до, так и после сооружения Куйбышевского водохранилища составляют ионы HCO_3' , содержание которых колебалось в пределах 23,3—32,7% экв.; второе место принадлежит SO_4'' — 12,2—18,4% экв.; последнее место занимает Cl' — 5,1—13,4% экв. На Нижней Волге происходит повышение ионов Cl' , достигающее 13,4% экв., что обусловлено повышенным его содержанием в р. Каме, доходящим в зимний период до 17,1—21,3% экв. (табл. 18).

Из катионов главная доля принадлежит Ca'' , содержание которого в течение всего наблюдаемого периода изменялось в пределах 27,4—37,8% экв., второе значение по величине имеет Mg''

Пределы изменения относительного химического состава воды Куйбышевского водохранилища в 1954—1961 гг.
(в % экв.)

Ионы	1954 г.	1955 г.	1956 г.	1957 г.	1958 г.	1959 г.	1961 г.
р. Волга у с. Вязовые							
Cl'	2,8—3,5	3,0—3,2	2,5—3,8	2,2—4,4	2,7—4,1	2,7—4,1	4,3—4,6
SO ₄ "	14,7—18,0	12,8—19,7	15,0—18,5	13,8—14,8	11,8—18,0	12,7—18,1	18,3—19,4
HCO ₃ '	28,7—32,3	27,1—34,2	27,7—32,5	30,8—34,0	28,0—35,4	28,7—34,1	26,1—27,4
Ca ⁺⁺	31,1—34,6	34,6—38,2	30,0—35,0	33,4—36,3	28,4—36,0	30,3—35,5	34,8—35,9
Mg ⁺⁺	11,2—13,4	10,9—11,8	9,8—14,1	11,0—11,7	10,1—14,5	10,3—13,5	11,4—14,1
Na ⁺ + K ⁺	4,0—5,8	0,3—4,0	1,2—10,2	2,4—5,3	1,0—10,0	2,7—6,9	0,9—3,5
р. Кама у с. Соколы Горы							
Cl'	6,5—6,9	7,3—11,9	8,3—14,1	6,3—8,9	5,9—17,1	6,1—21,3	9,8—10,2
SO ₄ "	15,9—18,8	12,9—16,5	9,2—17,9	10,0—16,3	9,1—19,1	7,5—16,7	15,8—16,7
HCO ₃ '	24,3—27,6	21,6—29,7	23,8—26,7	25,5—33,6	18,2—31,9	18,1—35,8	22,5—24,3
Ca ⁺⁺	29,6—30,1	31,3—34,8	29,6—34,0	29,6—35,7	24,6—33,5	22,8—31,9	31,7—34,4
Mg ⁺⁺	11,0—11,3	9,3—9,8	9,3—11,5	9,1—10,5	6,1—14,6	6,8—12,9	9,0—11,1
Na ⁺ + K ⁺	8,9—9,1	5,5—8,9	4,5—11,1	3,9—10,1	3,8—18,1	7,0—20,3	5,5—8,5
р. Волга у пос. Поляны им. Фрунзе							
Cl'	2,2—10,2	5,7—8,9	6,4—12,2	5,1—13,4	5,0—12,8	5,8—13,7	12,2
SO ₄ "	13,6—17,1	12,5—18,4	12,7—16,5	8,0—15,1	11,9—15,5	9,7—18,5	12,6
HCO ₃ '	26,1—31,4	23,3—31,6	23,4—30,1	28,5—32,7	23,7—31,7	22,4—29,5	25,2
Ca ⁺⁺	27,6—33,7	32,0—37,8	27,9—33,4	29,9—35,4	27,4—36,4	28,6—36,9	31,0
Mg ⁺⁺	9,9—14,3	10,2—11,7	9,0—12,1	9,4—11,0	9,1—15,7	8,5—13,9	14,7
Na ⁺ + K ⁺	4,6—12,3	1,5—6,4	5,1—12,0	4,2—9,1	1,5—12,3	3,5—12,3	4,3

(8,6—16,0% экв.) и последнее место среди катионов занимает $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ (1,5—12,2% экв.).

В подавляющем большинстве проб воды рек Камы и Волги у пос. Поляна им. Фрунзе содержание хлоридов было эквивалентно содержанию щелочных металлов, что связано с разработкой калийных месторождений на берегах р. Камы. Такая эквивалентность хлоридов и щелочных металлов наблюдалась нами на всем протяжении р. Волги [152] и другими исследователями на участке Верхней Волги [4, стр. 92].

На Нижней Волге содержание Ca^{++} во все сезоны года превышало содержание HCO_3^- , но было меньше суммы $\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{--}$. В связи с этим по классификации О. А. Алекина вода Нижней Волги относится к гидрокарбонатному классу, кальциевой группе, второму типу.

2. Сравнение результатов прогноза минерализации воды водохранилища с данными наблюдений в 1957—1959 гг.

При проектировании крупных водохранилищ все большее значение приобретает возможность изменения химического состава воды в результате изменения водного режима реки после перекрытия ее русла.

Необходимость прогноза минерализации воды крупных водохранилищ уже не вызывает сомнений. Однако в настоящее время все еще отсутствуют работы, в которых наряду с результатами заранее данного прогноза минерализации воды водохранилища приводились бы и результаты натурных наблюдений над изменением минерализации речной воды после сооружения водохранилища.

Ход наполнения водохранилища, рассчитанный по притоку (р. Волга у с. Вязовые, р. Кама у с. Соколы Горы и боковая приточность) и стоку (р. Волга у пос. Поляна им. Фрунзе), с учетом испарения, ледообразования и ледотаяния показан в табл. 19. В ней приведено и время добегания.

Данные по притоку и стоку получены от Гидрометслужбы¹, испарение (превышение испарения над осадками для среднего года) — из работы М. И. Кривенцова, К. Г. Лазарева и Н. Г. Фесенко [188, табл. 2], площадь зеркала водохранилища взята по графику зависимости площади от отметки уровня в водохранилище [там же, стр. 35, табл. 12]. Данные по толщине льда в водохранилище взяты из работы М. И. Кривенцова [189].

Боковая приточность учтена в графе притока (табл. 19, графа 3) для 1956 г. — по бытовым условиям 1954 г. (маловодный год), а для 1957 и 1958 гг. — по 1955 г. (многоводный год). Взято превышение среднегодового расхода воды у пос. Поляна

¹ Все гидрологические данные (сток, приток, уровни и т. д.) по Куйбышевскому водохранилищу, приводимые ниже, также получены от Гидрометслужбы.

им. Фрунзе над суммарным среднегодовым расходом р. Камы у с. Соколы Горы и р. Волги у с. Вязовые. Полученное превышение расходов распределено пропорционально среднемесячному притоку данного года и алгебраически прибавлено к нему.

За время добегания принято то время, за которое вода, поступающая в верховье водохранилища, переместится к плотине, т. е. данный объем воды в водохранилище при данном расходе уйдет из него.

Время добегания получено путем деления объема воды в водохранилище (на первое число месяца) на ежесуточный расход воды у пос. Поляна им. Фрунзе [с учетом ледообразования, ледотаяния, превышения испарения над осадками и принимая, что смена воды в водохранилище происходит по всей толще (см. главу XI) без заметного смещения].

Средние (взвешенные по стоку) месячные и сезонные величины минерализации воды (мг/л), приток воды в водохранилище и сток воды из него (км³), полученные за период декабрь 1955 г. — ноябрь 1958 г., приведены в табл. 20¹.

Величины минерализации воды, поступающей в водохранилище (табл. 20, графа 6), получены как средневзвешенные из величин минерализации воды р. Волги у с. Вязовые (табл. 20, графа 2) и р. Камы у с. Соколы Горы (табл. 20, графа 4).

Минерализация камской воды по отдельным (не осредненным) наблюдениям у с. Соколы Горы обычно выше минерализации волжской воды у с. Вязовые, а минерализация воды стока из водохранилища (р. Волга у пос. Поляна им. Фрунзе) занимает промежуточное положение (рис. 35).

Изменение средневзвешенной месячной минерализации воды стока из водохранилища (волжская вода у пос. Поляна им. Фрунзе) показано на рис. 36, где дана и средневзвешенная (по стоку) минерализация воды притока в водохранилище (волжская вода у с. Вязовые и камская вода у с. Соколы Горы) с учетом времени добегания, т. е. кривая, показывающая минерализацию воды притока, сдвинута вправо соответственно времени добегания и, в общем, обе кривые (минерализация воды притока и стока) близко совпадают.

Минерализация воды притока показана двумя кривыми — с учетом и без учета ледообразования, ледотаяния и превышения испарения над осадками. Учет перечисленных факторов на величину минерализации воды существенного влияния не оказывает: наибольшая поправка за счет ледообразования и ледотаяния достигает величины 10—15 мг/л или до 5%, а поправка за счет превышения испарения над осадками находится в пределах точности анализа — около 1%.

¹ В табл. 20 в скобках даны величины, полученные интерполяцией или по аналогии (учитывая сезон, водность года, уровни и т. д.).

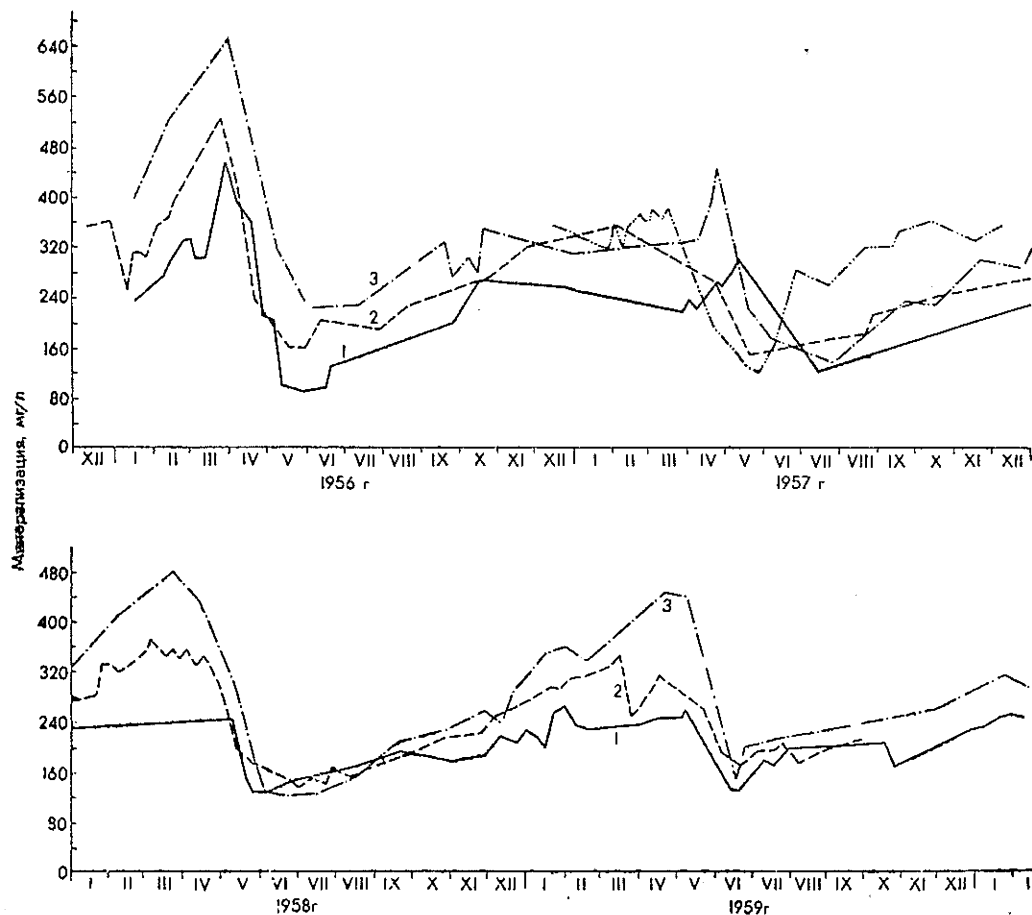


Рис. 35. Минерализация воды рек Камы и Волги по неосредненным результатам наблюдений в 1955—1960 гг.

1 — р. Кама у с. Соколы Горы; 2 — р. Волга у с. Вязовые; 3 — р. Волга у пос. Поляна им. Фрунзе; 4 — минерализация воды р. Волги у пос. Поляна им. Фрунзе до сооружения Куйбышевского водохранилища (1955 г.)

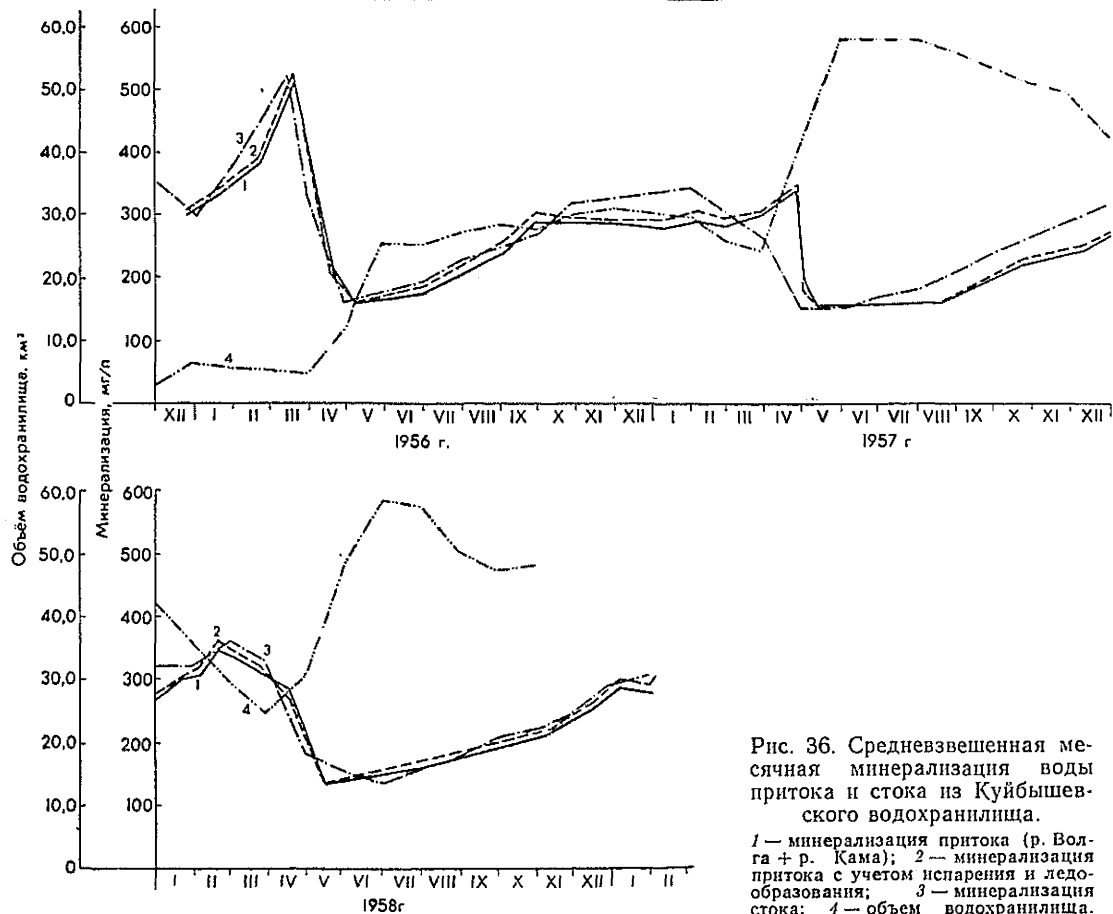


Рис. 36. Средневзвешенная месячная минерализация воды притока и стока из Куйбышевского водохранилища.

1 — минерализация притока (р. Волга + р. Кама); 2 — минерализация притока с учетом испарения и ледообразования; 3 — минерализация стока; 4 — объем водохранилища.

Ход наполнения Куйбышевского водохранилища и время добегания воды от верховьев водохранилища до плотины (1956—1959 гг.)

Месяцы	Объем водохранилища на первое число месяца, км³	Приток за месяц, км³	Сток за месяц, км³	Объем испарившейся воды (—), выпавшего снега (+), км³ воды	Объем образованного льда (—) и растаявшего льда (+), км³ воды	Алгебраическая сумма граф 3, 4, 5, 6, км³	Объем водохранилища на конец месяца (графы 2+7), км³	Площадь водохранилища на середину месяца, км²	Время лобегания	
									сутки	дата
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1956 г. ¹										
XII	3,34	7,93	—4,87	(+0,12)²	—0,20	+2,86	6,20	750	25	1—25/XII-55 г.
I	6,20	9,00	—9,54	(+0,10)	—0,17	—0,71	5,49	950	19	1—19/I-56 г.
II	5,49	7,26	—7,42	(+0,08)	—0,12	—0,28	5,21	900	22	1—22/II
III	5,21	5,20	—5,97	(+0,11)	—0,03	—0,00	4,41	750	20	1—20/III
IV	4,41	21,82	—15,14	+0,41	+0,52	+7,54	11,95	1250	20	1—20/IV
				—0,07						
V	11,95	65,09	—51,69	—0,19	—	+13,21	25,16	2600	8	1—8/V
VI	25,16	24,46	—24,52	—0,18	—	—0,24	24,92	3330	31	1/VI—1/VII
VII	24,92	12,88	—10,39	—0,31	—	+2,18	27,10	3400	66	1/VII—5/IX
VIII	27,10	13,37	—11,73	—0,35	—	+1,29	28,39	3630	61	1/VIII—30/IX
IX	28,39	14,70	—15,14	—0,25	—	—0,69	27,70	3630	55	1/IX—25/X
X	27,70	18,03	—15,96	—0,09	—	+1,98	29,68	3700	58	1/X—27/XI
XI	29,68	13,76	—12,80	—0,03	—	+0,93	30,61	3700	71	1/XI—10/1-57 г.
Год	—	213,50	—185,17	—1,06	0,00	+27,27	—	—	—	—

XII	30,61	9,79	-11,65	(+0,12) ²	-1,00	-2,86	27,75	3700	69	1/XII-7/II-57 г.
I	27,75	14,44	-13,69	(+0,10)	-0,63	+0,12	27,87	3500	58	1/I-27/II
II	27,87	12,52	-14,15	(+0,08)	-0,46	-2,09	25,78	3400	58	1/II-30/III
III	25,78	12,32	-13,69	(+0,11)	-0,14	-1,51	24,27	3200	58	1/III-27/IV
IV	24,27	35,38	-20,74	{+0,41 -0,22	+2,23	+17,06	41,33	4000	33	1/IV-3/V
V	41,33	107,86	-90,80	-0,39	—	+16,67	58,00	5450	14	1-14/V
VI	58,00	27,81	-27,48	-0,33	—	0,00	58,00	5980	82	1/VI-21/VIII
VII	58,00	20,52	-20,14	-0,54	—	-0,16	57,84	5970	116	1/VII-24/X
VIII	57,84	11,12	-12,72	-0,57	—	-2,17	55,67	5930	132	1/VIII-10/XII
IX	55,67	10,33	-12,29	-0,40	—	-2,36	53,31	5750	126	1/IX-4/I-58 г.
X	53,31	10,93	-13,18	-0,14	—	-2,39	50,92	5550	114	1/X-22/I
XI	50,92	10,99	-12,70	-0,04	—	-1,75	49,17	5450	97	1/XI-6/II
Год	—	284,01	-263,27	-2,22	0,00	+18,56	—	—	—	—

1958 г.¹

XII	49,17	10,04	-16,43	(+0,12) ²	-1,38	-6,77	42,40	5100	82	1/XII-20/II-58 г.
I	42,40	12,12	-17,95	(+0,10)	-0,82	-6,65	35,75	4550	65	1/I-6/III
II	35,75	13,12	-18,72	(+0,08)	-0,54	-6,14	29,61	4030	54	1/II-26/III
III	29,61	14,73	-19,61	(+0,11)	-0,16	-5,04	24,57	3450	48	1/III-17/IV
IV	24,57	31,91	-29,29	{+0,41 -0,19	+2,90	+5,74	30,31	3530	29	1-29/IV
V	30,31	82,31	-64,28	-0,33	—	+17,70	48,01	4600	16	1-16/V
VI	48,01	51,24	-40,69	-0,31	—	+10,24	58,25	5650	43	1/VI-13/VII
VII	58,25	15,63	-16,02	-0,54	—	-0,93	57,32	5950	134	1/VII-11/XI
VIII	57,32	9,22	-15,91	-0,55	—	-7,24	50,08	5680	138	1/VIII-17/XII
IX	50,08	8,98	-11,98	-0,36	—	-3,36	46,72	5280	129	1/IX-7/I-59 г.
X	46,72	10,57	-9,21	-0,13	—	+1,23	47,95	5200	126	1/X-3/II
XI	47,95	9,12	-10,24	-0,04	—	-1,16	46,79	5200	98	1/XI-6/II
Год	—	268,99	-269,33	-2,04	0,00	-2,38	—	—	—	—

¹ Здесь, и во всех последующих таблицах, за начало года принят декабрь предыдущего года (начало зны), а за конец года — ноябрь (конец осени).

² Числа, стоящие в скобках (XII—III), в графе 7 не суммируются. Они учитываются в апреле (IV).

Месяц	Объем водохранилища на первое число месяца, км³	Приток за месяц, км³	Сток за месяц, км³	Объем испарившейся воды (—), выпадающего снега (+), км³ воды	Объем образованного льда (—) и растаявшего льда (+) км³ воды	Алгебраическая сумма граф 3, 4, 5, 6, км³	Объем водохранилища на конец месяца (графы 2+7), км³	Площадь водохранилища на середину месяца, км²	Время добегания	
									сутки	дата
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1959 г. ¹										
XII	46,79	7,91	—13,55	(+0,12)	—1,50	—7,14	39,65	5000	90	1/XII-58 г.—1/III-59
I	39,65	12,08	—16,93	(+0,10)	—0,82	—5,67	33,98	4450	72	1/I-59 г.—13/III-59 г.
II	33,98	11,41	—15,87	(+0,08)	—0,54	—5,00	28,98	3950	62	1/II-3/IV
III	28,98	12,45	—16,82	(+0,11)	—0,16	—4,53	24,45	3450	49	1/III-18/IV
IV	24,45	40,30	—26,18	{+0,41 —0,19	+3,02	+17,36	41,81	4100	29	1-29/IV
V	41,81	62,14	—50,62	—0,33	—	+11,19	53,00	5200	24	1-24/V
VI	53,00	22,36	—16,87	—0,31	—	+5,18	58,18	5750	129	1/VI-7/X
VII	58,18	12,29	—13,15	—0,54	—	—1,40	56,78	5950	131	1/VII-8/XII
VIII	56,78	12,10	—10,82	—0,55	—	+0,73	57,51	5950	153	1/VIII-31/XII
IX	57,51	7,54	—9,80	—0,36	—	—2,62	54,89	5880	133	1/IX-59 г.—11/I-60 г.
X	54,89	9,19	—10,53	—0,13	—	—1,47	53,42	5700	127	1/X-59 г.—4/II-60 г.
XI	53,42	8,06	—10,86	—0,04	—	—2,84	50,58	5650	115	1/XI-59 г.—23/II-60 г.
Год	—	217,83	—212,00	—2,04	0,00	+3,79	—	—	—	—

¹ Здесь, и во всех последующих таблицах, за начало года принят декабрь предыдущего года (начало зимы), а за конец года — ноябрь (конец осени).

² Числа, стоящие в скобках (XII—III), в графе 7 не суммируются. Они учитываются в апреле (IV).

На рис. 36 показаны также ход наполнения и сработки Куйбышевского водохранилища. Наполнение водохранилища, продолжалось, как было сказано выше, 19 месяцев — с октября 1955 г. по май 1957 г. До апреля 1956 г. объем воды в водохранилище не превышал 6 км^3 и уровень в нем не поднимался выше максимальной бытовой отметки уровня воды в половодье, которая в 1926 г. была равна 40,5 м, что отвечает объему воды в водохранилище примерно 9 км^3 . Таким образом, до апреля 1956 г. водохранилище представляло, по сути дела, р. Волгу с повышенным уровнем воды, но меньше, чем во время больших половодий, не выходя за пределы достаточно промытой части берегов, и вода проходила по нему без изменения минерализации (кривые, показывающие минерализацию воды притока и стока, совпадают в пределах точности результатов анализа).

Позже, с июня 1956 г. до апреля 1957 г., объем воды в водохранилище поддерживался примерно на половине проектного объема ($25\text{—}30 \text{ км}^3$) и уровень воды в нем поднимается настолько, что начинают обмываться уже те участки берегов, которые водами реки в бытовых условиях никогда не промывались. В результате этого с октября 1956 г. минерализация воды стока выше минерализации воды притока (с учетом времени добегания).

Превышение минерализации воды стока над минерализацией воды притока объясняется, по-видимому, не только промыванием почвы и грунтов вновь залитых берегов водохранилища, но и смывом солей с мест бывших населенных пунктов, складов и т. п.

При дальнейшем наполнении водохранилища и достижении проектного объема (58 км^3 в мае 1957 г.) величины минерализации воды притока и стока вновь выравниваются. При сработке водохранилища с 58 км^3 (май—июль 1957 г.) до 25 км^3 (апрель 1958 г.) уровень воды в нем понижается на 6 м. Освобождается от воды площадь берегов в $3,0\text{—}3,5$ тыс. км^2 . Кроме поверхностного смыва солей, происходит и выщелачивание их из толщи почво-грунтов и горных пород, слагающих берега, которые при подъеме уровня воды в водохранилище пропитываются водой, а при сработке обогащенная выщелоченными солями вода обратно стекает в водохранилище и за счет этого минерализация воды стока превышает минерализацию воды притока до $40\text{—}55 \text{ мг/л}$.

При большой проточности водохранилища смыв легко растворимых солей с берегов проходит довольно быстро. Несмотря на то что к концу сработки водохранилища (март—апрель 1958 г.) объем воды в нем уменьшился больше чем вдвое (с 58 до 25 км^3), а поступление в него пропитывающей берега воды все время увеличивается, превышение минерализации воды стока над минерализацией воды притока заметно не увеличивается и к концу сработки (февраль—март 1958 г.) минерализация воды притока и стока практически даже выравнивается.

Таблица 20

Средневзвешенная минерализация и объем воды притока в Куйбышевское водохранилище и стока из него по наблюдениям в 1956—1958 гг.

Месяц и год	р. Волга у с. Вязовые		р. Кама у с. Соколы Горы		Средневзвешенная минерализация воды притока, мг/л	Общий объем воды протока ¹ , км³	р. Волга у п. Поляна им. Фрунзе	
	минерализация, мг/л	объем воды, км³	минерализация, мг/л	объем воды, км³			минерализация, мг/л	объем воды, км³
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1956 г.								
XII	234	5,01	395	3,59	301	8,60	351	4,87
I	274	5,76	(451)	2,68	331	8,44	299	9,54
II	322	4,69	517	2,08	382	6,77	372	7,42
III	402	2,79	649	2,28	513	5,07	(520)	5,97
IV	135	12,10	295	12,00	215	24,10	332	15,14
V	95	31,61	223	32,14	159	63,75	160	51,69
VI	131	12,86	228	12,26	178	25,12	174	24,52
VII	200	6,99	301	5,30	243	12,29	189	10,39
VIII	259	5,68	312	7,42	289	13,10	226	11,73
IX	(255)	6,22	(309)	8,71	287	14,93	(245)	15,14
X	251	6,75	307	12,27	287	19,02	367	15,96
XI	(251)	6,01	(320)	4,35	280	10,36	317	12,80
Год	180	106,47	291	105,08	236	211,55	230	185,17
1957 г.								
XII	(250)	7,18	(340)	5,36	288	12,54	(317)	11,65
I	(230)	8,09	(360)	5,89	285	13,98	(328)	13,69
II	238	6,34	374	5,20	299	11,54	340	14,15

III	278	5,84	408	6,27	345	12,11	(348)	13,69
IV	176	20,48	220	15,15	195	35,63	264	20,74
V	124	40,18	176	59,19	155	99,37	151	90,80
VI	(165)	8,84	162	17,55	163	26,39	151	27,48
VII	(188)	9,86	261	9,78	225	19,64	169	20,14
VIII	229	6,00	264	6,11	246	12,11	182	12,72
IX	(236)	5,68	321	4,33	272	10,01	211	12,29
X	(237)	6,35	396	4,29	301	10,64	242	13,18
XI	(240)	6,74	(420)	4,15	309	10,89	(265)	12,70
Год	186	131,58	234	143,24	211	274,82	212	263,23

1958 г.

XII	(278)	5,89	(445)	4,15	347	10,04	(292)	15,43
I	(250)	7,31	473	4,42	334	11,73	321	17,95
II	(238)	7,40	429	4,89	314	12,29	321	18,71
III	(230)	8,49	(360)	6,05	284	14,54	358	19,61
IV	176	19,47	290	12,65	221	32,12	328	29,29
V	129	38,57	139	42,85	134	81,42	184	64,28
VI	165	13,89	149	27,73	154	41,62	151	40,69
VII	188	7,10	237	7,77	214	14,87	136	16,02
VIII	211	5,17	306	4,90	257	10,07	160	15,91
IX	236	4,67	351	4,04	289	8,71	178	11,98
X	237	4,96	322	5,36	281	10,32	203	9,21
XI	240	4,90	361	4,15	296	9,05	219	10,24
Год	186	127,82	232	128,96	207	256,78	230	269,33

1 Объем притока дан без учета боковой приточности, средняя величина минерализации которой, как будет показано ниже, не отличается заметно от средней величины минерализации воды водохранилища.

Равенство минерализации воды притока и стока при вторичном наполнении и сработке водохранилища в 1958 г. сохраняется все время.

Повышение минерализации воды в водохранилище за счет поступления более минерализованных грунтовых вод, когда волжская и камская вода транзитом проходит через водохранилище, исключается, так как с февраля 1958 г. по февраль 1959 г. минерализация воды притока и стока одинаковы (рис. 36).

Таким образом, небольшое повышение минерализации воды в водохранилище происходит только в первые два года от начала его наполнения. Начиная с третьего года после начала наполнения волжская и камская вода проходит через водохранилище без изменения средневзвешенной минерализации воды, так как за первые два года наполнения произошло достаточно полное промывание берегов. Однако неоднородность по ширине водохранилища, как это будет показано ниже (см. главу XI), особенно ниже впадения р. Камы, сохраняется и камская вода остается прижатой к левому берегу, а волжская — к правому. При этом в верховье водохранилища независимо от сезона года всегда наблюдается неоднородность воды по ширине водохранилища, обусловленная различием химического состава волжской и камской воды. По мере продвижения по водохранилищу обе эти воды смешиваются, но в различной степени, в зависимости от расходов. Чем большие расходы (весенний паводок) рек Волги и Камы, тем на большем расстоянии от устья р. Камы прослеживается неоднородность химического состава воды по ширине водохранилища, и, наоборот, чем меньшие расходы (летняя межень), тем быстрее происходит смешение волжской и камской вод.

Следовательно, наблюдения за изменением минерализации воды Куйбышевского водохранилища в первые три года его существования показали, что в первые два года происходило небольшое увеличение средневзвешенной месячной минерализации воды (до 40—55 мг/л), а на третий год уже не наблюдалось такого увеличения минерализации и вода транзитом проходила по водохранилищу без изменения средневзвешенной месячной минерализации воды.

Небольшое увеличение минерализации воды в водохранилище в первые два года его существования объясняется смывом солей с берегов и мест расположения бывших населенных пунктов, складов и т. п., а также выщелачиванием солей из толщи отложений, слагающих берега.

Влияние подтока более минерализованных, чем воды Куйбышевского водохранилища, грунтовых вод обнаружено не было.

Ледообразование и ледотаяние оказывают небольшое влияние на изменение минерализации воды, порядка 5%, а испарение и того меньше — в пределах 1%.

Неоднородность воды по ширине водохранилища в его верхо-

вье наблюдается всегда, независимо от сезонов года, аналогично тому, как было в бытовых условиях.

Остановимся на результатах прогноза минерализации воды Куйбышевского водохранилища до его сооружения.

Прогнозированием минерализации воды Куйбышевского водохранилища занимались многие исследователи [86, 188, 189]. Все эти авторы при прогнозировании минерализации воды пользовались методом водно-солевого баланса. При расчете минерализации воды этого водохранилища некоторые авторы [188] принимали полное смешение воды притока с водой водохранилища, а другие [5, 10, 86, 189] считали, что вода притока смешивается с водой водохранилища лишь частично.

П. П. Воронков [86] дает методику расчета минерализации воды Куйбышевского водохранилища, но результатов расчета он не приводит. За минерализацию воды притока Куйбышевского водохранилища он принимает минерализацию волжской воды у г. Саратова. Принимая во внимание большую проточность водохранилища и считая, что при этом минерализация воды стока будет близка к минерализации воды самого водохранилища, он предлагает следующее уравнение:

$$M_{\text{ст}} = M_{\text{пр}} \frac{V_{\text{пр}}}{V_{\text{пр}} + V_{\text{ос}} - V_{\text{исп}}},$$

где M — минерализация (ст. и пр. — стока и притока), V — объем воды (пр., ос., исп. — притока, осадков, испарения).

П. П. Воронков приходит к выводу, что поправочные коэффициенты на минерализацию воды притока для всех сезонов года практически равны единице [86, стр. 40].

Недостатком методики расчета П. П. Воронкова является то, что он не учитывает время добегания, а ограничивается замечанием, что «вследствие большой проточности вода Куйбышевского водохранилища по химическому составу не будет существенно отличаться от воды низовьев р. Волги, т. е. будет сохранять в общих чертах химический состав соответствующих участков р. Волги» [86, стр. 41].

К. Г. Лазарев, М. И. Кривенцов и Н. Г. Фесенко [188] при прогнозировании минерализации воды Куйбышевского водохранилища исходили из уравнения водно-солевого баланса и допускали (для упрощения расчета) полное смешение воды притока с водой водохранилища.

Хотя в свое время такой метод расчета и сыграл положительную роль, теперь он не может быть рекомендован, так как полного смешения воды притока с водой водохранилища не происходит, что не отрицали и указанные авторы.

Применение уравнения водно-солевого баланса позволило им без претензии на большую точность прогноза, и лишь как на направление хода изменения минерализации воды будущего

водохранилища, придти, в общем, к правильным выводам, которые подтвердились и наблюдениями над изменением минерализации воды Куйбышевского водохранилища в 1958 г.

М. И. Кривенцов учел недостатки предыдущих работ [189]. Используя формулу П. П. Воронкова в несколько измененном виде, он учитывает время добегания, рассчитывает и приводит результаты расчета минерализации воды Куйбышевского водохранилища.

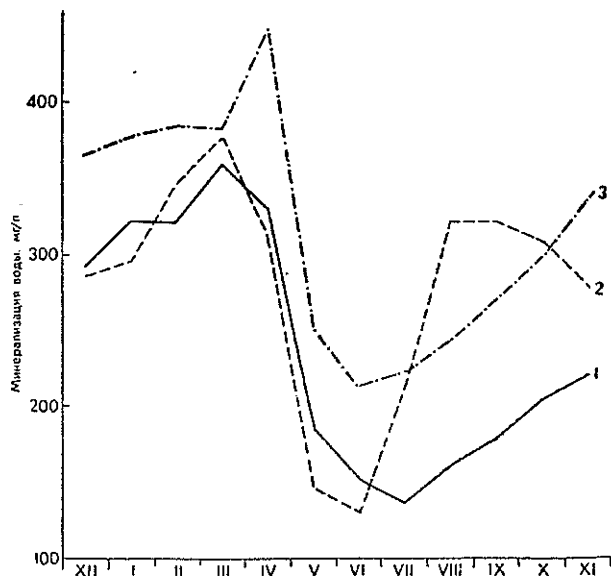


Рис. 37. Изменения минерализации воды Куйбышевского водохранилища по прогнозу и по натурным наблюдениям в 1958 г.

1 — по натурным наблюдениям в 1958 г.; 2 — по прогнозу П. П. Воронкова; 3 — по прогнозу М. И. Кривенцова.

Учет времени добегания дает возможность, принципиально, рассчитать минерализацию воды водохранилища в различных его местах и в различное время. В этом отношении предлагаемая М. И. Кривенцовым схема расчета представляет шаг вперед. Как было показано выше, в тех случаях, когда в водохранилище отсутствуют факторы, повышающие минерализацию воды, тогда кривые, показывающие величину минерализации воды (с учетом добегания) и стока, практически сливаются (рис. 36, за 1958 г.).

Как отмечалось раньше [188, 86] и было показано выше (стр. 134), при установившемся режиме минерализация воды Куйбышевского водохранилища определяется минерализацией воды

притока. Поэтому естественно, что расчетная величина минерализации воды Куйбышевского водохранилища, полученная рядом авторов [86, 188, 189], отличается от минерализации, которая наблюдалась фактически в 1958 г., поскольку минерализация воды притока указанными авторами принималась отличной от той, какая наблюдалась в действительности в 1958 г.

На рис. 37 наглядно показано различие абсолютных величин минерализации воды, полученных различными авторами и по наблюдениям 1958 г., которое (различие), как было уже сказано, является естественным следствием различия в исходных данных минерализации воды притока и поэтому затрудняет делать сравнительную оценку приведенных методов прогноза минерализации воды.

Поскольку все перечисленные величины получены на основе уравнения водно-солевого баланса, которое в данном случае является выражением закона сохранения материи, то все они довольно близки между собой и особенно сильно сближаются начиная с мая 1958 г., когда закончилось уже формирование состава воды Куйбышевского водохранилища.

Следовательно, при установившемся режиме водохранилища главным фактором, определяющим величину минерализации его воды, является величина минерализации воды притока, и если бы предшествующие авторы имели возможность взять более правильные величины минерализации притока, то они получили бы и более правильные величины минерализации воды стока из водохранилища.

3. Физические свойства воды

Температура. По нашим наблюдениям на Нижней Волге (от устья р. Камы до г. Астрахани) до сооружения Куйбышевского водохранилища разница в температуре воды верхних и нижних ее участков поверхностных и придонных слоев составляла 0,7—1,1°С. Такая разница в температуре воды объясняется большой скоростью течения воды, что обуславливало малую продолжительность времени, необходимого для прохождения этого участка, за которое вода не успевала сильно изменить свою температуру.

В навигационный период после создания Куйбышевского водохранилища амплитуда колебания температуры воды в водохранилище резко увеличилась. Наибольшая разница в температуре воды поверхностных и придонных слоев, верхних и нижних участков водохранилища наблюдалась в весенний период, когда она достигала 9,6° (июнь 1956 г.). В летнее время (август—сентябрь) эта разница уменьшалась до 4,2° (1956, 1957 и 1958 гг.) и даже до 2,3° (1959 г.), а в осенний период она была меньше 1,1° (1956 г.) (табл. 17 и [156, табл. 8]).

Увеличение амплитуды колебания температуры в основном

объясняется появлением в водохранилище вертикальной стратификации. Кроме того, температура воды верхних участков водохранилища несколько ниже температуры воды нижних участков. Это происходит за счет того, что продолжительность пребывания воды на участке Куйбышевского водохранилища после его создания увеличилась, в результате чего вода при прохождении от верховьев водохранилища к плотине получает больше солнечной энергии, чем это наблюдалось до сооружения Куйбышевского водохранилища.

Наиболее четко вертикальная стратификация температуры воды наблюдалась нами на разрезе, расположенном в 20 км от плотины. Нижний участок водохранилища вытянут с востока на запад и оба берега очень высокие, что препятствует образованию больших волн на этом участке. Ветровое перемешивание воды в водохранилище является главным фактором в нарушении всякой стратификации. Защита берегов от ветров, большая глубина и небольшая ширина этого участка благоприятствуют созданию стратификации в температуре воды. На других участках, имеющих большую ширину, небольшие глубины и не имеющих высоких берегов, защищающих от ветров (весь левый берег Куйбышевского водохранилища низкий, а наибольшая повторяемость ветров приходится на северо-восточные ветры [220]), вертикальной стратификации, как правило, не наблюдалось.

Прозрачность. Прозрачность воды р. Волги до создания Куйбышевского водохранилища колебалась в пределах 60—90 см по диску Секки и во все сезоны года она оставалась примерно одинаковой. После сооружения Куйбышевского водохранилища прозрачность воды резко увеличилась и иногда доходила до 270 см (табл. 17 и [156, табл. 8]). Увеличение прозрачности произошло в результате резкого уменьшения скоростей течения воды в водохранилище по сравнению с бытовыми условиями реки. Поэтому в весенний период прозрачность воды меньше, чем в летне-осенний период, так как, во-первых, талые воды несут много взвешенных веществ и, во-вторых, скорость течения воды в весенний период (во время паводка) гораздо большая, нежели в другие сезоны, что видно по времени добегания воды от верховьев до плотины (весной время добегания или полная смена воды в водохранилище происходит за 15—16 дней, а летом и осенью — за 132—153 дней), что препятствует осаждению взвешенных веществ.

Прозрачность воды изменяется также и по длине водохранилища. На верхних участках водохранилища прозрачность, как правило, всегда ниже, чем на нижних участках, если, конечно, сравнивать проточные участки водохранилища, а не его отдельные заливы, где прозрачность может быть очень высокой, несмотря на то, что они находятся в верхней части водохранилища.

Факторами, влияющими на изменение прозрачности воды в водохранилище, являются ветровое перемешивание воды и размыв берегов. На мелководных участках водохранилища сильные ветры перемешивают всю толщу воды и взмучивают донные осадки, в результате чего прозрачность воды резко уменьшается. Кроме того, сильные разрушения берегов под действием волн также способствуют уменьшению прозрачности воды.

Электропроводность. В течение всего периода наблюдений (1954—1961 гг.) электропроводность воды р. Волги и Куйбышевского водохранилища изменялась в следующих пределах: в Волжском отроге—306 км от плотины—154,8—383,0 мс/см, в Камском отроге—70 км от старого устья р. Камы (360 км от плотины)—149,2—485,2 мс/см и в нижней части Куйбышевского водохранилища—20 км от плотины—151,9—430,7 мс/см. Как видно из приведенных данных, электропроводность воды приплотинного участка является средней между электропроводностью Волжского и Камского отрогов, т. е. основных притоков Куйбышевского водохранилища. Таким образом, электропроводность воды Куйбышевского водохранилища в пределах одного сезона изменяется только за счет степени смешения водных масс двух основных притоков—рек Волги и Камы.

Электропроводность воды Куйбышевского водохранилища изменяется также и по сезонам года. Наименьшая электропроводность соответствует весеннему, паводочному периоду, когда наблюдалась наименьшая величина минерализации воды, которая и определяет величину электропроводности. В летне-осенний период электропроводность воды повышается вместе с увеличением минерализации воды (более подробно об электропроводности см. гл. XI).

4. Биогенные вещества

Соединения азота. Содержание отдельных форм минерального азота в воде р. Волги и Куйбышевского водохранилища изменялось в широких пределах, но в меньших, чем это наблюдалось в Горьковском водохранилище: нитратного—от 0,00 до 0,90 мг N/л, нитритного—от 0,000 до 0,027 мг N/л, аммонийного—от 0,02 до 0,40 мг N/л и общего суммарного минерального азота (ΣN)—от 0,02 до 0,95 мг N/л (табл. 17 и [156, табл. 8]).

В изменении содержания как отдельных форм, так и общей концентрации азота наблюдалась сезонная зависимость: наименьшее содержание нитратного и аммонийного азота, как правило, наблюдалось в летнее время, когда имела место наибольшая интенсивность жизнедеятельности фитопланктона, потребляющего эти вещества, наибольшее содержание—в зимний период, когда жизнедеятельность фитопланктона наименьшая. В весенний и осенний периоды содержание азота больше, чем в летний период, и меньшая, чем в зимний.

Правда, такая закономерность не очень строгая, как это наблюдалось нами на Горьковском водохранилище. Например, в сентябре 1959 г. содержание суммарного минерального азота колебалось в пределах 0,22—0,95 мг N/л, т. е. это содержание азота было наибольшим за все время наших наблюдений в навигационный период (в зимний период содержание азота у г. Казани доходило до 0,63—1,29 мг N/л в 1956 г. и 0,36—1,52 мг N/л в 1957 г., в приплотинном участке — до 0,17—0,96 мг N/л в 1958 г. и 0,21—1,02 мг N/л в 1959 г.).

Уменьшение содержания азота в весенний период объясняется разбавлением его концентрации паводковыми водами, а увеличение его содержания в осенний и особенно в зимний периоды — уменьшением жизнедеятельности фитопланктона и минерализацией органических веществ с образованием NO_3' , NO_2' , NH_4' . В летний период изъятие минерального азота из воды фитопланктоном превышает скорость минерализации органического вещества с образованием аммонийного, нитритного и нитратного азота, в остальные же сезоны года, особенно в зимний период минерализация органического вещества с образованием соединений азота превышает потребление его фитопланктоном, жизнедеятельность которого в этот период резко уменьшается.

Если сравнить данные по содержанию как отдельных форм минерального азота, так и их суммы в воде р. Волги до создания Куйбышевского водохранилища и в воде Куйбышевского водохранилища, то можно обнаружить некоторое увеличение абсолютного содержания минерального азота и амплитуды его колебания. Такое явление следует объяснить наличием в некоторые периоды года вертикальной стратификации в содержании минерального азота: повышенное содержание азота в придонных слоях воды, обусловленное регенерацией их из органического вещества, и пониженное его содержание в поверхностных горизонтах, обусловленное изъятием азота фитопланктоном.

Минерализация органических веществ с образованием азото-содержащих минеральных соединений может протекать различно: либо до NH_4' , либо до NO_3' (нитриты мало устойчивы и являются промежуточным звеном нитрофикации). Обычно при достаточном содержании растворенного кислорода и при более высоких температурах нитрофикация идет до образования NO_3' ; при малых содержаниях кислорода в воде и при более низкой температуре минерализация органических веществ протекает в основном до образования иона аммония (NH_4'). При очень больших содержаниях в воде нитратов наблюдались малые содержания аммонийного азота и, наоборот, при малых содержаниях нитратов — большие содержания аммонийного азота. Такая закономерность имела место только в весенне-осенний период, в зимнее же время наблюдались большие содержания как аммонийного, так и нитратного азота.

Фосфор. Содержание растворимых фосфатов колебалось в пределах 0,002—0,079 мг Р/л, т. е. в тех же пределах, какие мы наблюдали на Горьковском водохранилище (табл. 17 и [156, табл. 8]).

Сравнение данных по содержанию растворимых фосфатов в воде Куйбышевского водохранилища и р. Волги до создания этого водохранилища показывает, что в водохранилище увеличилась амплитуда колебания в содержании растворимых фосфатов. Причем нижний предел остался почти таким, каким он наблюдался нами до зарегулирования, а верхний предел увеличился с 0,037 до 0,079 мг Р/л. Увеличение амплитуды колебания в содержании растворимых фосфатов объясняется наличием вертикальной стратификации в водохранилище. Правда, вертикальная стратификация в содержании фосфатов наблюдалась нами очень редко, но особенно четко она проявилась в августе 1957 г., когда содержание фосфатов в поверхностном слое воды было намного ниже, чем в придонном слое, что связано с потреблением фосфатов растительными организмами в первом случае и регенерацией его — во втором. Например, на разрезе IX (70 км от плотины) в августе 1957 г. у левого берега содержание фосфатов в поверхностном слое было 0,056 мг Р/л, в придонном — 0,071 мг Р/л, на середине водохранилища — соответственно 0,039—и 0,055 мг Р/л и у правого берега — 0,024 и 0,078 мг Р/л. Такие же результаты были получены и на разрезах III, VII, VIII и X.

Железо. Содержание железа в воде р. Волги и Куйбышевского водохранилища колебалось в меньших пределах, чем это наблюдалось нами на Горьковском водохранилище, а именно от 0,00 до 0,82 мг Fe/л (одно определение железа в пробе воды, отобранной у дна, показало 1,70 мг Fe/л — август 1956 г.) (табл. 17 и [156, табл. 8]).

В отличие от Горьковского водохранилища, в воде Куйбышевского водохранилища в свободный ото льда период содержание железа почти не имеет сезонной зависимости. В зимний период в Волжском отроге содержание железа достигает больших величин — порядка 1,63 мг Fe/л и в Камском отроге 1,41 мг Fe/л (март 1957 г.). В приплотинной части водохранилища содержание железа в зимний период невелико и не превышало 0,29 мг Fe/л в апреле 1958 г. и 0,18 мг Fe/л в феврале 1959 г.

Хотя амплитуда колебания в содержании железа после сооружения Куйбышевского водохранилища увеличилась незначительно, но вертикальная стратификация содержания железа нами наблюдалась. Особенно четко она была выражена в августе 1957 г. Такая стратификация обусловлена интенсивным поглощением железа фитопланктоном в поверхностном слое воды и регенерацией его в придонном слое.

Кремний. Содержание кремния в течение всего наблюдаемого периода (1954—1961 гг.) колебалось в пределах 0,3—4,1 мг Si/л

(табл. 17 и [156, табл. 8]). Строгой закономерности в изменении содержания кремния в воде р. Волги до и после сооружения Куйбышевского водохранилища нам установить не удалось. Имеется некоторая тенденция повышения содержания кремния в воде р. Волги и Куйбышевского водохранилища от лета к осени и особенно в зимнее время, когда оно достигает наибольших значений — до 5,0 мг Si/л (в Волжском отроге в зиму 1955 г.) и 5,7 мг Si/л (в Камском отроге в зиму 1957 г.). Определение содержания кремния в приплотинной части Куйбышевского водохранилища в зимний период 1958 и 1959 гг. показало следующие максимальные величины: соответственно 3,6 и 3,7 мг Si/л. Весной содержание кремния несколько падает, по-видимому, вследствие разбавления талыми водами. Уменьшение содержания кремния в летний период следует объяснять потреблением его фитопланктоном (диатомовыми водорослями).

Описанная выше тенденция увеличения содержания кремния от лета к осени и уменьшение от весны к лету наблюдалась нами не во все годы. Несомненно только одно — наибольшие содержания кремния в воде наблюдались нами в зимний период.

Вертикальная стратификация в содержании кремния в воде Куйбышевского водохранилища почти не наблюдалась нами даже в такое время, как август 1957 г., когда для всех остальных биогенных веществ она имела место.

Амплитуды колебания в содержании кремния в воде Куйбышевского водохранилища примерно такие же, какими они были в р. Волге до сооружения Куйбышевского водохранилища. Содержание кремния достаточно для нормального развития некоторых форм фитопланктона и даже в летний период не лимитирует его развитие.

5. Органические вещества

Перманганатная окисляемость. Перманганатная окисляемость воды р. Волги, Куйбышевского водохранилища и притоков довольно высока и изменялась от 4,8 до 15,6 мг О/л (табл. 17 и [156, табл. 8]).

После сооружения Куйбышевского водохранилища амплитуда колебания величины перманганатной окисляемости увеличилась. Если до зарегулирования (1954—1955 гг.) величина перманганатной окисляемости воды р. Волги колебалась в пределах 8,2—13,1 мг О/л, то пределы колебания величины перманганатной окисляемости воды Куйбышевского водохранилища намного увеличились и составляли 4,8—15,6 мг О/л. Уменьшение нижнего предела величины перманганатной окисляемости воды Куйбышевского водохранилища следует объяснить уменьшением органических веществ, находившихся в воде реки во взвешенном состоянии и выпавших в водохранилище вместе с минеральными

взвешенными веществами вследствие уменьшения скорости течения воды. Увеличение верхнего предела для перманганатной окисляемости воды Куйбышевского водохранилища по сравнению с р. Волгой до зарегулирования можно объяснить извлечением легкорастворимых веществ из затопленных пойменных почв и растительности и повышением продуцирования органического вещества живыми организмами, которое свойственно изменившимся условиям в водоеме — повышению температуры и уменьшению скорости течения воды.

Отчетливой закономерности в изменении величины перманганатной окисляемости воды р. Волги и Куйбышевского водохранилища установить не удалось. Наблюдается некоторая тенденция уменьшения ее в зимнее время по сравнению с величинами перманганатной окисляемости воды других сезонов тех же лет и уменьшение абсолютной величины перманганатной окисляемости воды Куйбышевского водохранилища в процессе формирования его гидрохимического режима. Наибольшая величина перманганатной окисляемости наблюдалась нами в первые два года существования водохранилища 1956—1957 гг. Это явление объясняется тем, что в период затопления происходило извлечение органических веществ с залитых пойменных почв, разложение залитой растительности и смыв органических веществ с залитых почв и пойменных озер. В последующие годы (1958—1961 гг.) величина перманганатной окисляемости уменьшилась, так как за предыдущие два года заполнения водохранилища, по-видимому, было закончено извлечение легкорастворимых органических веществ.

В августе 1957 г. была наибольшая вертикальная стратификация перманганатной окисляемости воды Куйбышевского водохранилища. В поверхностном слое воды величина перманганатной окисляемости была большей, нежели в придонном слое, что можно объяснить большим количеством фитопланктона в поверхностном слое.

Бихроматная окисляемость. Бихроматная окисляемость определялась в пробах воды, отобранных в трех пунктах: в Волжском и Камском отроге и у плотины.

В изменении величины бихроматной окисляемости не имеется какой-либо закономерности. Ее величина, так же как и величина перманганатной окисляемости, зависит от многих факторов: от осаждения взвешенных органических веществ, от взмучивания донных осадков ветровым волнением, от продуцирования органического вещества фитопланктоном, от извлечения органического вещества из затопленных пойменных почв, от разложения затопленной растительности и других факторов. Все эти факторы действуют в различных направлениях и поэтому в изменении величины бихроматной окисляемости трудно обнаружить какую-либо закономерность.

Ее величина в течение 1954—1961 гг. изменялась от 17,1 до 55,8 мг О/л (табл. 17 и [156, табл. 8]).

Отношение величины перманганатной окисляемости к бихроматной $\left(\frac{\text{перманганатная окисляемость}}{\text{бихроматная окисляемость}} \cdot 100 \right)$ в воде р. Волги изменялось в пределах 39—49%, а после создания водохранилища — 27—53%.

Цветность. Цветность воды р. Волги до зарегулирования была несколько выше, чем воды Куйбышевского водохранилища, и колебалась в пределах 25—97° (табл. 17 и [156, табл. 8]). После сооружения Куйбышевского водохранилища цветность воды уменьшилась и составляла в течение 1956—1961 гг. 9—49°. Единичные пробы воды имели цветность до 82°. Уменьшение цветности воды р. Волги после сооружения Куйбышевского водохранилища, как это наблюдалось нами и на Горьковском водохранилище, объясняется, по-видимому, изменением качественного состава органических веществ, с уменьшением доли окрашенных органических веществ при некотором уменьшении и общего количества органических веществ в Куйбышевском водохранилище, судя по изменению величины перманганатной окисляемости.

6. Растворенные газы и рН

а) Свободный ото льда период

Кислород. Содержание растворенного в воде кислорода в бытовых условиях р. Волги на участке Куйбышевского водохранилища изменялось от 7,22 до 11,58 мг О₂/л (79,4—105,0% насыщения) (табл. 17 и [156, табл. 8]). В реке никогда не наблюдалась нами вертикальная стратификация в содержании кислорода.

После сооружения Куйбышевского водохранилища газовый режим претерпел изменения, из которых одним из главных является установление вертикальной стратификации в содержании растворенного кислорода. Если до зарегулирования амплитуда колебания в содержании кислорода составляла 0,54—1,74 мг О₂/л и 5,4—17,0% насыщения, то в водохранилище такая амплитуда достигала 1,30—12,28 мг О₂/л и 7,0—136,0% насыщения. Разница в содержании кислорода в придонных и поверхностных слоях воды большей частью составляла от 2 до 6 мг О₂/л (или от 20 до 80% насыщения). Наибольшая стратификация наблюдалась нами в августе 1957 г., когда разница в содержании кислорода в поверхностных и придонных слоях воды составляла 12,28 мг О₂/л, или 136,0% насыщения (рис. 38 и 39).

В первый год существования Куйбышевского водохранилища в весенний и летний периоды 1956 г. наблюдалось небольшое снижение в содержании растворенного кислорода по сравнению с такими же периодами до зарегулирования, что можно объяснить большим расходом кислорода на окисление органических

веществ, извлекаемых из затопленных почво-грунтов и растительности. Изменения в содержании растворенного кислорода в первый год существования Куйбышевского водохранилища отличаются от его изменения в Цимлянском [340, стр. 91] и Каховском [111] водохранилищах в тот же период. Такое отличие в формировании газового состава Куйбышевского, Цимлянского и Каховского водохранилищ объясняется теми же причинами,

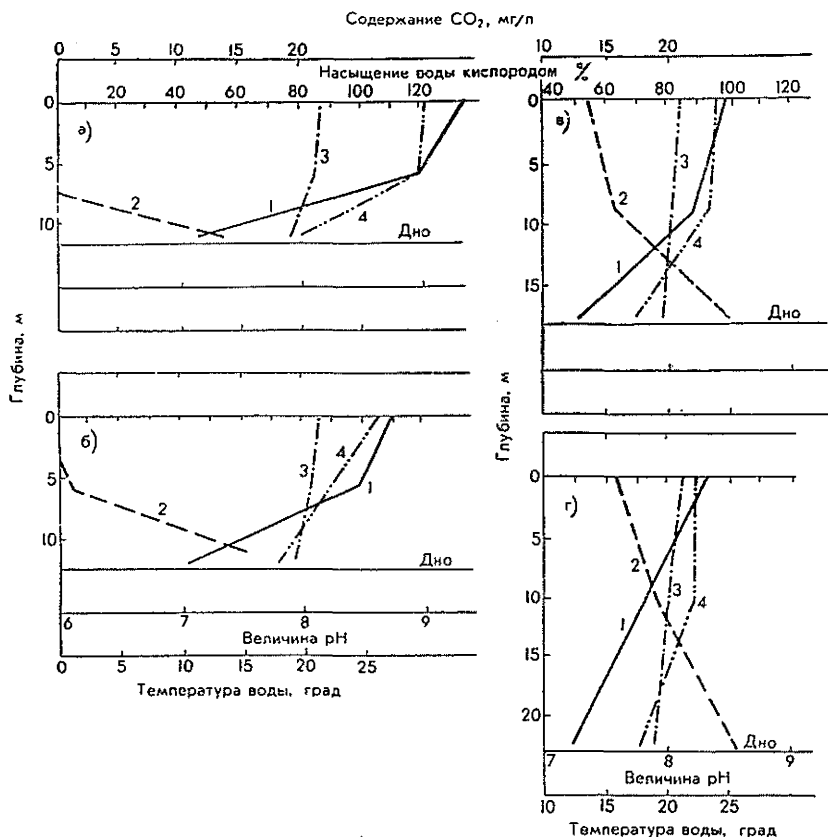


Рис. 38. Распределение температуры, O₂, CO₂ и pH по вертикали в Куйбышевском водохранилище (20 км от плотины) в августе 1957 г.

а — у левого берега; б — на второй точке от левого берега; в — на середине; г — на второй точке от правого берега. 1 — насыщение воды кислородом; 2 — содержание CO₂; 3 — температура воды; 4 — величина pH.

которые описаны нами для Горьковского водохранилища (стр. 107), а именно:

1) большой сменяемостью воды в Куйбышевском водохранилище, которая составляла примерно 9—10 раз за 1956 г.;

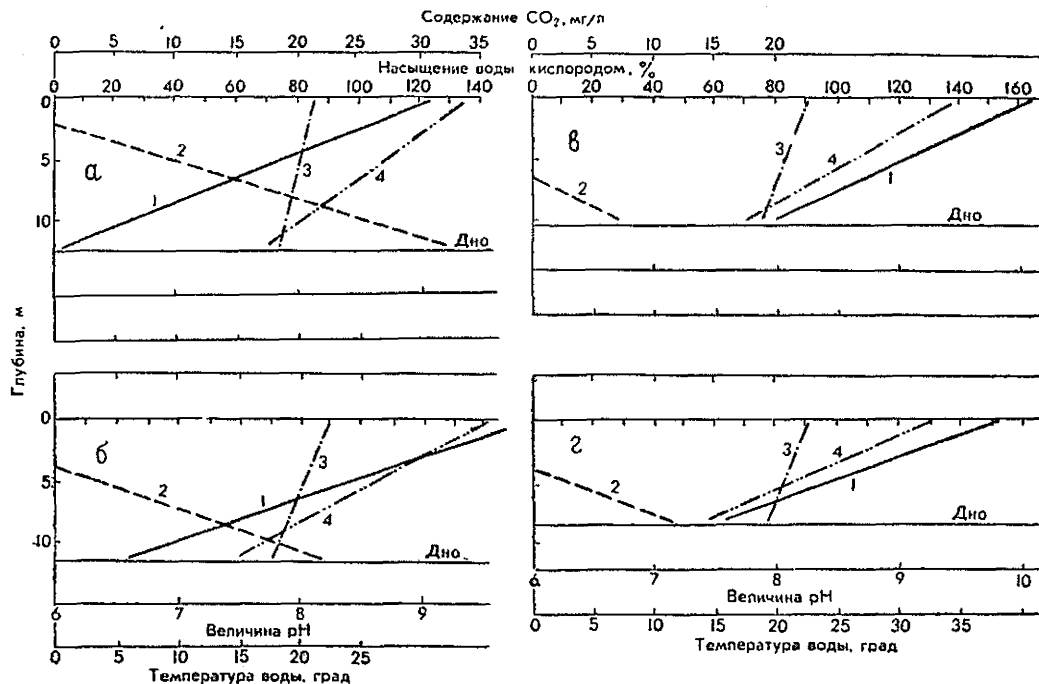


Рис. 39. Распределение температуры, O_2 , CO_2 и pH по вертикали в Куйбышевском водохранилище [Черемшанский залив — 45 км (а) и 10 км (б, в, г) от устья залива] в августе 1957 г. (обозначения такие же, как на рис. 38).

а — в устье р. Черемшан;
 б — у левого берега; в —
 на середине залива; г —
 у правого берега

2) более низкой температурой воды в Куйбышевском водохранилище по сравнению с температурой воды в Цимлянском и Каховском водохранилищах, вследствие чего окислительные и фотосинтетические процессы в Куйбышевском водохранилище протекали менее интенсивно.

В дальнейшем содержание растворенного кислорода в поверхностных слоях воды достигало больших величин (10,03—12,92 мг O_2 /л), а в придонных слоях оно иногда снижалось до нуля (в августе 1957 г. — 0,64 мг O_2 /л, или 6,6% насыщения). Такой отчетливой вертикальной стратификации в содержании растворенного кислорода способствовали замедленное течение воды в водохранилище и метеорологические условия (тихая погода, безоблачное небо и высокая температура воды и воздуха, что интенсифицировало фотосинтез в поверхностных слоях воды и окислительные процессы в придонных слоях), и глубина водохранилища, максимальная величина которой достигала 41 м. В весенний и осенний периоды содержание кислорода достигало значительных величин (в сентябре 1958 г. 10,17—11,47 мг O_2 /л, в мае 1959 г. 8,52—11,98 мг O_2 /л и т. д.), а вертикальная стратификация в содержании кислорода была выражена слабо. Этому способствовало интенсивное ветровое перемешивание водных масс водохранилища по вертикали, даже при сравнительно небольших ветрах, так как средняя глубина водохранилища составляет 9 м [50, стр. 5].

Те же авторы приводят сведения о том, что 31/V 1957 г. при высоте волны 1,5 м в приплотинном участке водохранилища наблюдалась длина волны 25 м, у г. Тетюши — при высоте волны 0,6 м длина волны была 10 м, а при высоте волны 0,98 м длина волны была 18 м, в районе р. п. Комсомольский (у плотины) в 1958 г. была зафиксирована наибольшая длина волны — 25 м [там же, стр. 57]. Эти данные показывают, что даже при малых ветрах, но дующих продолжительное время, образуются волны высотой от 0,6 до 1,5 м и длиной от 10 до 25 м, т. е. перемешивание захватывает глубины от 5 до 12,5 м, так как область действия волнового перемешивания распространяется на глубину, равную половине длины волны [48].

По наблюдениям И. В. Баранова [32], содержание растворенного в воде кислорода в 1956 и 1957 гг. изменялось в тех пределах, в каких оно наблюдалось и нами. В июле 1957 г. в заливе на 200 км от плотины и в сентябре 1957 г. в Черемшанском заливе в поверхностных слоях воды им было найдено соответственно 23,23 и 22,55 мг O_2 /л (или 282,6 и 236,0% насыщения), что вызывает сомнение в правильности определения. В этих же местах и примерно в те же периоды нами обнаружено содержание кислорода не более 12,92 мг O_2 /л (или 142,6% насыщения). Причем величина рН, определенная И. В. Барановым и нами, примерно одинакова и превышает 9,00.

На Куйбышевском водохранилище проводились наблюдения на суточных станциях. Глубина на суточных станциях колебалась от 8 до 40 м. На этих станциях наблюдения проводили за изменением газового состава (CO_2 и O_2), pH и температуры воды.

Проведенные наблюдения показали, что изменения в содержании растворенного кислорода в зависимости от времени суток незначительны и не превышают в восьми случаях из десяти 0,60 мг O_2 /л и только в двух случаях — в июне и августе 1957 г. — такое изменение составляло соответственно 1,18 и 3,76 мг O_2 /л. В это же время нами наблюдалась и наиболее отчетливая вертикальная стратификация как в содержании растворенного кислорода, так и других компонентов химического состава воды (рис. 38 и 39). Отсюда можно предположить, что суточный ход в изменении газового состава воды р. Волги до зарегулирования нарушается довольно значительной скоростью течения воды в реке, а в водохранилище вуалируется ветровым перемешиванием водных масс, несмотря на то что в водохранилище имеются условия для создания суточного хода в изменении газового состава: большая интенсивность фотосинтеза, замедленность смешения водных масс, увеличение амплитуды колебания температуры, увеличение биомассы фитопланктона по сравнению с бытовыми условиями реки.

Двуокись углерода. В навигационный период содержание двуокиси углерода в воде р. Волги до сооружения Куйбышевского водохранилища колебалось в небольших пределах: от 0,8 до 5,3 мг CO_2 /л (табл. 17 и [156, табл. 8]). Каких-либо закономерностей в изменении содержания CO_2 в зависимости от сезона года и вертикальной стратификации в ее содержании в воде реки нами не обнаружено.

После сооружения Куйбышевского водохранилища резко увеличились пределы колебания в содержании двуокиси углерода — до 0,0—27,5 мг CO_2 /л. Такое увеличение пределов колебания в содержании CO_2 объясняется наличием вертикальной стратификации в водохранилище, которая обусловлена усилением фотосинтеза фитопланктона в поверхностных слоях воды, в результате чего уменьшается ее содержание, и образованием больших количеств двуокиси углерода в придонных слоях воды за счет окисления органических веществ затопленных почво-грунтов и растительности и осевших на дно взвешенных веществ и отмершего фитопланктона.

Вертикальная стратификация в содержании двуокиси углерода отчетливее всего наблюдалась нами в августе 1957 г., когда разница в содержании CO_2 в придонных и поверхностных слоях воды достигала 27,5 мг CO_2 /л. В другие периоды года нами наблюдалась разница в 1,8—16,3 мг CO_2 /л.

Наблюдения за суточным ходом изменения содержания двуокиси углерода показали, что имела место некоторая тенденция

увеличения содержания CO_2 в ночное время и уменьшения его в дневное (в семи случаях из десяти в ночное время суток содержание CO_2 превышало его содержание в дневное на 0,1—2,1 мг $\text{CO}_2/\text{л}$). В других случаях наблюдалось, наоборот, уменьшение содержания CO_2 в ночное время суток по сравнению с дневным временем.

Величина рН. Величина рН воды р. Волги до сооружения Куйбышевского водохранилища в навигационный период изменялась от 7,78 до 8,20 (табл. 17 и [156, табл. 8]). Создание Куйбышевского водохранилища резко увеличило амплитуду колебания величины рН в связи с появлением вертикальной стратификации в содержании определяющих рН компонентов: HCO_3' , CO_3'' и CO_2 . В придонных слоях в связи с интенсивно протекающими окислительными процессами образуется большое количество двуокиси углерода, что ведет к понижению величины рН, а в поверхностных слоях в штилевую и ясную погоду интенсифицируются процессы фотосинтеза, протекающие с поглощением двуокиси углерода и иногда с образованием карбонатных ионов, что ведет к повышению величины рН.

Наибольшая разница в величине рН поверхностных и придонных слоев воды наблюдалась нами в Черемшанском заливе в августе 1957 г., когда она достигала 2,06 (9,55—7,49). В открытых частях Куйбышевского водохранилища наибольшая разница в величине рН воды поверхностных и придонных слоев была нами обнаружена на 70-м км в августе 1957 г. и достигала 1,09 (8,82—7,73). Наибольшая же разница в величине рН воды на всей территории Куйбышевского водохранилища—2,58—наблюдалась опять-таки в августе 1957 г. Наименьшая величина рН была обнаружена нами на глубине 40 м у плотины (6,97), а наибольшая—в поверхностном слое Черемшанского залива (9,55).

Наиболее отчетливо закономерный ход суточных изменений в величине рН наблюдался нами в августе 1956 г., когда с 6 до 18 часов наблюдалось непрерывное повышение величины рН, а затем до 3 часов—непрерывное ее понижение. На суточных станциях в другие сезоны и годы имела место тенденция к такому изменению, как в августе 1956 г., но часто эта тенденция нарушалась.

б) Подледный период

В главе V нами уже описан режим газового состава воды в подледный период для пункта Куйбышевского водохранилища у г. Казани (Волжский отрог) и у р. п. Ланшево (Камский отрог).

В этом разделе рассмотрим изменения газового состава воды в подледный период на всей территории Куйбышевского водохранилища: по нашим данным у плотины и по данным Н. Н. Гу-

совой [103] и И. В. Баранова [32] для всех участков водохранилища.

Кислород. По данным И. В. Баранова [32], содержание растворенного в воде кислорода Куйбышевского водохранилища в марте 1956 г. было очень малым и колебалось от 0,80 до 4,64 мг O_2 /л (или от 5,5 до 31,7% насыщения). Такое малое содержание кислорода в воде водохранилища в подледный период И. В. Баранов объясняет влиянием притока глубинных грунтовых вод в бассейны рек Волги и Камы, что в свою очередь вызвано выпадением меньшего количества атмосферных осадков во вторую половину лета 1955 г., по сравнению с другими годами (например, с 1954 г.). По нашему мнению, малое содержание растворенного в воде кислорода в марте 1956 г. следует объяснить еще расходом его на окисление органических веществ, извлекаемых из затопленных в первый год наполнения водохранилища почво-грунтов и растительности.

Несколько большие содержания растворенного кислорода наблюдались им в воде Куйбышевского водохранилища в марте 1957 г.: 5,65—8,10 мг O_2 /л (или 38,5—55,2% насыщения), при глубине на вертикали от 3 до 17 м.

По наблюдениям Н. Н. Гусевой [103], в январе—феврале 1958 г. содержание кислорода в воде Куйбышевского водохранилища изменялось в широких пределах, в зависимости от участка водохранилища. Наименее благоприятным для обитателей водохранилища было содержание кислорода в Черемшанском и Сусканском заливах, где оно снижалось почти до нуля (0,5—0,8 мг O_2 /л, или 3,8—5,7% насыщения) при общей глубине в первом заливе 1,5—15,5 м, во втором 2,3—3,5 м. На других открытых участках водохранилища (на 400-м, 170-м и на 20-м км от плотины) содержание кислорода было гораздо большим — от 3,8 до 11,7 мг O_2 /л (или 23,3—79,8% насыщения).

В апреле 1958 г. по ее данным содержание кислорода в воде Куйбышевского водохранилища стали еще меньшим — 0,3—6,6 мг O_2 /л для открытых частей водохранилища и 0,0—2,2 мг O_2 /л для Черемшанского и Сусканского заливов. В 1959 г., по данным Н. Н. Гусевой [103], газовый режим незначительно отличался от режима 1958 г.

По нашим наблюдениям на приплотинном участке водохранилища (в 1 и 20 км от плотины) в подледный период 1958 и 1959 гг. содержание растворенного в воде кислорода было большим, чем в верхних участках водохранилища. В течение подледного периода 1958 и 1959 гг. содержание кислорода изменялось от 5,41 до 14,30 мг O_2 /л (или от 36,8 до 97,3% насыщения), причем содержание кислорода непрерывно уменьшалось от января к апрелю: в январе 1959 г. — 11,68—14,30, в феврале — 11,68—13,01, в марте — 8,89—10,82 и в апреле — 5,41—6,47 мг O_2 /л.

Лучшие кислородные условия в приплотинном участке Куй-

бышевского водохранилища в подледный период 1958 и 1959 гг. можно объяснить следующими причинами:

1) в осенний период вода в водохранилище имеет очень высокое содержание растворенного кислорода — до 13 мг O_2 /л. И эта вода в приплотинном участке сохраняется в течение всей зимы, по мере сработки продвигаясь с верховьев к плотине. На место ушедшей в верховье водохранилища поступает новая вода притоков, питающихся зимой главным образом грунтовой водой, содержащей меньшие количества растворенного кислорода, чем осенняя вода водохранилища;

2) в верховье водохранилища вследствие меньших глубин имеется меньший запас растворенного кислорода. Поэтому на единицу площади (если даже принять, что количество затопленной растительности и почво-грунтов одинаково для верхних и нижних участков) в приплотинном участке растворенного кислорода приходится больше, чем в верхних участках.

Двуокись углерода. По данным И. В. Баранова [32], содержание двуокиси углерода в воде Куйбышевского водохранилища в марте 1956 г. составляло 30,6—35,2 мг CO_2 /л, в марте 1957 г. — 17,2—24,4 мг CO_2 /л.

По наблюдениям Н. Н. Гусевой [103], содержание CO_2 в подледный период 1958 и 1959 гг. достигало очень больших величин: от 8,4 до 53,2 мг CO_2 /л, а в Черемшанском заливе иногда доходило до 74,8 мг CO_2 /л.

В приплотинном участке водохранилища по нашим наблюдениям в подледный период 1958 и 1959 гг. содержание CO_2 колебалось в пределах 3,3—19,2 мг CO_2 /л и иногда повышалось до 39,5—41,6 мг CO_2 /л. Причины меньших содержаний CO_2 в приплотинном участке те же, что и для растворенного кислорода.

Величина рН. И. В. Баранов [32] в подледный период 1956 и 1957 гг. наблюдал величины рН воды Куйбышевского водохранилища от 6,95 до 7,15, Н. Н. Гусева [103] в 1958 и 1959 гг. — от 6,80 до 7,40, а по нашим наблюдениям в приплотинном участке в 1958 и 1959 гг. — от 6,80 до 7,80.

Глава VIII

ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ВОЛГОГРАДСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Заполнение Волгоградского водохранилища продолжалось с 30/X 1958 г. по май 1960 г. За это время уровень воды поднялся на 26 м, что соответствует объему воды в водохранилище $33,5 \text{ км}^3$ с площадью зеркала водохранилища 3470 км^2 . Подпор водохранилища распространяется до г. Балаково, т. е. на 540 км (рис. 40). Максимальная глубина в водохранилище равна 41 м, средняя — 9,7 м [19]. Средний многолетний водообмен в водохранилище 7,7 раза в год.

Водность р. Волги в 1954—1961 гг. была различной: 1954, 1956, 1959, 1960, 1961 гг. — маловодные годы, 1955, 1957 и 1958 гг. — многоводные годы. Величины расходов воды приведены в табл. 21.

Таблица 21

Среднегодовые расходы воды р. Волги у г. Волгограда в 1954—1961 гг.

	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	Средний многолет- ный
м ³ /сек	6900	9760	6640	8950	9100	7100	6340	7250	8220
км ³ /год	217,6	307,9	209,4	282,2	287,0	223,9	200,0	228,6	259,2
% к среднему мно- голетнему	84	119	81	109	111	86	77	89	100

Из всех пяти маловодных лет наименьшим по величине водного стока был 1960 г., который в нижнем бьефе Волгоградского водохранилища составлял 77% от среднего многолетнего расхода для этого пункта. Правда, маловодность в нижнем бьефе частично обусловлена задержкой части стока для наполнения Волгоградского водохранилища до нормального подпорного

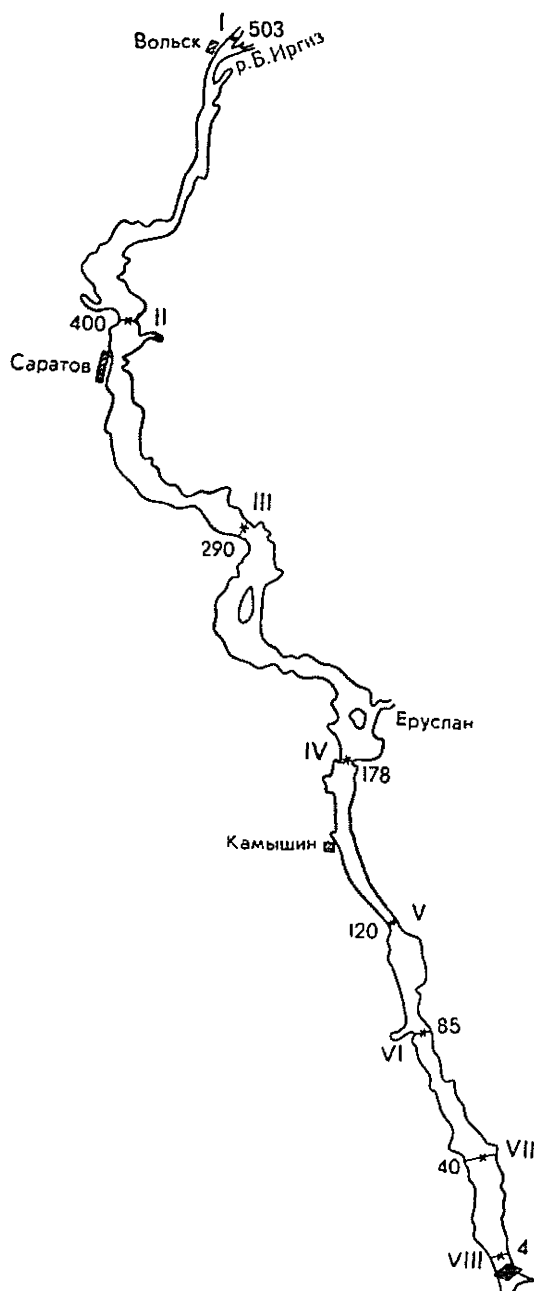


Рис. 40. Схема Волгоградского водохранилища с указанием на ней пунктов отбора проб воды.

горизонта, на что изъято из стока 23,4 км³ воды. Если это количество воды прибавить к стоку воды в нижнем бьефе за 1960 г., то тогда окажется, что самым маловодным годом был 1956 г., затем (в порядке увеличения водности) 1954, 1960, 1961 и 1959 гг.

1. Главнейшие ионы

По данным П. С. Кузина [198], за многолетний период наблюдений увеличение водного стока на Нижней Волге составляет 7%, подсчет такого увеличения стока за 1954—1961 гг. показывает, что оно составляет близкую к средней многолетней величине — в среднем 6,6%. По нашим данным [152] увеличение ионного стока на Нижней Волге составляет 2—18%. Таким образом, сток из Куйбышевского водохранилища составляет 93% (93,4%) водного и 82—98% ионного притока в Волгоградское водохранилище.

В связи с тем что основным источником питания Волгоградского водохранилища является сток из Куйбышевского водохранилища, гидрохимический режим Волгоградского водохранилища повторяет все изменения химического состава воды Куйбышевского водохранилища, но с некоторым запозданием, равным времени добегания воды от нижнего бьефа Куйбышевского водохранилища до нижнего бьефа Волгоградского водохранилища. Время добегания воды различно для разных сезонов года и составляет от 20 суток (в паводок) до 99 суток (в зимнюю межень) (табл. 24, стр. 170).

Как это будет более подробно рассмотрено в следующей главе IX (стр. 167), сооружение Горьковского, Пермского и особенно Куйбышевского водохранилищ обусловило сдвиг на более поздний период начала уменьшения и минимума минерализации воды и более плавное и медленное возрастание минерализации воды после прохождения паводкового периода.

Сооружение Волгоградского водохранилища еще более увеличивает этот сдвиг, что связано с увеличением времени добегания воды за счет смены воды в Волгоградском водохранилище.

Наиболее интересным из всего наблюдаемого периода на Волгоградском водохранилище является 1960 г. (табл. 22 и [156, табл. 10]). Весной (10—20/V) по длине водохранилища была обнаружена различная минерализация. На 500-м км от плотины минерализация воды составляла 207,3 мг/л и она сохранялась до 275-го км. На 180-м км минерализация воды уже составляла 268,4 мг/л, а на 120-м км — 296,3 мг/л. Такое явление объясняется тем, что в верховье водохранилища подошла паводковая мало-минерализованная вода из Куйбышевского водохранилища, а до 275-го км от плотины водохранилище еще было заполнено зимней более минерализованной водой. У плотины минерализация воды в это время достигала 304,0 мг/л (рис. 41).

В летний период (25—29/VIII) Волгоградское водохранилище питалось водой из Куйбышевского водохранилища, накопленной в нем в весенний паводок и имевшей низкую минерализацию. В связи с большим объемом Куйбышевского водохранилища (58 км³) этого запаса воды достаточно на довольно продолжительное время при тех расходах, которые наблюдаются в летний

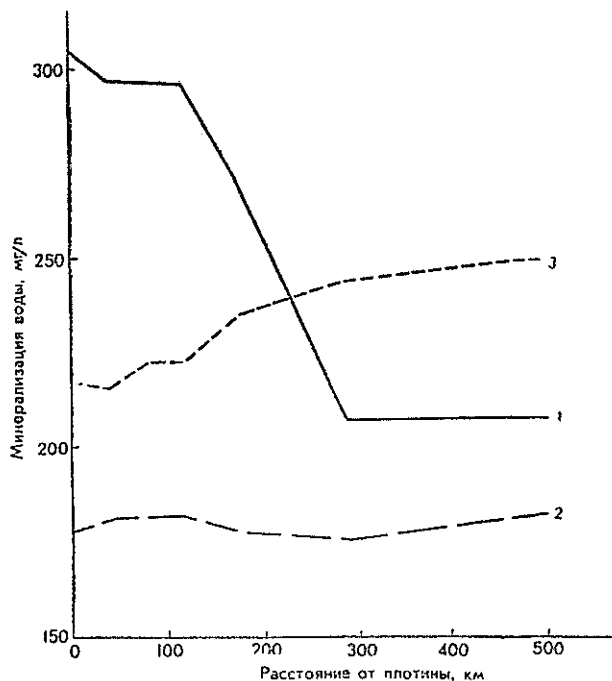


Рис. 41. Изменение минерализации воды по длине Волгоградского водохранилища в 1960 г.
1 — май; 2 — август; 3 — ноябрь.

период в нижнем бьефе Волгоградского водохранилища. В 1959 г. этого запаса хватило на 98 суток, в 1960 г. — на 138 суток и в 1961 г. — на 94 суток. В результате того, что в Волгоградское водохранилище поступала весенняя вода из Куйбышевского водохранилища, минерализация воды в августе колебалась в пределах 165—183 мг/л, т. е. была наименьшей в течение всего года.

В осенний период (4—9/XI) в приплотинном участке Волгоградского водохранилища наблюдалась низкая минерализация воды (216,7 мг/л), затем по мере удаления от плотины вверх по водохранилищу минерализация воды непрерывно возрастала и у г. Вольска достигала 250,7 мг/л. В этом случае наблюдается

Пределы колебания отдельных компонентов в

	1954 г.			1955 г.
	июнь	сентябрь	октябрь	июнь
Температура, °C	23,0—27,6	16,1—18,7	8,0—10,9	14,1—18,9
pH	7,71—8,12	8,36—8,52	8,30—8,40	
Прозрачность, см	50—60	70—110		50—80
Цветность, град.	29—56	26—45	34—52	63
Кислород $\left\{ \begin{array}{l} \text{мг/л} \\ \text{‰ нас.} \end{array} \right.$	6,91—8,49	9,11—10,53	10,76—12,10	7,85—8,58
	78,2—102,8	94,8—109,1	95,7—102,8	71,5—84,7
CO ₂ мг/л	0,7—1,7	0,6—1,6	1,5—2,5	3,3—4,7
Окисля- емость $\left\{ \begin{array}{l} \text{перманган-} \\ \text{натная,} \\ \text{мг О/л} \\ \text{бихромат-} \\ \text{ная, мг О/л} \end{array} \right.$	7,8—11,7	7,4—15,0	6,9—9,2	8,7—12,6
	19,5—25,5	21,5—23,6	19,1—23,2	19,2—25,2
NO ₃ ' мг N/л	0,000—0,050	0,005—0,034	0,01—0,14	0,23—0,45
NO ₂ ' мг N/л	0,001—0,014	0,000	0,000—0,014	0,000—0,00
NH ₄ ' мг N/л	0,008—0,050	0,120—0,150	0,09—0,24	0,07—0,12
ΣN мг N/л	0,02—0,06	0,12—0,16	0,10—0,38	0,32—0,58
P _{мин.} раств мг P/л	0,002—0,034	0,004—0,016	0,002—0,005	0,006—0,02
ΣFe мг Fe/л	0,13—0,47	0,02	0,08—0,24	0,12—0,36
Si мг Si/л	1,6—2,3	1,20—2,10	1,6—2,0	2,5—3,1
Σи мг/л	240,2—261,4	345,8—368,7	322,5—370,2	110,0—129,

Таблица 22

Волгоградском водохранилище 1954—1961 гг.

	1956 г.			1957 г.	
сентябрь	июнь	август	октябрь	июнь	август
16,4—17,4	18,4—19,6	19,5—22,0	4,0—6,4	17,9—22,6	21,2—21,9
	7,43—7,60	7,65—8,35	7,84—8,20	7,68—8,20	7,68—7,88
70—100	55—90	50—100	50—90	50—85	75—100
43—50	54—61	38—50	34—37	22—27	20—24
8,57—10,57	8,39—9,73	7,8—9,7	12,71—14,82	8,22—10,31	8,11—9,36
86,2—105,3	86,9—101,9	82,7—106,2	96,7—112,1	85,1—112,1	88,2—103,1
2,8—6,0	9,1—12,0	4,5—11,3	6,5—11,0	2,3—4,1	5,3—9,3
6,7—9,2	7,7—10,5	9,5—13,5	8,8—12,9	6,6—10,6	9,0—9,3
25,2—27,4		45,4—49,1	18,2—19,3	9,7—12,8	
0,01	0,40—0,90	0,01—0,11	0,11—0,34	0,17—0,32	
0,000	0,000—0,006	0,000—0,007	0,003	0,003—0,018	0,001
0,05—0,08	0,11—0,15	0,03—0,10	0,06—0,13	0,02—0,04	0,13—0,15
0,06—0,09	0,56—1,02	0,10—0,19	0,20—0,47	0,19—0,35	0,13—0,15
0,018—0,026	0,001—0,016	0,042—0,053	0,062—0,078	0,009—0,066	0,026—0,027
0,05—0,20	0,24—0,44	0,04—0,14	0,08—0,12	0,04—0,19	0,09
1,5—2,4	1,7—2,2	0,8—1,5	2,0—2,5	2,5—2,8	2,5
311,7—365,5	168,5—180,4	224,4—237,1	271,8—296,8	154,4—178,5	176,8—205,5

	1958 г.		1959 г.	
	июнь	октябрь	июнь	сентябрь
Температура, °C	17,6—19,1	10,7—11,4	13,2—18,9	12,5—18,4
pH	7,94—8,10	—	7,55—8,70	7,65—8,19
Прозрачность, см	50—90	65—150	35—105	95—200
Цветность, град.	18—23	12—14	19—28	10—18
Кислород $\left\{ \begin{array}{l} \text{мг/л} \\ \text{\% нас.} \end{array} \right.$	7,80—8,94	10,54—11,56	9,07—13,03	8,47—11,0
	91,0—92,5	93,77—101,9	87,0—126,6	85,0—114,0
CO ₂ мг/л	4,6—5,5	3,3—4,8	1,2—4,8	1,8—4,6
Окисля- емость $\left\{ \begin{array}{l} \text{перманганатная,} \\ \text{мг О/л} \\ \text{бихроматная мг О/л} \end{array} \right.$	5,7—9,0		5,3—7,9	5,4—8,4
NO ₃ ' мг N/л	0,19—0,68	0,11—0,29	0,37—0,68	0,23—0,68
NO ₂ ' мг N/л	0,000—0,024	0,001—0,015	0,000—0,030	0,000—0,036
NH ₄ ' мг N/л	0,06—0,12	0,08—0,18	0,02—0,08	0,03—0,19
ΣN мг N/л	0,30—0,80	0,35—0,49	0,47—0,81	0,30—0,74
P _{мин. раств} мг P/л	0,010—0,012	0,011—0,022	0,010—0,035	0,008—0,047
ΣFe мг Fe/л	0,06—0,35	0,02—0,04	0,00—0,67	0,01—0,12
Si мг Si/л	2,7	3,2—3,5	2,4—3,10	1,4—2,8
Σ _и мг/л	153,5—192,4	201,1—213,7	151,2—327,7	202,2—229,4

1960 г.			1961 г.	
май	август	ноябрь	июнь	август, сентябрь
4,1—9,7	20,0—22,6	3,3—7,5	12,4—17,1	17,9—20,1
7,34—8,24	7,55—8,30	7,58—7,85	7,57—8,22	7,66—8,24
25—140	50—220	65—210	30—80	90—170
15—22	13—21	9—16	21—29	15—22
10,86—16,24	6,95—10,13	11,31—13,31	8,76—10,47	6,75—9,13
86,3—123,8	75,3—112,2	100,2—93,2	85,5—148,0	71,7—97,0
3,2—5,7	0,0—4,5	1,8—2,8	2,3—4,8	1,93—4,06
6,5—8,8	3,5—11,5	3,2—8,7	3,8—7,7	2,8—6,0
0,45—0,85	0,11—0,23	0,34—0,45	0,51—0,62	0,14—0,39
0,003—0,009	0,001—0,069	0,001—0,012	0,012—0,027	0,000—0,012
0,23—0,78	0,02—0,06	0,43—0,61	0,14—0,29	0,03—0,07
0,54—1,29	0,14—0,36	0,77—0,99	0,72—0,89	0,19—0,42
0,006—0,039	0,025—0,056	0,028—0,038	0,020—0,044	0,007—0,030
0,08—0,21	0,00—0,17	0,02—0,05	0,11—0,16	0,00—0,09
2,6	1,3—3,2	3,6—2,8	2,1—2,7	1,84—2,50
203,5—309,9	166,1—218,0	203,5—250,7	178,1—217,5	176,2—207,3

противоположный процесс смены воды в водохранилище по сравнению с весенним периодом. В приплотинном участке находится вода, относящаяся к концу весеннего периода, а в более удаленных от плотины участках водохранилища — летняя или осенняя, которая начала поступать из Куйбышевского водохранилища после сброса из него весенней воды.

По ширине водохранилища величина минерализации воды одинакова, за исключением летнего периода, когда у левого берега она выше, чем у правого, что происходит за счет высокоминерализованных вод притоков р. Волги: рр. Сок, Самара, Б. Иргиз, Еруслан.

Изменения в относительном химическом составе воды Волгоградского водохранилища те же самые, как и в нижнем бьефе этого водохранилища, и описаны в главе IX на стр. 172—174.

2. Физические свойства воды

Температура. В течение 1959—1961 гг. температура воды в Волгоградском водохранилище изменялась в пределах 0,0—22,6° (табл. 22 и [156, табл. 12]). Максимальная температура воды наблюдалась в июле—августе. Сравнение температуры воды Волгоградского водохранилища с температурой воды р. Волги до зарегулирования (1954—1955 гг.) показывает, что сооружение крупных водохранилищ способствовало некоторому понижению температуры воды. Причиной этому могут быть: 1) меньшая прогреваемость больших масс воды в водохранилище или 2) различие в метеорологических условиях сравниваемых лет.

Температура воды верхних участков водохранилища всегда ниже температуры воды нижних его участков. Это происходит за счет более продолжительного промежутка времени прогрева воды в водохранилище.

Прозрачность. Прозрачность воды в Волгоградском водохранилище в 1959—1961 гг. изменялась в пределах 25—220 см (табл. 22 и [156, табл. 12]). Такая большая амплитуда колебания величины прозрачности воды обусловлена различной скоростью течения воды на различных участках водохранилища. В верховье водохранилища, где скорости течения воды почти такие же, какими они были в реке, наблюдается малая прозрачность воды. На нижних участках водохранилища, где его живое сечение стало намного большим по сравнению с рекой, скорости течения сильно уменьшились, а поэтому и увеличилась прозрачность воды.

Сравнение прозрачности воды Волгоградского водохранилища и воды р. Волги до сооружения на ней крупных водохранилищ (1954—1955 гг.) и после сооружения Куйбышевского водохранилища (1957—1958 гг.) показывает, что наименьшая

прозрачность воды наблюдалась в 1954—1955 гг. — 50—110 см, создание Куйбышевского водохранилища увеличило прозрачность воды р. Волги у г. Волгограда до 50—150 см, а создание Волгоградского водохранилища еще более увеличило прозрачность — до 25—220 см.

Кроме изменения скоростей течения воды, на величину прозрачности оказывает влияние ветровое перемешивание водных масс в водохранилище. При сильных ветрах происходит перемешивание воды по вертикали и взмучивание донных осадков и разрушение берегов.

3. Биогенные вещества

Соединения азота. Суммарный минеральный азот в воде Волгоградского водохранилища изменялся в пределах 0,14—1,29 мг N/л (табл. 22 и [156, табл. 12]). В изменении суммарного минерального азота наблюдается сезонная зависимость: вскоре после вскрытия водохранилища содержание его является наибольшим, в летний период при максимальной интенсивности развития фитопланктона его содержание сильно уменьшается, а в осенний период оно снова начинает возрастать. Эта зависимость хорошо прослеживается нами в 1960 г.: в мае содержание ΣN составляло 0,54—1,29 мг N/л, в августе — 0,14—0,36 мг N/л и в ноябре — 0,77—0,99 мг N/л. Такая зависимость объясняется теми же причинами, которые были приведены в предыдущей главе стр. 140.

Содержание минерального азота по длине водохранилища почти не претерпевает изменений, т. е. внутриводоемные процессы в Волгоградском водохранилище играют незначительную роль.

Такие же изменения происходят и в содержании NO_3^- и NH_4^+ . В течение трехлетних наблюдений на Волгоградском водохранилище в противоположность Куйбышевскому водохранилищу не обнаружена вертикальная стратификация в содержании как отдельных форм минерального азота, так и его суммарного содержания. По-видимому, этому препятствует многократный водообмен в водохранилище (около 8 раз в год) и сильное ветровое перемешивание водных масс по вертикали.

Фосфор. Содержание растворенных фосфатов в воде Волгоградского водохранилища в 1959—1961 гг. колебалось в пределах 0,006—0,056 мг P/л (табл. 22 и [156, табл. 12]). Содержание фосфатов в Волгоградском водохранилище несколько ниже, чем их содержание в воде Горьковского и Куйбышевского водохранилищ. Снижение амплитуды колебания в содержании растворимых фосфатов в воде Волгоградского водохранилища относительно Куйбышевского водохранилища следует отнести за счет отсутствия вертикальной стратификации в их содержании в Волгоградском водохранилище, как это наблюдалось в содержании минерального азота.

Изменения фосфатов по длине водохранилища незначительны: в весенний период содержание их от верховьев к плотине уменьшается, в летний период, наоборот, увеличивается, а в осенний на всем протяжении водохранилища оно остается неизменным.

Сезонные изменения в содержании фосфатов мало заметны и не имеют постоянной закономерности, т. е. в августе 1960 г. содержание фосфатов было больше содержания их в мае, а в 1961 г., наоборот, содержание фосфатов в июне больше содержания их в августе.

Железо. Содержание железа в воде Волгоградского водохранилища в течение 1959—1961 гг. колебалось в пределах 0,00—0,67 мг Fe/л (табл. 22 и [156, табл. 12]).

В содержании железа имеется некоторая сезонная зависимость: наибольшее содержание железа наблюдалось в весенний период, когда водохранилище было заполнено еще зимней водой из Куйбышевского водохранилища. В летний период содержание его уменьшается до 0,00—0,09 мг Fe/л, что, по-видимому, связано с интенсивным развитием фитопланктона, который потребляет железо. В осенний период (ноябрь) его содержание остается также малым (0,02—0,05 мг Fe/л).

Вертикальной стратификации в содержании железа в воде Волгоградского водохранилища не наблюдалось, что объясняется теми же причинами, которые были приведены для минерального азота: многократный водообмен в водохранилище и сильное ветровое перемешивание водных масс по вертикали.

Кремний. Содержание кремния в воде Волгоградского водохранилища в 1959—1961 гг. изменялось в пределах 1,3—3,6 мг Si/л (табл. 22 и [156, табл. 12]). Это содержание примерно такое же, как и в воде Куйбышевского водохранилища (0,3—4,1 мг Si/л (табл. 17 и [156, табл. 8])).

В изменении содержания кремния ни сезонной зависимости, ни вертикальной стратификации не наблюдалось.

4. Органические вещества

Перманганатная окисляемость. Перманганатная окисляемость воды Волгоградского водохранилища в 1959—1961 гг. изменялась от 2,8 до 8,8 мг O/л (табл. 22 и [156, табл. 12]). Величина перманганатной окисляемости воды Волгоградского водохранилища меньше, чем воды Куйбышевского водохранилища (4,8—15,6 мг O/л). Уменьшение величины перманганатной окисляемости воды от Куйбышевского до Волгоградского водохранилища трудно объяснить. По-видимому, как это наблюдалось в р. Волге до зарегулирования, когда величина перманганатной окисляемости уменьшалась вниз по течению реки, такое явление можно объяснить усилением окисления органических веществ

в воде под воздействием кислорода воздуха при более высокой температуре.

Сезонной зависимости и вертикальной стратификации в распределении величины перманганатной окисляемости в водохранилище не наблюдалось.

Цветность. Цветность воды Волгоградского водохранилища невелика и за время наблюдений (1959—1961 гг.) она колебалась в пределах 9—29° (табл. 22 и [156, табл. 12]). Как правило, наибольшая величина цветности воды наблюдалась в весенний период, когда талые воды несут много гумусовых веществ с бот. В остальные сезоны цветность воды уменьшается.

5. Растворенные газы

Кислород. Содержание растворенного кислорода в Волгоградском водохранилище в 1959—1961 гг. изменялось от 6,75 до 16,24 мг O_2 /л (или от 75 до 148% насыщения) (табл. 22 и [156, табл. 12]).

В противоположность Куйбышевскому водохранилищу на Волгоградском водохранилище вертикальная стратификация в содержании растворенного кислорода практически, можно считать, не наблюдалась в течение всех трех лет, за исключением отдельных точек в водохранилище. Однородное по вертикали распределение растворенного в воде кислорода в Волгоградском водохранилище объясняется сильным ветровым перемешиванием воды по вертикали и значительными скоростями течения воды в Волгоградском водохранилище по сравнению с другими водохранилищами.

Содержание растворенного кислорода в период наших экспедиционных обследований было почти одинаково на всей длине водохранилища.

Двуокись углерода. Содержание двуокиси углерода в воде Волгоградского водохранилища в 1959—1961 гг. изменялось от 0,0 до 6,6 мг CO_2 /л — в навигационный период, а в зимний период в приплотинной части водохранилища содержание CO_2 достигало в 1961 г. 14,0 мг CO_2 /л (табл. 22 и [156, табл. 12]).

Так же как и в содержании растворенного кислорода, в содержании двуокиси углерода в воде Волгоградского водохранилища отсутствует вертикальная стратификация.

Таким образом, изучение гидрохимического режима Волгоградского водохранилища в течение 1959—1961 гг. показало, что по ширине и глубине водохранилища распределение всех изучаемых компонентов практически одинаково. Однородность воды по вертикали и ширине водохранилища объясняется: а) многократностью водообмена в водохранилище, вследствие чего в нем сохраняются еще довольно значительные скорости течения; б) сильным ветровым перемешиванием воды по вертикали

(в районе Волгоградского водохранилища часты сильные восточные ветры, а берега этого водохранилища не защищены лесными массивами, что способствует действиям ветров); в) тем, что Волгоградское водохранилище на 93% водного стока питается за счет стока из Куйбышевского водохранилища, из которого вода выходит большей частью вполне однородной. Боковые притоки очень малы и они, следовательно, не могут нарушить однородность воды по ширине водохранилища; г) конфигурацией самого водохранилища, которое мало отличается от р. Волги до зарегулирования.

В некоторые периоды года имеется различие в содержании отдельных компонентов, связанное с сезонными изменениями и условиями питания водохранилища.

Изучение гидрохимического режима р. Волги в нижнем бьефе Волгоградского водохранилища и сравнение его с гидрохимическим режимом Волгоградского водохранилища показало, что все изменения в содержании компонентов в воде Волгоградского водохранилища полностью отражены в нижнем бьефе.

Несмотря на сказанное выше, изучение гидрохимического режима Волгоградского водохранилища необходимо продолжать и в будущем, особенно в связи с загрязняющим влиянием промышленных и бытовых сточных вод, сбрасываемых городами и населенными пунктами в Волгоградское водохранилище.

Глава IX

ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ р. ВОЛГИ НИЖЕ ВОЛГОГРАДСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Систематические наблюдения за изменением химического состава воды р. Волги у г. Волгограда нами начаты в январе 1957 г. и продолжались в течение пяти лет (до 1961 г. включительно). В 1957—1958 гг. пробы воды отбирались через каждые пять дней в меженьный период (зима, лето), ежедневно в весенний паводок и через день в осенний паводок. В 1959—1961 гг. пробы воды отбирались примерно один раз в декаду.

1. Главнейшие ионы

а) **Общая минерализация.** Химический состав воды р. Волги до зарегулирования, как указывалось выше (глава V, стр. 61), формируется главным образом на территории Средней Волги. Ниже расположенная часть р. Волги имеет незначительную приточность (около 7% [198]), которая оказывает небольшое влияние на химический состав волжской воды. После создания на рр. Волге и Каме крупных водохранилищ для Нижней Волги определяющими химический состав воды стали Куйбышевское и Волгоградское водохранилища.

Ход изменения общей минерализации воды р. Волги у г. Волгограда до создания на ней крупных водохранилищ находился в обратной зависимости от расходов воды. Эта зависимость хорошо видна на рис. 42, на котором нанесены ежедневные расходы и минерализация воды р. Волги у г. Саратова за 1925 г. [по данным В. В. Фофонова, 348] и у г. Волгограда за 1954 г. Минимум минерализации воды наблюдался, как это обычно и бывает на незарегулированных реках, несколько позже прохождения пика паводка. Запоздывание минимума минерализации относительно наступления пика паводка объясняется следующими причинами: в начальный период прохождения паводка грунтовые

воды, питающие реку, обладают более высокой минерализацией, чем это наблюдалось в дальнейшем, когда эти воды уже разбавлены стекающими по почве талыми водами [7]. Второй причиной

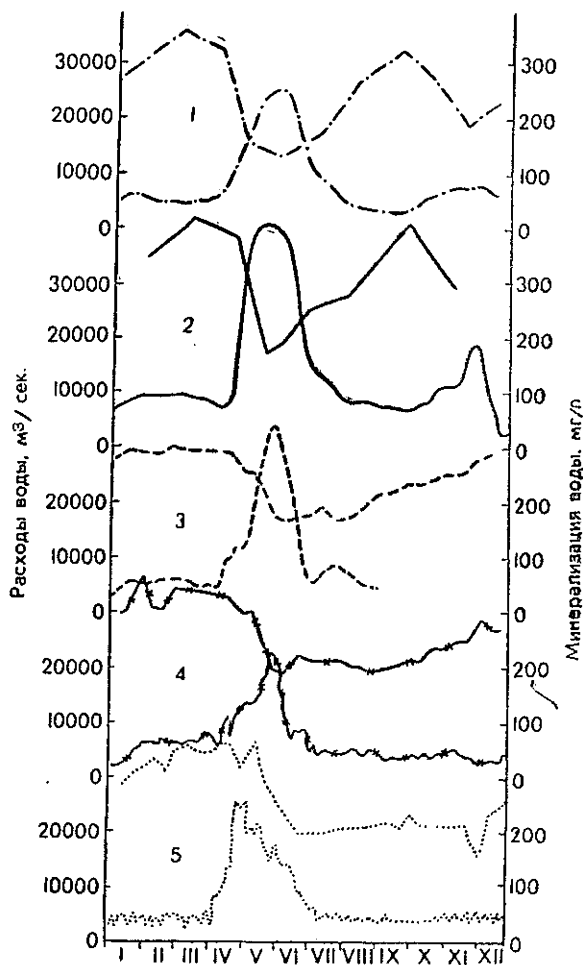


Рис. 42. Изменения минерализации и расходов воды
р. Волги у г. Волгограда.

1 — 1925 г.; 2 — 1954 г.; 3 — 1957 г.; 4 — 1959 г.; 5 — 1961 г.

этого явления является более быстрое гидростатическое распространение пика паводковой волны, чем скорость добега воды, в результате чего с верховьев реки поступают воды с наименьшей минерализацией после прохождения пика паводка.

Если же сравнить изменения минерализации воды р. Волги у г. Волгограда в 1954 г. [143, табл. 2] (до сооружения Горьковского, Куйбышевского и Волгоградского водохранилищ) с изменением минерализации воды в том же пункте в 1957 г. (после создания Горьковского и Куйбышевского водохранилищ, но до сооружения Волгоградского водохранилища) [152, табл. 1], то можно заметить следующее: сдвиг на более позднее время начала уменьшения и минимума минерализации воды и более плавное и медленное возрастание минерализации после прохождения паводкового периода. Это явление объясняется теми же причинами, которые были приведены для объяснения изменений минерализации воды в нижнем бьефе Куйбышевского водохранилища; а именно:

1) перед паводком Куйбышевское водохранилище заполнено осенне-зимней водой, которая имеет большую минерализацию, чем вода других сезонов. Весенняя маломинерализованная вода достигнет нижнего бьефа тогда, когда будет вытеснена вся осенне-зимняя вода, имевшаяся в водохранилище. А так как количество воды в водохранилище гораздо больше (в десятки раз), чем ее было в реке на этом участке до зарегулирования, то потребуются и больше времени для ее вытеснения из водохранилища, вследствие чего происходит сдвиг минимума минерализации на более позднее время;

2) во время весеннего паводка осенне-зимняя вода в водохранилище полностью заменяется маломинерализованной паводковой водой и водохранилище наполняется до нормального подпорного горизонта. Смена большого объема накопленной в водохранилище маломинерализованной воды (58 км^3) при небольших расходах в нижнем бьефе в меженьный период происходит продолжительное время, до 132—153 суток. В течение этого времени из водохранилища сбрасывается весенняя паводковая вода и таким образом растягивается паводковый период.

Сооружение Волгоградского водохранилища еще сильнее сдвигает на более поздний период начало уменьшения и минимума минерализации воды в паводковый период. На рис. 42 показаны гидрографы и изменение минерализации воды в 1959 и 1961 гг. В первый год наполнения водохранилища (1959 г.) объем воды в водохранилище составлял примерно $20\text{—}23 \text{ км}^3$, а в 1961 г. — $33,5 \text{ км}^3$ (наполнение водохранилища до нормального подпорного горизонта закончено весной 1960 г.).

Сдвиг минимума минерализации воды после сооружения Волгоградского водохранилища на более позднее время по сравнению с 1957 г., т. е. с периодом до создания Волгоградского водохранилища, объясняется увеличением времени на смену осенне-зимней воды на весеннюю в Волгоградском водохранилище. В 1959 г., когда объем воды в Волгоградском водохранилище был меньшим (первый год наполнения водохранилища), требо-

валось и меньшее время для полной смены воды, поэтому и сдвиг минимума минерализации был меньшим, чем в 1961 г.

Если теперь сравнить 1954 г. (до сооружения на рр. Волге и Каме крупных водохранилищ) с 1961 г., когда были сооружены Горьковское, Куйбышевское, Пермское и Волгоградское водохранилища, то сдвиг минимума минерализации воды на более поздний период составит более месяца (в 1954 г. минимум минерализации наблюдался 18/V, а в 1961 г. — 20/VI) (табл. 23).

Таблица 23

Сдвиг крайних величин минерализации воды р. Волги у г. Волгограда за период 1957—1961 гг.

	1954 г.	1957 г.	1958 г.	1959 г.	1960 г.	1961 г.
Минимум						
Дата	18/V	1/VI	18/VI	8/VI	20/VI	20/VI
Σ_n	171,1	161,2	155,5	197,1	180,4	199,2
Максимум						
Дата	11/III	9/V	10/IV	8/IV	20/IV	12/V
Σ_n	416,2	309,9	355,4	339,3	348,9	366,6

Волгоградское водохранилище по проекту не имеет сработки уровня воды, т. е. объем водохранилища в течение всего года остается постоянным и равен 33,5 км³. Данные по времени добегания водных масс от верховьев Волгоградского водохранилища до нижнего бьефа и ход его наполнения за 1959—1961 гг. приведены в табл. 24. Время, необходимое для прохождения воды через Куйбышевское водохранилище во время паводка, составляет 14—16 суток (табл. 19), для Волгоградского водохранилища — 20 суток (табл. 24).

Таким образом, общее запаздывание минимума минерализации за счет смены воды в Куйбышевском и Волгоградском водохранилищах по сравнению с периодом до сооружения крупных водохранилищ на рр. Волге и Каме (1954 г.) составляет 35 суток, что видно и по графику.

По данным А. А. Зенина и К. Г. Лазарева [147] подсчитана средневзвешенная минерализация воды притока в Куйбышевское водохранилище и время добегания воды от верховьев Куйбышевского водохранилища до г. Волгограда в 1957—1961 гг. При этом скорость волжской воды в паводок принималась равной 0,90 м/сек., а в межень — 0,58 м/сек. [321, 322].

По данным табл. 24 построен график (рис. 43) хода минерализации воды р. Волги у г. Волгограда и хода средневзвешенной

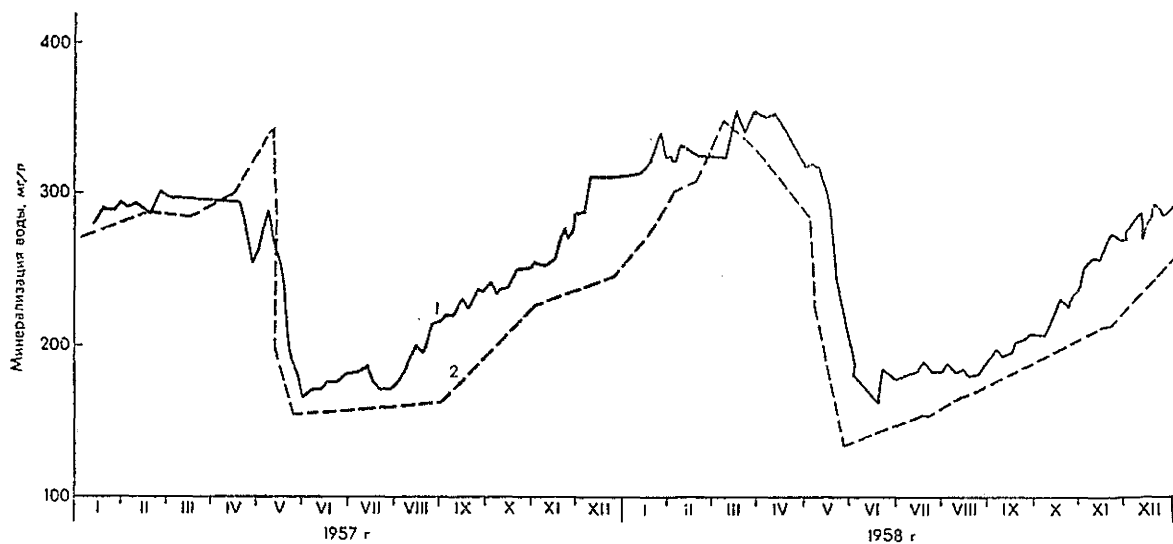


Рис. 43. Изменения минерализации воды р. Волги у г. Волгограда в 1957—1958 гг.

1 — минерализация воды р. Волги у г. Волгограда; 2 — средневзвешенная минерализация воды притока в Куйбышевское водохранилище с учетом времени добегания воды от верховьев Куйбышевского водохранилища до г. Волгограда.

Ход наполнения Волгоградского водохранилища и время добегания воды от верховьев до плотины

Месяц	Объем водохранилища на первое число месяца, км³	Приток за месяц (+), км³	Сток за месяц (-), км³	Объем испарившейся воды (-) и выпавшего снега (+), км³	Объем образовавшегося льда (-) и растаявшего льда (+), км³	Алгебраическая сумма [графы 3—6], км³	Объем водохранилища на конец месяца, км³	Площадь водохранилища на середину месяца, км²	Время добегания	
									число суток	дата
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

1959 г.¹

XII	7,35	14,04	9,67	(+0,013) ²	-0,15	+4,22	11,47	1000	25	1/XII—25/XII
I	11,47	17,42	11,47	(+0,017)	-0,36	+5,59	17,16	1700	30	1/I—30/I
II	17,16	16,36	16,40	(+0,024)	-0,32	-0,36	16,80	2000	29	1/II—1/III
III	16,80	17,31	19,62	(+0,019)	+0,04	-2,27	14,53	1900	27	1/III—27/III
IV	14,53	26,67	25,87	+0,07	+0,79	+1,58	16,11	1800	21	1/IV—21/IV
				-0,08	—	—	—	—	—	—
V	16,11	62,82	47,34	-0,29	—	+15,19	31,30	2700	13	1/V—13/V
VI	31,30	17,36	27,24	-0,37	—	-10,25	21,05	2800	38	1/VI—8/VII
VII	21,05	13,64	14,14	-0,43	—	-0,93	21,12	2400	46	1/VII—15/VIII
VIII	20,12	11,31	14,23	-0,48	—	-3,40	16,72	2200	47	1/VIII—16/IX
IX	16,72	10,29	11,37	-0,32	—	-1,40	15,32	2000	45	1/IX—15/X
X	15,32	11,02	12,47	-0,15	—	-1,60	13,72	1800	40	1/X—9/XI
XI	13,72	11,35	12,25	-0,04	—	-0,94	12,78	1700	37	1/XI—7/XII
Всего за год	—	229,59	222,07	-2,09	0,00	+5,43	—	—	—	—

1960 г.¹

XII	12,78	14,81	11,53	(+0,023) ²	-0,27	+3,01	15,79	1800	33	1/XII—59 г.—2/I—60 г.
I	15,79	15,18	16,44	(+0,018)	-0,38	-1,64	14,15	1800	29	1/I—29/I—60 г.
II	14,15	16,26	15,51	(+0,020)	-0,27	+0,48	14,63	1700	26	1/II—26/II
III	14,63	19,28	15,85	(+0,019)	+0,04	+3,47	18,10	1900	28	1/III—28/III

IV	18,10	26,19	20,53	+0,08 —0,11	+0,88	+6,51	24,61	2500	29	1/IV—29/IV
V	24,61	65,84	49,35	—0,37	—	+16,12	40,73	3400	20	1/V—20/V
VI	40,73	12,45	19,94	—0,49	—	—7,98	32,75	3700	89	1/VI—29/VIII
VII	32,75	11,86	11,17	—0,61	—	+0,08	32,83	3400	93	1/VII—1/X
VIII	32,83	11,43	10,94	—0,74	—	—0,25	32,58	3400	94	1/VIII—2/XI
IX	32,58	10,84	10,64	—0,54	—	—0,34	32,24	3400	96	1/IX—5/XII
X	32,24	11,16	10,61	—0,29	—	+0,26	32,50	3400	99	1/X—60 г.—7/1-61 г.
XI	32,50	10,79	10,04	—0,08	—	+0,67	33,17	3400	98	1/XI—60 г.—6/11-61 г.
Всего за год	—	226,09	202,55	—3,15	0,00	+20,39	—	—	—	—

1961 г.¹

XII	33,17	10,77	9,54	(+0,044) ²	—0,51	+0,72	33,89	3400	96	1/XII—60 г.—6/111-61 г.
I	33,89	11,85	11,60	(+0,034)	—0,71	—0,46	33,43	3400	90	1/I—31/III
II	33,43	12,06	10,44	(+0,042)	—0,56	+1,06	34,49	3500	75	1/II—16/IV
III	34,49	11,85	12,65	(+0,035)	+0,07	—0,73	33,76	3500	56	1/III—26/IV
IV	33,76	35,05	32,65	+0,16	+1,71	+4,11	37,87	3600	31	1/IV—1/V
				—0,16	—	—				
V	37,87	48,31	54,76	—0,37	—	—6,82	31,05	3500	20	1/V—20/V
VI	31,05	31,46	31,40	—0,43	—	—0,37	30,68	3200	31	1/VI—1/VII
VII	30,68	17,75	13,93	—0,61	—	+3,21	33,89	3400	78	1/VII—16/IX
VIII	33,89	13,00	11,89	—0,76	—	+0,35	34,24	3500	93	1/VIII—1/XI
IX	34,24	11,49	10,69	—0,55	—	+0,25	34,49	3500	90	1/IX—29/XI
X	34,49	11,75	11,48	—0,30	—	—0,03	34,46	3500	84	1/X—23/XII
XI	34,46	12,90	13,09	—0,08	—	—0,27	34,19	3500	83	1/XI—61 г.—22/1-62 г.
Всего за год	—	228,24	224,12	—3,10	0,00	+1,02	—	—	—	—

¹ Здесь за начало года принят декабрь предыдущего года (начало зимы), а за конец года — ноябрь (конец осени).

² В графе 5 показано превышение испарения над осадками. Числа, стоящие в скобках (XII—III), в графе 7 не суммируются, они учтены в апреле (IV).

минерализации воды притока в Куйбышевское водохранилище (р. Волга + р. Кама) за этот же период, но с учетом времени добегания от верховьев Куйбышевского водохранилища до г. Волгограда. Годовой ход обеих минерализаций имеет одинаковый характер, но по абсолютным величинам они отличаются друг от друга. За время добегания воды ее минерализация увеличивается на 5—60 мг/л, или на 2—18%. Увеличение минерализации воды происходит главным образом за счет грунтового питания и сильно минерализованных боковых притоков Нижней Волги (рр. Черемшан, Сок, Самара, Б. Иргиз, Еруслан).

По результатам химического анализа проб воды за 1957—1958 гг. были подсчитаны средневзвешенные пентадные, декадные и месячные величины минерализации и по ним построен график (рис. 44). Для сравнения на этот же график нанесены минерализации воды за 1957—1958 гг. по результатам анализа проб, отбиравшихся через каждые 10 дней. Оказывается, что кривые, характеризующие изменения средневзвешенных пентадных и декадных величин минерализации, и кривая изменений минерализации по декадным пробам довольно точно совпадают друг с другом (чтобы не усложнять график, на нем не нанесена кривая изменений средневзвешенной пентадной минерализации). Изменение же средневзвешенной месячной величины минерализации отлично от других кривых.

Из этого сравнения видно, что для изучения гидрохимического режима даже р. Волги недостаточно отбирать пробы воды один раз в месяц. Надо отбирать в среднем одну пробу воды в декаду, чтобы иметь ясную картину о режиме р. Волги.

б) Относительный химический состав воды. Химический состав воды р. Волги в нижнем бьефе Волгоградского водохранилища формируется, как это было сказано выше, главным образом на Средней Волге, т. е. за счет рек Волги и Камы и впадающих в эти реки притоков. В Волгоградском водохранилище происходит смешение вод, поступающих из Куйбышевского водохранилища (93,4% водного стока и 82—98% ионного стока) (стр. 154), и вод притоков, таких как Черемшан, Сок, Самара, Б. Иргиз, Еруслан, и грунтовых вод, поступающих непосредственно в русло реки и водохранилищ.

Сравнивая данные по относительному содержанию отдельных ионов в воде р. Волги до зарегулирования (1954—1955 гг.) [143, табл. 2] с такими же данными после сооружения Горьковского, Куйбышевского и Волгоградского водохранилищ (1957—1961 гг.), можно отметить лишь небольшие изменения в относительном химическом составе воды. Эти изменения не превышают колебаний, зависящих от сезона и водности года.

Основную долю анионов в воде р. Волги у г. Волгограда после сооружения Куйбышевского и Волгоградского водохранилищ составляет HCO_3^- — 23,5—32,2% экв., второе место принадлежит

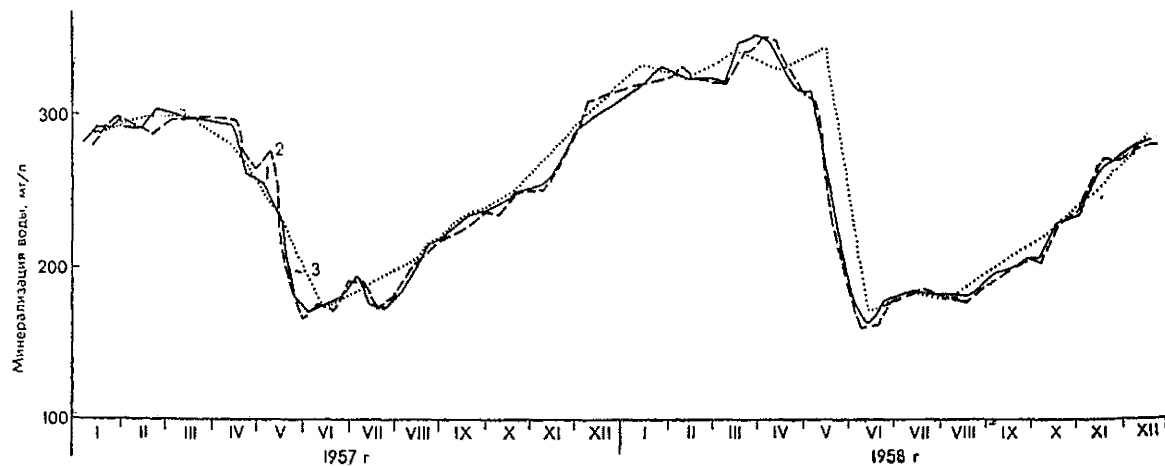


Рис. 44. Изменения минерализации воды р. Волги у г. Волгограда в 1957—1958 гг.
 1 — средневзвешенная декадная минерализация, 2 — минерализация по декадным пробам, 3 — средневзвешенная месячная минерализация.

SO_4^{--} — 9,8—20,0% экв. и последнее место — Cl^- — 6,2—13,6% экв. Из катионов основная масса приходится на Ca^{++} — 25,8—34,6% экв., содержание Mg^{++} и $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ имеет почти одинаковое значение — соответственно 7,9—13,5 и 5,7—15,0% экв.

В 1957—1961 гг. по сравнению с периодом до зарегулирования наблюдалось небольшое увеличение относительного содержания хлоридов и щелочных металлов за счет уменьшения значений сульфатов и кальция.

На Нижней Волге относительное содержание кальция всегда превышает содержание гидрокарбонатов, но меньше суммы гидрокарбонатов и сульфатов. В связи с этим по классификации О. А. Алекина вода р. Волги у г. Волгограда относится к гидрокарбонатному классу, кальциевой группе, второму типу.

2. Биогенные вещества

Соединения азота. Содержание отдельных форм минерального азота в воде р. Волги у г. Волгограда изменялось в широких пределах: нитратного — от 0,04 до 1,13 мг N/л, нитритного — от 0,000 до 0,086 мг N/л и аммонийного — от 0,00 до 1,21 мг N/л и общего суммарного минерального азота — от 0,12 до 1,94 мг N/л ([154, табл. 1, 156, табл. 12] и рис. 45). При этом необходимо отметить, что в первые два года существования Волгоградского водохранилища (1959—1960 гг.) содержание всех форм минерального азота летом было большим, нежели это наблюдалось нами до сооружения Волгоградского водохранилища (1957—1958 гг.) и в последующие годы существования этого водохрани-

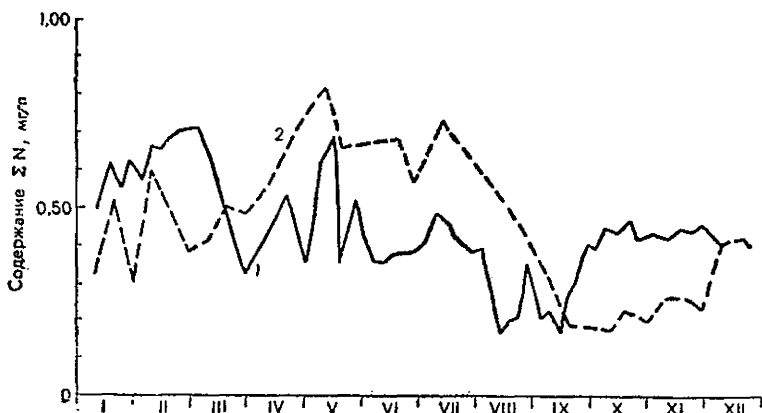


Рис. 45. Изменения суммарного содержания азота (ΣN) в воде р. Волги у г. Волгограда в 1957 и 1961 гг.

1 — 1957 г.; 2 — 1961 г.

лища (в частности, в 1961 г.). Такое явление можно объяснить смывом с затопленных почв соединений азота, разложением затопленной растительности и минерализацией органических веществ, присутствующих в затопленных почвах. В дальнейшем интенсивность этих процессов уменьшилась и содержание минерального азота стало примерно таким же, каким оно было и до сооружения водохранилища.

В изменении содержания как отдельных форм, так и суммарной концентрации азота наблюдалась сезонная зависимость: наименьшее содержание нитратного и аммонийного азота наблюдалось нами в самое теплое время года — в июле и августе, когда было максимальное развитие фитопланктона, потребляющего эти вещества; наибольшее — в холодное время года, в зимний период, когда жизнедеятельность фитопланктона наименьшая (рис. 45). В весенний и осенний периоды содержание азота больше, чем в летний период, и меньше, чем в зимний.

Сравнение содержания различных форм азота в воде р. Волги у г. Волгограда за 1957—1961 гг. (периода после сооружения крупных водохранилищ) и за 1954—1955 гг. (до зарегулирования р. Волги) показывает, что после зарегулирования содержания этих веществ увеличились, особенно в первые годы существования Куйбышевского и Волгоградского водохранилищ. Это явление также объясняется минерализацией органических веществ затопленных почв и растительности с образованием минеральных форм азота.

Фосфор. Содержание растворимых фосфатов колебалось в пределах 0,003—0,077 мг Р/л [154, табл. 1 и 156, табл. 12]. В первый год наполнения Волгоградского водохранилища (1959 г) содержание фосфатов было несколько повышенным по сравнению с другими годами, что можно объяснить как смывом фосфатов с затопленной территории, так и минерализацией органических веществ, с образованием растворимых фосфатов. В содержании фосфатов до и после сооружения Куйбышевского и Волгоградского водохранилищ произошло увеличение амплитуды колебания за счет увеличения верхнего предела с 0,023 до 0,077 мг Р/л. Такое увеличение амплитуды колебания фосфатов объясняется внутриводоемными процессами в Куйбышевском водохранилище.

Железо. Содержание железа в воде р. Волги в нижнем бьефе Волгоградского водохранилища колебалось в пределах 0,01—0,37 мг Fe/л, что того же порядка, как и его содержание в Куйбышевском водохранилище (табл. 17).

Сравнение данных по содержанию железа в воде р. Волги до и после сооружения на ней крупных водохранилищ показывает, что они одинаковы для обоих периодов.

Кремний. Содержание кремния в воде р. Волги у г. Волгограда в 1957—1961 гг. колебалось в пределах 0,8—4,5 мг Si/л

[154, табл. 1 и 156, табл. 12]. Сравнение содержания кремния до и после сооружения на р. Волге больших водохранилищ показывает, что они одного и того же порядка для обоих периодов.

Строгой закономерности в изменении содержания кремния по сезонам года не обнаружено, но имеется тенденция увеличения его в зимнее время, когда содержание кремния достигает 4,5—5,0 мг Si/л. Весной содержание кремния в воде падает, по-видимому, за счет разбавления талыми водами, а летом — за счет потребления его диатомовыми водорослями.

3. Органические вещества

Перманганатная окисляемость. Перманганатная окисляемость воды р. Волги у г. Волгограда в 1957—1961 гг. изменялась от 4,2 до 9,8 мг О/л [154, табл. 1, 156, табл. 12]. Величина перманганатной окисляемости для каждого из указанных годов колебалась примерно в тех же пределах, т. е. сооружение Волгоградского водохранилища не оказало никакого влияния на величину перманганатной окисляемости.

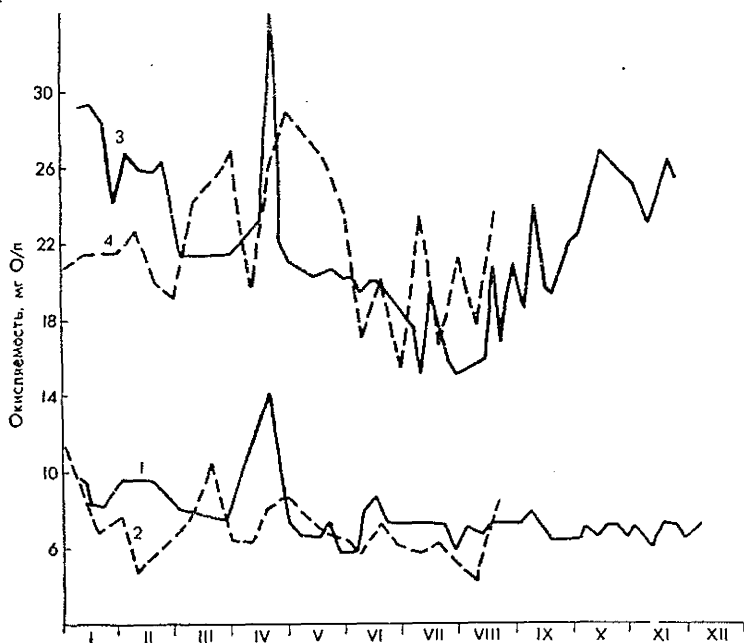


Рис. 46. Изменения величины перманганатной и бихроматной окисляемости в воде р. Волги у г. Волгограда в 1957 и 1960 гг.

1 — перманганатная окисляемость в 1957 г., 2 — перманганатная окисляемость в 1960 г., 3 — бихроматная окисляемость в 1957 г., 4 — бихроматная окисляемость в 1960 г.

В изменении величины перманганатной окисляемости никакой закономерности не обнаружено. Но необходимо отметить уменьшение величины перманганатной окисляемости в весенний, паводковый период, что, по-видимому, связано с разбавлением талыми водами. По сравнению с периодом до зарегулирования р. Волги (1954—1955 гг.) величина перманганатной окисляемости почти не изменилась (рис. 46).

Бихроматная окисляемость. Величина бихроматной окисляемости в 1957—1961 гг. изменялась в пределах 10,8—41,6 мг О/л [154, табл. 1, 156, табл. 12]. Какой-либо закономерности в изменении величины бихроматной окисляемости обнаружить не удалось. По сравнению с периодом до зарегулирования в величине бихроматной окисляемости изменений не произошло (рис. 46).

Величина перманганатной окисляемости воды р. Волги у г. Волгограда за период наблюдений в 1957—1961 гг. составляла от 20 до 50% величины бихроматной окисляемости.

4. Растворенные газы и pH

Как нами уже отмечалось (стр. 150—151), создание Куйбышевского водохранилища благоприятно сказалось на газовом режиме участка р. Волги, расположенном ниже этого водохранилища. Изменения условия формирования газового состава воды в водохранилищах заключаются в том, что перед ледоставом вследствие больших и частых ветров происходит хорошая аэрация воды почти во всей ее толще. Это способствует тому, что в водохранилище накапливаются большие запасы растворенного кислорода. Участки р. Волги, расположенные ниже водохранилищ, питаются водой, содержащей большие концентрации растворенного кислорода. Той воды, которая имеется в водохранилище перед ледоставом, достаточно для питания р. Волги в течение двух-трех месяцев, т. е. почти в течение всего подледного периода. До создания Куйбышевского и Волгоградского водохранилищ р. Волга в зимний период питалась в основном подземными водами, которые содержат малорастворенного кислорода намного меньше, чем концентрации его в осенней воде этих водохранилищ. В связи с такими изменениями условий питания р. Волги в зимний период изменился и режим газового состава воды в нижних бьефах этих водохранилищ.

Кислород. Содержание растворенного кислорода в воде р. Волги у г. Волгограда в течение 1957—1961 гг. (т. е. до и после сооружения Волгоградского водохранилища) изменялось от 6,40 до 15,66 мг О₂/л (или от 45,9 до 133,4% насыщения) [154, табл. 1 и 156, табл. 12].

Наименьшие процент насыщения и концентрация растворенного кислорода в 1957 г. нами наблюдались в конце зимнего периода, а именно 30/III (6,75 мг О₂/л, или 45,9% насыщения),

т. е. так же, как это было до сооружения на р. Волге крупных водохранилищ, так как к началу 1957 г. Куйбышевское водохранилище просуществовало только один год и влияние его на нижний участок р. Волги сказалось мало. А с 1958 г., когда Куйбышевское водохранилище было уже наполнено до проектной отметки, его влияние на нижележащий участок р. Волги стало значительным и заключалось в сдвиге минимального содержания

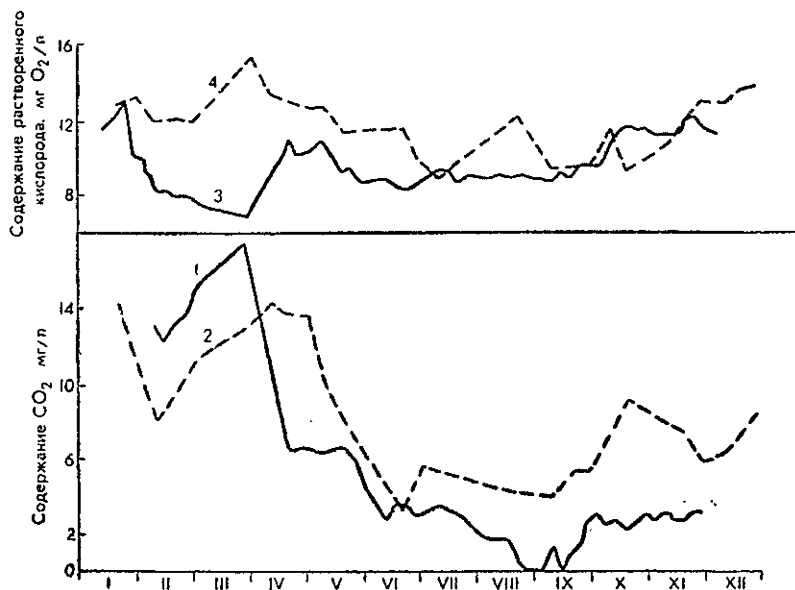


Рис. 47. Изменения содержания растворенных CO₂ и O₂ в воде р. Волги у г. Волгограда в 1957 и 1961 гг.
1 — содержание CO₂ в 1957 г., 2 — содержание CO₂ в 1961 г., 3 — содержание O₂ в 1957 г., 4 — содержание O₂ в 1961 г.

кислорода на июль — август, т. е. на свободный ото льда период, а наименьший процент насыщения воды кислородом наблюдался по-прежнему в конце подледного периода (рис. 47).

В последующие годы, когда было создано Волгоградское водохранилище, как минимальная концентрация растворенного кислорода, так и наименьший процент насыщения воды кислородом наблюдались в летний период, а не в зимний. Такой сдвиг минимальных величин с зимнего периода на летний объясняется влиянием Куйбышевского и Волгоградского водохранилищ на увеличение содержания растворенного кислорода в зимний период за счет накопленного в них большого запаса кислорода в предледоставный период.

Двуокись углерода. Содержание двуокиси углерода в воде р. Волги у г. Волгограда в течение 1957—1961 гг. изменялось от 0,0 до 19,3 мг CO_2 /л [154, табл. 1, 156, табл. 12]. Наименьшие концентрации CO_2 приходится на летний период, когда наибольшая интенсивность развития фитопланктона, наибольшая — в зимний подледный период, когда наименьшая жизнедеятельность фитопланктона, в результате чего происходит накопление CO_2 в воде водохранилищ, образующееся при окислительных процессах в них.

Сравнение содержания двуокиси углерода в зимние периоды 1957—1961 гг. с таким же периодом 1955—1956 гг. показывает, что после сооружения крупных водохранилищ содержание CO_2 уменьшилось с 21,1—58,6 мг CO_2 /л до 3,0—19,3 мг CO_2 /л. Такое уменьшение содержания CO_2 можно объяснить, по-видимому, разбавлением образующейся в процессе окисления органических веществ двуокиси углерода большим количеством воды, находящейся в водохранилищах, и уменьшением притока в водохранилище подземных вод в связи с повышением уровня в нем.

Величина рН. Величина рН воды р. Волги в 1957—1961 гг. изменялась в пределах 7,08—8,01 [154, табл. 1 и 156, табл. 12].

Глава X

СТОК РАСТВОРЕННЫХ ВЕЩЕСТВ р. ВОЛГИ В КАСПИЙСКОЕ МОРЕ

Речной сток осуществляет одну из важнейших фаз круговорота воды на земле и переносит громадные количества веществ как в виде взвесей и влекомых наносов, так и в растворенном состоянии. Сток растворенных веществ в зависимости от происхождения переносимого материала принято подразделять на сток минеральных, биогенных и органических веществ.

1. Ионный сток

Изучение ионного стока, составляющего основную часть стока растворенных веществ, имеет большое значение для познания эрозионных и аккумулятивных процессов, протекающих на земной поверхности, условий образования морских и озерных осадков, засоления почв, процессов выщелачивания пород и почв и других явлений.

На долю ионного стока р. Волги в общем речном стоке в Каспийское море приходится около 81 % [59].

Для расчета ионного стока были использованы результаты химического анализа воды р. Волги у г. Волгограда за 1957, 1958, 1959 и 1961 гг., полученные нами, и данные Гидрометслужбы по водному стоку за эти же годы для г. Дубовка или г. Волгограда. Подсчет стока производили следующим образом: величину содержания ионов умножали на величину расходов воды за промежуток времени между двумя пробами и суммированием полученных результатов определяли сток за месяц и год.

Как известно, величина ионного стока зависит главным образом от водности реки. Водность р. Волги в 1957 г. составляла 282 км³/год, в 1958 г. — 287 км³/год, в 1959 г. — 224 км³/год и в 1961 г. — 229 км³/год, что при сравнении со средним многолетним водным стоком у г. Волгограда (259,2 км³/год) характе-

Ионный сток (тыс. т) р. Волги в Каспийское море

Месяц	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	CO ₃ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺ + K ⁺	Σ _и
1957 г.							
Январь	308	753	752	601	112	209	2 735
Февраль	324	828	900	714	149	206	3 121
Март	376	925	1 027	819	172	218	3 537
Апрель	764	1 275	1 474	1 202	255	460	5 432
Май	1 214	2 707	3 787	2 729	550	866	11 853
Июнь	619	1 352	2 263	1 564	290	474	6 562
Июль	355	572	996	681	126	260	2 990
Август	278	515	806	565	117	211	2 492
Сентябрь	277	509	748	522	111	190	2 357
Октябрь	294	623	873	519	133	211	2 753
Ноябрь	299	664	869	622	137	217	2 808
Декабрь	271	681	746	533	129	233	2 593
Всего за год . . .	5328	11 404	15 241	11 071	2281	3755	49 233
1958 г.							
Январь	261	675	750	552	128	205	2 571
Февраль	393	949	1 097	813	177	298	3 727
Март	1 006	1 707	1 937	1 453	311	744	7 158
Апрель	1 115	1 898	2 176	1 632	358	803	7 982
Май	1 428	2 436	3 208	2 307	499	1 024	10 902
Июнь	907	1 695	2 455	1 721	360	672	7 810
Июль	780	678	948	675	148	281	3 546
Август	297	546	785	527	117	245	2 517
Сентябрь	267	556	731	527	113	193	2 387
Октябрь	273	594	706	535	122	167	2 397
Ноябрь	268	623	684	520	116	191	2 402
Декабрь	227	568	610	469	104	160	2 138
Всего за год . . .	7222	12 925	16 123	17 731	2553	4983	55 537
1959 г.							
Январь	296	776	886	135	670	237	3 000
Февраль	434	1 083	1 114	199	879	303	4 012
Март	654	1 304	1 353	229	1 047	491	5 078
Апрель	959	1 496	1 801	322	1 381	578	6 537
Май	1 277	1 770	2 753	535	1 992	529	8 856
Июнь	649	970	1 252	193	945	429	4 438
Июль	413	472	649	110	482	246	2 372
Август	318	478	647	108	477	196	2 224
Сентябрь	250	432	566	78	430	174	1 930
Октябрь	296	519	648	91	482	229	2 265
Ноябрь	313	634	704	109	528	256	2 544
Декабрь	273	643	693	110	551	192	2 462
Всего за год . . .	6132	10 577	13 066	2 219	9 864	3 860	45 718

Месяц	Cl'	SO ₄ "	CO ₃ "	Ca"	Mg"	Na' + K'	Σ _и
1960 г.							
Январь	421	1007	1027	880	158	276	3 769
Февраль	442	1023	1025	856	176	268	3 790
Март	518	1105	1098	871	164	372	4 128
Апрель	756	1445	1433	1163	252	509	5 559
Май	1597	2558	2866	2354	416	1180	10 971
Июнь	397	704	815	721	66	290	2 993
Июль	244	399	483	387	71	149	1 733
Август	260	376	440	373	128	155	1 732
Сентябрь	—	—	—	—	—	—	—
Октябрь	—	—	—	—	—	—	—
Ноябрь	—	—	—	—	—	—	—
Декабрь	—	—	—	—	—	—	—
1961 г.							
Январь	270	974	666	532	115	292	2 849
Февраль	264	837	657	515	111	249	2 633
Март	361	1 091	857	687	149	351	3 496
Апрель	1037	2 235	2 328	1729	401	874	8 604
Май	1565	4 408	3 307	2496	507	1734	14 017
Июнь	524	1 152	1 432	1140	217	276	4 741
Июль	247	502	652	517	109	111	2 138
Август	223	467	570	450	93	125	1 928
Сентябрь	275	386	515	362	76	215	1 829
Октябрь	316	381	522	371	77	248	1 915
Ноябрь	325	454	619	431	101	233	2 163
Декабрь	325	609	724	531	112	267	2 568
Всего за год . . .	5732	13 496	12 849	9761	2068	4975	48 881

ризует первые два года как многоводные, а вторые два года — как маловодные.

Распределение ионного стока по месяцам дано в табл. 25.

О. А. Алекин [4, стр. 105, табл. 42; стр. 106, табл. 43] приводит величину ионного стока р. Волги у г. Саратова и у г. Астрахани. Для подсчета ионного стока р. Волги у г. Саратова он использовал данные по химическому составу воды р. Волги, полученные В. П. Радищевым [284] в 1924—1925 гг., а для Астрахани — осредненные среднемесячные величины содержания отдельных ионов по данным наблюдений в 1901—1911 гг., полученные Одесской центральной химической лабораторией, пересчитанные С. В. Бруевичем и М. В. Федосовым [59, стр. 13, табл. 5] и в 1938 г., полученные Волго-Каспийской рыбохозяйственной станцией [59, стр. 21, табл. 11].

Сравнение данных О. А. Алекина по ионному стоку с полученными нами (табл. 25) показывает, что ионный сток р. Волги у г. Волгограда в 1957, 1958, 1959 и 1961 гг. увеличился по сравнению с 1924—1925 гг., что объясняется повышенным содержанием отдельных ионов, несмотря на то, что в 1959 и 1961 гг. вод-

Таблица 26

Ионный сток р. Волги в различные годы (тыс. т)

Пункт	Годы	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺ + K ⁺	Σ _и
У Волгограда . . .	1957	5382	11 404	15 241	11 171	2281	3755	49 233
У Саратова . . .	1924—1925	1633	10 537	14 239	10 512	2149	1058	40 128
Разность		3749	867	1 002	659	132	2697	9 105
У Волгограда . . .	1957	5382	11 404	15 241	11 171	2281	3755	49 233
У Астрахани . . .	1901—1911	2886	13 130	19 507	12 020	2236	3221	53 000
Разность		2496	—1 726 ¹	—4 266 ¹	—849 ¹	45	534	—3 767 ¹
У Волгограда . . .	1958	7222	12 925	16 123	11 731	2553	4983	55 537
У Саратова . . .	1924—1925	1633	10 537	14 239	10 512	2149	1058	40 128
Разность		5589	2 388	1 884	1 219	404	3925	15 409
У Волгограда . . .	1958	7222	12 925	16 123	11 731	2553	4983	55 537
У Астрахани . . .	1901—1911	2886	13 130	19 507	12 020	2236	3221	53 000
Разность		4336	—205 ¹	—3 384 ¹	—289 ¹	317	1762	2 537

¹ Минусы означают, что сток отдельных ионов у Волгограда в 1957—1958 гг. был меньше, чем сток этих ионов у Астрахани в 1901—1911 гг.

ный сток у г. Волгограда был меньшим, чем водный сток у г. Саратова в 1924—1925 гг., который составлял 254 км³/год, что близко к среднему многолетнему (259,2 км³/год). Наибольшее увеличение минерализации воды приходится на хлориды и щелочные металлы, содержание которых увеличилось в 1957 г. более чем в три раза, в 1958 г. — более чем в четыре раза, в 1959 г. — более чем в три с половиной раза и в 1961 г. — более чем в три раза. Содержание же остальных ионов увеличилось в 1957 г. лишь на 6—8%, а в 1958 г. — на 12—23% по сравнению с 1924—1925 гг. (табл. 26). Интересно отметить, что увеличение хлоридов точно эквивалентно увеличению щелочных металлов. Таким образом, увеличение ионного стока обусловлено главным образом внесением в р. Волгу хлоридов щелочных металлов, которые следует, по-видимому, отнести за счет разработок калийных месторождений на р. Кама.

Сравнение же наших данных по ионному стоку с данными О. А. Алекина для г. Астрахани показывает отсутствие какой-либо закономерности в изменении стока как отдельных ионов, так и общей минерализации. По мнению О. А. Алекина [4, стр. 107], результаты химического анализа воды р. Волги у г. Астрахани за 1901—1911 гг. мало надежны. Логически рассуждая, следует ожидать некоторого увеличения ионного стока р. Волги за последние несколько десятков лет вследствие возросшей хозяйственно-бытовой деятельности человека. На это указывает сравнение наших данных с данными О. А. Алекина для р. Волги у г. Саратова. Поэтому мы также считаем, что данные по химическому составу воды р. Волги у г. Саратова более правильны, чем данные для г. Астрахани.

Сезонные изменения ионного стока зависят преимущественно от сезонных изменений водного стока. Наибольший ионный сток для всех ионов наблюдался в весенний период с максимумом в мае и совпадал с максимальным водным стоком.

Ионный сток р. Волги в Каспийское море составил: в 1957 г. — 49,2 млн. т, в 1958 г. — 55,5 млн. т, в 1959 г. — 45,7 млн. т и в 1961 г. — 48,9 млн. т. Эти величины подтверждают предположения О. А. Алекина [4, стр. 107] о том, что «наиболее вероятная средняя многолетняя величина ионного стока р. Волги в Каспийское море составляет около 45—50 млн. т».

2. Сток биогенных и органических веществ

Под биогенным стоком подразумевается сброс р. Волгой в Каспийское море главнейших биогенных веществ: азота, фосфора, железа и кремния, могущих при их недостатке лимитировать развитие фитопланктона. Роль р. Волги в этом отношении велика: на волжский сток приходится 80% ежегодного прихода биогенных веществ с речным стоком в Каспийское море [59].

Таблица 27

Сток биогенных и органических веществ (тыс. т) р. Волги в Каспийское море

Месяц	Азот минеральный (N)				Фосфор минеральный растворенный (P)	Железо раство- ренное (Fe)	Кремний раство- ренный (Si)	Органическое вещество	
	нитратный	нитритный	аммонийный	сумма				по перманга- натной окис- ляемости	по биохимат- ной окисляе- мости
1957 г.									
Январь	3,9	0,06	2,8	6,8	0,30	—	49	227	255
Февраль	4,5	0,13	4,4	9,0	0,28	—	57	261	269
Март	5,2	0,02	1,4	6,6	0,31	—	63	227	245
Апрель	6,9	0,11	3,2	10,2	0,78	—	83	576	390
Май	25,0	2,39	10,3	37,7	1,88	—	311	966	1151
Июнь	17,8	0,54	2,1	20,4	0,62	—	233	752	841
Июль	7,0	0,00	1,9	8,9	0,98	—	62	292	264
Август	2,5	0,51	1,2	4,2	0,52	—	22	230	263
Сентябрь	2,2	0,12	1,1	3,4	0,42	—	32	189	211
Октябрь	5,2	0,02	1,2	6,4	0,47	—	39	202	276
Ноябрь	4,9	0,07	1,1	6,1	0,40	—	40	191	257
Декабрь	3,5	0,02	0,8	4,3	0,36	—	32	159	194
Всего за год . . .	88,6	3,99	31,5	124,1	7,32	—	1023	4272	4616
1958 г.									
Январь	3,5	0,05	1,1	4,6	0,20	—	29	156	249
Февраль	5,0	0,06	1,4	6,5	0,33	—	44	260	333
Март	8,1	0,06	4,0	12,2	0,47	—	47	450	556
Апрель	11,6	0,19	8,7	25,5	0,58	—	133	488	530
Май	30,0	0,59	6,2	36,8	1,18	—	228	690	958
Июнь	30,7	0,82	3,7	35,2	1,21	—	227	933	978
Июль	12,1	0,00	5,1	17,2	0,39	—	44	352	354
Август	3,8	0,12	3,1	7,0	0,26	—	42	294	303
Сентябрь	4,6	0,01	1,8	6,4	0,19	—	31	235	267
Октябрь	7,1	0,06	0,6	7,8	0,30	—	25	206	230
Ноябрь	3,8	0,00	0,8	4,6	0,23	—	22	163	233
Декабрь	4,8	0,00	0,4	5,2	0,27	—	25	118	152
Всего за год . . .	125,1	2,06	36,9	164,1	5,61	—	897	4345	5143
1959 г.									
Январь	5,1	0,06	0,3	5,5	0,19	0,00	26	154	200
Февраль	8,9	0,11	0,5	9,5	0,29	0,00	38	243	389
Март	11,4	0,00	0,5	11,9	0,35	0,00	53	302	458
Апрель	9,9	0,00	3,7	13,6	0,48	0,22	83	357	755

Месяц	Азот минеральный (N)				Фосфор минеральный растворенный (P)	Железо растворенное (Fe)	Кремний растворенный (Si)	Органическое вещество	
	нитратный	нитритный	аммонийный	сумма				по перманганатной окисляемости	по бихроматной окисляемости
Май	41,4	0,90	5,7	48,0	1,30	6,00	130	483	934
Июнь	12,2	0,15	0,6	12,9	0,80	4,92	73	349	680
Июль	7,7	0,00	0,5	8,2	0,38	2,83	34	203	250
Август	4,5	0,06	1,3	5,9	0,26	1,74	27	180	404
Сентябрь	3,2	0,11	0,8	4,1	0,32	0,23	22	132	299
Октябрь	9,3	0,16	0,9	10,4	0,58	0,63	19	181	219
Ноябрь	10,0	0,04	1,8	11,8	0,39	0,38	17	196	368
Декабрь	11,3	0,01	4,0	15,4	0,33	0,20	22	122	325
Всего за год . .	134,9	1,60	20,5	157,2	5,67	17,15	544	2902	5281

1960 г.

Январь	17,3	0,02	0,7	18,0	0,50	0,51	19	308	417
Февраль	3,0	0,01	0,4	4,0	0,34	0,42	19	175	400
Март	17,5	0,07	4,0	21,6	0,26	1,45	38	269	481
Апрель	11,4	0,08	8,0	19,5	0,59	1,49	47	329	642
Май	44,2	0,95	49,4	94,5	1,07	4,20	151	662	1500
Июнь	15,1	0,53	7,9	23,5	0,38	1,37	48	246	418
Июль	4,5	0,45	2,2	7,2	0,26	0,45	19	127	276
Август	3,9	0,02	2,1	6,0	0,40	2,84	24	147	288
Сентябрь	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Октябрь	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ноябрь	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Декабрь	—	—	—	—	—	—	—	—	—

1961 г.

Январь	3,5	0,03	0,8	4,3	0,44	0,23	15	131	—
Февраль	3,9	0,02	1,5	5,4	0,41	0,21	12	142	—
Март	4,9	0,03	0,9	5,8	0,31	0,67	15	613	—
Апрель	13,5	0,04	8,0	21,5	0,77	1,73	60	433	—
Май	30,7	0,53	7,9	39,0	0,38	4,20	120	607	—
Июнь	17,2	0,33	3,5	21,0	0,94	4,10	78	301	—
Июль	7,8	0,28	2,1	10,2	0,39	—	—	148	—
Август	4,0	0,00	1,4	5,4	0,05	—	—	145	—
Сентябрь	1,4	0,01	1,0	2,4	0,44	0,43	19	190	—
Октябрь	1,9	0,01	0,6	2,5	0,39	0,49	22	135	—
Ноябрь	2,1	0,02	1,1	3,2	0,41	0,60	22	185	—
Декабрь	3,9	0,11	1,7	5,7	0,49	0,75	23	192	—
Всего за год . .	94,8	1,41	30,5	126,7	5,42	13,41	386	3222	—

С. В. Бруевич и Н. И. Аничкова [59], Нат. Н. Колосова и Н. Н. Колосова [178, 179] установили наличие больших колебаний в стоке биогенных и органических веществ в различные годы в зависимости от гидрометеорологических факторов (водность года, количество осадков и т. д.). Используя результаты химического анализа за 1957, 1958, 1959 и 1961 гг., мы подсчитали сток растворенных биогенных и органических веществ в Каспийское море за эти годы (табл. 27). Эти данные показывают, что сезонные изменения количества вносимых р. Волгой биогенных и органических веществ определяются водным стоком. Основная доля стока приходится на период весенне-летнего паводка и значительно меньшая — на все остальные сезоны года. Так, в 1957 г. из общего годового стока биогенных веществ, равного 1269 тыс. т, в течение апреля—июля было внесено 848 тыс. т. (67%), в 1958 г. из 1236 тыс. т — 855 тыс. т (69%), в 1959 г. из 880 тыс. т — 502 тыс. т (56%) и в 1961 г. из 658 тыс. т — 454 тыс. т (69%).

Сравнение полученных нами данных (табл. 27) с данными С. В. Бруевича [54, стр. 79, табл. 5], Нат. Н. Колосовой и Н. Н. Колосовой [178, стр. 111; 179, стр. 132, табл. 7] показывает, что резко возрос вынос нитратного азота, что можно объяснить возрастающим с каждым годом притоком в р. Волгу промышленных стоков, которые увеличивают содержание нитратов в воде. В пользу этого довода говорят наши результаты наблюдения на р. Волге в 1957—1961 гг. [153, табл. 1]. В то же время данные по стоку аммонийного азота, минерального растворенного фосфора, органических веществ и кремния вполне сравнимы с данными указанных выше авторов.

Глава XI

НЕОДНОРОДНОСТЬ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОДЫ И ПРОЦЕССЫ СМЕШЕНИЯ И ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ВОДНЫХ МАСС

Одним из основных условий, которое необходимо знать для расчета минерализации будущих водохранилищ, является распределение водных масс в них. В водохранилище под воздействием притоков, грунтовых, промышленных и бытовых сточных вод создается неоднородность воды и для полного перемешивания требуются большие промежутки времени.

При расчете минерализации воды будущего водохранилища некоторые исследователи принимают полное смешение воды притоков с водой водохранилища [188, 269, 276], другие считают, что в крупных с большой проточностью водохранилищах вода притоков, частично смешиваясь с водой водохранилища, постепенно вытесняет ее при своем движении к плотине [5, 10, 86, 189, 190]; третьи считают, что паводочные воды, являясь менее минерализованными, в основном располагаются в верхних слоях и при наличии обычного водосброса проходят, мало перемешиваясь со старыми водами [51, 52].

Первое предположение может быть справедливо для некоторых не слишком вытянутых в длину водохранилищ или для участков, примыкающих к плотине. Полное перемешивание, по нашим наблюдениям на Горьковском и Куйбышевском водохранилищах, происходит в сезоны с малым стоком (лето, осень). Весной даже у плотины полного перемешивания не наблюдается.

Неоднородность воды по глубинам может наблюдаться только в таких водохранилищах, вода которых имеет высокую минерализацию, сильно отличающуюся от минерализации паводочных вод, и в том случае, когда количество паводочных вод невелико по сравнению с объемом водохранилища. В таких же водохранилищах, как Горьковское и Куйбышевское, такого явления не наб-

людается, так как разница в удельном весе воды в водохранилище и паводочной воды не имеет практического значения.

П. П. Воронков [86] указывает, что каких-либо существенных различий в минерализации поверхностной и придонной воды, т. е. по вертикали, не наблюдалось ни в одном районе Рыбинского водохранилища в течение 1946—1947 гг.

Наши наблюдения на Горьковском, Куйбышевском и Волгоградском водохранилищах также показывают, что нет различия в минерализации поверхностных и придонных слоев воды.

Наиболее вероятным, по-видимому, является предположение О. А. Алекина [5, 10] о том, что вода притока, поступающая в верховье водохранилища, постепенно вытесняет при своем движении к плотине воду из водохранилища, замещая ее и лишь частично перемешиваясь с ней. Однако сведений о степени смешения в подобных случаях в литературе нет. Предположение О. А. Алекина [5, 10], что «старая» вода смешивается с «новой» в отношении от 1 : 3 до 1 : 1, и М. И. Кривенцова [189, 190], что такое перемешивание составляет 20 %, является чисто интуитивным, не подкрепленным доказательствами.

Все вышеприведенные рассуждения касаются распределения водных масс вдоль оси водохранилища и по глубине его. Но, кроме этого, неоднородность состава воды наблюдается еще и по ширине водохранилища. На такую неоднородность химического состава указывает О. А. Алекин [4] и Г. И. Долгов [115—117]. Последний провел большую работу по изучению неоднородности воды в реках и водохранилищах.

Н. М. Бочков [52] указывает, что состав воды в живых сечениях рек и водохранилищ неоднороден и что при пользовании осредненными значениями минерализации в получаемые при расчетах результаты необходимо вводить поправки на струйность водотока. Он считает, что введение таких поправок не представляет затруднений вследствие устойчивости явления струйности. На самом же деле введение поправок в расчетные данные на струйность воды в реке и водохранилище является не таким простым делом, как это предполагает Н. М. Бочков, так как струйность в водохранилище не всегда является постоянной, зависящей в основном от водности (года, сезона), что будет показано на примере р. Волги, Горьковского и Куйбышевского водохранилищ.

1. Распределение водных масс по живому сечению в реке и водохранилищах

В литературе имеется много указаний на неоднородность химического состава р. Волги [4, 73, 100, 115—117], обусловленную впадением притоков и изменением характера питания реки.

В связи с образованием Горьковского и Куйбышевского водохранилищ Гидрохимическим институтом проведено исследование

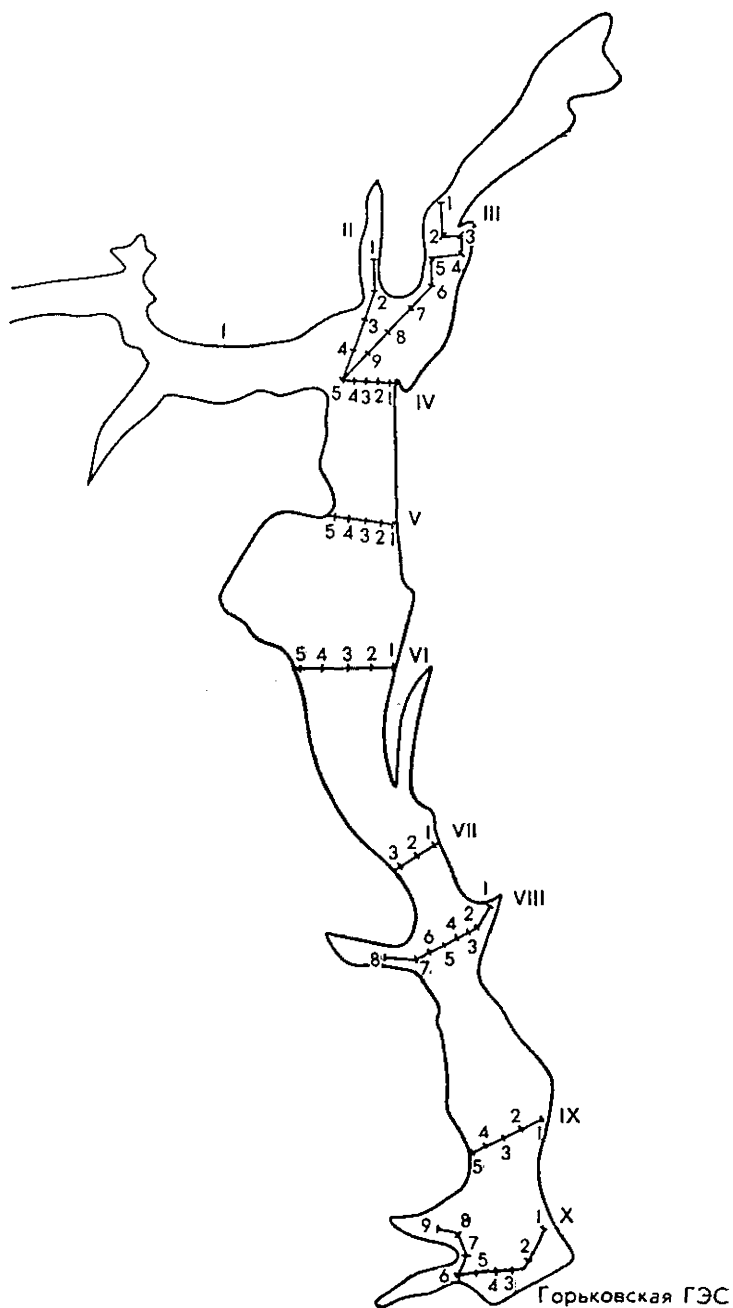


Рис. 48. Схема расположения пунктов определения электропроводности воды на Горьковском водохранилище.

изменения химического состава их воды как по длине, так и по ширине и глубине водохранилищ, а также на участке р. Волги между этими водохранилищами.

Удобным методом для определения неоднородности химического состава воды является определение электропроводности ее, которым мы воспользовались для исследований. В тех случаях, когда величины электропроводности вод р. Волги и притока были близки, для обнаружения неоднородности химического состава воды применяли определение ионов хлора.

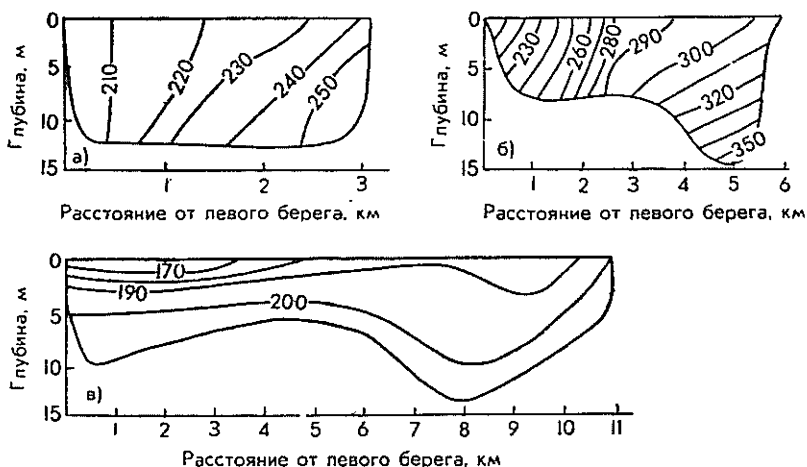


Рис. 49. Распределение величин электропроводности ($\mu\text{сим}$) воды по живому сечению Горьковского водохранилища в мае 1956 г.

а — разрез VII на 40-м км; б — разрез V на 65-м км; в — разрез X на 1-м км от плотины Горьковского водохранилища.

Электропроводность воды измеряли специально сконструированным прибором. Платиновые электроды на длинном изолированном шнуре погружались непосредственно в водоем с одновременным определением температуры воды нормальным термометром с точностью до $0,1^{\circ}\text{C}$. Величины электропроводности, которые затем были приведены к температуре 18°C , определяли с точностью около 1,5—2%.

а) Горьковское водохранилище. На Горьковском водохранилище определения электропроводности по его живому сечению проводили в основном на трех разрезах: в 65 км (разрез V), в 40 км (разрез VII) и в 1 км от плотины (разрез X) в мае и августе 1956 и 1957 гг. и в мае и сентябре 1958 г. (рис. 48). Наибольшая неоднородность воды наблюдалась на разрезе V (рис. 49 б) в мае 1956, 1957 и 1958 гг., т. е. во время паводка.

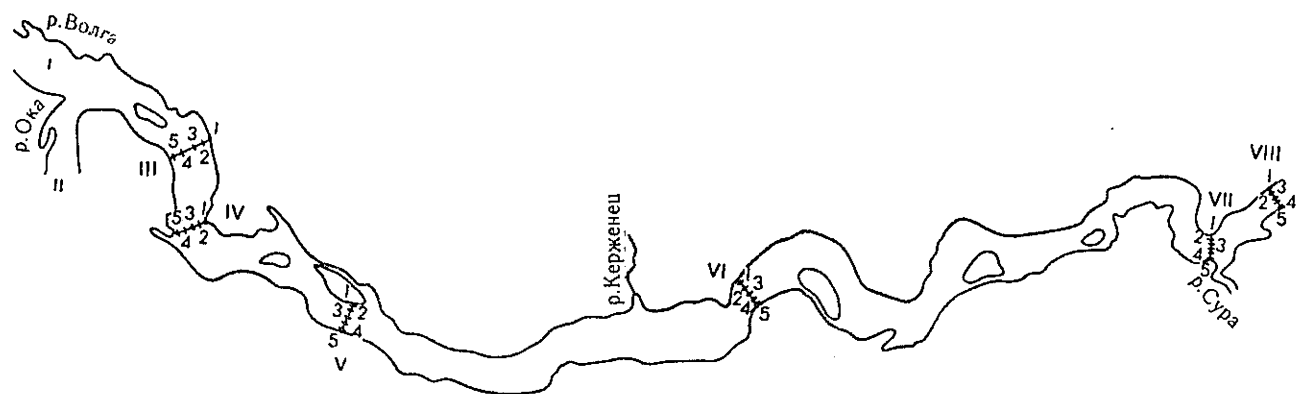


Рис. 50. Схема расположения пунктов определения электропроводности воды р. Волги ниже устья р. Оки.

Величина электропроводности воды весной у левого берега всегда меньше, чем у правого: в 1956 г. — в 1,7 раза, в 1957 г. — в 1,9 раза, в 1958 г. — в 2,0 раза. Это объясняется тем, что минерализация воды левых притоков р. Волги — рек Унжи и Немды — во время паводка (май) меньше, чем минерализация воды р. Волги. В другие сезоны наблюдалась большая однородность воды.

На разрезе VII (рис. 49 а) неоднородность воды была уже меньше, чем на разрезе V, но еще достаточно значительна. В мае 1958 г. электропроводность воды у левого берега была в 1,5 раза меньше, чем электропроводность воды у правого берега.

На приплотинном разрезе X (рис. 49 в) наблюдалась еще большая однородность водных масс по всему сечению водохранилища. У плотины во все наблюдаемые сезоны 1956, 1957 и 1958 гг. химический состав воды водохранилища был почти всегда однородным по всему живому сечению.

б) Река Волга между Горьковским и Куйбышевским водохранилищами. Вертикальной стратификации химического состава воды в реке, обладающей достаточно сильным течением, по наблюдениям многих исследователей, нет, а наблюдается неоднородность воды по ширине реки под влиянием впадающих в нее притоков.

На участке р. Волги от плотины Горьковского водохранилища и до озерной части Куйбышевского водохранилища (до устья р. Камы) нами производились определения электропроводности воды на 16 разрезах в 1956, 1957, 1958 и 1959 гг. На рис. 50 показаны только 8 разрезов и на рис. 53 б — один разрез.

Среднюю Волгу (между устьями рек Оки и Камы) можно разбить на три участка:

1) от устья р. Оки до устья р. Суры (170 км), на котором неоднородность воды создается р. Окой;

2) от устья р. Суры до устья р. Ветлуги (35 км), на котором неоднородность воды создается дополнительно еще р. Сурой;

3) от устья р. Ветлуги до устья р. Камы (275 км), на котором в его начале неоднородность воды дополнительно создается еще р. Ветлугой, а середина и конец участка подвержены влиянию грунтового питания, малых притоков и сточных и промышленных вод.

Более минерализованная окская вода на всем протяжении первого участка располагается у правого берега, волжская — у левого, а смесь волжской и окской вод располагается между ними (рис. 51).

Наибольшая неоднородность воды в р. Волге наблюдалась нами на разрезе III (10 км ниже устья р. Оки). Электропроводность воды у левого берега была в 2,3—3,5 раза меньше, чем у правого берега. Вниз по реке эта неоднородность уменьшалась и в некоторые периоды года наблюдалась почти полная однородность воды как по глубине (летняя межень 1956—1959 гг.),

так и по ширине реки (у правого берега электропроводность воды была на 10% выше, чем у левого берега). Во время же паводка (май 1956, 1957, 1958 и 1959 гг.) уменьшение неоднородности воды в реке происходит медленнее и на разрезе VII (170 км ниже устья р. Оки) она еще довольно значительна: у правого берега электропроводность воды в 1,5—1,8 раза больше, чем у левого берега.

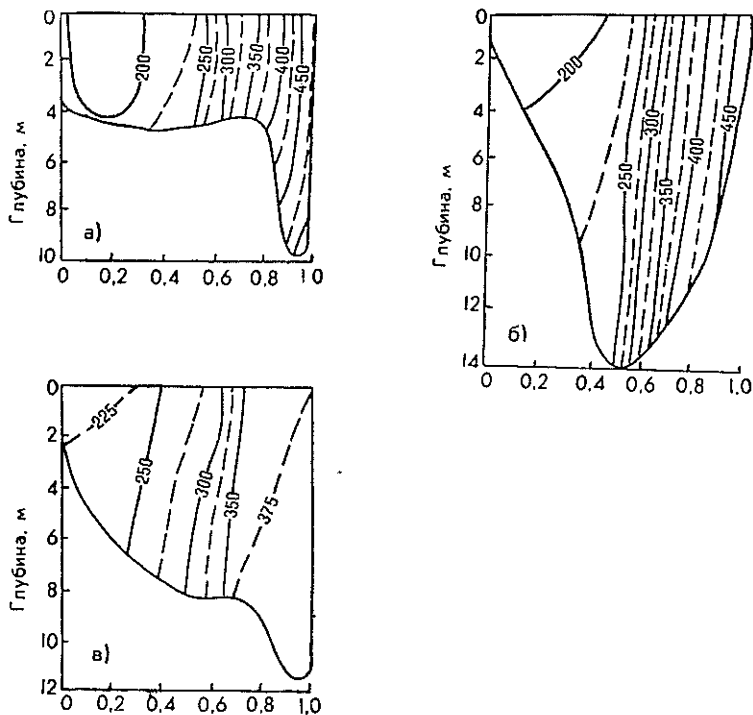


Рис. 51. Распределение величин электропроводности (μсим) воды по живому сечению р. Волги ниже устья р. Оки в мае 1956 г.

а — разрез III на 785-м км, *б* — разрез IV на 770-м км, *в* — разрез VII на 615-м км от плотины Волжской ГЭС им. В. И. Ленина.

Таким образом, степень смешения вод притока и реки зависит от соотношения и величины их расходов и от расстояния, проходящего водой после впадения притока, при прочих равных условиях.

Интересно отметить, что большая неоднородность воды на Средней Волге создается несколькими впадающими в нее притоками, причем физико-географические условия формирования минерализации воды левых и правых притоков резко отличаются между собой, в связи с чем минерализация левых притоков очень низка (рр. Керженец, Ветлуга, Б. Кокшага), а минерализация

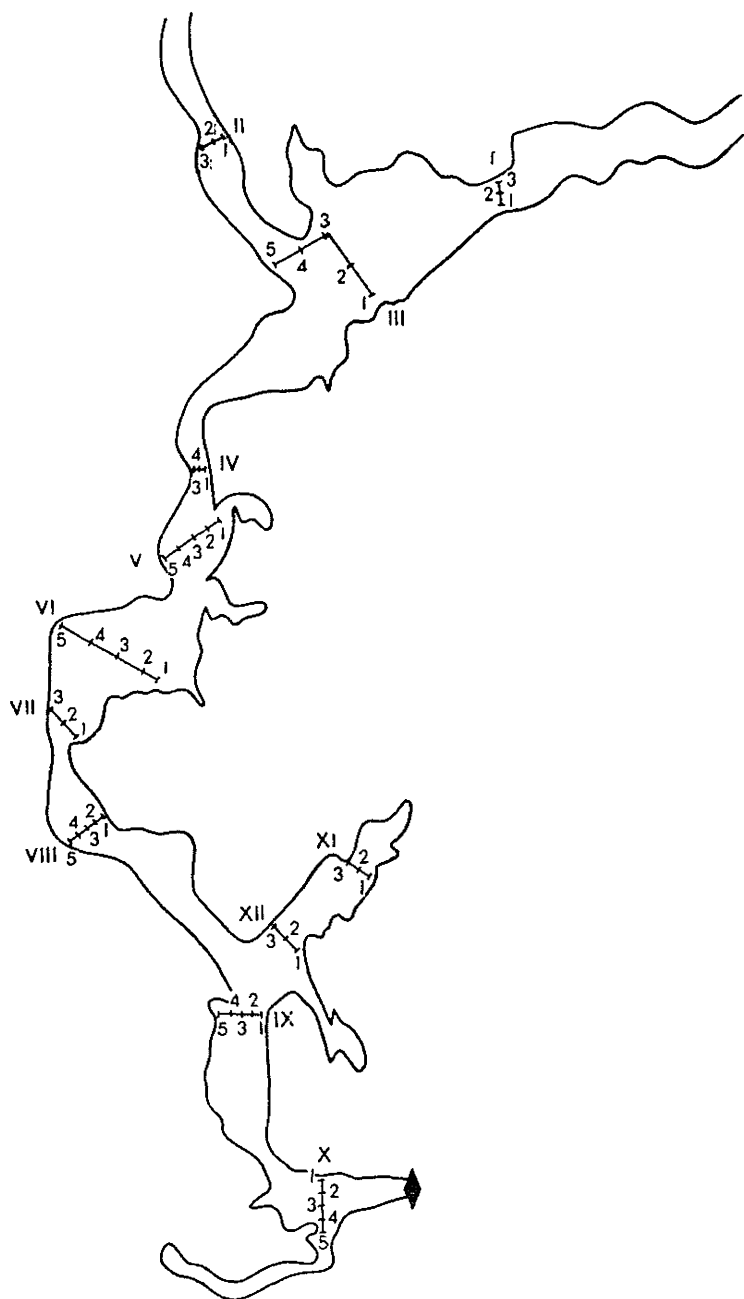


Рис. 52. Схема расположения пунктов определения электропроводности и хлоридных ионов в воде Куйбышевского водохранилища.

правых — очень высока (рр. Ока, Сура, Свияга). Вниз по течению в р. Волге впадающими притоками поддерживается высокая минерализация у правого берега и низкая — у левого.

На втором участке (ниже устья р. Суры) дополнительную неоднородность воды в р. Волге создает еще р. Сура, вода которой более минерализована, чем вода р. Волги.

Еще бóльшую неоднородность воды в р. Волге создает ее левый приток р. Ветлуга (третий участок), минерализация воды

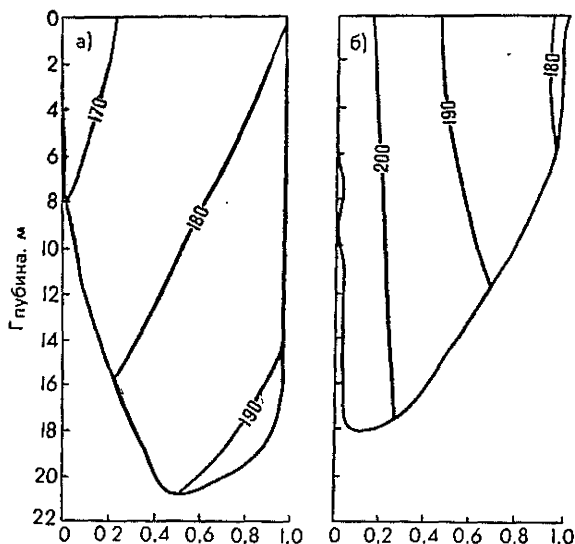


Рис. 53. Распределение величин электропроводности (μсим) воды по живому сечению Куйбышевского водохранилища в июне 1958 г.

а — разрез II в Волжском отроге на 306-м км от плотины Волжской ГЭС им. В. И. Ленина, б — разрез I в Камском отроге на 70-м км от устья залива.

которой ниже, чем воды р. Волги, и которая уменьшает электропроводность воды р. Волги у левого берега, создавая еще большую разницу в величинах электропроводности воды у левого и правого берега.

в) Куйбышевское водохранилище. На Куйбышевском водохранилище наблюдения проводили на разрезах в 1956—1959 гг. (рис. 52).

На разрезе II (306-й км) (рис. 53 а) неоднородность воды в р. Волге почти полностью исчезает и разница весной 1956 и 1958 гг. составляла лишь 20%, а в остальные периоды 1956—1959 гг. наблюдалась почти полная однородность химического состава воды по живому сечению реки. Этому способствует боль-

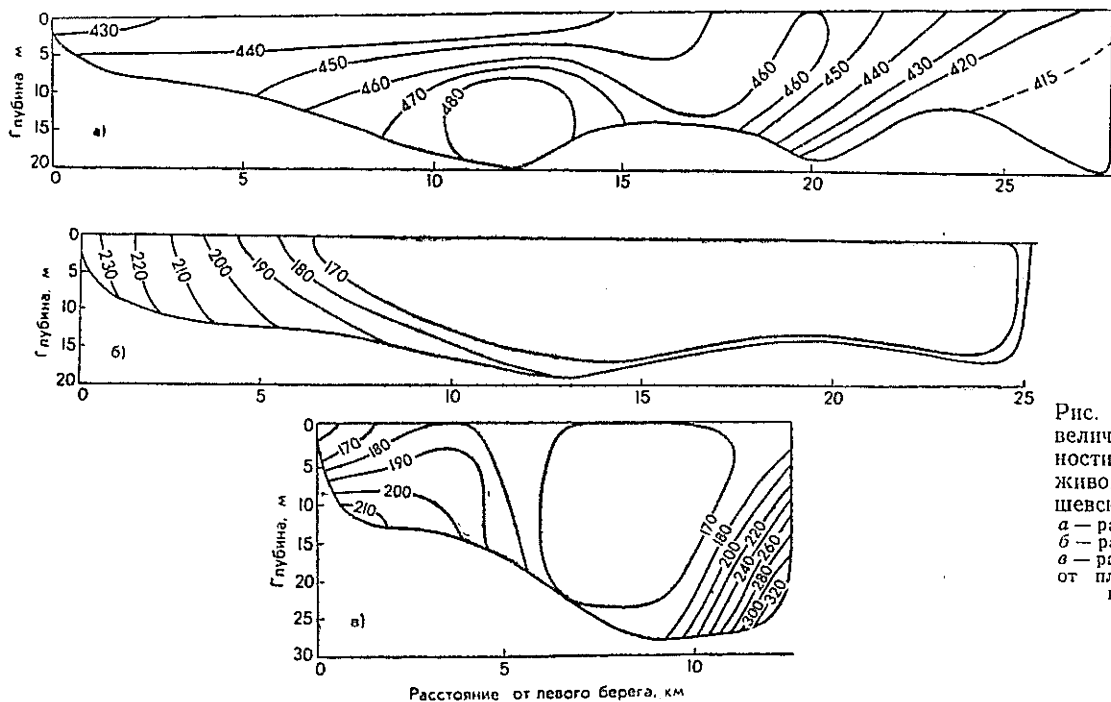


Рис. 54. Распределение величин электропроводности ($\mu\text{см}$) воды по живому сечению Куйбышевского водохранилища. а — разрез III на 293-м км, б — разрез VI на 170-м км, в — разрез X на 20-м км от плотины Волжской ГЭС им. В. И. Ленина.

шое расстояние от устья р. Ветлуги до устья р. Камы (275 км), за время прохождения которого вода успевает перемешаться; впадение небольших левых притоков (рр. Илеть, Кудьма, Казанка), имеющих высокую минерализацию, и в данном случае способствовало выравниванию минерализации воды в р. Волге.

В р. Каме (70 км от устья) (рис. 53 б) во все сезоны 1956—1959 гг. наблюдалась почти полная однородность воды по живому сечению реки.

Таким образом, можно сказать, что два источника, питающие Куйбышевское водохранилище, имеют почти однородный состав при их впадении в водохранилище. Это важно для простоты расчета степени перемешивания воды в водохранилище в зависимости от расстояния от устья р. Камы, где происходит соединение обоих потоков.

Разрез III (рис. 54 а) расположен на 293-м км от плотины Волжской ГЭС им. В. И. Ленина и пересекает самую широкую часть водохранилища (28 км).

Изменения величины электропроводности воды на разрезе III Куйбышевского водохранилища невелики, так как они для рек Волги и Камы близки между собой (например, в мае 1956 г. соответственно были 250—300 и 350—375 мс/см).

Неоднородность воды на разрезе VI (рис. 54 б) в июне 1957 г. видна очень хорошо: к левому берегу прижата камская вода, имеющая электропроводность 210—230 мс/см, а у правого берега — волжская вода с электропроводностью 160—170 мс/см.

Несколько иное распределение водных масс наблюдалось на разрезе X (рис. 54 в): здесь камская вода прижата ко дну левой части водохранилища, а по поверхности по всему разрезу течет волжская вода, т. е. произошло некоторое смещение струй воды вследствие изменения конфигурации водохранилища и резкого (на 90°) поворота направления ложа водохранилища.

Придонные слои в правой части водохранилища имеют большую минерализацию, резко отличную от минерализации остальной части водохранилища. В этом месте, по-видимому, выходит мощный поток грунтовых вод, так как это подтверждается другими явлениями (резким изменением температуры, содержания кислорода, двуокси углерода и др.).

2. Распределение водных масс по длине и ширине реки и водохранилища

В больших водохранилищах, в которых сохраняются одновременно воды разных фаз водного режима, сезонное изменение состава воды притоков и главной реки еще больше увеличивает неоднородность состава воды. Неоднородность воды в водохранилищах по сравнению с рекой несколько сглаживается ветровым перемешиванием.

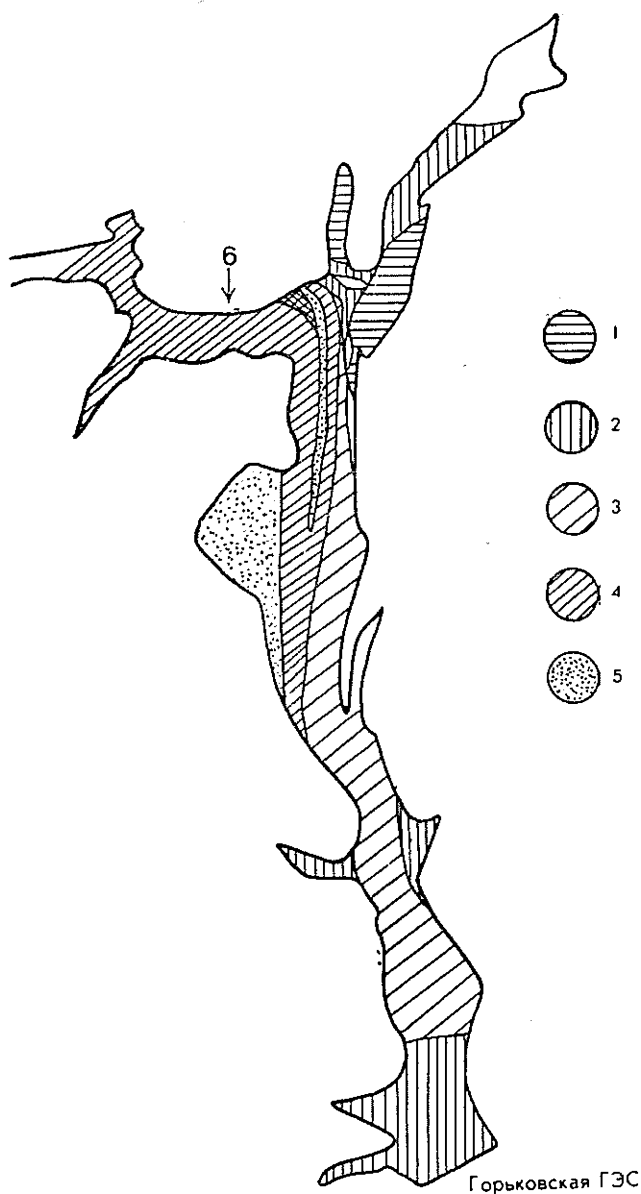


Рис. 55. Распределение величины электропроводности воды в Горьковском водохранилище в мае 1957 г.

1 — 50—75 мснм; 2 — 75—100 мснм; 3 — 100—125 мснм; 4 — 125—150 мснм; 5 — 150—175 мснм; 6 — 175—200 мснм (1 мснм = $1 \cdot 10^{-6} \text{ ом}^{-1}$).

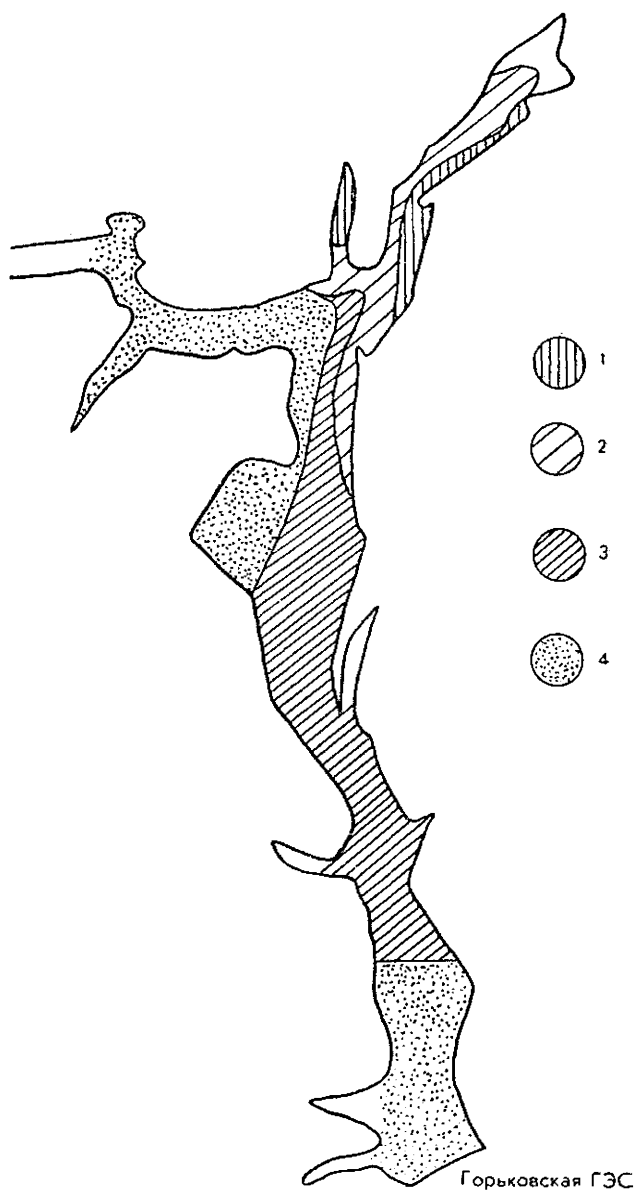


Рис. 56. Распределение величин электропроводности воды в Горьковском водохранилище в августе 1957 г.
 1 — 75—100 $\mu\text{см}$; 2 — 100—125 $\mu\text{см}$; 3 — 125—150 $\mu\text{см}$;
 4 — 150—175 $\mu\text{см}$.

а) Горьковское водохранилище. Судя по материалам наших наблюдений в 1956—1958 гг., наибольшая неоднородность воды по ширине водохранилища наблюдалась в мае 1957 и 1958 гг.

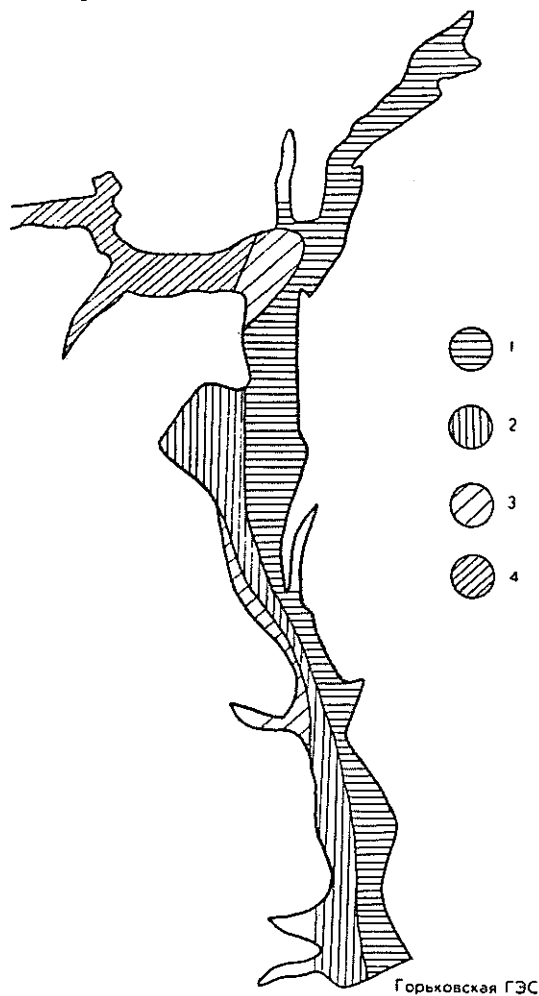


Рис. 57. Распределение величины электропроводности воды в Горьковском водохранилище 20/V 1958 г.

1 — 50—75 мсмм; 2 — 75—100 мсмм; 3 — 100—125 мсмм; 4 — 125—150 мсмм.

Особенно значительная неоднородность воды была в верхней части озерного участка водохранилища, где смешиваются воды трех притоков, впадающих в водохранилище: рек Волги, Немды, Унжи.

На рис. 55—59 видно, что волжская вода прижата к правому берегу, а унженская — к левому берегу, к мелководью бывшей поймы р. Унжи. Хорошо видно вытеснение воды одного сезона

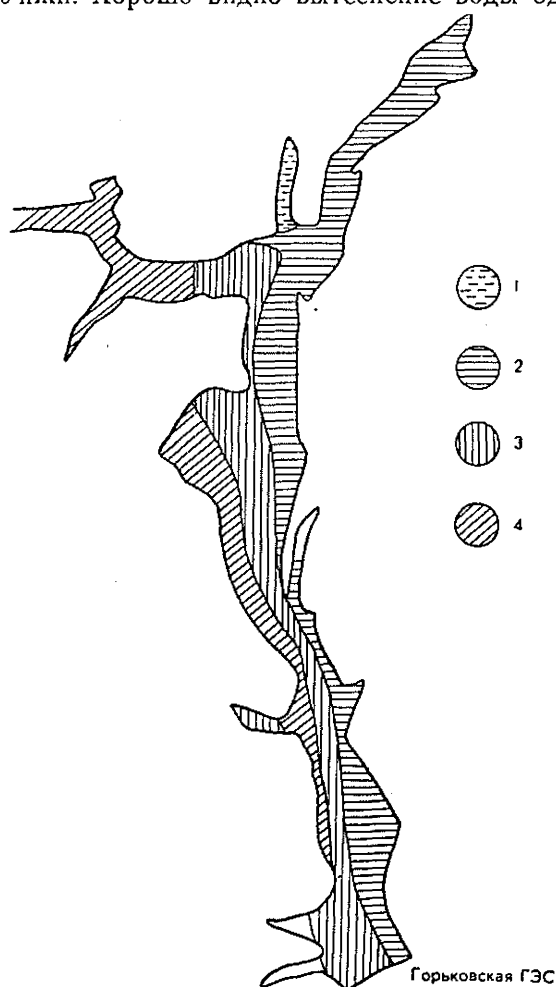


Рис. 58. Распределение величин электропроводности воды в Горьковском водохранилище 25—27/V 1958 г.

1 — 25—50 мсм; 2 — 50—75 мсм; 3 — 75—100 мсм;
4 — 100—125 мсм.

водой последующего сезона. Направление струй третьего потока (р. Немда) в водохранилище незаметно из-за малой его водности. Центральная же часть верховья водохранилища, где сходятся три потока воды — волжская, немденская и унженская, представляет собой смесь этих вод. Далее вниз по течению наблюдается

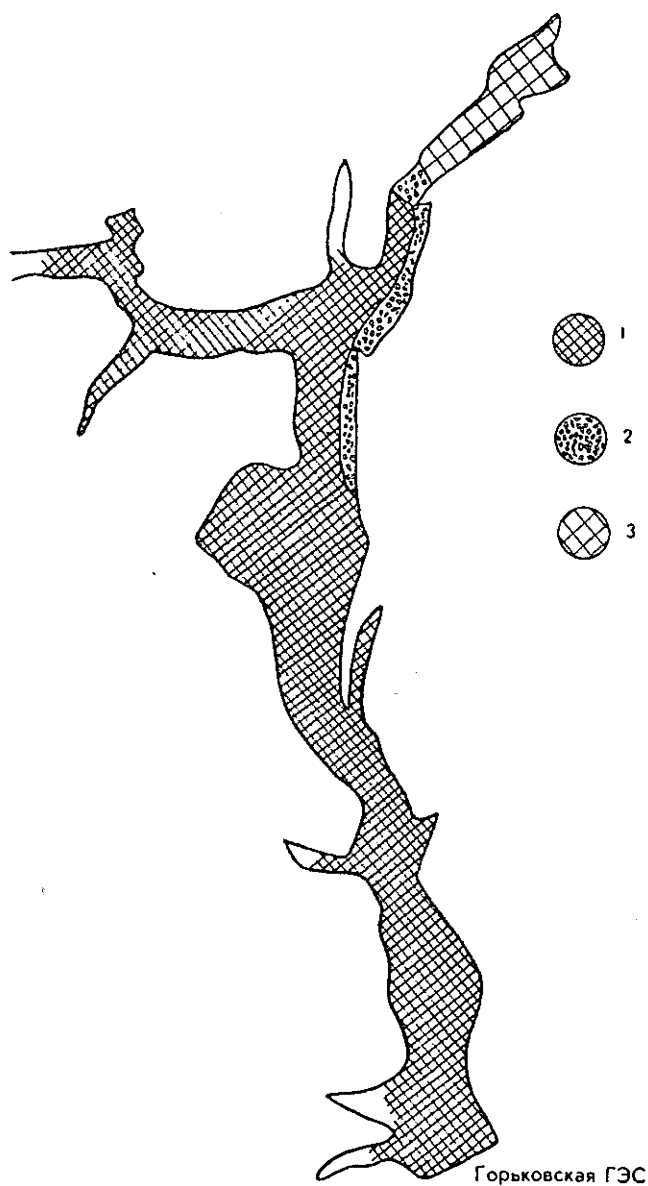


Рис. 59. Распределение величин электропроводности воды в Горьковском водохранилище в сентябре 1958 г.
1 — 175—200 мсм; 2 — 200—225 мсм; 3 — 225—250 мсм.

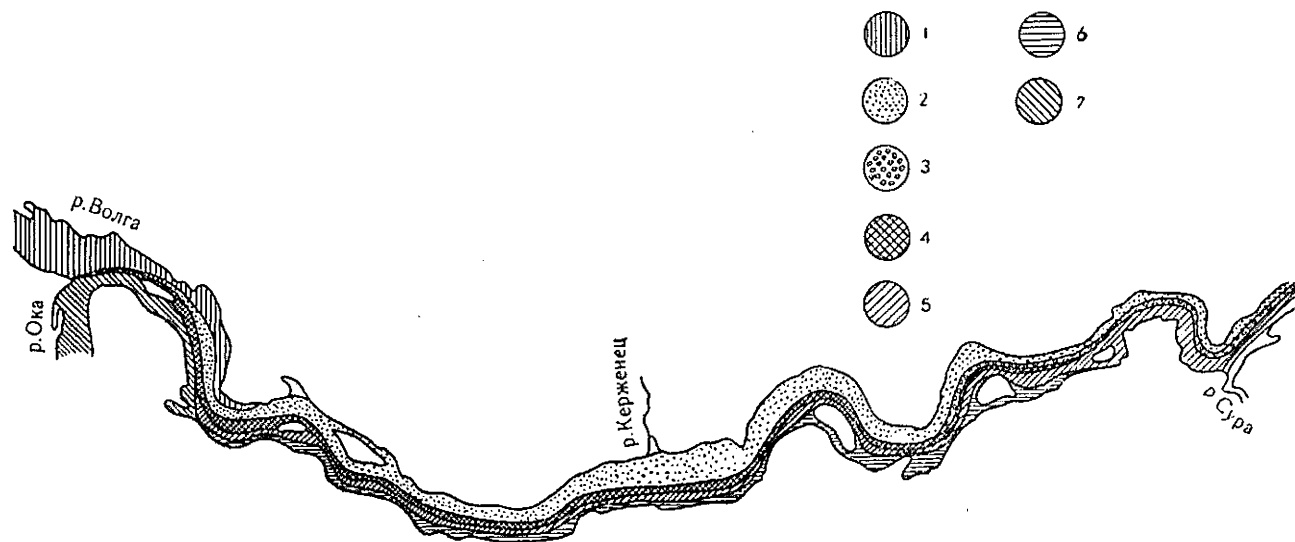


Рис. 60. Распределение величин электропроводности воды р. Волги ниже устья р. Оки в мае—июне 1956 г.
 1 — 150—200 $\mu\text{с/см}$; 2 — 200—250 $\mu\text{с/см}$; 3 — 250—300 $\mu\text{с/см}$; 4 — 300—350 $\mu\text{с/см}$; 5 — 350—400 $\mu\text{с/см}$; 6 — 400—450 $\mu\text{с/см}$; 7 — 450—500 $\mu\text{с/см}$.

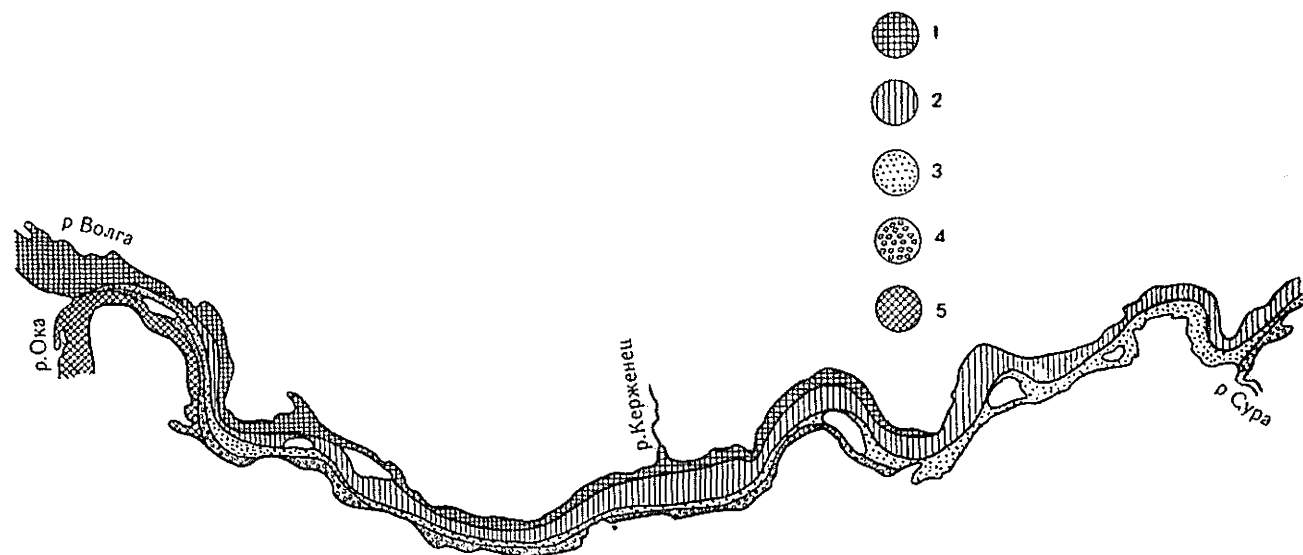


Рис. 61. Распределение величин электропроводности воды р. Волги ниже устья р. Оки в мае 1959 г.
 1 — 100—150 $\mu\text{см}$; 2 — 150—200 $\mu\text{см}$; 3 — 200—250 $\mu\text{см}$; 4 — 250—300 $\mu\text{см}$; 5 — 300—350 $\mu\text{см}$.

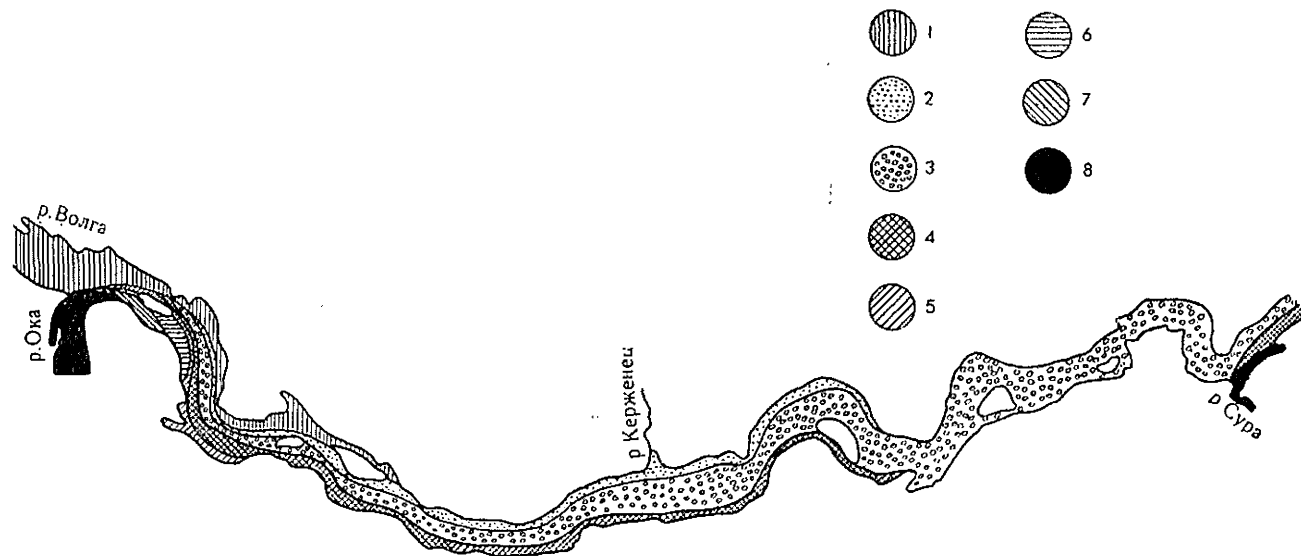


Рис. 62. Распределение величин электропроводности воды р. Волги ниже устья р. Оки в августе 1959 г.
 1 — 150—200 мси́м; 2 — 200—250 мси́м; 3 — 250—300 мси́м; 4 — 300—350 мси́м; 5 — 350—400 мси́м; 6 — 400—450 мси́м; 7 — 450—500 мси́м;
 8 — 500 мси́м и выше.

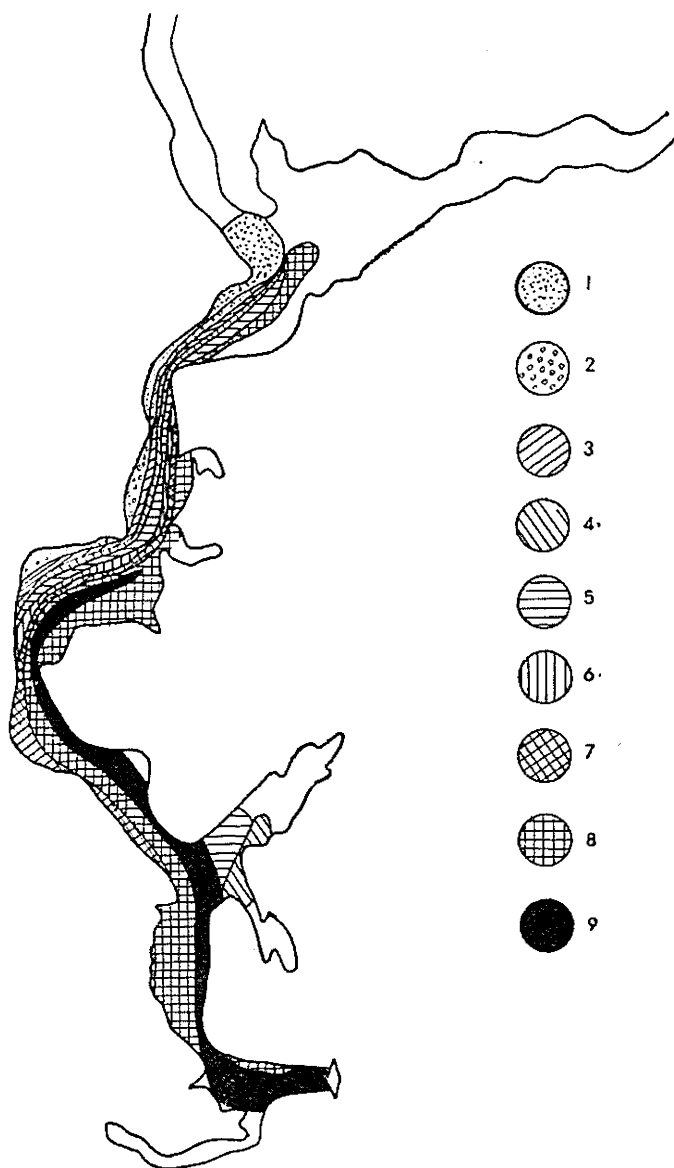


Рис. 63. Содержание хлоридов в поверхностном слое (0,5 м) воды Куйбышевского водохранилища в октябре 1956 г.

1 — 6—9 мг Cl⁻/л; 2 — 9—12 мг Cl⁻/л; 3 — 12—15 мг Cl⁻/л; 4 — 15—18 мг Cl⁻/л; 5 — 18—21 мг Cl⁻/л; 6 — 21—24 мг Cl⁻/л; 7 — 24—27 мг Cl⁻/л; 8 — 27—30 мг Cl⁻/л; 9 — 30—33 мг Cl⁻/л.

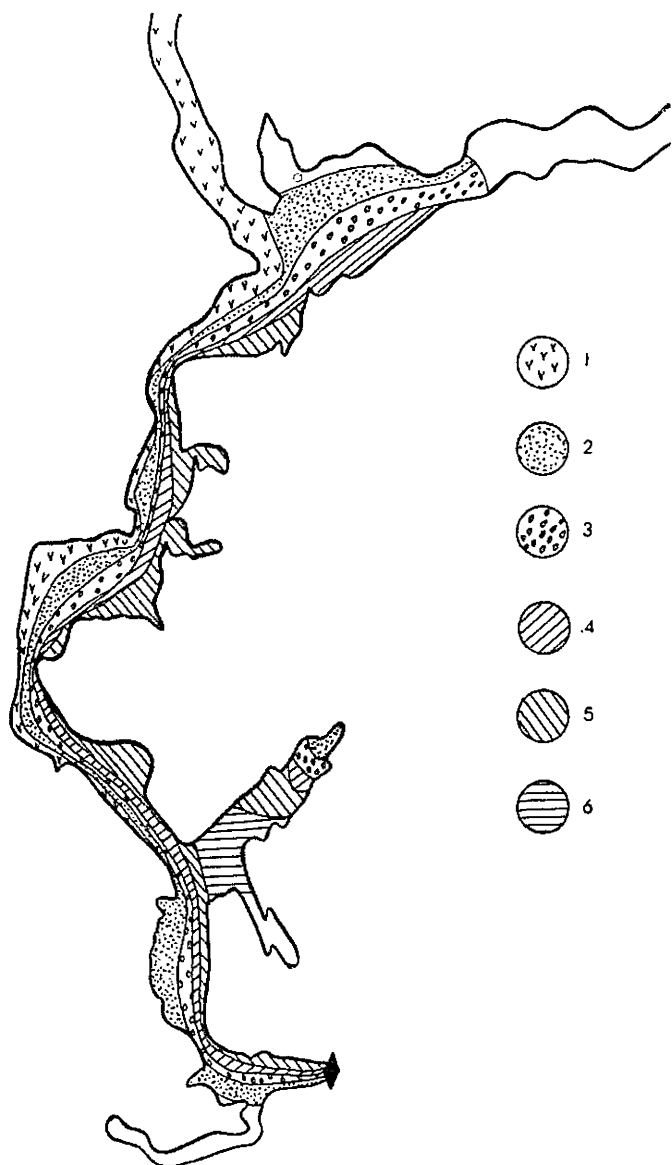


Рис. 64. Содержание хлоридов в поверхностном слое (0,5 м) воды Куйбышевского водохранилища 3—8/VІ 1958 г.

1 — 3—6 мг $\text{Cl}^{\text{I}}/\text{л}$; 2 — 6—9 мг $\text{Cl}^{\text{I}}/\text{л}$; 3 — 9—12 мг $\text{Cl}^{\text{I}}/\text{л}$; 4 — 12—15 мг $\text{Cl}^{\text{I}}/\text{л}$; 5 — 15—18 мг $\text{Cl}^{\text{I}}/\text{л}$; 6 — 18—21 мг $\text{Cl}^{\text{I}}/\text{л}$.

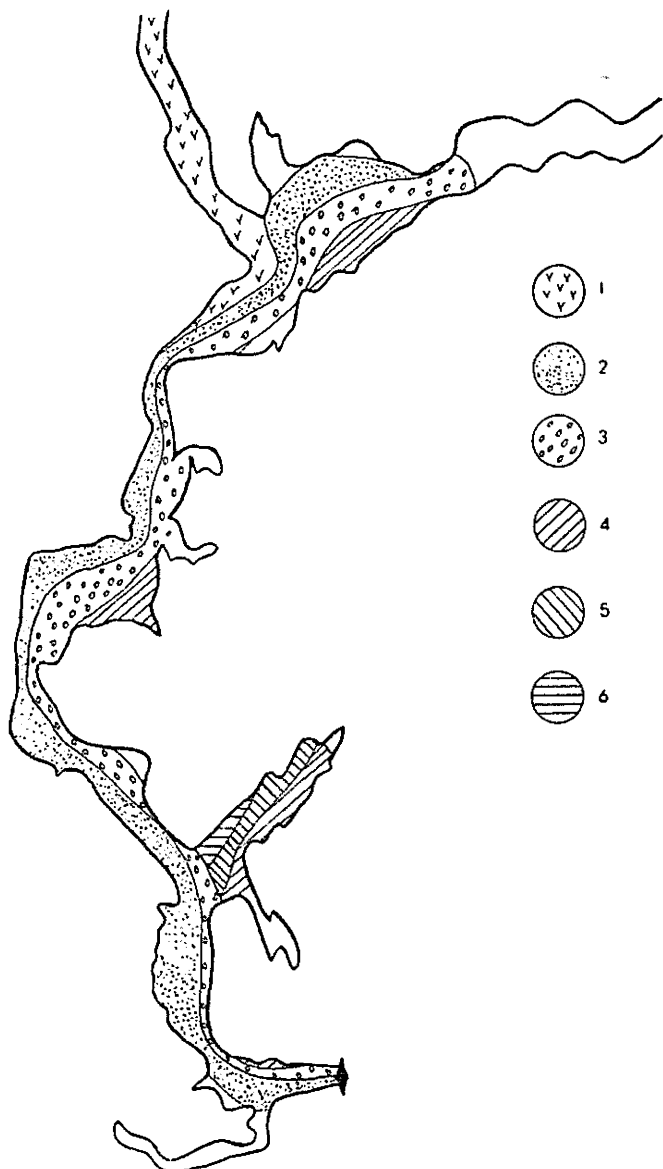


Рис. 65. Содержание хлоридов в поверхностном слое (0,5 м) воды Куйбышевского водохранилища 13—16/VI 1958 г.

1 — 3—6 мг Cl'/л; 2 — 6—9 мг Cl'/л; 3 — 9—12 мг Cl'/л; 4 — 12—15 мг Cl'/л; 5 — 15—18 мг Cl'/л; 6 — 18—21 мг Cl'/л.

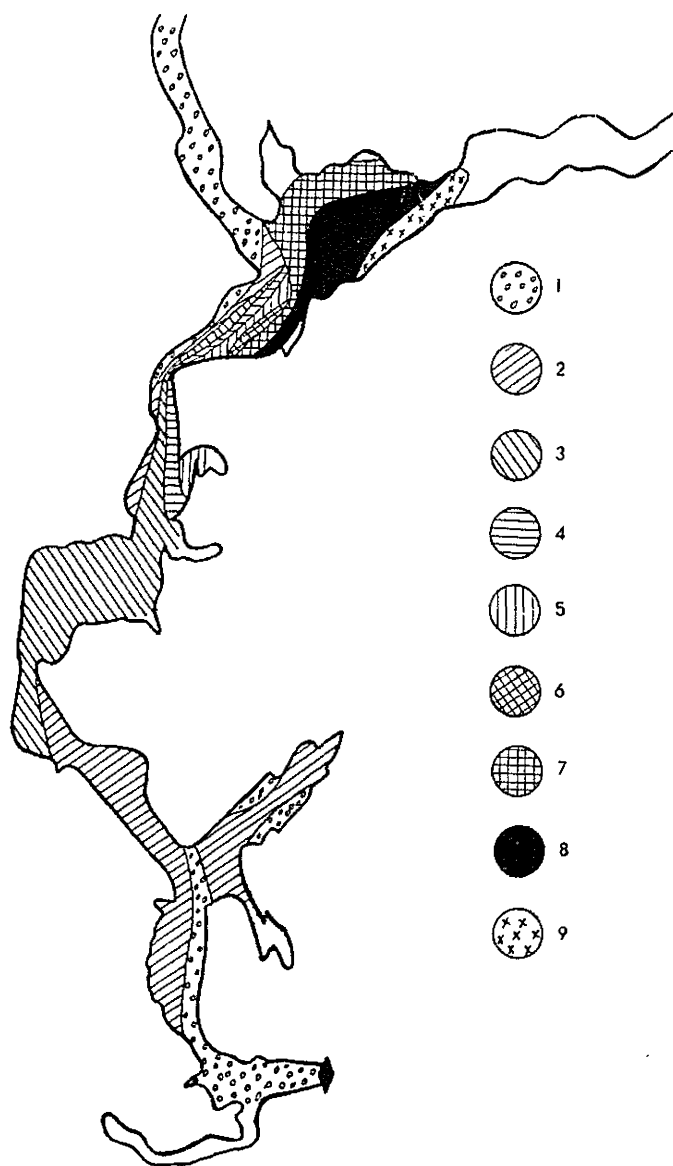


Рис. 66. Содержание хлоридов в поверхностном слое (0,5 м) воды Куйбышевского водохранилища в сентябре 1958 г.

1 — 9—12 мг Cl⁻/л; 2 — 12—15 мг Cl⁻/л; 3 — 15—18 мг Cl⁻/л;
 4 — 18—21 мг Cl⁻/л; 5 — 21—24 мг Cl⁻/л; 6 — 24—27 мг Cl⁻/л;
 7 — 27—30 мг Cl⁻/л; 8 — 30—33 мг Cl⁻/л; 9 — 33—36 мг Cl⁻/л.

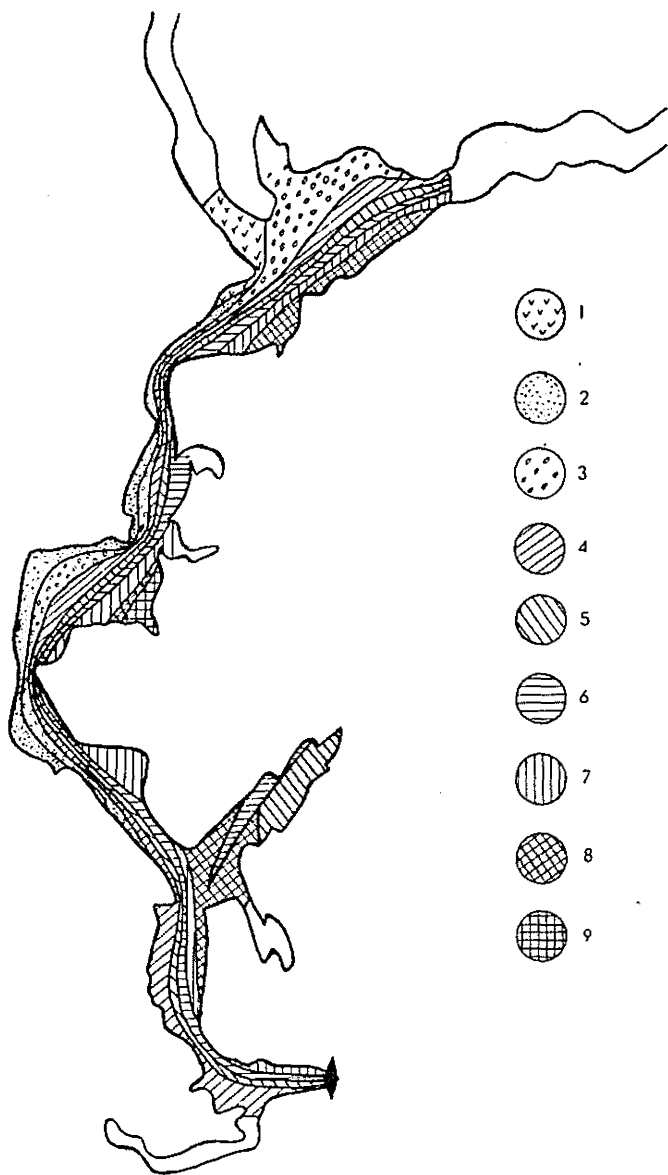


Рис. 67. Содержание хлоридов в поверхностном слое (0,5 м) воды Куйбышевского водохранилища в мае 1959 г.

1 — 3—6 мг Cl'/л; 2 — 6—9 мг Cl'/л; 3 — 9—12 мг Cl'/л;
 4 — 12—15 мг Cl'/л; 5 — 15—18 мг Cl'/л; 6 — 18—21 мг Cl'/л;
 7 — 21—24 мг Cl'/л; 8 — 24—27 мг Cl'/л; 9 — 27—30 мг Cl'/л.

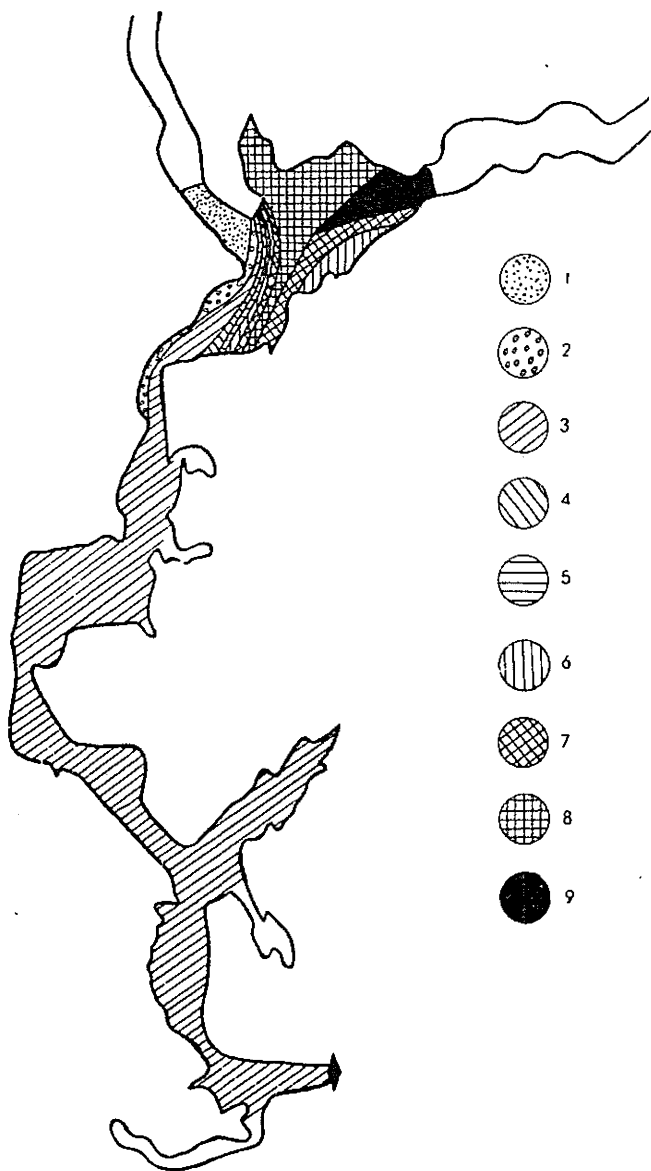


Рис. 68. Содержание хлоридов в поверхностном слое (0,5 м) воды Куйбышевского водохранилища в сентябре 1959 г.

1 — 6—9 мг Cl'/л; 2 — 9—12 мг Cl'/л; 3 — 12—15 мг Cl'/л;
 4 — 15—18 мг Cl'/л; 5 — 18—21 мг Cl'/л; 6 — 21—24 мг Cl'/л;
 7 — 24—27 мг Cl'/л; 8 — 27—30 мг Cl'/л; 9 — 30—33 мг Cl'/л.

струйность воды по ширине водохранилища и смена воды одного сезона водой другого. К плотине вода подходит почти однородной по ширине водохранилища.

б) Река Волга ниже устья р. Оки. Неоднородность воды в р. Волге ниже устья р. Оки по длине и ширине еще большая, чем в Горьковском водохранилище. Наибольшая неоднородность по ширине реки наблюдалась нами в паводковый период (рис. 60, 61), когда на всем протяжении от устья р. Оки до устья р. Суры величины электропроводности воды у правого и левого берегов сильно отличались между собой, наименьшая неоднородность — в меженный период (август—сентябрь) (рис. 62), когда величины электропроводности воды у правого и левого берегов в конце рассматриваемого участка р. Волги близки между собой.

в) Куйбышевское водохранилище. Воды Средней Волги и р. Камы близки по минерализации, поэтому неоднородность воды в Куйбышевском водохранилище плохо прослеживается по изменению электропроводности. Наилучшим компонентом для выявления неоднородности воды в Куйбышевском водохранилище являются хлоридные ионы, так как концентрация их в воде р. Камы в 3—4 раза больше, чем в воде р. Волги.

По распределению концентрации хлоридных ионов в воде Куйбышевского водохранилища видно (рис. 63—68), что в верховье водохранилища всегда наблюдается неоднородность воды по его ширине независимо от сезона года, обусловленная впадением в водохранилище двух больших притоков — рек Волги и Камы. По мере продвижения водных масс вниз по водохранилищу волжская и камская воды смешиваются друг с другом, но в различной степени, в зависимости от расходов воды обоих притоков: чем больше расходы обоих притоков (паводок), тем на большем расстоянии от устья р. Камы прослеживается неоднородность воды по ширине водохранилища, и, наоборот, чем меньше расходы воды (лето), тем быстрее происходит смешение водных масс обоих притоков. Наибольшая неоднородность воды в водохранилище наблюдалась в паводковый период всех лет (рис. 68, 69, 71), когда даже в 273 км ниже устья р. Камы (20 км от плотины) наблюдалась большая разница в содержании хлоридных ионов у правого и левого берегов. В меженный период полное смешение вод наблюдалось уже на расстоянии 130 км после слияния рек Волги и Камы (рис. 70, 72).

3. Степень смешения водных масс

Для определения степени смешения водных масс в данной точке разреза необходимо иметь следующие данные:

а) концентрацию какого-либо компонента в воде притоков (например, Cl') или величину электропроводности до смешения;

б) концентрацию этого компонента или величину электропроводности в данной точке разреза после смешения;

в) величину водных стоков обоих притоков.

Расчет объемов воды, участвующих в смешении в данной точке разреза, производился по формуле, приведенной у А. М. Алмазова [17].

В нашем обозначении она выглядит так:

в случае смешения волжской и окской воды

$$V_{\text{в}} = \frac{\kappa_{\text{о}} - \kappa}{\kappa_{\text{о}} - \kappa_{\text{в}}} \cdot 100 \quad [17, \text{стр. 106, формула (18)}];$$

в случае смешения волжской и камской воды

$$V_{\text{в}} = \frac{Cl_{\text{к}} - Cl}{Cl_{\text{к}} - Cl_{\text{в}}} \cdot 100,$$

где $V_{\text{в}}$ — объем волжской воды, %; $\kappa_{\text{о}}$ — величина электропроводности окской воды, $\mu\text{сим}$; $\kappa_{\text{в}}$ — величина электропроводности волжской воды, $\mu\text{сим}$; κ — величина электропроводности смешанной воды, $\mu\text{сим}$; $Cl_{\text{к}}$ — концентрация хлоридных ионов в камской воде, мг/л ; $Cl_{\text{в}}$ — концентрация хлоридных ионов в волжской воде, мг/л ; Cl — концентрация хлоридных ионов в смешанной воде, мг/л .

Расчет степени смешения производился по объемам, участвующим в смешении в данной точке разреза, и по расходам воды обоих притоков, соответствующим дате определения степени смешения. Формула для расчета выведена следующим образом. $Q_{\text{в}}$, $Q_{\text{о}}$, $Q_{\text{к}}$ — расходы воды рек Волги, Оки, Камы, $\text{м}^3/\text{сек.}$; $V_{\text{в}}$, $V_{\text{о}}$, $V_{\text{к}}$ — объемы волжской, окской и камской вод, участвующие в смешении, %. Если смешаются волжская и окская воды в отношении $\frac{Q_{\text{в}}}{Q_{\text{о}}}$, то получим степень смешения, равную 100%, а если в другом отношении, например $\frac{V_{\text{в}}}{V_{\text{о}}}$, то получим $x\%$, откуда

$$x = \frac{Q_{\text{о}}V_{\text{в}}}{Q_{\text{в}}V_{\text{о}}} \cdot 100;$$

аналогично и в случае смешения волжской и камской вод:

$$x = \frac{Q_{\text{к}}V_{\text{в}}}{Q_{\text{в}}V_{\text{к}}} \cdot 100.$$

Для приблизительного подсчета, если нет данных по ежедневным расходам воды обоих притоков, можно воспользоваться средними многолетними расходами воды. В случае определения степени смешения окской и волжской вод сток этих рек равен: р. Волги перед устьем р. Оки — $52,7 \text{ км}^3/\text{год}$, р. Оки — $41,0 \text{ км}^3/\text{год}$ [90]; в случае определения степени смешения камской и волжской вод сток этих рек равен: р. Волги у с. Вязовые — $119,2 \text{ км}^3/\text{год}$ и р. Камы у г. Чистополя — $121,1 \text{ км}^3/\text{год}$ [90].

Такая степень смешения окской и волжской, камской и волжской вод подсчитана по средним многолетним расходам воды для этих рек и приведена в предыдущей работе [139].

Результаты подсчета степени смешения показывают, что она для окской и волжской вод различна в различные сезоны года. Степень смешения непрерывно увеличивается вниз по течению и для разреза на 2020-м км (615 км от плотины Волжской ГЭС им. В. И. Ленина) в мае 1956 г. она достигала: у левого берега — 23,5%, на середине реки — 84,5% и у правого берега — 25,1%. Для августа 1956 г. степень смешения гораздо бо́льшая и уже на 2140-м км (735 км) достигает на середине реки 85,5%. Наименьшая степень смешения наблюдалась в весенний период, наибольшая — в летний.

Еще меньшая степень смешения наблюдалась нами после впадения рек Волги и Камы в Куйбышевское водохранилище. Например, на 125-м км (в 168 км ниже устья р. Камы) наблюдались следующие степени смешения в мае 1956 г.: у левого берега — 0%, на середине — 79,5% и у правого берега — 2,3%, и в мае 1957 г. соответственно 0,0; 72,4 и 35,2%.

Таким образом, на примере смешения окской и волжской, камской и волжской вод нельзя говорить о полном смешении этих вод вблизи слияния притоков с р. Волгой. Для полного смешения вод необходимы довольно большие промежутки времени, за которые вода в реке или водохранилище проходит значительные расстояния.

Поэтому при прогнозировании гидрохимического режима вновь строящихся и уже построенных водохранилищ необходимо учитывать характер впадения притоков в эти водохранилища.

4. Зависимость величины электропроводности воды от ее минерализации

Величина электропроводности природной воды зависит от количества растворенных в ней электролитов: чем больше растворенных в ней электролитов, тем больше ее величина электропроводности.

Но между величиной электропроводности природной воды разных типов и суммой концентрации ионов (ее общая минерализация) нет простой однозначной зависимости для всех вод вследствие различий в эквивалентных электропроводностях и неодинакового изменения величины электропроводности с концентрацией ионов, содержащихся в природной воде.

Вода р. Волги, а также крупных ее притоков на всем протяжении реки от Ярославля до Астрахани по классификации О. А. Алекина [6] относится к гидрокарбонатному классу вод, кальциевой группе, второго типа, несмотря на большие изменения в минерализации за счет впадения притоков (рек Оки, Суры, Камы). В связи с этим мы попытались найти зависимость между

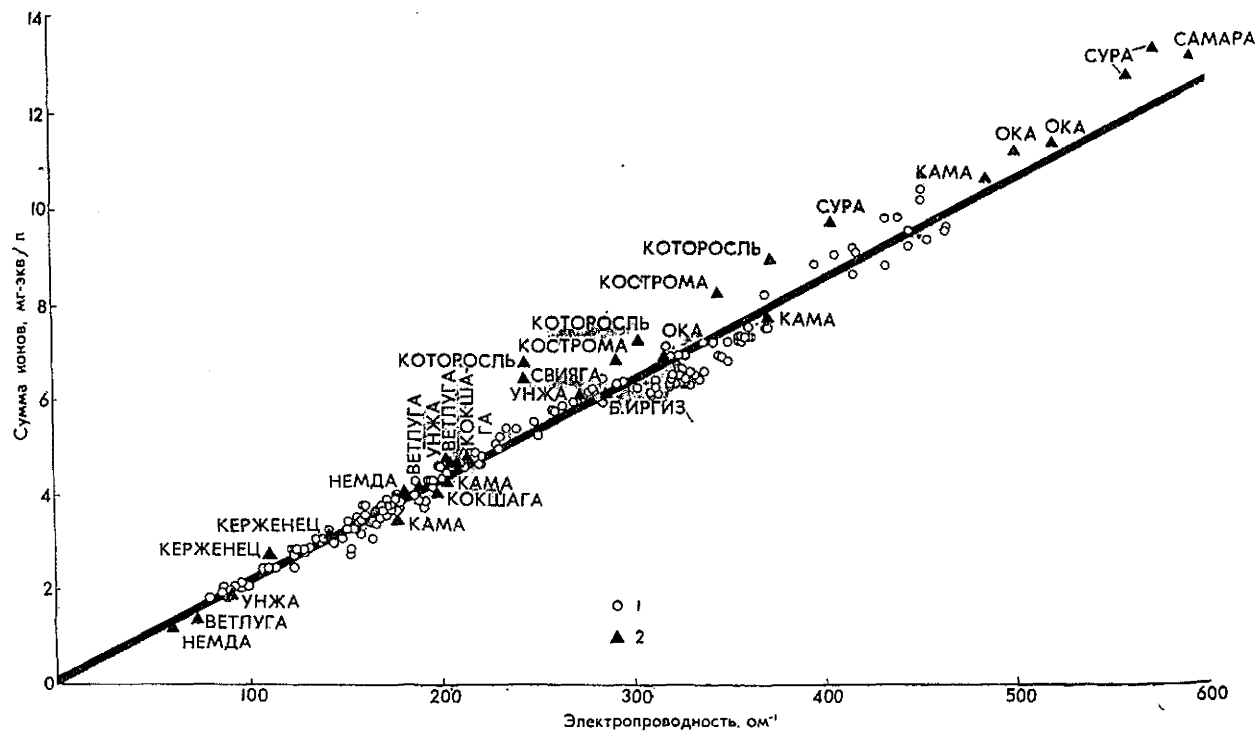


Рис. 69. Зависимость величин электропроводности (Ω^{-1}) от суммы ионов (в мг-экв/л) в воде р. Волги и ее притоков.

1 — р. Волга; 2 — притоки р. Волги.

величиной электропроводности и общей минерализацией воды р. Волги и ее притоков.

На рис. 69 нанесены значения суммы ионов (ось ординат) и соответствующие им значения величин электропроводности (ось абсцисс). Расположение этих точек таково, что через них можно провести одну прямую. Эта зависимость может быть выражена уравнением

$$\Sigma_{\text{и}} = \frac{\kappa}{46,7} \cdot 10^6 \text{ мг-экв/л}$$

или

$$\Sigma_{\text{и}} = 2,14 \cdot \kappa \cdot 10^4 \text{ мг-экв/л,}$$

где κ — величина электропроводности воды, $\mu\text{сим}$, $\Sigma_{\text{и}}$ — сумма ионов, мг-экв/л.

Следует заметить, что чем меньше минерализация воды, тем ближе располагаются точки к кривой, а по мере возрастания минерализации увеличивается и разброс точек от этой кривой. Это объясняется некоторым изменением относительного состава воды по длине реки и ее притоков с увеличением общей минерализации.

Зависимость величины электропроводности воды от ее суммы ионов выведена нами для различных сезонов года: весны, лета и осени, и эта зависимость почти не изменяется по сезонам.

Выведенную зависимость между величиной электропроводности и суммой ионов можно использовать для взаимного контроля при анализе воды: сумму ионов по величине электропроводности и, наоборот, величину электропроводности по сумме ионов.

5. Характер перемещения водных масс в приплотинной части водохранилищ

В ряде работ по гидрохимии водохранилищ отмечается возможность спуска в нижний бьеф того или иного слоя воды в зависимости от положения водоспускного отверстия по вертикали.

Это получило отражение и в методике гидрохимического прогноза водоемов.

Так, Н. М. Бочков [52, стр. 219] рекомендует «при проектировании и строительстве водохранилищ устраивать донные водоспуски — регенераторы, позволяющие сбрасывать наиболее минерализованные воды придонных слоев».

Я. Ф. Плешков [269, стр. 121] указывает, что «для нормальной эксплуатации водохранилища необходимо предусматривать устройство донного водоспуска, обеспечивающего сброс в конце зимы придонных слоев воды, наиболее минерализованных и богатых биогенными элементами». С целью же спуска воды из вышерасположенных горизонтов он полагает необходимым [269, стр. 84] оборудовать «водоспуск заборными окнами на разных глубинах».

Ф. М. Ключевский [176] относит спуск воды через донные отверстия к числу важнейших мероприятий, имеющих своей целью не только удаление нижних слоев воды с повышенной минерализацией, но и донных осадков.

М. В. Федосов [337], давая оценку ожидаемого изменения стока биогенных элементов в Азовское море после сооружения Цимлянского водохранилища, утверждал, что состав воды, сбрасываемой из водохранилища в нижний бьеф, должен находиться в зависимости от того, будет ли этот сброс производиться преимущественно через донные или поверхностные отверстия. Этот автор останавливается на данном вопросе в связи с тем, что концентрация отдельных форм биогенных веществ в поверхностных и придонных горизонтах считалась неодинаковой.

Поставленный в настоящей работе вопрос возник в связи с составлением баланса биогенных веществ для Цимлянского водохранилища [339], а также при составлении прогноза изменения стока биогенных веществ в Азовское море. Если учесть, что в Цимлянском водохранилище отмечена стратификация по содержанию биогенных веществ, в частности NH_4^+ и NO_3^- [340], а также то, что через гидроузел сбрасывается вода в нижний бьеф главным образом через турбинные отверстия и лишь весной — через водосливную плотину, то можно было по аналогии с малыми водохранилищами предполагать, что в нижний бьеф должны поступать массы воды, имеющие состав, характерный для горизонта, находящегося против спускных отверстий. Однако уже первые, чисто визуальные, наблюдения вызвали сомнения в этом. Так, в августе 1952 г., т. е. в первый год существования водохранилища, авторами было отмечено массовое распространение на поверхности воды нижнего бьефа плавающего фитопланктона. При этом весь участок реки, начиная от плотины и ниже, был буквально покрыт «ковром» фитопланктона. Между тем как в дни наблюдений, так и в предшествующие дни вода поступала в нижний бьеф только через турбинные отверстия, находящиеся на 20 м ниже поверхности водохранилища. При этом поверхность Цимлянского водохранилища также была покрыта «ковром» фитопланктона, однако фитопланктон визуально не обнаруживался не только в пробах, взятых с глубины 20 м, но его не было и в пробах, взятых с глубины 1,5—2 м. Таким образом, уже эти наблюдения позволили сделать вывод, что при сбросе воды через турбинные отверстия происходит значительное увлечение воды поверхностного слоя. Возможность сброса воды с того или иного горизонта в зависимости от высотного положения водоспускного отверстия поставлена под сомнение также результатами опытов, выполненных на моделях, например, А. Г. Хачатряном [350] и С. И. Штепанеком [364].

Особенно убедительными являются опыты С. И. Штепанека, которые были поставлены в большом металлическом лотке шири-

ной 1 м высотой 0,5 м со стеклянными стенками, позволяющими наблюдать движение окрашенных струй воды в сторону модели плотины, имеющей донные трубчатые водоспуски и верхний щиток. Как показали наблюдения, линии токов на расстоянии, превышающем 60—70 см от водовыпуска, оказались параллельными общему направлению движения воды. По мере приближения к водовыпуску линии токов искривлялись либо вверх, если был открыт только верхний щиток, либо вниз, если было открыто только нижнее отверстие. Из результатов своих опытов автор сделал вывод, что вода сбрасывается не послойно, а в виде смеси, поступающей из различных слоев. При этом С. И. Штепанек

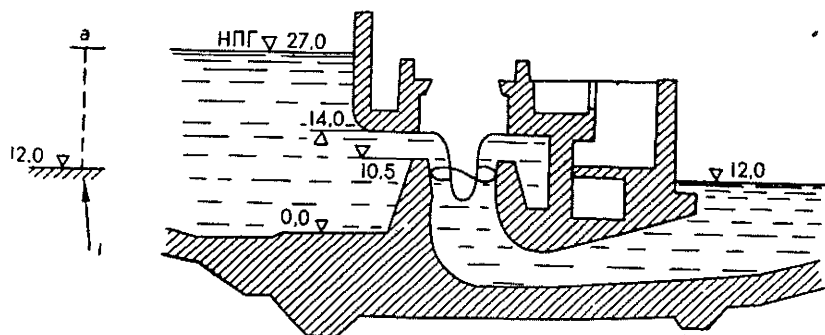


Рис. 70. Схематический разрез Горьковской ГЭС.

1 — вертикаль, на которой производилось измерение скоростей течений.

полагает [364, стр. 48], что широко распространенное мнение о возможности послойного спуска воды «основано, по-видимому, на не совсем правильном представлении этого явления» и отсутствии учета сложности гидродинамических процессов, развивающихся в верхнем бьефе при спуске из него воды.

Таким образом, лабораторные опыты также не подтверждают возможности послойного спуска воды.

Для выяснения этой возможности в натурных условиях была выполнена серия наблюдений на Горьковском, Куйбышевском и Волгоградском водохранилищах. Эти водохранилища имеют важное рыбохозяйственное значение; помимо этого, их сооружение должно было вызвать изменения в стоке биогенных элементов в Каспийское море, высокая рыбная продуктивность которого неизвестна.

С целью проверки характера спуска воды из приведенных выше водохранилищ мы сделали замеры скоростей течения по вертикалям, в различной степени удаленным от водосбросных отверстий. При этом скорости измеряли в те периоды времени, когда спуск воды производился либо только через верхний водослив, либо только через турбины.

Для измерения скорости течения мы пользовались морской модернизированной вертушкой ВМ-М с плексигласовым лопастным винтом, служащим для измерения скоростей течений выше 0,02 м/сек. [79]. Число исследованных горизонтов показано на рис. 71—75.

Измерение производили с борта экспедиционного судна, поставленного на якорь.

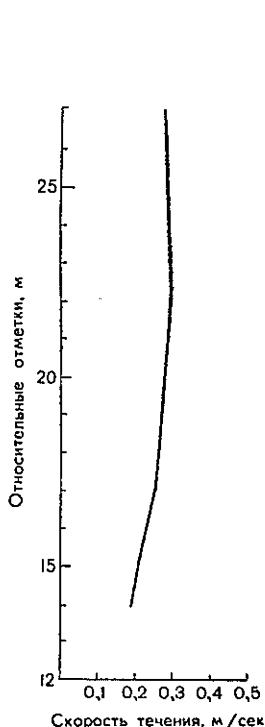


Рис. 71. Распределение скоростей течения воды на вертикали в 0,20 км выше Горьковской ГЭС.

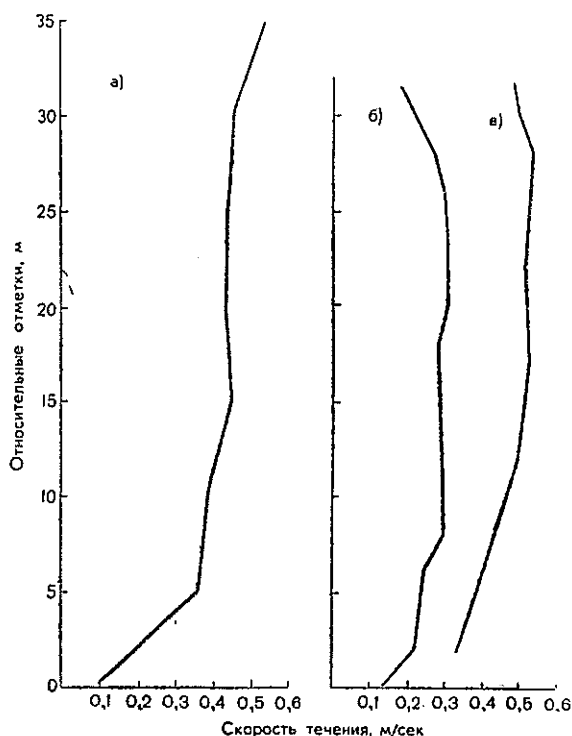


Рис. 72. Распределение скоростей течения воды на вертикали в 0,25 км выше Волжской ГЭС им. В. И. Ленина.

а — 17/VI 1958 г.; б — 6⁰⁰—8¹⁵ 30/IX 1958 г.; в — 8⁰⁰—9³⁰ 30/IX 1958 г.

а) Горьковское водохранилище. Измерения скоростей течения в верхнем бьефе Горьковского водохранилища выполнены на расстоянии 200 м от гидроузла, когда сброс воды производился только через турбины (рис. 70).

В этом случае эпюра скоростей (рис. 71) свидетельствует о малых различиях скоростей по вертикали. При этом, как это видно на рис. 70, входные отверстия турбин расположены примерно в средней части глубины, между тем преимущественного

сброса среднего слоя не наблюдалось. В сторону отверстия перемещались все горизонты воды от поверхностного до придонного¹ с примерно одинаковыми скоростями.

Температурной и солевой стратификации в период наблюдений отмечено не было.

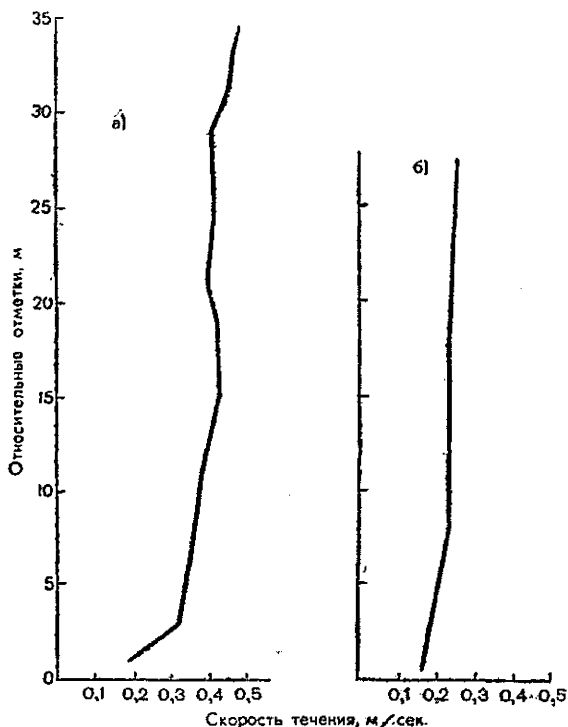


Рис. 73. Распределение скоростей течения воды на вертикали в различных пунктах Куйбышевского водохранилища.

а — 0,25 км выше плотины, б — 1,50 км выше плотины.

б) Куйбышевское водохранилище². Скорости течения в верхнем бьефе Куйбышевского водохранилища измеряли на расстоянии 250 м (четыре вертикали) (рис. 72 а, б, 73 а) и 1500 м (одна вертикаль) от ГЭС (рис. 73 б). При этом сброс воды производился через турбинные отверстия и, несмотря на это, весь слой воды мощностью 35 м для станции, находящейся в 250 м от

¹ Отметка дна водохранилища в месте измерения 12 м.

² Схемы Куйбышевского и Волгоградского гидроузлов не приводим, так как они близки к схеме Горьковского водохранилища, хотя и отличаются по величине [Г. А. Претро, 278], [П. П. Лаупман и А. С. Томашевич, 209].

плотины, и мощностью 28 м для станции, удаленной на 1500 м от плотины, перемещался с почти постоянной для каждой вертикали скоростью.

В период наблюдений солевой стратификации отмечено не было, однако слой воды, находящийся на глубине 0,5 м от поверхности, имел температуру $17,7^{\circ}$, в то время как вода на глубине

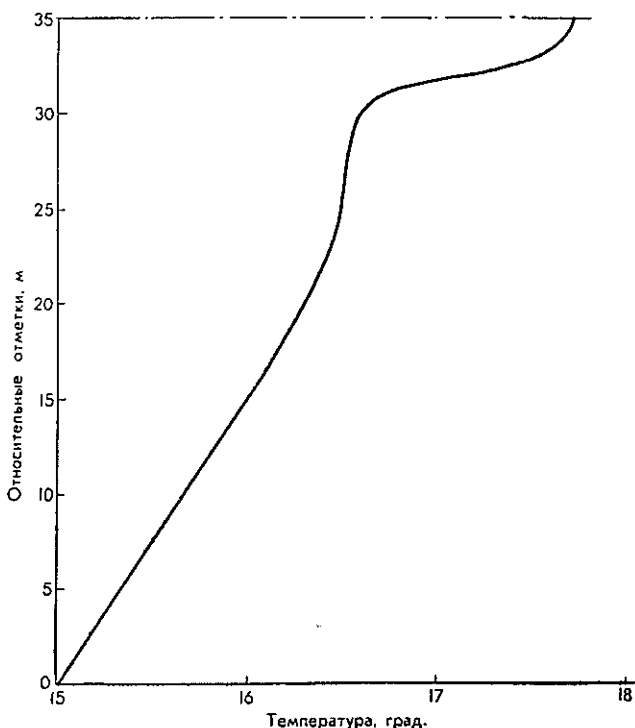


Рис. 74. Распределение температуры воды по вертикали в Куйбышевском водохранилище (0,25 км выше плотины) 17/VI 1958 г.

35 м имела температуру 15° . В нижний бьеф поступала вода с температурой $16,3^{\circ}$. Допустив, что вода в нижний бьеф поступает со всех горизонтов с одинаковой скоростью, рассчитали среднюю температуру путем деления площади, ограниченной кривой и осью ординат (рис. 74), на глубину по вертикали.

Вычисленная таким образом средняя температура воды оказалась равной $16,2^{\circ}$, что весьма близко к температуре воды, поступающей в нижний бьеф. Таким образом, измерения распределения скоростей течения и температуры приводят к одному и тому же выводу — вся толща воды перемещалась почти с одина-

ковой скоростью независимо от местонахождения спускных отверстий в плотине и имевшей место температурной стратификации.

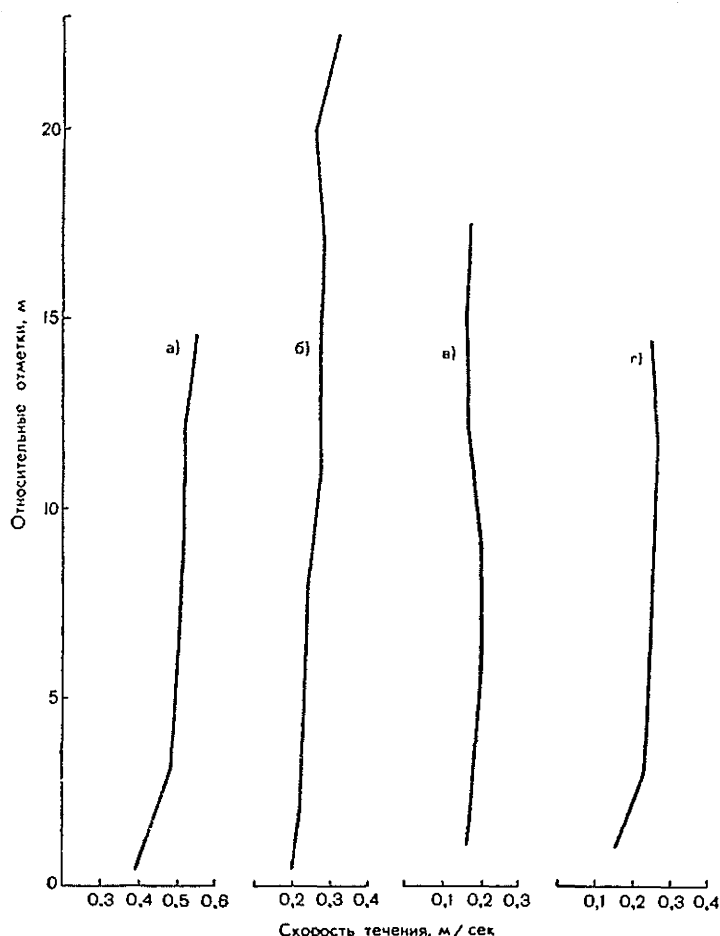


Рис. 75. Распределение скоростей течения воды на вертикалях в Волгоградском водохранилище 8—9/VI 1959 г.

а — 0,4 км; б — 1,5 км; в — 4,0 км; г — 40,0 км от плотины Волжской ГЭС им. XII партсъезда.

в) Волгоградское водохранилище. Скорости течения в верхнем бьефе Волгоградского водохранилища измеряли на расстояниях 0,4; 1,5; 4,0 и 40 км от плотины. Во время замеров происходил сброс воды через верх водосливной плотины и, как видно из соответствующих эпюр скоростей (рис. 75), в нижний бьеф поступала вода не из поверхностного горизонта, а почти равномерно

со всех горизонтов, расположенных по вертикали. В период работы температурной и солевой стратификации не было отмечено.

Таким образом, в нижние бьефы изученных водохранилищ поступает вода не только того горизонта или слоя, который находится на уровне водозаборного отверстия, а почти равномерно со всех горизонтов.

В подтверждение высказанных нами положений, основанных на проведенных исследованиях, о том, что в сбросе в нижние бьефы водохранилищ участвуют все слои водной массы водохранилищ независимо от местоположения спускного отверстия, можно привести два факта, наблюдавшихся на оз. Ильмень и на Телецком озере.

Л. Л. Россолимо [290, стр. 238] в своей книге «Очерки по географии внутренних вод СССР» указывает на следующий факт: «ежегодно вскоре после полного замерзания озера против истока р. Волхова образуется полынья, удерживающаяся всю зиму. Появление такой полыньи вообще свойственно проточным озерам и объясняется подсасыванием к истоку более теплых глубинных вод озера».

О. А. Алекин [1] во время зимних исследований на Телецком озере также наблюдал образование полыньи у истока вытекающей из озера р. Бии, несмотря на сильные морозы. Образование полыньи О. А. Алекин, так же как и Л. Л. Россолимо, объясняет поднятием глубинных, более теплых вод озера к истоку р. Бии, увлекаемых течением в реке.

Глава XII

КАРБОНАТНО-КАЛЬЦИЕВОЕ РАВНОВЕСИЕ В ВОДЕ р. ВОЛГИ И ЕЕ ВОДОХРАНИЛИЩ¹

Карбонатная система является наиболее важной для пресных вод среди существующих в природных водах химических равновесий. От ее состояния зависят общий химический облик воды и направление и интенсивность ряда процессов, протекающих в реке. В частности, она имеет исключительно важное значение для протекающих в ней биологических процессов. Состояние карбонатного равновесия сильно зависит от развития жизни в воде и в то же время определяет интенсивность метаболизма. Кроме этого, состояние карбонатной системы определяет характеристику воздействия воды на строительные сооружения из бетона.

Изучение карбонатного равновесия в пресных водоемах начато сравнительно недавно. Из работ, имеющих непосредственное отношение к изучению карбонатно-кальциевого равновесия в речной воде, следует отметить работы Е. А. Пастак [259], Н. М. Страхова [323—325], П. П. Воронкова [87], О. А. Алекина и Н. П. Моричевой [12, 14, 16], А. И. Денисовой [111], Г. А. Лаумянскаса и Р. Ю. Юревичуса [208].

Помимо выяснения роли реки в миграции углерода в природе, изучение карбонатной системы реки представляет несомненный интерес в связи с созданием на реке плотин, превращающих ее в каскад водохранилищ.

В настоящем разделе монографии сделана попытка представить состояние карбонатного равновесия в воде Волги до ее зарегулирования и изменения, происшедшие с ним после зарегулирования реки в створах Горьковского, Куйбышевского, Волгоградского водохранилищ. Нами рассматриваются изменения насыщенности воды реки и водохранилищ карбонатом кальция, а также агрессивных свойств воды по направлению к устью реки.

¹ Глава написана ст. научным сотрудником Гидрохимического института, канд. хим. наук Н. П. Моричевой.

**Характеристика карбонатно-кальциевого равновесия в воде р. Волги
и волжских водохранилищ**

Место взятия пробы воды (км от Астрахани)	Дата	$\alpha H \cdot 10^{-8}$	$[CO_3^{2-}] \cdot 10^{-6}$, г-моль	$\frac{\alpha Ca^{2+} \cdot \alpha CO_3^{2-}}{S_{Ca} CO_3}$ (г%)	CO ₂ мг/л	
					найдённая	агрессивная
2250	17/IX-53	2,24	1,42	0,10	2,09	1,76
2250	15/VI-54	0,95	7,18	0,81	1,88	нет
2250	5/IX	0,85	7,90	0,84	1,58	нет
2250	15/X	1,07	5,56	0,51	1,81	0,90
Горьковское водохранилище	28/V-56	6,17	0,41	0,038	10,1	9,68
	15/VIII	2,00	2,53	0,266	9,5	7,59
	26/V-57	2,69	0,97	0,061	3,9	3,74
	11/VIII	3,55	1,64	0,185	8,3	5,72
	27/V-58	0,813	19,7	0,877	4,7	3,52
	22/IX-53	0,77	не опред.	не опред.	1,38	нет
	1400	24/VI-54	1,41	5,59	2,84	"
	1400	13/IX	0,38	25,02	0,96	"
	1400	17/X	0,63	13,88	1,38	"
Куйбышевское водохранилище	30/V-55	2,00	1,56	0,157	3,1	1,32
	15/IX	0,501	16,9	3,4	2,9	нет
	7/VI-56	2,95	1,73	0,188	9,2	7,70
	24/VIII	1,26	5,25	0,85	10,2	7,26
	24/X	0,661	7,60	0,94	7,8	5,72
	5/VI-57	0,813	5,47	0,595	3,3	2,42
	25/VIII	0,204	30,2	4,23	9,3	нет
	8/VI-58	1,02	4,40	0,44	4,1	3,08
	12/II-59	1,58	3,40	0,555	8,6	5,05
	10/III	2,57	2,11	0,35	14,0	9,25
	30/V	0,851	5,50	0,66	3,5	2,35
	17/VII	0,398	13,7	1,76	0,7	нет
	7/IX	1,10	4,97	0,674	4,0	2,64
	20/VIII-61	0,832	8,60	1,56	2,6	нет
	24/IX-53	0,39	19,82	3,93	0,83	не опред.
	500	9/III-54	6,46	1,49	14,95	9,90
	500	30/VI	1,48	4,96	2,87	не опред.
	500	18/IX	0,43	26,34	1,11	"
	500	20/X	0,46	22,43	3,61	"
Нижняя Волга	17/I-56	2,88	1,91	0,32	28,8	19,35
	17/II	2,63	2,10	0,32	29,3	21,1
	8/III	2,75	2,47	0,43	52,8	34,5
	13/VI	2,24	2,50	0,29	10,9	8,8
	29/VIII	0,398	18,1	3,02	4,5	нет
	2/XI	0,501	14,7	2,16	8,9	"
	19/I-57	1,66	2,83	0,425	не опред.	нет дан- ных по своб. CO ₂

Место взятия пробы воды (км от Астрахани)	Дата	$aH \cdot 10^{-8}$	$[CO_3^{2-}] \cdot 10^{-6}$, 3-моль	$aCa^{2+} aCO_3^{2-}$ 5Ca CO ₃ (г/л)	CO ₂ мг/л	
					найдённая	агрессив- ная
Волгоградское водохранилище	21/II	2,29	2,18	0,338	13,2	11,0
	22/IV	3,02	1,84	0,28	6,5	3,96
	20/V	1,26	4,63	0,575	6,6	4,62
	18/VI	1,26	3,52	0,5	3,6	1,98
	20/VII	1,23	5,08	0,665	3,2	1,98
	24/VIII	1,23	5,60	0,83	0	нет
	30/IX	1,45	4,36	0,59	2,8	0,66
	21/X-57	1,48	3,92	0,485	2,2	0,22
	20/XI	1,29	3,85	0,51	2,8	1,32
	10/XII	1,32	4,12	0,58	3,1	0,44
	15/V-58	2,00	3,10	0,236	4,5	0,44
	16/VI	2,04	2,39	0,261	3,0	2,02
	15/VIII	1,23	4,97	0,615	не опред.	нет дан- ных по своб. CO ₂
	15/IX	1,17	4,53	0,505	2,1	1,10
	18/X	1,12	4,85	0,625	1,7	0,88
	17/XI	1,17	4,20	0,58	3,0	1,10
	15/XII	1,70	2,90	0,42	4,1	2,20
	20/I-59	1,49	3,61	0,525	6,1	3,96
	19/II	1,78	2,93	0,478	5,5	2,64
	20/III	1,91	2,82	0,432	6,3	3,08
	18/IV	5,75	1,05	0,168	12,1	7,48
	18/V	2,14	3,24	0,445	2,8	0,04
	18/VI	1,10	5,80	0,88	1,9	0,66
	9/VIII	1,07	6,02	0,90	2,7	1,10
	18/VIII	1,41	4,49	0,645	4,0	2,42
	20/X	1,02	5,03	0,802	2,9	1,52
	20/XI	1,02	4,30	0,607	3,7	2,42
	21/XII	1,62	2,90	0,435	9,8	7,05
	22/I-60	1,62	3,20	0,535	3,8	0,88
	22/II	1,86	2,91	0,475	14,4	7,92
	21/III	2,14	2,63	0,41	14,7	9,1
	20/IV	2,95	2,18	0,361	12,0	7,26
	20/V	1,62	4,40	0,68	6,3	2,86
	20/VI-60	1,58	2,79	0,39	2,3	1,10
	20/VII	0,955	6,64	1,03	3,5	нет
	20/VIII	0,891	6,81	1,03	5,1	нет
	20/I-61	1,26	3,71	0,52	14,0	9,68
	20/II	2,40	2,11	0,32	9,6	6,38
	21/III	0,692	8,40	1,33	не опред.	не опред.
	20/IV	1,10	8,10	1,37	13,7	нет
	20/V	1,17	5,07	0,65	7,9	5,06
	20/VI	0,977	6,07	0,90	3,5	1,76
	14/VII	0,794	8,07	1,29	не опред.	не опред.
	20/VIII	1,58	4,37	0,73	4,2	1,94
	20/IX	1,26	3,90	0,48	5,3	3,41
	20/X	1,45	3,42	0,405	9,0	6,73
	20/XI	1,45	3,03	0,344	7,3	5,73
	27/XII	2,45	1,79	0,232	6,7	5,95

Агрессивная двуокись углерода определялась нами расчетным методом; степень насыщенности воды карбонатом кальция рассчитывалась сравнением произведения $\alpha_{Ca} \times \alpha_{CO_2}$, вычисленного по результатам анализа, с величиной произведения этих ионов с учетом температуры воды [15].

Воды левых притоков Верхней и Средней Волги содержат повышенные количества органического вещества и двуокиси углерода. Вода почти всех притоков обладает свойствами углекислотной агрессивности.

Правые притоки, отличающиеся от левых более минерализованными водами, содержат значительно меньше органического вещества и во все исследуемые сезоны были насыщены карбонатом кальция.

Вода Верхней Волги до создания Горьковского водохранилища не была насыщена карбонатом кальция и содержала агрессивную двуокись углерода; максимальное содержание последней наблюдалось в зимнюю межень, минимальное — в летнюю межень. Данные, полученные в остальные сезоны, занимали промежуточное положение.

Вода Средней Волги была не насыщена карбонатом кальция осенью 1953 г. и зимой 1954 г. Во все остальные исследуемые сезоны вода была насыщена и пересыщена карбонатом кальция и, естественно, не содержала агрессивной двуокиси углерода. В период летней межени содержание свободной углекислоты исключительно низкое.

После создания Горьковского водохранилища воды Костромского, Унжинского, Немденского отрогов почти во все сезоны, так же как и до зарегулирования Волги, содержат агрессивную двуокись углерода и не насыщены карбонатом кальция больше, чем до зарегулирования. Это связано, вероятно, с увеличением содержания свободной CO_2 за счет процессов разложения затопленной растительности.

Вода устьевых частей правых притоков, которые являются (кроме р. Оки) отрогами Горьковского водохранилища, по-прежнему почти во все исследуемые сезоны не содержит агрессивной двуокиси углерода и пересыщена в отдельных случаях весьма значительно карбонатом кальция (вода р. Оки в августе 1957 г. была пересыщена карбонатом кальция в 18 раз).

После зарегулирования Волги в створе Горьковской ГЭС в воде Горьковского водохранилища во все исследуемые сезоны увеличилось содержание двуокиси углерода, в воде появилось значительное количество агрессивной двуокиси углерода, достигающее 9,5 мг/л. Вода не насыщена карбонатом кальция.

В первые годы существования водохранилища содержание свободной двуокиси углерода в воде было в 4—5 раз выше, а следовательно, степень насыщенности воды карбонатом кальция значительно ниже, чем в воде Волги до создания Горьковского

водохранилища. Это явление мы объясняем главным образом увеличением содержания свободной двуокиси углерода в воде водохранилища вследствие различных биохимических процессов разложения затопленной растительности.

С годами содержание свободной двуокиси углерода в воде уменьшилось и в 1958 г. весной насыщенность воды водохранилища карбонатом кальция была уже близка к нормальной величине, а содержание агрессивной двуокиси углерода составляло 3,5 мг/л при содержании свободной двуокиси углерода 4,7 мг/л.

Следует отметить, однако, что амплитуда колебаний двуокиси углерода в воде водохранилища выше, чем в реке до зарегулирования, что, вероятно, сохранится и в дальнейшем.

Воды левых притоков Нижней Волги (кроме р. Камы) во все исследуемые сезоны, кроме паводкового периода, были пересыщены карбонатом кальция и не содержали агрессивной двуокиси углерода. Большое пересыщение вод этих притоков карбонатом кальция мы объясняем тем, что в них создаются все условия для уменьшения содержания двуокиси углерода в воде. Сравнительно малая водность этих рек, небольшая глубина, повышенная температура воды создают условия для более бурного развития растительности, а следовательно, для поглощения двуокиси углерода. Кроме того, повышенная и высокая минерализация воды способствует сдвигу карбонатного равновесия в сторону более высоких величин рН и уменьшения растворимости CO_2 .

Вода р. Камы до сооружения Куйбышевского водохранилища была более насыщена в меженный период карбонатом кальция, чем вода Камского отрога после сооружения водохранилища, когда в период летней межени пересыщение воды было лишь 3-кратным (до зарегулирования Волги вода устьевой части р. Камы была пересыщена CaCO_3 в 5—6 раз).

В период весеннего и осеннего паводков вода Камского отрога не насыщена карбонатом кальция и содержит агрессивную двуокись углерода. Некоторое изменение насыщенности воды р. Камы в устьевой части (отрог водохранилища) в сторону уменьшения может быть объяснено, вероятно, изменением гидрохимического режима Камы под воздействием Куйбышевского водохранилища (стр. 111—151).

Совершенно аналогичны изменениям карбонатно-кальциевого равновесия в воде Горьковского водохранилища изменения, происшедшие с карбонатной системой в воде Волги после создания Куйбышевского водохранилища. В Куйбышевском водохранилище, особенно в первые годы существования, повысилось содержание двуокиси углерода; почти во все исследуемые сезоны, за исключением периода пика летней межени, в воде была агрессивная двуокись углерода, и насыщение карбонатом кальция составляло примерно половину нормального.

Увеличение содержания двуокиси углерода в воде Куйбышевского водохранилища можно объяснить, помимо разложения растительности затопленной территории, накоплением в водохранилище весенних паводковых вод, богатых двуокисью углерода и ненасыщенных карбонатом кальция.

Так же, как и в Горьковском водохранилище, спустя 2—3 года после затопления Куйбышевского водохранилища в его воде наблюдалось уменьшение содержания двуокиси углерода, но оно оставалось все же выше тех количеств, которые были в воде Волги до ее зарегулирования. Соответственно этому уменьшилось содержание агрессивной двуокиси углерода.

Вода Нижней Волги во все исследуемые сезоны до сооружения Горьковского и Куйбышевского водохранилищ, кроме марта 1954 г., была насыщена и намного пересыщена карбонатом кальция. Максимальное пересыщение наблюдалось в сентябре 1954 г. в летнюю межень. В октябре насыщенность воды Нижней Волги была значительна, но все же ниже, чем в сентябре. Насыщенность воды в июне составляла приблизительно норму, что объяснялось влиянием весенних паводковых вод.

После создания Горьковского и Куйбышевского водохранилищ карбонатно-кальциевая система воды Нижней Волги претерпела некоторые изменения. В первый год существования названных выше водохранилищ в воде выше г. Волгограда зимой было значительное количество агрессивной двуокиси углерода, достигающее перед вскрытием ото льда реки до 34 мг/л. На следующий год для воды Нижней Волги также было характерно присутствие агрессивной двуокиси углерода (рис. 76), но в значительно меньших количествах. Только в очень короткие промежутки времени в период летней межени из воды исчезает агрессивная двуокись углерода и насыщенность воды карбонатом кальция становится близкой к норме.

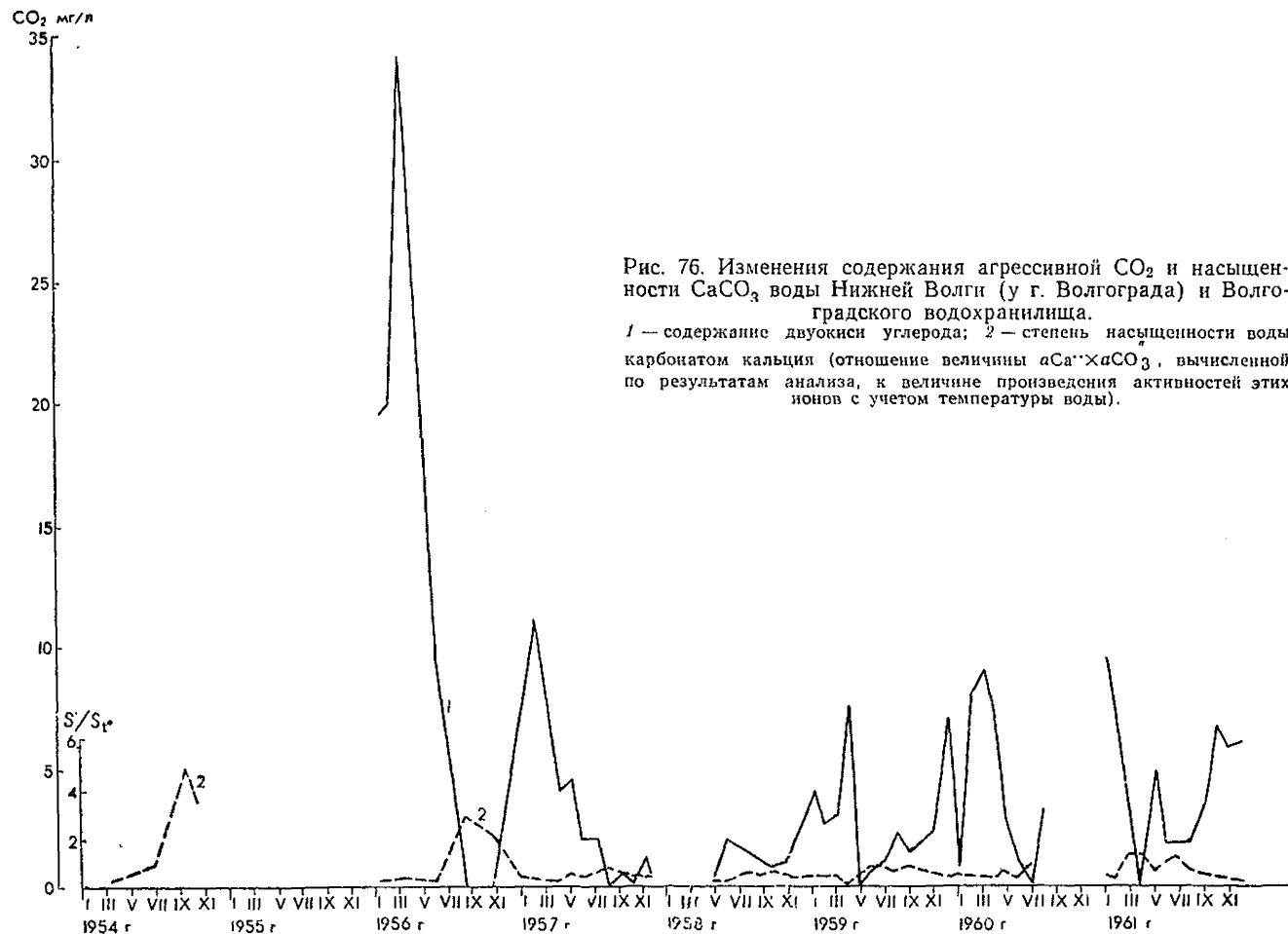
Как говорилось уже выше, сооружение Волгоградского водохранилища было закончено в октябре 1958 г. Из приводимого рисунка видно, что значительной разницы между содержаниями агрессивной двуокиси углерода в воде Волги в 1957 г., т. е. до создания Волгоградского водохранилища, и в последующие годы не наблюдается.

Величины насыщенности воды карбонатом кальция также не изменились значительно.

Исходя из этого, мы сделали вывод, что зарегулирование Волги в створе Волгоградского водохранилища не оказало влияния на режим карбонатного равновесия Нижней Волги.

Сезонные изменения агрессивной двуокиси углерода в воде Волгоградского водохранилища во все годы находились в одних пределах.

Уменьшение разности между экстремальными значениями агрессивной двуокиси углерода объясняется изменениями,



происходящими с водой, поступающей главным образом из Куйбышевского водохранилища. Об этих изменениях говорилось выше.

Следовательно, режим карбонатной системы воды Волгоградского водохранилища определяется исключительно состоянием карбонатного равновесия в воде Куйбышевского водохранилища. Вода, поступающая в Волгоградское водохранилище в летний период (весенние паводковые воды, накопленные в Куйбышевском водохранилище), характеризуется низкой концентрацией ионов Ca^{2+} . Поэтому летом вода Волгоградского водохранилища в основном ненасыщена CaCO_3 (в этот период вода Нижней Волги до создания Куйбышевского водохранилища была особенно сильно пересыщена карбонатом кальция). В 1961 г. совершенно отчетливо в паводочный период наблюдалось увеличение насыщенности воды карбонатом кальция и, хотя и незначительное, но пересыщение. Это явление также связано с перераспределением минерализации воды благодаря созданию Куйбышевского водохранилища и хорошо подтверждает предположение, высказанное нами ранее [12].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Восьмилетние исследования на р. Волге, Горьковском, Куйбышевском и Волгоградском водохранилищах и на их притоках дают возможность сделать основные выводы по гидрохимическому режиму указанных объектов и тем изменениям в этом режиме, которые произошли после сооружения на р. Волге каскада водохранилищ:

1. Гидрохимический режим главных притоков р. Волги, впадающих на участке от г. Ярославля до г. Астрахани, в приустьевых частях не изменился в результате сооружения на р. Волге Горьковского, Куйбышевского и Волгоградского водохранилищ, кроме р. Камы, на которой также создается каскад водохранилищ.

2. Наибольшее влияние на формирование химического состава воды р. Волги оказывают притоки Средней Волги, что связано с большим увеличением на этом участке площади водосбора (с 233 700 до 1 170 000 км²) и увеличением водности реки (с 52,7 до 239,0 км³/год), так как на Средней Волге впадают самые большие притоки — рр. Кама, Ока, Сура и Ветлуга.

3. Сооружение Горьковского водохранилища явилось причиной перераспределения водного стока р. Волги по сезонам года: произошло увеличение расхода воды в меженные периоды за счет уменьшения расходов в паводковый период.

В связи с этим за счет накопленной в весенний период мало-минерализованной воды в Горьковском водохранилище происходит запаздывание минимума минерализации сбрасываемой из водохранилища воды по сравнению с бытовыми условиями реки. Кроме того, в течение длительного периода времени происходит расходование весенней мало-минерализованной воды, что растягивает паводковый период. Но годовая средневзвешенная минерализация вытекающей из водохранилища воды осталась примерно такой же, какой она была до сооружения Горьковского водохранилища.

В Горьковском водохранилище, в противоположность бытовым условиям р. Волги, появилась вертикальная стратификация в содержании биогенных и органических веществ, растворенных

газов и температуры воды. Вертикальная стратификация в содержании некоторых компонентов в воде водохранилища обусловлена замедленностью течения воды в нем по сравнению с рекой. В связи с этим в водохранилище создались более благоприятные условия для интенсификации жизнедеятельности фито- и зоопланктона, бентоса и других микроорганизмов, которые извлекают из воды и перерабатывают биогенные и органические вещества и растворенные газы.

Вертикальная стратификация наблюдалась только после длительной (несколько дней) штилевой погоды. При сильных ветрах или продолжительных средних ветрах в водохранилище происходит полное перемешивание по вертикали водных масс, в результате чего нарушается вертикальная стратификация.

Вертикальная стратификация в содержании биогенных и органических веществ, растворенных газов и температуры воды в Горьковском водохранилище наиболее ярко была выражена в августе 1957 г.

Амплитуды колебания в содержании различных компонентов в воде Горьковского водохранилища по сравнению с данными для р. Волги до зарегулирования, сильно возросли за счет появления вертикальной стратификации в этом водохранилище.

4. В результате сооружения Куйбышевского водохранилища, так же как это наблюдалось на Горьковском водохранилище, произошло перераспределение водного стока по сезонам года, а вместе с ним произошло и перераспределение химического состава воды по сезонам года. Это перераспределение заключается в том, что после весеннего паводка увеличение минерализации воды протекает очень медленно по сравнению с бытовыми условиями реки, т. е. как бы растягивается паводковый период. Но сравнение годовых средневзвешенных минерализаций воды р. Волги до зарегулирования и Куйбышевского водохранилища для лет с одинаковым водным стоком (1955 и 1958 гг.) показывает, что они близки между собой, т. е. внутриводоемные процессы, протекающие в водохранилище, не оказывают существенного влияния на величину минерализации воды.

Колебания в относительном химическом составе воды Куйбышевского водохранилища также остались прежними, какими они были до зарегулирования.

Сравнение результатов прогноза минерализации воды водохранилища с данными наблюдений в 1957—1959 гг. показало, что минерализация воды стока из Куйбышевского водохранилища определяется минерализацией воды притока в него (р. Волга + + р. Кама) с учетом времени добегания воды от верховьев водохранилища до его нижнего бьефа. Выпадение осадков на его поверхность, испарение, ледообразование и ледотаяние не оказывают заметного влияния на изменение минерализации (это изменение колеблется от 1 до 5%).

Амплитуды колебания температуры, содержаний биогенных и органических веществ и растворенных газов в Куйбышевском водохранилище, по сравнению с р. Волгой до зарегулирования, намного увеличились в связи с появлением вертикальной стратификации в водохранилище. Причиной появления вертикальной стратификации является сильное замедление течения воды в водохранилище по сравнению с рекой, что создало совершенно иные условия, более благоприятные, для интенсификации процессов, протекающих в водоеме (фотосинтез и минерализация органического вещества).

Содержание биогенных веществ не лимитирует жизнедеятельность фито- и зоопланктона в Куйбышевском водохранилище.

Наибольшая вертикальная стратификация в содержании биогенных и органических веществ, растворенных газов и температуры воды на Куйбышевском водохранилище наблюдалась в августе 1957 г.

Зимний подледный режим растворенных газов в воде Куйбышевского водохранилища на больших плесах довольно благоприятен для существования в нем живых организмов, но зато совершенно неудовлетворителен этот режим в малопроточных заливах, таких, как Сусканский, Черемшанский и Свияжский.

5. В гидрохимическом режиме Волгоградского водохранилища повторяются все изменения гидрохимического режима Куйбышевского водохранилища, но с некоторым запозданием, равным времени добегания воды от нижнего бьефа Куйбышевского водохранилища до плотины Волгоградского. Это связано с тем, что главным источником притока в Волгоградское водохранилище является сток из Куйбышевского водохранилища (водный сток 94 %, ионный — 82—98 %).

Сдвиг на более поздний период минимума минерализации воды стока из Волгоградского водохранилища по сравнению с периодом до зарегулирования достигает 35 дней.

В отличие от Горьковского и Куйбышевского водохранилищ, в Волгоградском водохранилище не наблюдалось четкой вертикальной стратификации температуры и в содержании биогенных и органических веществ и растворенных газов, что обусловлено большей проточностью Волгоградского водохранилища (до 8 раз в год) и большей частотой и силой ветров на Волгоградском водохранилище, которые нарушают вертикальную стратификацию.

6. Систематические многолетние наблюдения на р. Волге у г. Волгограда дали возможность проследить за изменением химического состава воды р. Волги, происшедшими после сооружения на ней крупных водохранилищ, таких как Горьковское, Куйбышевское и Волгоградское.

По этим данным рассчитан сток растворенных в воде р. Волги веществ в Каспийское море, что необходимо для составления баланса химических веществ в этом море.

Сравнение ионного стока за 1957—1961 гг. с ионным стоком за 1924—1925 гг. показывает, что этот сток несколько увеличился и главным образом за счет хлоридов щелочных металлов. Такое увеличение ионного стока следует объяснить интенсивной разработкой калийных месторождений на р. Каме и сбросом промышленных и бытовых сточных вод в бассейн р. Волги. Сток же главных биогенных и органических веществ в Каспийское море за 1957—1961 гг. близок к стоку этих веществ, наблюдавшемуся у г. Куйбышева в 1952—1953 гг. и у г. Астрахани в 1936—1939 гг., кроме нитратного азота, сток которого несколько увеличился, что объясняется возросшим сбросом промышленных и бытовых сточных вод в Волгу.

7. Многократные в течение ряда лет определения электропроводности и химического состава воды р. Волги, Горьковского и Куйбышевского водохранилищ показали, что вода в них неоднородна как по ширине, так и по их длине.

Неоднородность воды в р. Волге, Горьковском и Куйбышевском водохранилищах по их ширине обусловлена различием химического состава воды впадающих в них притоков, а по длине — сезонными изменениями химического состава этих притоков.

В Горьковском водохранилище неоднородность воды по его ширине вызывается впадением притоков — рек Волги, Немды и Унжи, в р. Волге между Горьковским и Куйбышевским водохранилищами — впадением р. Оки, а в Куйбышевском водохранилище — впадением рек Волги и Камы. В Волгоградском водохранилище неоднородности воды по его ширине не наблюдалось, так как главный приток в него поступает из Куйбышевского водохранилища (94%), а остальные мелкие притоки (Сок, Самара, Б. Иргиз и др.) не оказывают существенного влияния на довольно однородный химический состав стока из Куйбышевского водохранилища.

Явление неоднородности воды по ширине р. Волги, Горьковского и Куйбышевского водохранилищ прослеживается на большом расстоянии ниже впадения притоков: при больших расходах воды (весенний паводок) неоднородность воды прослеживается на всем протяжении Горьковского и Куйбышевского водохранилищ и на сотни километров по р. Волге ниже устья р. Оки, при малых расходах (летняя межень) полное смешение вод притоков, впадающих в эти водохранилища и р. Волгу, происходит быстрее и заканчивается, не достигая плотин водохранилищ.

Многочисленные измерения электропроводности и определения суммы ионов в воде р. Волги, ее водохранилищ и притоков дали возможность установить зависимость между этими величинами, которая выражается формулой

$$\Sigma_{\text{и}} = 2,14 \times 10^4 \text{ мг-экв/л.}$$

Изучение скоростей течения воды, температуры и биомассы фитопланктона в воде приплотинных частей Горьковского, Куйбышевского и Волгоградского водохранилищ показало, что водные массы в водохранилищах на различной глубине движутся примерно с одинаковой скоростью (за исключением придонного слоя), независимо от расположения по вертикали сбросных отверстий: при поверхностном сбросе через плотину, при сбросе через турбины (турбинные отверстия расположены примерно на половине глубины), при донном водопуске в сбросе воды в нижний бьеф участвуют все слои воды водохранилища, что подтверждают опыты на моделях С. И. Штепанека.

8. Вода Верхней Волги до зарегулирования во все сезоны была не насыщена карбонатом и содержала агрессивную двуокись углерода. Такое же состояние карбонатного равновесия характерно в настоящее время и для воды Горьковского водохранилища.

Насыщенность воды карбонатом кальция Средней и Нижней Волги до зарегулирования реки возрастала в период летней межени вниз по течению, достигая у г. Волгограда 5-кратного пересыщения.

После создания Куйбышевского водохранилища насыщенности, а тем более пересыщенности карбонатом кальция воды Нижней Волги почти не наблюдалось. Это объясняется главным образом перераспределением минерализации воды в связи с накоплением весенних паводочных вод в Куйбышевском водохранилище.

Для воды характерно присутствие агрессивной двуокиси углерода почти во все исследуемые сезоны.

После зарегулирования Нижней Волги плотиной в створе Волгоградской ГЭС режим карбонатного равновесия в воде водохранилища не изменился по сравнению с состоянием равновесия в воде Нижней Волги до образования Волгоградского водохранилища. Причиной этого является высокая проточность водохранилища.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексин О. А. К изучению зимнего гидрологического режима Телецкого озера. Иссл. озер СССР, вып. 9, Л.—М., 1939.
2. Алексин О. А. Гидрохимическая изученность рек СССР. Метеорология и гидрология, № 4, 1946, стр. 56—58.
3. Алексин О. А. К вопросу о химической классификации природных вод. Труды НИУ ГУГМС, Вопросы гидрохимии, серия IV, вып. 32, 1946, стр. 25—39.
4. Алексин О. А. Гидрохимия рек СССР. Часть 2. Труды ГГИ, вып. 10/64, 1948, стр. 5—107.
5. Алексин О. А. Общая гидрохимия. Гидрометеониздат, Л., 1948.
6. Алексин О. А. Гидрохимическая классификация рек СССР. Труды ГГИ, вып. 4/58, 1948, стр. 209—224.
7. Алексин О. А. К изучению количественных зависимостей между минерализацией, ионным составом и водным режимом рек СССР. Труды ГГИ, вып. 25/79, 1950, стр. 25—35.
8. Алексин О. А. Характеристика агрессивности вод рек СССР. Метеорология и гидрология, № 2, 1958, стр. 60—66.
9. Алексин О. А. Ионный сток и средний состав речной воды для территории СССР. Труды ГГИ, вып. 33/87, 1951, стр. 43—63.
10. Алексин О. А. Основы гидрохимии. Гидрометеониздат, Л., 1953.
11. Алексин О. А. Химический анализ вод суши. Гидрометеониздат, Л., 1954.
12. Алексин О. А. и Моричева Н. П. Карбонатно-кальциевое равновесие в воде Волги. Гидрохим. материалы, т. XXVI, 1957, стр. 71—96.
13. Алексин О. А. и Моричева Н. П. К вопросу о стабильности карбонатной системы в природных водах. ДАН СССР, т. 117, № 6, 1957, стр. 1030—1033.
14. Алексин О. А. и Моричева Н. П. Изменение насыщенности карбонатом кальция речной воды при смешении ее с морской водой. Гидрохим. материалы, т. XXXI, 1961, стр. 92—107.
15. Алексин О. А. и Моричева Н. П. Расчет характеристик карбонатного равновесия. Современные методы химического анализа природных вод. Изд. АН СССР, 1961, стр. 158—171.
16. Алексин О. А. и Моричева Н. П. Стабильность карбонатного равновесия речной воды на примере р. Дон. Гидрохим. материалы, т. XXIX, 1959, стр. 39—53.
17. Алязов А. М. О методах расчета солености и концентрации главных ионов в воде открытых лиманов. Гидрохим. материалы, т. XXVII, 1958, стр. 96—106.
18. Антипова О. П. Рыбинское водохранилище. Изв. Гос. н.-и. ин-та озерного и речного рыбн. хоз-ва, т. L, 1961, стр. 31—50.
19. Антипова О. П. Основные сведения о существующих, строящихся и проектируемых водохранилищах СССР. Изв. Гос. н.-и. ин-та озерного и речного рыбн. хоз-ва, т. L, 1961, стр. 261—276.

20. Аристовская Г. В. Зимние заморы и донное население реки Волги. Труды Общ-ва естествоиспытателей при Казанском гос. ун-те, т. LVII, вып. 1—2, 1945, стр. 69—73.
21. Арнольд В. А. Об исследовании воды р. Волги и ее притоков. Сб. докладов и отчетов врачей сан. надзора Казанского округа путей сообщения, СПб, 1902, стр. 221—225. Дневник XI съезда естествоиспытателей и врачей в 1901 г. СПб, 1902, стр. 261—262.
22. Арнольд В. А. Некоторые данные о составе воды р. Волги и ее главных притоков. Русский врач, 1902 7, СПб, стр. 275 (одна страница).
23. Арнольд В. А. О воде реки Волги и ее главных притоков. Вестник общественной гигиены, судебной и практической медицины, 3, кн. 9, стр. 1396—1404; кн. 10, стр. 1495—1510, СПб, 1905.
24. Арнольд В. А. Вода р. Волги и ее главных притоков. Журнал Мин. путей сообщения, кн. VIII, СПб, 1905, стр. 154—175.
25. Бабанский М. М. Некоторые физико-химические свойства и технические показатели волжских дельтовых вод. Труды Ставропольского с.-х. ин-та, вып. III, 1948, стр. 325—332.
26. Бабанский М. М. Гидрохимическая характеристика волжских вод и ее возможные изменения в связи с проблемой Большой Волги. Труды Ставропольского с.-х. ин-та, вып. III, 1948, стр. 333—347.
27. Балабанова З. М. Химизм воды Верхней Камы и Вишеры. Тезисы докладов конференции по хим. географии вод, Пермский гос. ун-т, Пермь, 1949.
28. Балабанова З. М. Формирование гидрохимического режима Камского водохранилища. Тезисы докладов Всесоюз. совещания по вопросам рыбохозяйственного освоения водохранилищ, секция гидрологии и гидрохимии. Всесоюз. н.-и. ин-т озерного и речного рыбного хоз-ва, 1958, стр. 1—2.
29. Балабанова З. М. О влиянии промышленного загрязнения на Камское водохранилище первой очереди наполнения. Гидрохим. материалы, т. XXIX, 1959, стр. 75—80.
30. Балтало Ю. Ц. Очерк речного режима и гидрологические наблюдения в устьях Волги. Труды Ихтиологической лаборатории управления Каспийско-Волжских рыбных и тюленых промыслов, т. II, вып. 2, 1913, стр. 1—204.
31. Балыклевский А. И. О водоснабжении г. Астрахани и загрязнении ее питьевых вод. Астраханский водопровод в прошлом и настоящем. Изв. Общ-ва астраханских врачей, № 3, Астрахань, 1913, стр. 135—158.
32. Баранов И. В. Термический и гидрохимический режим Волги и Куйбышевского водохранилища в 1955—1957 гг. Труды Татарского отделения Всесоюз. н.-и. ин-та озерного и речного рыбн. хоз-ва, вып. 8, Казань, 1958, стр. 32—68.
33. Баранов И. В. Термический и гидрохимический режим Горьковского водохранилища. Труды Ин-та биологии водохранилищ, вып. 4 (7), 1961, стр. 294—320.
34. Барсукова Л. А. Гидрохимический режим волжской авандельты в районе Кировского банка. Труды Каспийского бассейнового филиала ВНИРО, т. 12, 1952, стр. 225—250.
35. Барсукова Л. А. Гидрохимическая характеристика дельты и авандельты Волги. Труды ВНИРО, т. 32, 1956, стр. 178—196.
36. Безлер Ф. И. и Трифонова Н. А. Материалы по распределению кислорода в Рыбинском водохранилище в зимний период. Бюллетень Ин-та биологии водохранилищ, № 8—9, 1960, стр. 72—78.
37. Бейсова М. П., Крюков П. А. и Маркович Г. М. Измерение электропроводности Н-катионированной воды в применении к определению ее минерализации. Гидрохим. материалы, т. XXVIII, 1959, стр. 199—208.

38. Белоусов П. и др. Данные для санитарной оценки русских водопроводных вод. Журнал Русского общ-ва охранения народного здравия, 1 (стр. 38—47); 2 (стр. 72—86), СПб, 1894.
39. Бенинг А. Л. Вода Казанского водопровода. Труды Общ-ва естествоиспытателей при Казанском ун-те, т. XV, вып. 2, Казань, 1913, стр. 1—61.
40. Бенинг А. Л. Материалы по гидрофауне придаточных систем реки Волги. V. Материалы по гидрофауне реки Камы. Работы Волжской биологической станции, т. IX, № 4—5, Саратов, 1928, стр. 177—297.
41. Behning A. L. Über das Leben der Wolga. Forsch. u. Fortschr. Berl., 1928, N 12, pp. 120—121.
42. Behning A. L. Das Leben der Wolga. Binnengewasser., Stuttg., 1928, 5, pp. 1—168.
43. Behning A. L. Über das Plankton der Wolga. Atti Congr. int. Limnol. teor., appl. Roma, 1929, pp. 192—212.
44. Блинов Л. В. О некоторой зависимости минерального состава речной воды от гидрологических факторов. Метеорология и гидрология, № 6, 1946, стр. 43—50.
45. Богданов И. Т. Материал к исследованию вод города Казани. Дневник Казанского общ-ва врачей, № 12, 1882, стр. 265—268.
46. Богусевич Л. Н. Кондуктометрический метод определения кальция в природных водах. Гидрохим. материалы, т. XXXII, 1961, стр. 184—191.
47. Болъцани И. А. Определение количества аммиака в воде Кабана, Волги и др. Собрание постановлений и записок Комитета по устройству в г. Казани водоснабжения, приложение 5, Университетская типография, 1867, стр. 84 (одна страница).
48. Большая Советская энциклопедия, т. 8, 1951, стр. 640—641.
49. Большая Советская энциклопедия, т. 8, 1951, стр. 602—612.
50. Боровкова Т. Н., Никулин П. И. и Широков В. М. Куйбышевское водохранилище. Куйбышевское книжное изд-во, 1962.
51. Бочков К. М. Опыт эксплуатации водохранилища. Сб. «Водохранилища для водоснабжения промышленных предприятий и населенных мест», Стройиздат, М.—Л., 1941, стр. 5—18.
52. Бочков Н. М. Водная среда и изменение ее качества при регулировании стока как фактора водохозяйственного расчета. Труды Первого совещания по регулированию стока. Изд-во АН СССР, М.—Л., 1956, стр. 216—224.
53. Бруевич С. В. Химия волжского стока в Каспийское море (1935—1940 гг.). Гидрохим. материалы, т. XVI, 1949, стр. 72—87.
54. Бруевич С. В. Химико-бактериологическое обследование реки Москвы от Хорошевского Серебряного Бора до Андреевского шлюза. Труды Санитарного ин-та им. Эрисмана, вып. 1, 1926, стр. 146—167.
55. Бруевич С. В. Исследование воды реки Москвы в 1925—1926 гг. Труды Санитарного ин-та им. Эрисмана, вып. 2, 1928, стр. 160—170, 124—132, 33—57.
56. Бруевич С. В. Гидрохимическое обследование реки Клязьмы в пределах Богородского и Орехово-Зуевского уездов. Труды Санитарного ин-та им. Эрисмана, вып. 3, 1928, стр. 109—125.
57. Бруевич С. В. Исследование воды реки Москвы в черте города Москвы в 1927 г. Труды Санитарного ин-та им. Эрисмана, вып. 5, 1929, стр. 172—187.
58. Бруевич С. В., Варфоломеева Ф. Я. и Скопинцев Б. А. Суточные колебания гидрохимических факторов в речных водах Оки и Клязьмы в 1930 г. Записки ГГИ, X, 1933, стр. 75—82.
59. Бруевич С. В. и Анничкова Н. И. Химия речного стока в Каспийское море. Труды по комплексному изучению Каспийского моря, вып. 14, изд. АН СССР, 1941, стр. 9—49.

60. Бруевич С. В. и Скопинцев Б. А. Гидрохимическое обследование реки Оки и ее притоков от Калуги до Казани. Исследования рек СССР, вып. 7, 1934, стр. 130—143.
61. Бубнов С. Ф. Москворецкая вода по течению реки в черте города и вода речки Неглинной по анализам 1892—1904 гг. Вода московского водопровода 1892—1904 гг. Ежегодные годовые отчеты Московской городской санитарной станции: 1900 г. — стр. 272—283; 1901 г. — стр. 235—238; 1902 г. — стр. 233—241; 1904 г. — стр. 224—235; 1905 г. — стр. 145—158; 1906 г. — стр. 228—243.
62. Будрин Р. Н. и Соколова А. А. Материалы по загрязнению Волги в районе Балахны и Большого Нижнего Новгорода. Гигиена и эпидемиология, № 1, 1930, стр. 29—37.
63. Бурдин И. Водоснабжение Сталинграда. Хоз-во на новых путях, 14, 1925, стр. 100—108.
64. Бурланд М. Б. Химическое исследование воды Ближнего и Дальнего Кабана летом 1893 г. Дневник общ-ва врачей при Казанском ун-те, вып. IV, 1894, стр. 245—282.
65. Бутлеров А. М. Доклад комитета по устройству водопровода и Казани. Казанские губернские ведомости, № 15, 1866, стр. 77—78.
66. Буторин Н. В. Краткая гидрологическая характеристика Волги на участке Горьковского водохранилища. Труды VI совещания по проблемам биологии внутренних вод. Изд-во АН СССР, М.—Л., 1959, стр. 328—334.
67. Буторин Н. В. О прозрачности и мутности воды Горьковского водохранилища. Труды Ин-та биологии водохранилищ, вып. 2 (5), 1959, стр. 204—211.
68. Буторин Н. В. Изменение основных гидрологических характеристик Горьковского водохранилища в период заполнения. Тезисы докладов Всесоюз. совещания по вопросам рыбохозяйственного освоения водохранилищ, секция гидрологии и гидрохимии, Всесоюз. н.-и. ин-т озерного и речного рыбного хоз-ва, 1958, стр. 4—5.
69. Буторин Н. В. О проточности зоны подпора Куйбышевского водохранилища. Бюллетень Ин-та биологии водохранилищ, № 8—9, 1960, стр. 67—71.
70. Буторин Н. В. К вопросу о проточности Ивановского и Угличского водохранилищ. Бюллетень Ин-та биологии водохранилищ, № 3, 1959, стр. 38—40.
71. Буторин Н. В. Изменение скоростного режима Волги в зоне подпора Горьковской ГЭС. Бюллетень Ин-та биологии водохранилищ, № 1, 1958, стр. 3—6.
72. Буторин Н. В. О скоростях течения Волги от Рыбинска до Сталинграда. Бюллетень Ин-та биологии водохранилищ, № 2, 1958, стр. 37—40.
73. Быков Н. А. Смещение воды рек Оки и Волги. Сб. статей, Горький, Горьковский ниж.-стронт. ин-т им. В. П. Чкалова, Горьковское отделение ВНИИ строителей, 1940, стр. 66—101.
74. Быков Н. А. К вопросу о заморе рыбы в пределах города Горького. Гигиена и санитария, № 9, 1940, стр. 20—25.
75. Баров А. А. Солевой состав Верхней Камы и ее притоков. Изв. Биологического н.-и. ин-та и биологической станции при Пермском гос. ун-те, т. 6, вып. 1, 1928, стр. 35—53.
76. Васильев В. С. Минерализация вод в водосборе реки Сакмы Пугачевского района Саратовского края. Уч. зап. Саратовского гос. ун-та им. Чернышевского, т. X, вып. 3, 1934, стр. 79—112.
77. Вернадский В. И. История минералов земной коры. Том 2. История природных вод, часть 1, вып. 2, Химтеорет, Л., ОНТИ, 1936.
78. Вертебная П. И. Фотосинтез фитопланктона Клязьминского водохранилища. Труды VI совещания по проблемам биологии внутренних вод. Изд-во АН СССР, М.—Л., 1959, стр. 273—282.

79. Вертушка морская модернизированная ВМ-М (описание и инструкция по эксплуатации), Гидрометеониздат, Л., 1953.
80. Викторов А. С. Химический состав р. Волги у Горького (выше Стрелки) по декадным наблюдениям городского Гидрологического ин-та за 1931 г. Ежемесячник Горьковского краевого гидромет. комитета, № 3—4 (26—27), 1933, стр. 10—14.
81. Викторов А. С. Гидрохимическая характеристика р. Кудьмы у дер. Новой. Ежемесячник Горьковского краевого управления Единой гидромет. службы СССР, № 6 (54), 1935, стр. 19—22.
82. Винецкая Н. И. Влияние гидростроительства на биогенный сток Волги и гидрохимический режим Северного Каспия. Труды Каспийского бассейнового филиала ВНИРО, т. 2, 12, 1952, стр. 251—258.
83. Водоснабжение, канализация и удаление нечистот. Изд. Главного врачебного управления, Петроград, 1912.
84. Волжин В. А. Анализ воды. Практическое руководство к физическому и химическому исследованию вод питьевых и для технических надобностей. Изд. 2-е, Екатеринбург, 1912.
85. Воробьев Н. И. Определение общей минерализации и сульфатного иона в природной воде по электропроводности. Гидрохим. материалы, т. XXI, 1953, стр. 121—134.
86. Воронков П. П. Основы расчета изменений минерализации воды водохранилищ волжской системы. Труды ГГИ, вып. 33 (87), 1951, стр. 26—42.
87. Воронков П. П. Некоторые особенности формирования полного состава водохранилищ в зоне избыточного увлажнения. Труды ГГИ, вып. 33 (87), 1951, стр. 129—145.
88. Воронков П. П. Основные черты режима биогенных соединений водохранилищ волжской системы в связи с их первичной продукцией. Труды ГГИ, вып. 37 (91), 1953, стр. 62—80.
89. Воронков П. П. Гидрометеорологические и гидрохимические условия возникновения явлений замора рыб в районе Средней Волги. Метеорология и гидрология, № 3, 1953, стр. 49—51.
90. Воскресенский К. П. Норма и изменчивость годового стока рек Советского Союза. Гидрометеониздат, Л., 1962.
91. Галактионова Т. В. Химизм р. Оки у д. Новинки в 1933 г. Ежемесячник Горьковского краевого управления Единой гидромет. службы СССР, № 1/49, 1935, стр. 10—19.
92. Галиев У. З. Гидрохимическая характеристика р. Казанки, изменение химизма ее воды после образования Куйбышевского водохранилища. Изв. Казанского филиала АН, серия геологических наук, № 7, 1959, стр. 397—401.
93. Гармонов И. В. Карта грунтовых вод степных и лесостепных районов Европейской части СССР. Изд. АН СССР, М., 1955.
94. Глебовский С. А. Вопросы народного здоровья на севере Костромской губернии в связи с водоснабжением. Врачебно-санитарный обзор Костромской губернии, вып. V, 1908.
95. Глинский Г. Н. Наблюдения над периодическим изменением количества содержания нелетучих органических веществ, растворенных в воде озера Кабана. Протоколы заседания общ-ва естествоиспытателей, Казань, 1874, приложение, стр. 1—4.
96. Голубев П. Исследование воды на Нижегородской ярмарке. Журнал судебной медицины и общественной гигиены, т. 1, СПб, 1884, стр. 42—54.
97. Гордон И. Л. Очистка воды и водоочистительные аппараты. Техника и экономика путей сообщения, т. 1, № 5, Л.—М., 1923.
98. Горемыкин В. Э. и Крюков П. А. Применение стеклянного электрода с натриевой функцией при анализе природных вод. Гидрохим. материалы, т. XXVIII, 1959, стр. 180—198.

99. Горшкова Т. И. Исследование органического вещества осадков илменной р. Волги и северной части Каспийского моря. Доклады (ВНИРО) по биологии, систематике и питанию рыб, по химии моря и сетеконсервированию, вып. 1, 1952, стр. 143—146.
100. Горюнов А. А. Электропроводность воды реки Волги. Труды ГГИ, вып. 3, 1936, стр. 79—85.
101. Громов Н. Н. Вода р. Волги и периодическое колебание ее состава в зависимости от времени года. Фармацевтический вестник, № 4, (стр. 59—61), № 5 (стр. 79—81), № 6 (стр. 99—104), № 7 (стр. 119—121), 1901.
102. Гусев А. Г. Влияние промышленных сточных вод на водохранилища, рыб и их кормовые объекты и мероприятия по ликвидации и недопущению загрязнения. Тезисы докладов Всесоюз. совещания по вопросам рыбохозяйственного освоения водохранилищ. Всесоюз. н.-и. ин-т озерного и речного рыбного хоз-ва, 1958, стр. 6—8.
103. Гусева Н. Н. Газовый режим Куйбышевского водохранилища в подледный период 1957—1958 и 1958—1959 гг. Бюллетень Ин-та биологии водохранилищ, № 1, 1961, стр. 53—56.
104. Давыдов Л. К. Гидрография СССР (воды суши), ч. 1 и 2. Изд-во Ленинградского гос. ун-та, 1953.
105. Данилов Ф. А. Водопроводы русских городов. Краткое описание устройства и данных по эксплуатации за 1909 и 1910 гг. Изд. Постоянного бюро Всероссийских водопроводных и санитарно-технических съездов, М., 1911 г. — стр. 1—213; 1913 г. — вып. 2, стр. 1—274.
106. Девриен В. Г. К исследованию воды реки Волги у города Самары. Врачебная газета, № 21, 1914, стр. 857—862.
107. Денисов Л. И. и Мейснер В. Е. Ивановское водохранилище. Изв. Гос. н.-и. ин-та озерного и речного рыбного хоз-ва, т. L, 1961, стр. 19—30.
108. Дзюбан И. Н. Опыт по определению интенсивности самоочищения воды от нефтяных остатков. Тезисы докладов Всесоюз. совещания по вопросам рыбохозяйственного освоения водохранилищ, секция гидрологии и гидрохимии, Всесоюз. н.-и. ин-т озерного и речного рыбного хоз-ва, 1958, стр. 8 (одна страница).
109. Дзюбан И. Н. Некоторые данные о микробактериях волжских водохранилищ. Бюллетень Ин-та биологии водохранилищ, № 5, 1959, стр. 7—8.
110. Дзюбан И. Н. К вопросу о способностях самоочищения воды волжских водохранилищ от нефтяных загрязнений. Бюллетень Ин-та биологии водохранилищ, № 1, 1958, стр. 11—14.
111. Денисова А. И. и Майстренко Ю. Г. Гідрохімія Каховського водоймища. Изд-во АН УССР, Киев, 1962.
112. Добровольский К. Э. и Ласточкин П. Н. К вопросу об изменениях состава воды р. Волги около Казани. Гигиена и санитарное дело, № 1 (стр. 3—21), № 2—3 (стр. 138—157), № 4 (стр. 249—262), 1915.
113. Добросклонский С. И. Указатель литературы по физико-химическому исследованию вод России. Гидрохим. материалы, т. II, 1916, стр. 71—216.
114. Додонова Е. В. Гидрохимическая характеристика р. Волги в районе Саратова за 1924—1949 гг. Труды Саратовского отд. Каспийского филиала ВНИРО, т. 1, 1951, стр. 197—211.
115. Долгов Г. И. О неоднородности воды в реке. Русский гидробиологический журнал, т. VII, № 3—4, 1928, стр. 43—80.
116. Долгов Г. И. Неоднородность состава воды в реках в связи с впадением притока и спуском сточных вод. Труды 2 Всесоюз. (XIV) водопроводного и санитарно-технического съезда в г. Харькове в 1927 г., вып. 3, М., 1929, стр. 63—94.

117. Долгов Г. И. Определение удельной электропроводности в практике водных исследований. Всесоюз. н.-и. ин-т водоснабжения, канализации, гидротехнических сооружений инженерной гидрогеологии (ВОДГЕО), М., 1954.
118. Драгомирова М. А. Содержание йода в питьевых водах. Труды биогеохимической лаборатории АН СССР, т. VII, М.—Л., 1949, стр. 5—18.
119. Драчев С. М. Изменение качества воды Верхней Волги после зарегулирования. Водоснабжение и санитарная техника, № 4, 1956, стр. 10—13.
120. Драчев С. М. и Скопинцев Б. А. Гидрохимическая характеристика р. Волги на участке от г. Калинин до устья р. Дубны по данным исследований 1931—1934 гг. Гидрохим. материалы, т. XII, 1941, стр. 151—154.
121. Дружинин И. Г., Буйневич Д. В. и Зиновьев А. А. Химические составы речных и озерных вод междуречья Волги и Урала. Труды Ин-та химии АН Киргизской ССР, вып. 6, 1955, стр. 87—99.
122. Дубровин Л. И., Матарзин Ю. М. и Печеркин И. А. Камское водохранилище. Пермское книжное изд-во, 1959.
123. Дубровский Н. И. Питьевые воды Владимирской губернии. Труды Владимирского общ-ва любителей естествознания, т. I, вып. I, 1903 (стр. 35—51); т. I, вып. II, 1904 (стр. 31—115).
124. Дубровский Н. И. К вопросу о загрязнении Владимирских рек. Труды Владимирского общ-ва любителей естествознания, т. I, вып. II, 1904, стр. 10—30.
125. Дуров С. А. Распределение и происхождение солевого состава речной воды. Труды Новочеркасского политехнического ин-та, т. XXV, 1955, стр. 34—49.
126. Дыхно М. и Александров И. Вода Казанского водопровода. Гигиена и эпидемиология, II, М., 1928, стр. 61—64.
127. Дышко Т. В. и Скопинцев Б. А. Содержание органического азота в водах рек и озер Подмосквья и крупных рек Советского Союза. Гидрохим. материалы, т. XXVIII, 1959, стр. 45—58.
128. Дышко Т. В. и Крылова Л. П. Изменение содержания органического вещества в пробах речных вод при их длительном хранении. Гидрохим. материалы, т. XXX, 1960, стр. 198—211.
129. Жданов С. П. Некоторые особенности гидрохимического режима р. Волги в 1939 и 1940 гг. и их объяснения. ДАН СССР, т. XXXIII, № 1, 1941, стр. 84—88.
130. Жданов С. П. Зимний гидрохимический режим Волги и волжские заморы 1939 и 1940 гг. Труды Зоологического ин-та АН СССР, т. VIII, 1948, стр. 503—538.
131. Забежинский Л. Н. и Шалдыбин К. Я. Исследование воды рек города Пензы. Сб. трудов Пензенского губернского санитарно-бактериологического ин-та, Пенза, 1928, стр. 24—34. Загрязненность Волги. Мореплавание и судоходство, 5, М., 1914, стр. 36—37.
132. Загрязнение и самоочищение водоемов СССР. Под ред. А. Н. Сысина. Труды экспедиции по изучению водохранилищ питьевого назначения. Изд-во Всесоюз. н.-и. ин-та коммунальной санитарии и гигиены, вып. 1, М., 1938.
133. Зайков Б. Д. Средний сток и его распределение в году на территории СССР. Гидрометеониздат, М.—Л., 1945.
134. Заленский Т. В. Результаты систематического химического и бактериологического исследования вод Волги и реки Костромы у берегов города Костромы, произведенного в 1910 г. Врачебно-санитарный обзор Костромской губернии, вып. V, 1911, стр. 14—25.
135. Зайников Н. П. Химизм Волги у города Горького. Ежемесячник Горьковского краевого управления Единой гидромет. службы СССР. № 6 (42), 1934, стр. 20—23.

136. З в о р ы к и н С. А. Кислородный режим реки Оки у Муром в 1924 и 1925 гг. Работы Окской биологической станции, т. IV, 1926, стр. 54—60.
137. З е н и н А. А. Неоднородность химического состава воды и процессы смешения водных масс. Тезисы докладов XII гидрохим. совещания по вопросам изучения химических процессов, протекающих в природных водах. Гидрохимический ин-т, Новочеркасск, 1958, стр. 36—37.
138. З е н и н А. А. Неоднородность химического состава воды Горьковского и Куйбышевского водохранилища. Тезисы докладов Всесоюз. совещания по вопросам рыбохозяйственного освоения водохранилищ, Всесоюз. н.-и. ин-т озерного и речного рыбного хозяйства, Л., 1958, стр. 9—10.
139. З е н и н А. А. Неоднородность состава волжской воды и процессы смешения ее водных масс. Гидрохим. материалы, т. XXXI, 1960, стр. 18—42.
140. З е н и н А. А. Неоднородность химического состава воды Горьковского и Куйбышевского водохранилища. Труды Всесоюз. совещания по биологическим основам рыбохозяйственного освоения водохранилищ. Всесоюз. н.-и. ин-т озерного и речного рыбного хозяйства, Л., 1961, стр. 80—83.
141. З е н и н А. А., Рогожкин В. И. и Фесенко Н. Г. О возможности послыйного спуска воды из водоема. Рыбное хоз-во, № 11, 1960, стр. 21—24.
142. З е н и н А. А., Рогожкин В. И. и Фесенко Н. Г. О характере перемещения водных масс в приплотинной части Цимлянского, Горьковского, Куйбышевского и Сталинградского водохранилищ. Гидрохим. материалы, т. XXXII, 1961, стр. 113—121.
143. З е н и н А. А. Режим главнейших ионов в воде р. Волги до ее зарегулирования (1954—1955 гг.) Гидрохим. материалы, т. XXXI, 1961, стр. 43—67.
144. З е н и н А. А. и Васильева В. Л. Режим биогенных и органических веществ и газового состава в воде Волги до ее зарегулирования (1954—1955 гг.). Гидрохим. материалы, т. XXXII, 1961, стр. 31—46.
145. З е н и н А. А. Зимний гидрохимический режим р. Волги после сооружения Куйбышевского водохранилища (1955—1957 гг.). Гидрохим. материалы, т. XXXIII, 1961, стр. 1—13.
146. З е н и н А. А. Минерализация воды Куйбышевского водохранилища по прогнозу и данным натурных наблюдений. Тезисы докладов XIII гидрохим. совещания по вопросам разработки методов прогноза качества воды в водохранилищах, Гидрохимический ин-т, Новочеркасск, 1959, стр. 29 (одна страница).
147. З е н и н А. А. и Лазарев К. Г. Минерализация воды Куйбышевского водохранилища по натурным наблюдениям и по прогнозу. Гидрохим. материалы, т. XXXIII, 1961, стр. 14—27.
148. З е н и н А. А., Кирюшкина В. В. и Проценко А. В. Режим биогенных веществ и газового состава Куйбышевского водохранилища (1956—1959 гг.). Труды зонального совещания по типологии и биологическому обоснованию рыбохозяйственного использования внутренних (пресноводных) водоемов южной зоны СССР. Изд-во «Штиинца» АН Молдавской ССР, Кишинев, 1962, стр. 30—36.
149. З е н и н А. А. Режим биогенных веществ и газового состава Куйбышевского водохранилища по наблюдениям в 1956—1959 гг. Тезисы докладов совещания по типологии и биологическому обоснованию рыбохозяйственного использования внутренних (пресноводных) водоемов южной зоны СССР. Изд-во «Штиинца» АН Молдавской ССР, Кишинев, 1960, стр. 9—10.
150. З е н и н А. А. и Фесенко Н. Г. Некоторые вопросы динамики водных масс больших русловых водохранилищ (на примере каскада волжских и Цимлянского водохранилищ). Тезисы докладов совещания по типологии и биологическому обоснованию рыбохозяйственного использования внутренних (пресноводных) водоемов южной зоны СССР. Изд-во «Штиинца» АН Молдавской ССР, Кишинев, 1960, стр. 10—12.

151. Зенин А. А. и Фесенко Н. Г. Некоторые вопросы динамики водных масс больших русловых водохранилищ (на примере каскада волжских и Цимлянского водохранилищ). Труды зонального совещания по типологии и биологическому обоснованию рыбохозяйственного использования внутренних (пресноводных) водоемов южной зоны СССР. Изд-во «Штиница» АН Молдавской ССР, Кишинев, 1962, стр. 37—40.
152. Зенин А. А. и Проценко А. В. Режим главнейших понов воды р. Волги у г. Волгограда (1957—1958 гг.). Гидрохим. материалы, т. XXXIV, 1961, стр. 32—47.
153. Зенин А. А., Кирюшкина В. В. и Морозова Г. М. Режим главнейших понов р. Волги в нижнем бьефе Волгоградского водохранилища (1959—1961 гг.). Гидрохим. материалы, т. XXXVIII, 1964.
154. Зенин А. А. и Проценко А. В. Режим биогенных и органических веществ и газового состава р. Волги у г. Волгограда (1957—1958 гг.). Гидрохим. материалы, т. XXXIV, 1961, стр. 48—59, т. XXXVIII, 1964, стр. 17—24.
155. Зенин А. А. Гидрохимический режим Горьковского водохранилища. Гидрохим. материалы, т. XXXVI, 1964, стр. 31—43; 84—100.
156. Зенин А. А. Результаты гидрохимических исследований волжских водохранилищ в 1954—1961 гг. Рукопись составлена Гидрохимическим ин-том и депонирована Ин-том информации АН СССР в 1964 г.
157. Зенин А. А. и Проценко А. В. Сток растворенных веществ р. Волги в Каспийское море. Гидрохим. материалы, т. XXXIV, 1961, стр. 60—66; т. XXXVIII, 1964, стр. 12—16.
158. Зенин А. А. и Кирюшкина В. В. Особенности гидрохимического режима Куйбышевского водохранилища. Тезисы докладов Первого научно-технич. совещания по вопросам изучения Куйбышевского водохранилища, Ставрополь-на-Волге, Комсомольская гидрометобсерватория, 1962, стр. 23—25.
159. Зимица О. Н. и Стяжкина Е. Г. Сезонные изменения общей жесткости воды р. Волги в районе строительства Куйбышевской ГЭС за 1951—1954 гг. Труды Куйбышевского мед. ин-та, т. VII, 1957, стр. 28—32.
160. Зимица О. Н., Колосова Нат. Н., Стяжкина Е. Г. и Колосова Н. Н. Зимний гидрохимический режим р. Волги в районе г. Куйбышева. Труды Куйбышевского мед. ин-та, т. VII, 1957, стр. 22—27.
161. Зиминова Н. А. Элементы гидрологического режима и водный баланс Ивановского водохранилища за 1951—1956 гг. Труды Ин-та биологии водохранилищ, вып. 2 (5), 1959, стр. 212—228.
162. Иванов В. Ф. Водоснабжение города Камышина грунтовой водой. Изв. Киевского политехн. ин-та, 4, 1915, стр. 423—494.
163. Иванов В. Ф. Водоснабжение города Камышина грунтовой водой. Киев, 1915, 75 стр.
164. Иванов К. И. Основные черты гидрохимического режима предустьевого пространства р. Волги и северной части Каспийского моря. Труды ГОИН, вып. 4 (16), 1948.
165. Иванов П. Т. Гидрохимическая характеристика Камы. Справочник по водным ресурсам СССР, Урал и Приуралье, т. XII, М., 1936, стр. 316—320.
166. Изотова А. В. К вопросу о колебании качества воды в колодцах Саратов. Вестник здравоохранения, 9—12, 1924, стр. 122—127.
167. Ипатов П. Ф. Случай периодического перевортывания речной струи. Гидрохим. материалы, т. XIX, 1951, стр. 140—145.
168. Ипатов П. Ф. Гидрохимический режим Средней Камы. Гидрохим. материалы, т. XIX, 1951, стр. 125—139.
169. Казаровец Н. М. Применение кондуктометрического метода к изучению распределения водных масс Рыбинского водохранилища. Бюллетень Ин-та биологии водохранилищ, № 7, 1960, стр. 45—49.

170. Каплин В. Т. Определение иона аммония в окрашенных и мутных природных водах. Гидрохим. материалы, т. XXXII, 1961, стр. 148—152.
171. Карнаухов А. С., Турнедкая А. и Розин Э. Гидрохимия р. Которосли. Уч. зап. Ярославского гос. пед. ин-та, вып. 31, 1957.
172. Кашинский П. А. Вычисление общего содержания минеральных веществ в воде и в водных вытяжках озерной грязи и почвы по результатам сокращенного анализа. Гидрохим. материалы, т. VI, 1930, стр. 32—69.
173. Каштанов С. Г. Водоснабжение важнейших населенных пунктов на р. Вятке. Горьковский край, 4, 1934, стр. 30—40.
174. Киреева А. С. Некоторые данные о гидрохимии Рыбинского водохранилища. Труды Биологической станции «Борок», вып. 2, 1955, стр. 335—350.
175. Клаус К. Химическое разложение вод города Казани. Уч. зап. Казанского ун-та, кн. IV, 1839, стр. 82—107.
176. Ключевский Ф. М. Условия рациональной эксплуатации прудов. Гидрохим. материалы, т. XX, 1953, стр. 29—94.
177. Кожевников Г. П. Горьковское водохранилище. Изв. Гос. н.-и. ин-та озерного и речного рыбного хоз-ва, т. L, 1961, стр. 51—61.
178. Колосова Нат. Н. и Колосова Н. Н. О стоке органического вещества р. Волги. Труды Куйбышевского мед. ин-та, т. VII, 1957, стр. 105—114, 162.
179. Колосова Нат. Н. и Колосова Н. Н. Сток растворенных биогенных веществ р. Волги. Труды Куйбышевского мед. ин-та, т. VII, 1957, стр. 115—133 и 163.
180. Колтунова А. С. Допустимые концентрации меди при спуске в водоемы промышленных сточных вод. Труды Акад. мед. наук, т. 16, 1951, стр. 99—118.
181. Коновалов Г. С. и Огурцова О. С. Фтор в речных водах. Гидрохим. материалы, т. XXIX, 1959, стр. 68—74.
182. «Контроль очистки воды». Отчет комиссии по наблюдению за питьевой водой и за источниками московского городского водоснабжения за 1913 г., М., 1915, стр. 56—133.
183. Коцин М. Б. Опыт систематического наблюдения над колебанием химического и бактериологического состава воды Москвы-реки за 1887—1888 гг. Сб. работ Гигиенической лаборатории Московского ун-та, вып. IV, М., 1891, стр. 1—177.
184. Кочин Н. В. К вопросу о проведении зоны санитарной охраны водоснабжения Сталинграда. Вестник здравоохранения Нижне-Волжского края, 9—10, Саратов, 1929, стр. 56—62.
185. Кошелев С. И. Состав вод источников (наземные воды), питающие станции Рязанско-Уральской железной дороги. Гидрохим. материалы, т. II, вып. 1—2, 1916, стр. 1—17.
186. Кравцов П. И. и Сорокин Ю. И. Образование сероводорода за счет восстановления сульфатов в Куйбышевском водохранилище. Труды Ин-та биологии водохранилищ, вып. 2 (5), 1959, стр. 191—196.
187. Кравченко И. П. Исследование р. Москвы и ее описание. Народный комиссариат путей сообщения, УВВП Волжского бассейна, М., 1930, стр. 194.
188. Кривенцов М. И., Лазарев К. Г. и Фесенко Н. Г. К вопросу о минерализации воды Куйбышевского водохранилища и части р. Волги от водохранилища до г. Вольска. Гидрохим. материалы, т. XX, 1953, стр. 3—17.
189. Кривенцов М. И. Об ожидаемой минерализации воды Сталинградского и Куйбышевского водохранилищ. Гидрохим. материалы, т. XXII, 1954, стр. 3—19.
190. Кривенцов М. И. Гидрохимический режим Пролетарского водохранилища. Гидрохим. материалы, т. XXVI, 1957, стр. 97—115.
191. Кротова Е. А. Химический состав и химическая денудация рек Пермской области. Уч. зап. Пермского ун-та, т. VIII, 1956, стр. 107—151.

192. Крылова Л. П. Микрометод определения углерода органического вещества природных вод. Гидрохим. материалы, т. XX, 1953, стр. 63—67.
193. Крылова Л. П. и Скопинцев Б. А. Содержание органического углерода в водах рек и озер Подмосквья и крупных рек Советского Союза. Гидрохим. материалы, т. XXVIII, 1959, стр. 28—44.
194. Куделли Б. И. Подземный сток в Каспийском море. Труды лаборатории гидрогеологических проблем им. Саваренского, т. III, 1948, стр. 164—171.
195. Куделли Б. И. Современное состояние вопроса о подземном питании рек и задачи дальнейших исследований. Труды III Всесоюзн. гидролог. съезда, т. IX, Гидрометеондат, Л., 1959, стр. 35—23.
196. Кудрявцев Д. Д. Сравнительная характеристика гидрохимического режима водохранилищ Верхней Волги: Ивановского, Угличского и Рыбинского. Труды Биологической станции «Борок», вып. I, 1950, стр. 80—96.
197. Кудрявцев Д. Д. Материалы к гидрохимической характеристике Волжского отрога Рыбинского водохранилища 1943—1946 гг. Труды Биологической станции «Борок», вып. I, 1950, стр. 35—79.
198. Кузнец П. С. Волга завтра. Гидрометеондат, Л., 1951.
199. Кузнецов А. М. Об изменении солевого состава воды Камы у Левшино. Изв. Естественно-научного ин-та при Пермском ун-те, т. VIII, вып. 6, 1952, стр. 495—502.
200. Кузнецов С. И. и Курсанов А. Л. Некоторые данные по химизму и биологии реки Чусовой и ее притоков. Русский гидробиологический журнал, т. VI, № 1—2, 1927, стр. 25—34.
201. Курдина Т. Н. Элементы гидрологического режима и водный баланс Угличского водохранилища. Труды Ин-та биологии водохранилищ, вып. 2 (5), 1959, стр. 229—245.
202. Курдина Т. Н. Температура воды в Куйбышевском водохранилище весной 1956—1957 гг. Бюллетень Ин-та биологии водохранилищ, № 2, 1958, стр. 41—43.
203. Кушлянский Н. Е. Воды реки Камы района Березников в связи с их использованием в 1930 г. Журнал прикладной химии, т. V, вып. 3—4, 1932, стр. 448—457.
204. Кушлянский Н. Е. Гидрохимический очерк р. Цны. Журнал прикладной химии, т. IX, вып. 5, 1936, стр. 899—912.
205. Лапин Л. Н. и Заманов Р. X. Меркуриметрический метод определения хлоридов в воде. Гигиена и санитария, № 10, 1954, стр. 16—20.
206. Ларин И. Отчет об исследовании воды для питья частей войск, расположенных в городе Астрахани и Астраханского местного лазарета в 1895 г. Военно-медицинский журнал, т. CLXXXVIII (188), кн. 1, 1897, стр. 281—328.
207. Латышева М. К. К вопросу о динамике содержания кислорода в грунтовых водах. Проблемы почвоведения, № 3, 1936, стр. 191—199.
208. Лаумянская Г. А., Юрвичюс Р. Ю. Карбонатно-кальциевое равновесие в воде залива Куршо-Марес. Труды АН Лит. ССР, серия Б, т. 4, 1962, стр. 53—70.
209. Лаупман П. П. и Томашевич А. С. О типах гидроэлектростанций, совмещенных с водосбросами. Гидротехническое строительство, № 1, 1957, стр. 7—14.
210. Лебединцев А. и Добротворский А. О химизме тузлуков по литературным и экспериментальным данным. (Предварительное сообщение из гидрохимической лаборатории Николаевского рыбного завода). Вестник рыбопромышленности, 7—8, 1906, СПб, стр. 312—314.
211. Лукин А. В. Куйбышевское водохранилище. Изв. Гос. н.-и. ин-та озерного и речного рыбного хоз-ва, т. L, 1961, стр. 62—76.
212. Лукин А. В. О волжском заморе. Труды Общ-ва естествоиспытателей при Казанском гос. ун-те, т. LVII, вып. 1—2, 1945, стр. 47—68.

213. Луккин А. В. и Субботин А. А. Рыбный промысел на реке Волге (в районе Тетюш) в связи с замором. Информ. сб. консультативного бюро ВНИОРХ, № 3, Л., 1940, стр. 11—14.
214. Лукьянов И. К. О составе воды некоторых рек Татарской и Чувашской республик с санитарной точки зрения. Вопросы оздоровления Татарии, II, Казань, 1932, стр. 96—125.
215. Лукьянов И. К. Река Казанка как источник водоснабжения сельских населенных мест. Вопросы оздоровления Татарии, II, Казань, 1932, стр. 126—139.
216. Малинов Л. П. О растворенном кислороде в почвенной воде. Труды Конференции по почвоведению, т. 1, Саратов, 1937, стр. 259—303.
217. Макарова А. К. Динамика кальция, магния и сухого остатка р. Волги. Труды ГГИ, вып. 3, 1936, стр. 97—111.
218. Марков Е. С. Артезианские скважины при наземных винных складах в Саратовской и смежных с нею губерниях. Изд. Отд. зем. улучшений Глав. упр. З. и З., Петроград, 1908, 90 стр.
219. Матвеев И. Н. Бани города Саратова. Саратовская земская неделя, № 16—17, 1897, стр. 212—228.
220. Материалы наблюдений на Куйбышевском водохранилище в 1958 г., вып. II, Приволжское управление Гидрометслужбы, Горький, Комсомольская обсерватория, 1962, стр. 30.
221. Материалы по исследованию вод. Центр. хим. лаборатория мин. финансов в С.-Петербурге. СПб, 1913, стр. 23—51.
222. Материалы к вопросу об изменчивости состава воды рек и других источников по анализам Центральной лаборатории и Губернских Акцизных лабораторий. Материалы к обзору деятельности лаборатории за 1897—1908 гг. Таблицы. Одесса, 1909, стр. 61—96.
223. Микей Н. И. Характеристика общей жесткости речной воды на территории СССР. Труды ГГИ, вып. 17 (71), 1949, стр. 5—39.
224. Милославский В. В. Загрязнение р. Казанки по исследованиям 1912—1938 гг. Труды Казанского гос. мед. ин-та, вып. 1—2, 1939, стр. 309—357.
225. Милославский В. В. и Лось Л. И. Водоснабжение Марийской области в санитарном отношении по данным обследования 1929 г. Труды экспедиции по изучению эпидемического зоба в Марийской области, ч. 1, Казань, 1931, стр. 31—105.
226. Милославский В. В. и Лось Л. И. К проблеме оздоровления озера Кабана и протока Булака. Сб. здравоохранения ТССР, Казань, 1930, стр. 40—48.
227. Мильков Ф. Н. Среднее Поволжье. Изд. АН СССР, М., 1953.
228. Михайловская Л. А. Гидрохимическая характеристика р. Тверцы. Гидрохим. материалы, т. XIV, 1948, стр. 128—130.
229. Морковников В. В. Поездка в Астраханскую губернию и на Кавказ для исследования горьких соляных озер. Горный журнал, II, № 5, СПб, 1885, стр. 197—221.
230. Морковников В. В. О соляных озерах юго-восточных областей России. Труды отд. физ. наук, 3, 1 в. Изв. Московского общ-ва любителей естествознания, 65, 1, 1890, стр. 7—8.
231. Мосевич Н. А. О причинах возникновения резкого зимнего дефицита кислорода в Волге в 1941 году. Труды Общ-ва естествоиспытателей при Казанском гос. ун-те, т. 57, № 3—4, 1947, стр. 145—152.
232. Мосевич Н. А. Влияние сточных вод отдельных видов промышленности на микробиологические процессы в водоемах. Тезисы докладов Всесоюз. совещания по вопросам рыбохозяйственного освоения водохранилищ, секция гидрологии и гидрохимии. Всесоюз. н.-и. ин-т озерного и речного рыбного хозяйства, 1958, стр. 14—15.
233. Мясникова А. Гидрохимия р. Волги у ст. Вязовой. Метеорология и гидрология, № 3, 1936, стр. 78—80.

234. Наставления гидрометеорологическим станциям и постам, вып. 6, ч. 1, § 38, Гидрометенгиздат, Л., 1957, стр. 26.
235. Несмеянов С. А. Донные отложения и кислородный режим водоемов. Опыт изучения кислородной стабилизации нерастворенных веществ в реках. Изд. Акад. мед. наук СССР, М., 1950, 160 стр. (Ин-т общей и коммунальной гигиены Акад. мед. наук СССР).
236. Нечипоренко Г. Н. К вопросу определения сульфатных ионов методом прямого титрования азотнокислым свинцом с индикатором дифенилкарбазоном. Гидрохим. материалы, т. XXIX, 1959, стр. 213—218.
237. Нижнее Поволжье. Изд. АН СССР, М.—Л., 1948.
238. Никитин А. Ф. Вода Волги и Оки у Нижнего Новгорода и 12 волжских притоков. Вестник общественной гигиены, судебной и практической медицины, кн. X, 1905, стр. 1540—1555.
239. Никитин А. Ф. Источник загрязнения р. Волги. Журнал мин. путей сообщения, кн. 4, СПб, 1902.
240. Никитин А. Ф. Таблицы химических анализов воды рек Волжского бассейна. Сб. докладов и отчетов врачей сан. надзора Казанского округа путей сообщения, материалы для сан. описания реки Волги и ее судоходства, СПб, 1902, стр. 220.
241. Никитин С. Н. Бассейн Сызрана. Исследование гидрогеологического отдела 1894 и 1896 гг. Труды экспедиции для исследования источников главных рек Европейской России. СПб, 1898, стр. 1—151.
242. Николаев В. И. и Сегель Н. М. Сезонные колебания концентрации калия, брома и борной кислоты в соляных озерах дельты р. Волги. Гидрохим. материалы, т. XIII, 1947, стр. 124—128.
243. Никулин П. И. Ветровольной режим и переработка берегов Куйбышевского водохранилища при различных стадиях его наполнения. Труды III Всесоюзн. гидрол. съезда, т. IV, 1959, стр. 140—150.
244. Обухов П. Ф. Фосфор в санитарной оценке воды. Сообщение II. Гигиена и санитария, № 3, 1948, стр. 15—18.
245. Озеров С. А. Волга, Ока, Москва-река как источники водоснабжения города Москвы. Труды комиссии по изысканию новых источников водоснабжения города Москвы, вып. 4, 1927, стр. 167.
246. Озеров С. А. Деятельность и наблюдения Рублевской лаборатории. Труды XI Всероссийского водопроводного и санитарно-технического съезда в Риге 1913 г., вып. 2, М., 1914, стр. 136—161.
247. Озеров С. А. Мытищенская вода и причины увеличения ее жесткости. Труды комиссии, организованной Московским городским общественным управлением по исследованию причин усиления жесткости Мытищенской воды, часть химическая, отд. 2, М., 1915, стр. 1—212.
248. Ольдекоп П. Волжская вода у г. Астрахани. Архив судебной медицины и общественной гигиены, № 4, СПб, 1867, стр. 139—147.
249. Ольдекоп П. Медико-топография города Астрахани и его окрестностей. Изв. Русского географ. общ-ва за 1871 г., т. VII, № 5, СПб, 1871, стр. 239—245.
250. Орлов В. Д. Современное санитарное состояние г. Казани и меры оздоровления и благоустройства за пятилетний период 1889—1893. Казань, 1893.
251. Орлов С. С. Москворецкая вода по течению реки в черте города по анализам в 1905 г. Вода Московского водопровода в 1905 г. 14-й годовой отчет Московской городской санитарной станции за 1905 г., М., 1912, стр. 153—266.
252. Отчет о деятельности городской санитарной лаборатории за 1908 г. Сведения о врачебно-санитарной организации г. Нижнего Новгорода, № 5—6, 1908.
253. Отчеты о деятельности химического отделения городской химико-бактериологической лаборатории. Сведения о деятельности врачебно-санитарной организации и больниц г. Саратова, № 7, 8, 9 1912 г. (стр. 61—63); № 10, 11, 12 (стр. 63 и 65); № 1 1913 г. (стр. 82—91).

254. Отчеты временного комитета по изысканию мер к охране водоемов Московского промышленного района от загрязнений сточными водами и отбросами фабрик и заводов за 1912—1914 гг., М., 1913, 22 стр.; 1914, стр. 690—842; 1915, стр. 390—533; 1917, стр. 263.
255. Отчет комиссии по наблюдению за питьевой водой и за источниками Московского городского водоснабжения за 1913 г. М., 1915, 273 стр.
256. Павлинова Р. М. Биологическое обследование р. Волги в районе от г. Городца до Собинского затона в 1926 и 1927 гг. Труды Ин-та сооружений. Материалы по очистке сточных вод бумажной промышленности, вып. 7, часть II, М., 1930, стр. 3—165.
257. Павлинова Р. М. О загрязнении реки Волги Правдинским бумажным комбинатом. Бумажная промышленность, № 8, 1935, стр. 48—59.
258. Павлинова Р. М. Обследование р. Камы в районе строительства бумкомбината. Бумажная промышленность, № 7, 1934, стр. 57—62.
259. Пастак Е. А. Щелочность воды р. Волги. Труды ГГИ, вып. 3, 1936, стр. 86—96.
260. Пашкина-Вертячих Н. И. Отчет по исследованию питьевых источников в Данковском уезде Рязанской губернии, № 4, 1913, стр. 249—288.
261. Пашкина-Вертячих Н. И. Отчет по исследованию питьевых источников в Рязанском уезде Рязанской губернии. Врачебно-санитарная хроника Рязанской губернии, № 5, 1914, стр. 418—447.
262. Первов А. Д. О качестве воды, потребляемой в больницах Тверского уездного земства. Медицинская беседа. Журнал Общественной медицины и гигиены, т. XVI, 1902, № 15, стр. 437—439; № 16, стр. 464—468; № 17, стр. 497—499.
263. Перловская О. П. Отчет по исследованию питьевых источников в Рязанском уезде Рязанской губернии в 1914 г. Врачебно-санитарная хроника Рязанской губернии, № 11, 1914, стр. 989—1043.
264. Петров Ф. А. Гидрохимические исследования Сибирской рыбохозяйственной станции в 1927 г. Работы научно-промысловой экспедиции по изучению р. Оби, т. I, вып. 6, 1928 (цитировано по Б. А. Скопнищеву, [302]).
265. Петунников А. Н. Состав и свойства московских вод. Изв. Московской городской Думы, вып. III, 1879, стр. 15—31. По поводу исследования вод, вып. XXII, 1881, стр. 29—36.
266. Пиварелис В. П. Естественный химизм воды потоков как мера их расхода воды. Труды Центр. ин-та экспериментальной гидрологии и метеорологии, вып. II (44), 1935, стр. 126—145.
267. Пилипенко П. П. Радиоактивность вод в окрестностях г. Саратова. Уч. зап. Саратовского гос. ун-та, 4, № 2, 1925, стр. 62—67.
268. Пнотрович В. В. Расчет сроков ледостава и очищения ото льда озер и водохранилищ. Гидрометеониздат, М., 1955.
269. Плешков Я. Ф. Солевой режим водохранилищ. Гидрохим. материалы, т. XIX, 1951, стр. 55—124.
270. Померанцев Г. П. Камское водохранилище. Изв. Гос. н.-и. ин-та озерного и речного рыбного хоз-ва, т. I, 1961, стр. 88—101.
271. Покровский Н. А. Отчего испортилась вода в реке Цне? Тамбовские губернские ведомости, № 19 и 21 (газеты), 1878.
272. Пономарев С. С. Работа фильтровальной станции в г. Нижнем Новгороде. Труды X водопроводного и санитарно-технического съезда в Варшаве 1911 г., 2, 1912, стр. 30—44.
273. Попов В. Н. Анализ водных проб Синегорской экспедиции. Вятская жизнь, № 4, 1923, стр. 28—37.
274. Попов В. Н. Материалы к изучению химического характера и некоторых других свойств вод Вятской губернии и ближайших к ней местностей. Врачебно-санитарная хроника Вятского Губздрав, № 2—3, 1924, стр. 52—73.

275. Попов С. П. Общая гидрохимическая и бактериологическая характеристика воды р. Камы и ее притоков. Труды и материалы Пермского гос. мед. ин-та, т. X, 1938, стр. 3—11.
276. Попов Г. И. Прогноз солености воды Кумовского водохранилища. Гидрохим. материалы, т. XV, 1948, стр. 134—169.
277. Попов С. М. Санитарный обзор и медико-статистическое исследование города Астрахани, вып. 1, Астрахань, 1895, стр. 28—49.
278. Претро Г. А. Особенности различных типов смещенных зданий гидростанций и области их применения. Гидротехническое строительство, № 7, 1957, стр. 12—16.
279. Привалов В. М. Санитарное состояние реки Яузы в пределах г. Москвы. Московский мед. журнал, № 5, 1925, стр. 75—88.
280. Приймаченко А. Д. Фитопланктон Волги от Ярославля до Сталинграда. Труды Ин-та биологии водохранилищ, вып. 2 (5), 1959, стр. 52—65.
281. Приймаченко А. Д. Состав и основные закономерности распределения биомассы фитопланктона в водохранилищах равнинных рек СССР. Труды Ин-та биологии водохранилищ, вып. 3 (6), 1960, стр. 59—86.
282. Пушкарев Н. Н. О составе воды в разных местах дельты р. Волги и Сев. Каспия. Труды I Всероссийского гидролог. съезда, 1924, стр. 526—527.
283. Радищев В. П. О кислородном режиме р. Волги у г. Саратова. Работы Волжской биологической станции, т. VII, № 4—5, 1924, стр. 189—199.
284. Радищев В. П. О колебаниях химического состава волжской воды у Саратова. Работы Волжской биологической станции, т. VIII, № 4—5, 1926, стр. 231—264.
285. Раммуль А. И. О водоснабжении города Москвы. Вестник общественной гигиены, судебной и практической медицины, т. IX, 1908, стр. 1400—1426.
286. Раммуль А. И. Краткое описание сооружений Москворецкого водопровода. Краткое описание московских водопроводов, М., 1910, стр. 43—80.
287. Распопов М. П. Районирование подземных вод равнины ЕТС по условиям их стоков в реки. Труды ГГИ, вып. 27 (81), 1950, стр. 5—57.
288. Рождественская Л. П. Химизм реки Оки у Новинки Горьковского края в 1933 г. Ежемесячник Горьковского краевого управления Гидромет. комитета, № 1—2 (25—26), 1933, стр. 17—21.
289. Россолмо А. И. Химическое исследование р. Волги в районе г. Балахны. Труды Ин-та сооружений. Материалы по очистке сточных вод бумажной промышленности, вып. 7, ч. II, М., 1930, стр. 166—180.
290. Россолмо Л. Л. Очерки по географии внутренних вод СССР. Гос. уч.-пед. изд-во Мин. просвещения РСФСР, М., 1953.
291. Рума Р. Н. Санитарное значение в применении к г. Перми. 1881.
292. Рутковский В. И. Предварительные итоги первой гидролого-гидрохимической синхронной съемки Рыбинского водохранилища. Бюллетень Ин-та биологии водохранилищ, № 2, 1958, стр. 44—48.
293. Рутковский В. И. и Киреева А. С. Основные черты кислородного режима Рыбинского водохранилища. Труды VI совещания по проблемам биологии внутренних вод, 1959, стр. 301—310.
294. Саваренский Ф. П. Некоторые данные по химической денудации в верховьях рек Волги, Москвы и Оки. Труды лаборатории гидрогеологических проблем, т. 1, 1948, стр. 19—24.
295. Селиванов Ф. Ф. Об изменяемости концентрации естественных вод СССР. Журнал прикладной химии, т. VIII, вып. 3, 1935, стр. 445—470, т. XI, вып. 7—8, 1938, стр. 1197—1216.
296. Семенов А. Д. и Дацко В. Г. Модификация микрометода определения органического углерода в природных водах сжиганием в плаве селитры. Гидрохим. материалы, т. XXIX, 1959, стр. 238—241.

297. Симмаков В. Н. Полевые почвенно-химические исследования района рек Кети и Тьма в связи с явлением замора в 1927 г. Работы научно-промышленной экспедиции по изучению р. Оби, т. I, вып. 3, 1928 (цитировано по Б. А. Скопинцеву [302]).
298. Синцов И. Ф. О буровых и копанных колодцах казенных винных складов. Записки С.-Петербургского минералог. общ-ва, серия 2, ч. 42, вып. I, Петроград, 1904, стр. 85—235; ч. 45, вып. I, 1907, стр. 1—263.
299. Скворцов И. Казанский водопровод. Здоровье, т. I, № 5, 1874, стр. 99—101; № 6, стр. 119—121.
300. Скопинцев Б. А. и Чаликов Е. О заморе на Волге в зиму 1939 г. Рыбное хозяйство, № 6, 1940, стр. 34—36.
301. Скопинцев Б. А. Подледный гидрохимический режим р. Волги и некоторых рек Волжского бассейна. Гидрохим. материалы, т. XII, 1941, стр. 159—168.
302. Скопинцев Б. А. Еще раз о подледном гидрохимическом режиме Волги зимой 1939 г. Гидрохим. материалы, т. XX, 1953, стр. 22—28.
303. Скопинцев Б. А. Гидрохимическое обследование р. Москвы от д. Татарово до устья. Исследование рек СССР, вып. 7, Горький, 1935, стр. 120—129.
304. Скопинцев Б. А. Содержание органического вещества в некоторых водах Подмосковья. ДАН СССР, т. LXI, № 2, 1948, стр. 293—296.
305. Скопинцев Б. А. Гидрохимическая характеристика каналов и рек Марининской системы. Гидрохим. материалы, т. XI, 1939, стр. 120—130.
306. Скопинцев Б. А. О потреблении кислорода в природных водах стойкими органическими веществами. Гидрохим. материалы, т. XVI, 1949, стр. 61—71.
307. Скопинцев Б. А. Методы определения органического вещества в природных водах. Труды биохимической лаборатории АН СССР, т. IX, 1949, стр. 65—126.
308. Скопинцев Б. А. Изменения некоторых химических и физических свойств природных вод при их длительном хранении. Гидрохим. материалы, т. XVII, 1950, стр. 108—124.
309. Скопинцев Б. А. Некоторые данные о содержании органического углерода в реках в зимнюю межень. Гидрохим. материалы, т. XXIII, 1955, стр. 36—38.
310. Скопинцев Б. А. О соотношении между кислородом окисляемости, органическим углеродом и общим содержанием органического вещества в природных водах. Гидрохим. материалы, т. XVIII, 1950, стр. 57—58.
311. Скопинцев Б. А. и Драчев С. М. Гидрохимическая характеристика рр. Дубны, Сестры, Яхромы, Икши, Волгуши по данным исследования 1932—1933 гг. Гидрохим. материалы, т. XII, 1941, стр. 155—157.
312. Скопинцев Б. А. и Михайловская Л. А. Гидрохимическая характеристика р. Москвы от г. Звенигорода до г. Коломны в августе 1934 г. Гидрохим. материалы, т. XI, 1939, стр. 104—111.
313. Скопинцев Б. А. и Михайловская Л. А. О качественной характеристике органических веществ природных вод. Гидрохим. материалы, т. XIV, 1948, стр. 108—114.
314. Соколов А. и Померанцев Д. Состав воды р. Яузы в различных местах ее течения. М., 1891.
315. Соколов А. И. Результаты анализов воды р. Яузы. II. Суточные колебания кислорода в воде. Журнал Русского общ-ва охранения народного здоровья, № 12, 1892, стр. 885—906.
316. Соколов Н. В. Анализ воды р. Оки и источников, питающих водопровод г. Нижнего Новгорода. Журнал Русского физ.-хим. общ-ва, т. XI, вып. 6, ч. хим. СПб, 1879, стр. 243—247.
317. Сорокин Ю. И. Процесс образования сероводорода в волжских водохранилищах и его влияние на кислородный режим. Тезисы докладов Всесоюз. совещания по вопросам рыбохозяйственного освоения водохрани-

- лищ, секция гидрологии и гидрохимии. Всесоюз. н.-и. ин-т озерного и речного рыбного хоз-ва, 1958, стр. 19—20.
318. Сорокин Ю. И. О содержании сульфидов в грунтах Черемшанского и Сусканского заливов Куйбышевского водохранилища. Бюллетень Ин-та биологии водохранилищ; № 6, 1960, стр. 3—6.
 319. Сорокин Ю. И. Бактериальное восстановление сульфатов в Куйбышевском водохранилище. Труды Ин-та биологии водохранилищ, вып. 3 (6), 1960, стр. 36—49.
 320. Сорокин Ю. И. Метан и водород в воде волжских водохранилищ. Труды Ин-та биологии водохранилищ, вып. 3 (6), 1960, стр. 50—58.
 321. Справочник по водным ресурсам СССР. Нижнее Поволжье, т. V, 1934, стр. 89—154.
 322. Справочник по водным ресурсам СССР. Среднее Поволжье, т. IV, ч. I, 1935, стр. 68—123.
 323. Страхов Н. М. О карбонатном режиме рек. Советская геология, 18, 1947.
 324. Страхов Н. М. Известково-доломитовые фации современных и древних водоемов. Труды Ин-та геол. наук АН СССР, геол. серия, вып. 124, № 45, 1951.
 325. Страхов Н. М., Бродская Н. Г., Князева Л. М. и др. Образование осадков в современных водоемах. Изд-во АН СССР, М., 1954.
 326. Таблицы анализов источников железнодорожных водоснабжений. Труды XI Всероссийского водопроводного и санитарно-технического съезда в Риге в 1913 г., вып. 1, М., 1914, стр. 1—137 (приложение к докладу П. С. Белова).
 327. Тиле Р. Записка о причинах, по коим Казань принадлежит к городам, здоровью неблагоприятствующим. Заволжский муравей, т. 3, № 19, Казань, 1833, стр. 1077—1096; № 20, стр. 1130—1138.
 328. Трифонов А. К. О неоднородности воды р. Камы ниже устья р. Чусовой. Изв. Биологического н.-и. ин-та и биологической станции при Пермском гос. ун-те, т. IV, вып. 6, 1926, стр. 273—279.
 329. Трифонов А. К. Некоторые данные по гидрохимии бассейна Верхней Камы. Изв. Биологического н.-и. ин-та и биологической станции при Пермском гос. ун-те, т. V, вып. 3—4, 1927, стр. 147—161.
 330. Трифонова Н. А. Гидрохимическая характеристика Угличского водохранилища по материалам 1955—1958 гг. Труды Ин-та биологии водохранилищ, вып. 4 (7), 1961, стр. 321—327.
 331. Трифонова Н. А. Гидрохимическая характеристика Иваньковского водохранилища. Тезисы докладов Всесоюзного совещания по вопросам рыбохозяйственного освоения водохранилищ, секция гидрологии и гидрохимии. Всесоюз. н.-и. ин-т озерного и речного рыбного хоз-ва, 1958, стр. 20—21.
 332. Трифонова Н. А. О зимнем гидрохимическом режиме Иваньковского водохранилища. Труды Ин-та биологии водохранилищ, вып. 3 (6), 1960, стр. 307—313.
 333. Тэгартен А. Несколько слов к вопросу о санитарной оценке воды и исследование воды из волжского приемника и водосборных колодцев Самарского водопровода. Фармацевтический журнал, № 27, 1889, стр. 417—421; № 28, стр. 433—438.
 334. Уклонский А. С. Краткий отчет по гидрогеологическим исследованиям правобережной Оки и Волги. Нижполиграф, 1923, стр. 1—3.
 335. Федосов М. В. Особенности гидрохимического режима в низовье реки Волги. Труды ГОИН, вып. 15 (27), 1950, стр. 113—121.
 336. Федосов М. В. Детали гидрохимии Северного Каспия и дельты Волги. Доклады (ВНИРО) по биологии, систематике и питанию рыб, химии моря и сетеконсервированию, вып. 1, 1952, стр. 136—142.
 337. Федосов М. В. Химическая основа кормности Азовского моря и прогноз ее изменения в связи с гидростроительством на реках. Труды ВНИРО, т. XXXI, 1955, стр. 35—61.

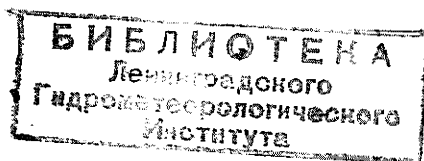
338. Фесенко Н. Г. Прямое комплексометрическое определение кальция в воде. Зав. лаб., № 6, 1954, стр. 681—683.
339. Фесенко Н. Г. и Рогожкин В. И. Аккумуляция соединений фосфора и азота Цимлянским водохранилищем за 1954—1957 гг. и изменение их стока в створе гидроузла. Гидрохим. материалы, т. XXX, 1960, стр. 10—31.
340. Фесенко Н. Г. Гидрохимический облик Цимлянского водохранилища в период ввода его в эксплуатацию. Гидрохим. материалы, т. XXV, 1955, стр. 69—97.
341. Фивейский В. М. Отчет о деятельности Нижегородской городской санитарной комиссии за 1898 г. Нижний Новгород, 1901, стр. 79, 137—148.
342. Фивейский В. М. Отчет о деятельности Нижегородской городской санитарной комиссии за 1899—1900 гг., 1901, стр. 195—209.
343. Фортунатов М. А. Цветность и прозрачность воды Рыбинского водохранилища как показатели его режима. Труды Ин-та биологии водохранилищ, вып. 2 (5), 1959, стр. 246—357.
344. Фортунатов М. А. Цветность и прозрачность вод Рыбинского водохранилища как признаки для его районирования и ботинирования. Тезисы докладов Всесоюз. совещания по вопросам рыбохозяйственного освоения водохранилищ, секция гидрологии и гидрохимии. Всесоюз. н.-н. ин-т озерного и речного рыбного хоз-ва, 1958, стр. 26—28.
345. Фотнев А. В. Результаты гидрохимических исследований Горьковского водохранилища в первый год его становления. Труды VI совещания по проблемам биологии внутренних вод. Изд-во АН СССР, М.—Л., 1959, стр. 335—339.
346. Фотнев А. В. Газовый режим Горьковского водохранилища. Тезисы докладов Всесоюз. совещания по вопросам рыбохозяйственного освоения водохранилищ, секция гидрологии и гидрохимии. Всесоюз. н.-н. ин-т озерного и речного рыбного хоз-ва, Л., 1958, стр. 28—29.
347. Фотнев А. В. Влияние заморной грунтовой воды на рыб. Бюллетень Ин-та биологии водохранилищ, № 4, 1959, стр. 44—45.
348. Фофанов В. В. Годовое колебание содержания хлоридов в волжской воде у г. Саратова. Работы Волжской биологической станции, т. VIII, № 1—3, Саратов, 1925, стр. 125—133.
349. Францев В. А. Очистной эффект Учинского водохранилища и некоторые пути его повышения. Труды VI совещания по проблемам биологии внутренних вод. Изд-во АН СССР, М.—Л., 1959, стр. 247—259.
350. Хачатрян А. Г. Исследования внутренней направляющей системы. Труды Всесоюз. н.-н. ин-та гидротехники и мелиорации, т. XXX, 1950, стр. 147—174.
351. Хлопкин Г. В., Добросклонский С. И. и Ракова Е. Д. Указатель литературы по физико-химическому исследованию питьевых вод России. Гидрохим. материалы, т. I, вып. I и 2, 1915, стр. 73—143.
352. Хлопкин Г. В. По поводу анализа вод, сделанных в санитарной станции. Сб. работ Пермской санитарной станции, Пермь, 1889, стр. 117—220.
353. Хруль А. В. К вопросу о порче Цининской воды. Тамбовские губернские ведомости, № 26 (газета), 1878.
354. Цингина Е. Н. и Хачиков С. А. Санитарное состояние г. Астрахани. Гигиена и эпидемиология, I, М., 1929, стр. 57—64.
355. Чапковский К. А. Материалы по гидрохимии р. Волги по наблюдениям 1908 г. Труды Ихтиолог. лаборатории Упр. каспийско-волжских рыбных и тюленных промыслов, т. I, вып. 1—2, 1909, Астрахань, стр. 83—94.
356. Черепенников А. Химические исследования природных газов и вод в районе «Стеклогаз» (бывший хутор Мельникова) Саратовской губернии. Материалы по общей и прикладной геологии. Изд. Главного геологоразведывательного управления, Л., 1930, 153 стр.

357. Чирников А. В. О некоторых свойствах воды г. Ветлуги. Дневник Казанского общ-ва врачей, № 1, 1888, стр. 24—30.
358. Шалдыбин К. Я. и Кострицын В. Н. Химико-бактериологический контроль за Пензенской питьевой водой в 1927 г. Сб. трудов Пензенского губернского санитарно-бактериологического ин-та, 1928, стр. 9—21.
359. Шапшев К. Н. и Смирнов О. Я. Наблюдения за химическим составом р. Камы. Сб. «За санитарное оздоровление Урала», Свердловск, 1931.
360. Шапшев К. Н. Опыт изучения бассейна питания водопровода запрудного типа. Труды Пермского гос. мед. ин-та, VIII—X, 1933, стр. 8—66.
361. Шидловская-Овчинникова Ю. С. Стабилизация закисного железа в природных водах с целью раздельного определения закисного и окисного железа. Гидрохим. материалы, т. XX, 1953, стр. 79—91.
362. Шмидт Н. Я. К гигиене рыбного промысла в устье р. Волги. Санитарно-статистическое исследование. М., 1895, стр. 18—96.
363. Шмидт Н. Я. Врачебно-санитарное состояние Волго-Каспийских рыбных промыслов в 1899—1900 гг. Астрахань, 1901, стр. 1—159.
364. Штепанек С. И. Об использовании донного трубчатого водоспуска для послонного спуска воды из водоема. Рыбное хозяйство, № 4, 1955, стр. 48—50.
365. Шурчилова А. М. Зимний гидрохимический режим Волги в 1940 г. около Казани. Информ. сборник консультационного бюро ВНИОРХа, № 5—6, Л., 1941, стр. 31—34.
366. Шутов Д. А. Наблюдения над колебаниями электропроводности и активной реакции воды р. Волги. Работы Волжской биологической станции, т. IX, № 1—2, Саратов, 1926, стр. 55—64.
367. Щербаков А. Н. Гидрохимический режим Волги, Мологи и Шексны в районе Рыбинского водохранилища. Труды биологической станции «Борок», вып. 1, 1950, стр. 7—34.
368. Щербаков А. П. Основные черты гидрохимического режима р. Оки. Работы Окской биологической станции, вып. IV, 1926.
369. Щербаков А. П. Зимний кислородный режим р. Мологи в связи с заморами 1939—1940 гг. ДАН СССР, т. XXX, № 1, 1941, стр. 43—46.
370. Щербаков А. Я. Свойства воды, употребляемой для питья в городе Казани. СПб, 1876, стр. 1—34.
371. Щербаков А. Я. Источники водоснабжения г. Казани. Труды общ-ва естествоиспытателей при Казанском ун-те, XXVI, 6, Казань, 1893, стр. 3—147.
372. Юданов И. Г. К познанию замора р. Оби. Труды Сиб. научной рыбохозяйственной станции, т. IV, вып. 3, 1929 (цитировано по Б. А. Скопни-цеву [302]).
373. Юрковский Б. А. Санитарное исследование воды Нижегородского водоснабжения. Изд. Нижегородского самоуправления, 1905, стр. 1—27.
374. Яковкин И. А. О снабжении г. Казани волжской или кабанной водой, о качестве их обеих и о способах сделать кабанную воду обильными и проточными. Заволжский муравей, ч. 3, № 17, Казань, 1833, стр. 977—990.
375. Яковкин А. А. К вопросу о загрязнении Москвы-реки. Изв. Общ-ва для содействия улучшению и развитию мануфактурной промышленности, т. II, статья 1, М., 1891—1894, стр. 1—21.
376. Яковлева А. Н. Саратовское водохранилище. Изв. Гос. н.-н. ин-та озерного и речного рыбного хоз-ва, т. L, 1961, стр. 77—87.
377. Ямбро Е. Х. Результаты изучения р. Камы с целью уточнения режима водоподготовки. Пермь, Камское отделение НИТОВТ, 1953.

ОГЛАВЛЕНИЕ

От редактора	3
Введение	5
Глава I. Краткий обзор гидрохимических исследований на р. Волге и ее притоках	8
Глава II. Объем и методика исследований	14
1. Объем работы	14
2. Методы химического анализа воды	16
Глава III. Водный, ледовый и температурный режим р. Волги	18
1. Водный режим	18
2. Ледовый режим	22
3. Температурный режим	23
Глава IV. Гидрохимический режим основных притоков р. Волги	26
1. Река Которосль	26
2. Река Кострома	27
3. Река Немда	29
4. Река Унжа	31
5. Река Ока	33
6. Река Керженец	36
7. Река Сура	38
8. Река Ветлуга	40
9. Река Большая Кокшага	42
10. Река Свияга	44
11. Река Кама	46
12. Река Сок	49
13. Река Самара	51
14. Река Большой Иргиз	53
Глава V. Гидрохимический режим р. Волги до зарегулирования	56
А. Период открытого русла	56
1. Главнейшие ионы	56
2. Физические свойства воды	66
3. Биогенные вещества	68
4. Органические вещества	73
5. Растворенные газы и рН	76
Б. Период закрытого русла	78
Глава VI. Гидрохимический режим Горьковского водохранилища	88
1. Главнейшие ионы	94
2. Физические свойства воды	100
3. Биогенные вещества	101
4. Органические вещества	104
5. Растворенные газы и рН	106
Глава VII. Гидрохимический режим Куйбышевского водохранилища	111
1. Главнейшие ионы	113

2. Сравнение результатов прогноза минерализации воды водохранилища с данными наблюдений в 1957—1959 гг.	124
3. Физические свойства воды	137
4. Биогенные вещества	139
5. Органические вещества	142
6. Растворенные газы и рН	144
<i>Глава VIII. Гидрохимический режим Волгоградского водохранилища</i>	<i>152</i>
1. Главнейшие ионы	154
2. Физические свойства воды	160
3. Биогенные вещества	161
4. Органические вещества	162
5. Растворенные газы	163
<i>Глава IX. Гидрохимический режим р. Волги ниже Волгоградского водохранилища</i>	<i>165</i>
1. Главнейшие ионы	165
2. Биогенные вещества	174
3. Органические вещества	176
4. Растворенные газы и рН	177
<i>Глава X. Сток растворенных веществ р. Волги в Каспийское море</i>	<i>180</i>
1. Ионный сток	180
2. Сток биогенных и органических веществ	184
<i>Глава XI. Неоднородность химического состава воды и процессы смешения и перемещения водных масс</i>	<i>188</i>
1. Распределение водных масс по живому сечению в реке и водохранилищах	189
2. Распределение водных масс по длине и ширине реки и водохранилища	198
3. Степень смешения водных масс	213
4. Зависимость величины электропроводности воды от ее минерализации	215
5. Характер перемещения водных масс в приплотинной части водохранилищ	217
<i>Глава XII. Карбонатно-кальцевое равновесие в воде р. Волги и ее водохранилищ</i>	<i>225</i>
Заключение	234
Литература	239



Алексей Артёмович Зенин

ГИДРОХИМИЯ ВОЛГИ И ЕЕ ВОДОХРАНИЛИЩ

Редактор *З. И. МIRONENKO*

Художник *Е. Е. Персон*

Худож. редактор *Ю. Н. Шаромов*

Техн. редактор *М. И. Брайнина*

Корректоры: *В. С. Игнатова, К. И. Розина*

Сдано в набор 30/VII 1965 г. Подписано к печати

23/X 1965 г. Бумага 60×90¹/₁₆. Бум. л. 8,125.

Печ. л. 16,25. Уч.-изд. л. 16,88. Тираж 1000 экз.

М-21403

Индекс ГЛ-34

Гидрометеорологическое издательство.

Ленинград. В-53, 2-я линия, д. № 23.

Заказ № 422

Цена 94 коп.

Ленинградская типография № 8

Главполиграфпрома

Государственного комитета Совета Министров

СССР по печати.

Ленинград, Прачечный пер., д. 6