

На правах рукописи

Пирумова Елена Ивановна

Особенности пространственно-временных
изменений минерализации и компонентов солевого состава воды
р. Дон в нижнем течении

Специальность: 25.00.27. – Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Ростов-на-Дону

2006

Работа выполнена в Государственном учреждении
«Гидрохимический институт» Росгидромета

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук, член-корр. РАН,
профессор Никаноров Анатолий Максимович

Официальные оппоненты: доктор географических наук, профессор
Лурье Петр Михайлович
кандидат географических наук, доцент
Ивлиева Ольга Васильевна

Ведущая организация: Северо-Кавказский филиал Российского
научно-исследовательского института комплексного
использования и охраны водных ресурсов

Защита состоится «___»_____200__года в ___ часов на заседании
Диссертационного совета Д 212.208.12 в Ростовском государственном университете
по адресу: 344090, г. Ростов-на-Дону, ул. Зорге, 40, геолого-географический
факультет, ауд. 210.

С диссертацией можно ознакомиться в Зональной научной библиотеке РГУ по
адресу: 344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Пушкинская, 148.

Автореферат разослан «___»_____ 200__г.

Ученый секретарь

Диссертационного совета,

к. г. н., доцент

Т.А. Смагина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Естественное состояние воды многих рек Российской Федерации в значительной степени трансформировалось под влиянием длительных техногенных и демографических нагрузок, а также в результате регулирования стока. Наиболее остро эта проблема стоит в бассейне Нижнего Дона, испытывающего антропогенное влияние на все звенья экосистемы.

Сложность и многообразие естественных факторов и антропогенного воздействия на речные воды привели к определенным негативным последствиям, что осложняет проблему их использования, требует своевременной и адекватной оценки качества и количества речной воды, тенденций изменения их параметров.

Одной из проблем негативного изменения качества воды р. Дон в нижнем течении является солевое загрязнение, проявляющееся в увеличении минерализации, а также концентрации основных солеобразующих компонентов (Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ , K^+). Как в отечественной, так и зарубежной практике оцениваются, как правило, изменения минерализации и концентрации Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ , K^+ лишь за относительно короткий период антропогенного воздействия. Характер изменений состояния воды в р. Дон в нижнем течении за многолетний период может существенно отличаться от такового за короткий период. Это должно учитываться как в методологии режимного мониторинга состояния речной воды, так и в практике регулирования ее использования.

В имеющихся режимно-справочных публикациях (Ежегодниках качества поверхностных вод РФ, Государственных докладах о состоянии окружающей природной среды и т. п.) оценка загрязненности представляется по данным за текущий год в сравнении с показателями за несколько предыдущих лет. Оценки тенденций долговременных (полувековых) изменений минерализации и основных солеобразующих компонентов в воде р. Дон в нижнем течении и основных притоках (р.р. Северский Донец, Сал, Маныч) в доступной литературе не обнаружены.

Цель исследования – анализ и оценка долговременных (полувековых) тенденций изменений в воде р. Дон минерализации и основных макрокомпонентов солевого состава воды (SO_4^{2-} , Cl^- , HCO_3^-) под влиянием длительного (полувекового)

антропогенного воздействия.

Для поставленной цели решены следующие задачи:

1. Собраны, проанализированы и систематизированы имеющиеся данные по минерализации и основным макрокомпонентам химического состава (SO_4^{2-} , Cl^- , HCO_3^-) воды р. Дон в нижнем течении за последние 50 лет.
2. Выявлены тенденции долговременной (полувековой) динамики минерализации, SO_4^{2-} , Cl^- , HCO_3^- , абсолютной и относительной величины ионного стока, его солеобразующих компонентов; антропогенной составляющей в ионном стоке и его компонентах; проведен статистический анализ и расчеты трендов.
3. Оценен современный уровень состояния солевого загрязнения на основе методических подходов, принятых в системе режимного мониторинга состояния поверхностных вод суши (ПВС) Росгидромета, и дана оценка долговременных (полувековых) тенденций изменений.

Научная новизна. Автором в рамках изучения изменения качества воды р. Дон в нижнем течении в результате солевого загрязнения впервые:

1. Оценены особенности пространственно-временной динамики долговременных (полувековых) изменений минерализации воды р. Дон и содержания основных солеобразующих компонентов на русловом участке и на участке регулирования стока Цимлянским водохранилищем.
2. Выявлены причины и тенденции происходящих изменений состава воды за полувековой период.
3. Оценена динамика долговременных (полувековых) изменений ионного стока и стока основных солеобразующих компонентов, а также показателя стока с водосбора реки.
4. Выявлены особенности многолетних изменений антропогенной составляющей ионного стока и стока основных солеобразующих компонентов (SO_4^{2-} , Cl^- , HCO_3^- ионов).
5. Выявлены особенности многолетних изменений влияния притоков первого порядка (р.р. Северский Донец, Сал, Маныч) на солевой состав р. Дон в нижнем течении.

Практическая ценность. Результаты оценки многолетней динамики качества воды р. Дон и выноса ею химических веществ в Азовское море в условиях интенсивного антропогенного воздействия, способствующего негативному экологическому изменению гидрологических и гидрохимических условий, могут быть использованы для:

- совершенствования мониторинга качества воды (в части оценки особенностей антропогенных и естественных изменений, провоцирующих ухудшение качества воды);
- решения одной из основных задач режимного мониторинга – информационного обеспечения перспективного управления и использования водных ресурсов и проведения водоохраных мероприятий.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Нарастание засоления р. Дон от г. Калач-на-Дону к устью и трансформация состава речной воды обусловлены, прежде всего, нарастанием стока легкорастворимых солей (Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ , K^+), большая часть которых поступает в результате миграционных потоков из засоленных почво-грунтов водосбора, спровоцированных активизацией сельскохозяйственной деятельности (мелиоративной) и повышением уровня грунтовых вод и их доли в питании реки.
2. Цимлянское водохранилище усиливает эффект засоления р. Дон в нижнем течении в результате незначительной метаморфизации состава речной воды, происходящей в чаше водохранилища, и уменьшения его барьерной роли.
3. Многолетние изменения ионного стока на устьевом участке р. Дон в 60-70-х годах в значительной мере происходят под влиянием промышленных и хозяйственно-бытовых сточных вод, поступающих в р. Дон с водами Северского Донца; со второй половины 80-х и особенно с 90-х годов усиливается антропогенное влияние орошаемого земледелия на солевое загрязнение воды р. Дон и в первую очередь за счет поступления солей с левобережной части водосбора (р.р. Сал и Маныч).

Апробация работы. Основные положения и результаты исследований, содержащиеся в диссертации, изложены в опубликованных статьях и тезисах,

использовались при выполнении плановых научно-исследовательских тем ГУ «ГХИ»: «Оценка тенденций и наиболее опасных изменений качества воды р. Дон в нижнем течении под влиянием длительного антропогенного воздействия (зарегулирования стока и урбанизации)» (тема молодых ученых), «Анализ и оценка долговременных тенденций изменения загрязненности поверхностных вод суши приоритетными, в том числе токсичными, загрязняющими веществами» – соответственно темы 1.4.4.10 и 14.3.4 плана НИОКР Росгидромета; обсуждались на молодежной школе-семинаре – «Природные воды: рациональное использование, защита от загрязнения» (10–12 октября 2001 г., г. Аксай), на южно-российской научно-практической конференции – «Здоровье города – здоровье человека» (29–31 марта 2001 г., г. Ростов-на-Дону), научных итоговых сессиях Гидрохимического института (Ростов-на-Дону, 2001, 2005 гг.); на II и III научно-практических конференциях – «Экологические проблемы. Взгляд в будущее» (Экологическое общество РГУ, общество друзей Лиманчика) – 4–7 сентября 2005 и 2006 гг.; на юбилейном XXX Гидрохимическом совещании – «Достижения и перспективы гидрохимической науки на рубеже веков» (19-20 сентября 2005 г., г. Азов).

Публикации. Список опубликованных автором по теме диссертации научных работ включает 11 наименований.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложения.

Работа изложена на 152 страницах, из них 27 страниц приложения; содержит 46 рисунков (из них 3 картосхемы), 4 таблицы, список литературы включает 149 наименований.

Автор выражает глубокую благодарность научному руководителю – доктору геолого-минералогических наук, член.–корр. РАН, профессору А.М. Никанорову за направление исследований и поддержку в написании диссертационной работы; доктору геолого-минералогических наук, профессору Ю.П. Хрусталеву. Автор глубоко признательна Ю.Э. Пирумову за практическую помощь в оформлении диссертации.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе описываются материалы, методы и методики исследований, используемые в работе. Оценка изменений состава речной воды под влиянием длительного антропогенного воздействия выполнена на основе собранной и сформированной автором базы исходной гидрохимической информации, полученной на сети Росгидромета, по бассейну р. Дон в нижнем течении за период с 1947 по 2001 гг. Автором проанализирована информация о составе воды по результатам анализа более чем 60 тыс. проб, отобранных в 40 пунктах (55 створах), отбракованы заведомо недостоверные данные.

Анализ и обобщение исходных материалов выполнен с использованием методов и методических подходов, принятых в системе режимного мониторинга состояния ПВС Росгидромета. Проведена статистическая обработка имеющейся информации. Использованный в работе метод оценки пространственно-временной динамики основан на сравнении результатов наблюдений между репрезентативными створами. Анализ временных рядов выполнен на основе статистических расчетов линейных трендов.

Для расчета изменения абсолютной ($R_{и} = R_{в}C$) и относительной ($P_{и} = R_{и}/F$) величины ионного стока и его компонентов использовалась методика, предложенная О.А. Алекиным, Л.В. Бражниковой (ГХИ). Расчет антропогенной составляющей стока растворимых веществ р. Дон был выполнен по методу В.И. Пелешенко ($R_{ai}=R_{сумi}-R_{сумi}^*K$), основанного на выделении двух или нескольких временных интервалов, по которым определяются средние значения стока компонентов. Их отклонения от фоновых значений рассматриваются как показатели произошедших изменений.

В целях сравнения результатов и подтверждения сделанных выводов антропогенная составляющая также рассчитывалась по методу М.П. Максимовой ($Ra = R - R_{HCO_3} / K_{\phi}$). Критерием антропогенного воздействия на ионный состав речной воды служит изменение карбонат иона к концентрации других главных ионов.

В целях наглядного представления происходящих изменений минерализации и солевого состава воды р. Дон в нижнем течении осуществлено обобщение гидрохимического аналитического материала в виде картосхем. Изменения

среднегодовых значений минерализации обозначались изолиниями. Химический состав воды – формулами, принятыми в классификации О.А. Алекина.

Развитие исследований в различные периоды по изучению изменения качества воды, особенностей гидрохимического режима рек в нижнедонском бассейне под влиянием естественных и антропогенных факторов рассмотрены **во второй главе**.

Особенности гидрохимического режима рек и прудов исследуемой территории рассмотрены в работах О.А. Алекина, П.П. Воронкова, его изменения под влиянием зарегулирования стока Цимлянским, Манычскими водохранилищами подробно описаны В.Г. Дацко, Н.Г. Фесенко, В.И. Рогожкиным, М.И. Кривенцовым.

Значительное число более поздних работ, посвященных комплексному геохимическому исследованию и оценке химического состава рек бассейна Дона в нижнем течении, подготовлены А.Д. Хованским, В.В. Приваленко, О.А. Бессоновым.

Сохраняющееся устойчивое загрязнение воды р. Дон в нижнем течении объясняет постоянный исследовательский интерес к региону и на современном этапе. В этом направлении продолжают работать такие исследователи, как А.Н. Никаноров (ГХИ), Г.Г. Матишов (ЮНЦ РАН), П.М. Лурье, В.Д. Панов (Северо-Кавказское управление Росгидромета), В.Е. Закруткин, А.Д. Хованский, О.А. Бессонов (РГУ).

В третьей главе показано, что формирование химического состава поверхностных вод является закономерным отражением природных условий и антропогенного воздействия, способствующих ухудшению качества вод.

Значительное влияние на повышение минерализации вод р. Дон в нижнем течении оказывает дефицит увлажнения и геологические особенности региона: широкое распространение глинистых и суглинистых отложений, солончаков и солончаковых почв, особенно на левобережной части р. Дон.

Смягчение в последние годы природно-климатических условий, выраженное в неустойчивости снежного покрова, частых оттепелях, увеличении осадков в холодное время года, а также неумеренное орошение полей вызвало повсеместный подъем уровня грунтовых вод и увеличение их доли в питании рек. Подъем уровня грунтовых вод составил в среднем 8 см или 5,3 % от исходного значения, наблюдается переувлажнение почв, увеличение степени их минерализации,

вызванное поднятием легкорастворимых солей с восходящими водами ближе к поверхности и их накоплением в верхней части профиля. По сравнению с 1996 г. количество солей в верхнем горизонте увеличилось с 0,398 до 0,410 ‰. На основной площади орошаемых систем это привело к росту уровня засоления почв на 40%. Отмечается направленный процесс в сторону деградации почв. Это обстоятельство вызвало рост минерализации и содержания ионов SO_4^{2-} , Cl^- , Na^+ в водах поверхностно-склонового стока. Негативное воздействие данного фактора на речные воды тем выше, чем выше засоление почво-грунтов и чем интенсивнее нарушение геохимического фона, вызванного хозяйственной деятельностью на водосборе.

Проведенный анализ показал, что сложность и многообразие факторов антропогенного воздействия на природные воды осложняют проблему использования водных ресурсов бассейна р. Дон в нижнем течении, что требует своевременной и адекватной оценки их количества и качества, тенденции изменения их параметров.

В четвертой главе проводится анализ и оценка долговременных тенденций изменений качества р. Дон в нижнем течении по интегральным показателям за период 1950 – 2001 гг.

Результаты исследований позволили выявить причины солевого загрязнения р. Дон в нижнем течении, проявляющегося в увеличении минерализации и концентрации основных солеобразующих макрокомпонентов и, как следствие, в трансформации состава речной воды: в ионном составе возросла роль ионов Cl^- и SO_4^{2-} , в катионном составе – ионов Na^+ .

Полученные графики и уравнения трендов иллюстрируют динамику многолетних изменений минерализации воды р. Дон (рис.1) от г. Калач-на-Дону к устью. Прослеживается тенденция в сторону увеличения минерализации и основных макрокомпонентов как во времени, так и в пространстве. Увеличение минерализации воды сопровождается, прежде всего, увеличением концентрации основных солеобразующих компонентов – ионов Cl^- , SO_4^{2-} , характер многолетних изменений которых в общих чертах повторял изменение минерализации воды.

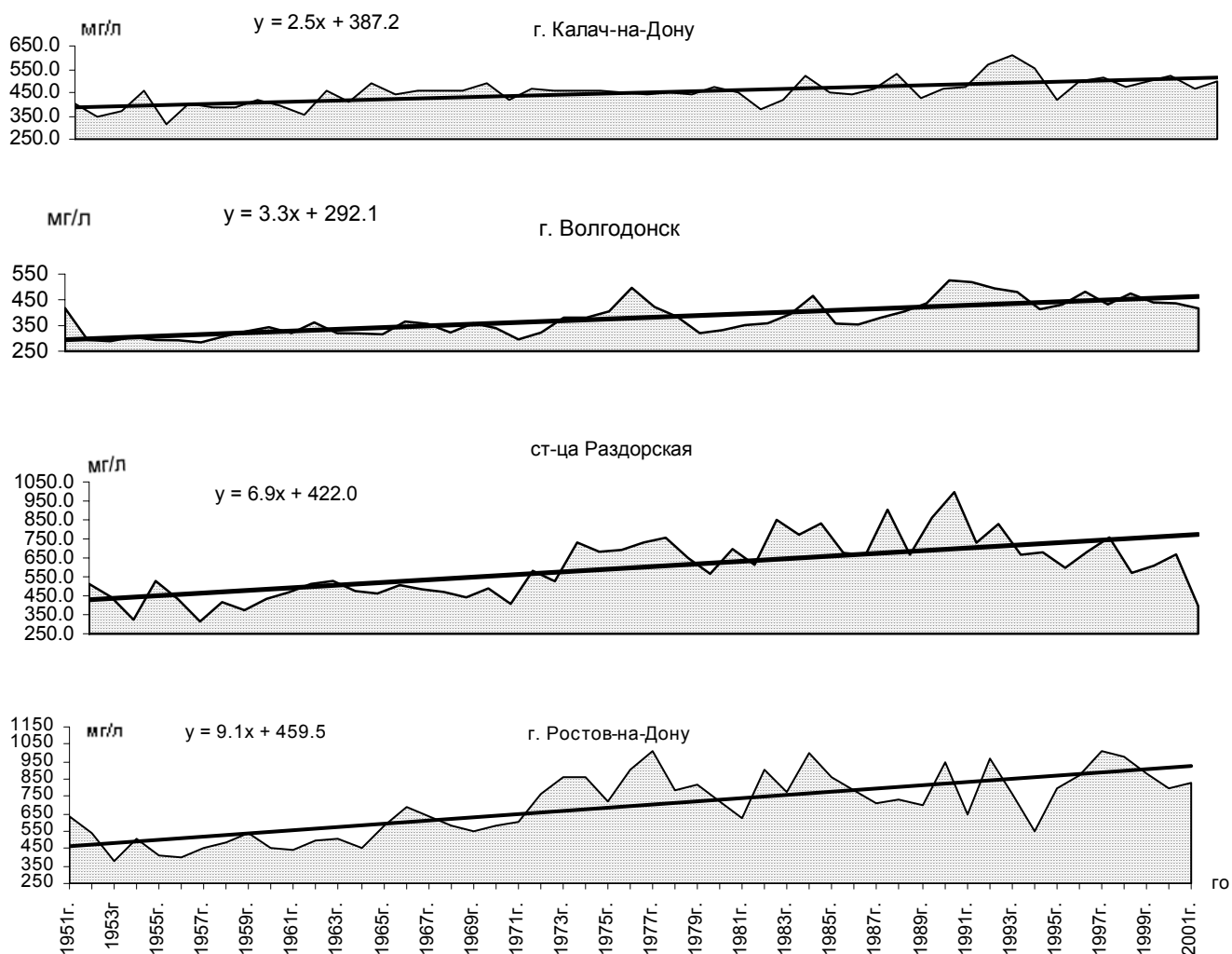


Рис.1. Тенденция (тренд) пространственно-временного изменения среднегодовой минерализации воды р. Дон в нижнем течении.

В динамике минерализации выделено три характерных периода с различной интенсивностью изменений, в общих чертах отражающих изменения активности водохозяйственной деятельности на водосборе этого участка реки:

- период замедленного относительно стабильного нарастания минерализации (1951–1965 гг.);
- период интенсивного скачкообразного и устойчивого роста минерализации воды (1966–1992 гг.);
- период спада интенсивности роста (1993–2001 гг.).

В первый период, характеризующийся относительно слабой активностью антропогенного воздействия, вода реки в нижнем течении как по минерализации, так и по ионному составу мало отличалась от воды выше расположенного участка (рис. 2): в 50-е годы у г. Калач-на-Дону среднегодовая минерализация изменялась в

интервале 310–460 мг/л, на участке ниже Цимлянского водохранилища (у г. Ростов-на-Дону) – в интервале 370 – 560 мг/л.

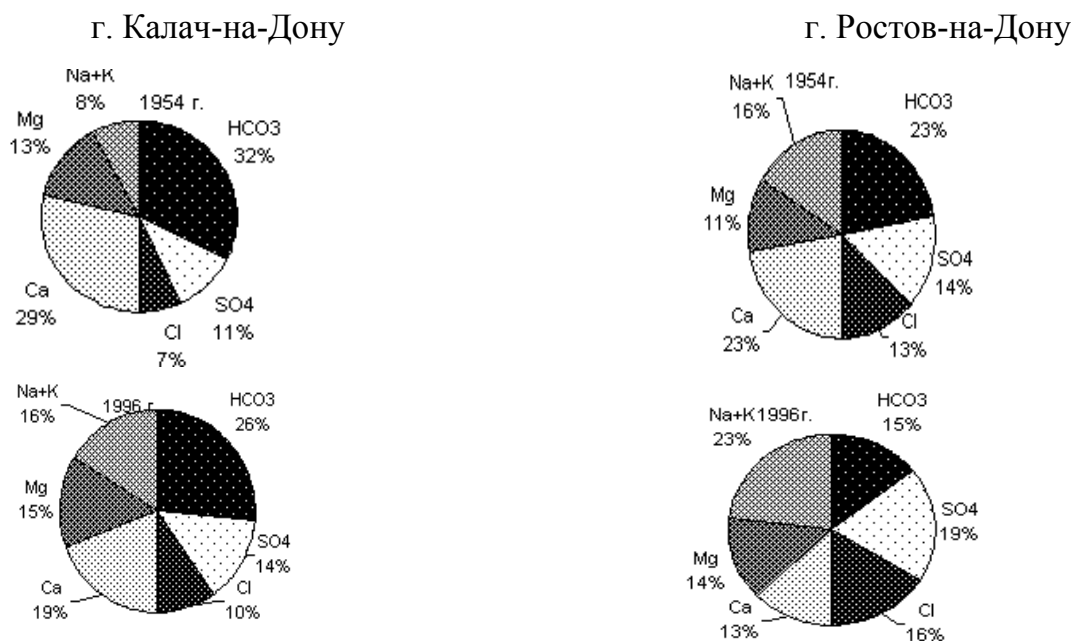


Рис. 2. Динамика изменения ионного состава воды р. Дон в нижнем течении в многолетнем цикле.

Максимальный рост среднегодовой минерализации в первый 14-летний период отмечался у г. Калач-на-Дону – 18%. На участке, расположенном ниже Цимлянского водохранилища, – у ст-цы Раздорская – 16%.

В составе речной воды на всем протяжении нижнего течения р. Дон преобладали в анионах: в различной степени выраженности гидрокарбонатные ионы, в составе катионов – ионы Ca^{2+} .

Со второй половины 60-х и особенно в 70-80-е годы темпы роста минерализации и основных солеобразующих макрокомпонентов в воде реки на участке ниже Цимлянского водохранилища заметно увеличились по сравнению с вышерасположенным участком. Интервал изменения среднегодовой минерализации воды у г. Ростов-на-Дону увеличился до 710–1010 мг/л (для сравнения у г. Калач-на-Дону он составил 480–530 мг/л). В ионном составе воды на этом участке произошла значительная трансформация: в анионном составе увеличилась роль (вплоть до преобладания) ионов Cl^- , SO_4^{2-} , в катионном составе – ионов Na^+ . В воде вышерасположенного участка реки преобладающими по-прежнему оставались гидрокарбонатные ионы и ионы кальция (рис. 2).

Наиболее заметная тенденция роста прослеживается у ст-цы Раздорская как по среднегодовой минерализации, так и по основным солеобразующим компонентам (Cl^- , SO_4^{2-}), и составляет соответственно 76%, 92% и 48% (рис. 3).

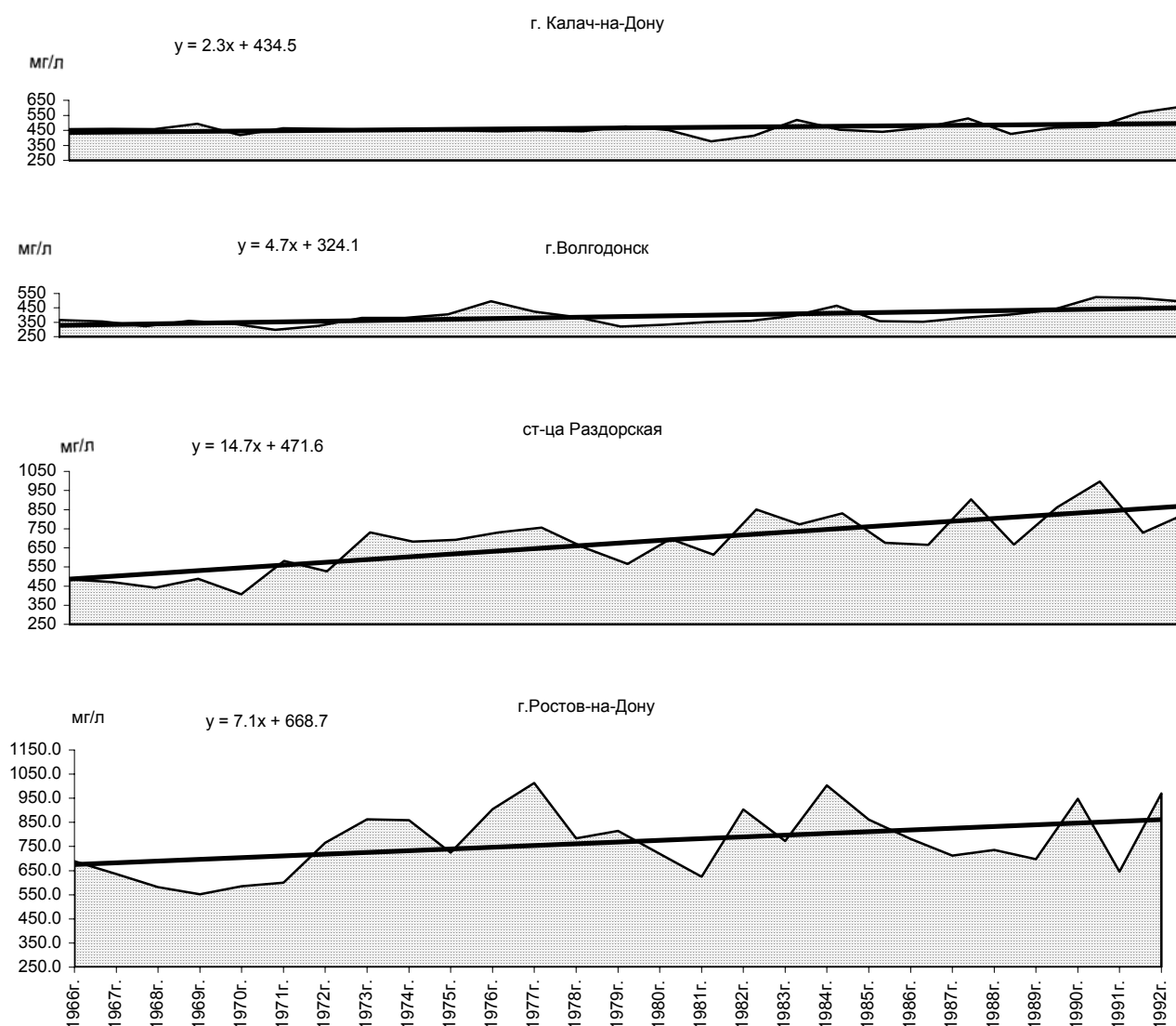


Рис. 3. Тенденция (тренд) изменения среднегодовой минерализации воды р. Дон с 1966 по 1992 гг.

Значительный рост минерализации и основных солеобразующих компонентов у ст-цы Раздорская можно объяснить определяющей ролью р. Северский Донец. Ниже ст-цы Раздорская до г. Азов отмечается незначительное снижение среднегодовой минерализации воды в р. Дон, и в первую очередь за счет синхронного снижения сульфатов (рис. 4).

В 1970-е годы второго периода после впадения р. Северский Донец (г.Семикаракорск) минерализация увеличивается почти в 2 раза, тогда как после впадения р. Сал только в 1,2 раза (ст-ца Раздорская). Практически в тех же

масштабах возросла концентрация SO_4^{2-} и Cl^- (в 1,7 и 1,8 раз соответственно).

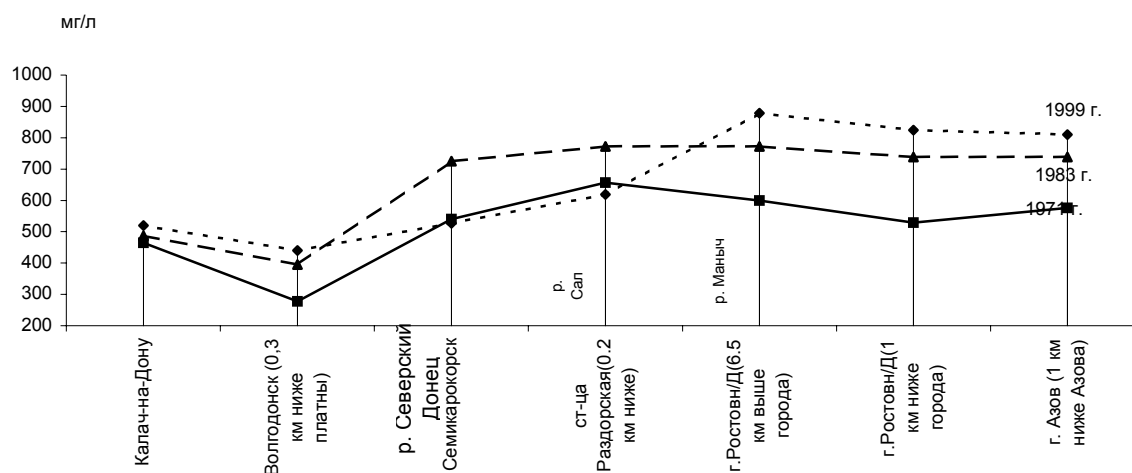


Рис. 4. Изменения среднегодовых значений минерализации в среднем по водности года по створам вниз по течению реки Дон.

В 80-е годы второго периода (1966–1992 гг.) (рис. 5) из-за значительного суммарного роста сульфатных ионов на участке р. Дон после впадения рек Сал и Маныч отмечаются рост (в 1,6 раза) среднегодовой минерализации. Среднегодовые значения минерализации в нижнем течении р. Дон изменялись в пределах от 740 до 725 мг/л. Данное обстоятельство может свидетельствовать об усилении влияния на изменение солевого состава р. Дон вышеназванных притоков.

В 90-е годы темпы солевого загрязнения воды на всем протяжении нижнего течения р. Дон несколько снизились, однако на участке ниже Цимлянского водохранилища уровень этого вида загрязнения продолжает оставаться достаточно высоким и устойчивым (рис. 5).

Для г. Ростов-на-Дону темпы роста среднегодовых значений минерализации и SO_4^{2-} ионов оставались достаточно высокими – на 20% и 47% соответственно. Незначительное снижение отмечено по содержанию в воде р. Дон в нижнем течении Cl^- ионов – 15%.

Происходящие изменения можно объяснить снижением влияния р. Северский Донец на солевой состав воды р. Дон в нижнем течении. После впадения р. Северский Донец минерализация возросла в 1,2 раза, тогда как рост суммарной минерализации после впадения р. Сал, Маныч составил 1,7 раза, в первую очередь за счет сульфатных ионов – в 2,1 раза (после р. Северский Донец – в 1,3 раза) и

хлоридных – в 1,8 раза (р. Северский Донец – 1,3 раза) (рис. 4).

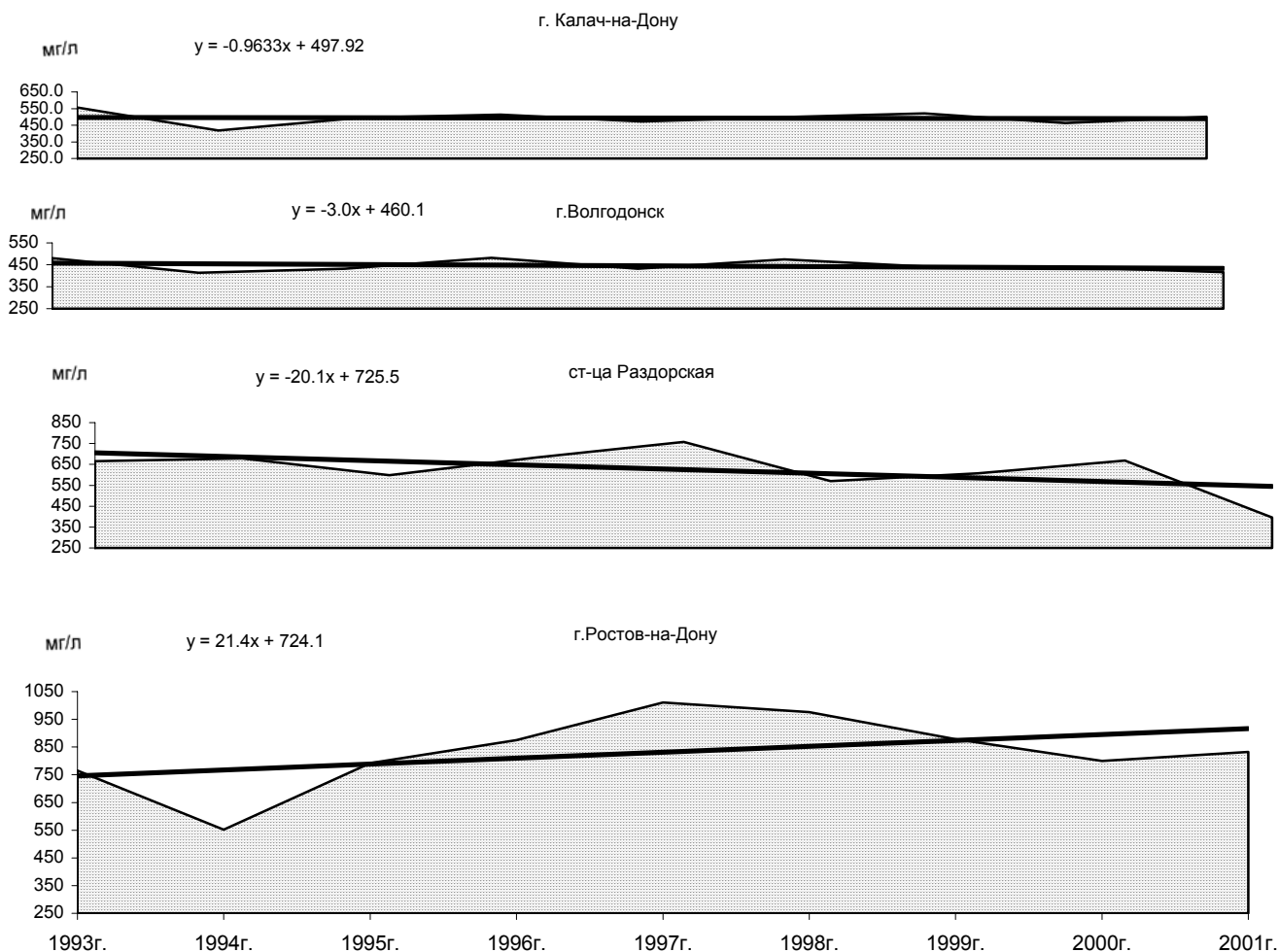


Рис. 5. Тенденция (тренд) изменения среднегодовой минерализации воды р. Дон с 1993 по 2001 гг.

В целом за последние 50 лет среднегодовая минерализация воды р. Дон увеличилась: у входного створа (г. Калач-на-Дону) – в 1,3 раза, на участке, зарегулированном Цимлянским водохранилищем (г. Волгодонск) – в 1,6 раза, на участке ниже Цимлянского водохранилища (г. Ростов-на-Дону) – в 2 раза.

Рост минерализации, в первую очередь, обусловлен увеличением концентрации основных солеобразующих компонентов: по концентрации ионов хлора это увеличение составило у г. Калач-на-Дону – в 2 раза, у г. Волгодонск – 2,5 раза, у г. Ростов-на-Дону – 3,0 раза; по концентрации сульфатов – 1,9; 2,2 и 2,6 раза соответственно.

Появление устойчивого загрязнения в третьем периоде и расширение площадей с минерализацией от 1000 до 1500 мг/л в русловых водах бассейна р. Дон на фоне спада промышленного производства еще раз подтверждает усиление влияния в загрязнении и засолении вод бассейна р. Дон в нижнем течении

вторичных факторов, в частности поступление солей с прилегающей территории.

Одним из доминирующих факторов негативного воздействия сельскохозяйственного производства на качество воды р. Дон в нижнем течении может быть орошаемое земледелие. Широкомасштабное строительство оросительных систем в Ростовской области началось после ввода в эксплуатацию Цимлянского водохранилища и первой очереди Донского магистрального канала (с 1952г.). Общая площадь орошаемых массивов, созданная на Нижнем Дону, в середине 80-х годов достигла максимума и составила 433 тыс. га.

Влияние этого фактора усугубляется природной засоленностью почво-грунтов, а также интенсивным применением на сельскохозяйственных полях химических удобрений и средств защиты растений, максимум которого так же, как и развитие орошения, отмечен в 80-е годы.

Влияние коллекторно-дренажных вод на солевой состав воды р. Дон сказывается как непосредственно (при сбросе их в реку), так и со стоком основных притоков (прежде всего рек Сал и Западный Маныч), на водосборах которых особенно интенсивно развито орошаемое земледелие. Интенсивное развитие орошаемого земледелия привело к прогрессирующему росту минерализации воды водохранилищ Манычского каскада. Основной причиной увеличения минерализации воды, по данным П.М. Лурье, В.Д. Панова, А.М. Саломатина, во всех основных водных объектах является начавшийся с 1962–1972 гг. интенсивный сброс коллекторно-дренажных вод с рисовых полей Пролетарской и Манычской оросительных систем. В настоящее время минерализация воды р. Западный Маныч в нижнем течении достигает 2,0–2,5 г/л и более. Начиная с 80-х, вода р. Маныч характеризуется как сульфатно-натриевая и относится ко второму гидрохимическому типу – S_{II}^{Na} и сульфатно-магниевонатриевая – второй тип ($S_{II}^{Mg,Na}$).

Минерализация воды р. Сал в последние годы изменяется в интервале от 0,9 до 3,0 г/л и более. В анионном составе воды этой реки, как правило, преобладают ионы Cl^- при повышенном содержании ионов SO_4^{2-} , в катионном составе – ионы Na^+ + K^+ .

Определенную роль в солевом загрязнении воды р. Дон ниже Цимлянского

водохранилища играет также река Северский Донец, водосбор которой подвержен мощному техногенному прессу. Среднегодовая минерализация воды этой реки при впадении в р. Дон изменяется в интервале от 1,1 до 1,7 г/л. В составе воды доминирующими являются ионы Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ , K^+ .

Оценивая влияние этого притока на солевое загрязнение воды р. Дон, существенно отметить тот факт, что в динамике многолетних изменений минерализации воды и концентраций Cl^- и SO_4^{2-} в воде р. Северский Донец, начиная с середины 80-х годов, в отличие от рассматриваемого участка р. Дон, прослеживается слабая тенденция к понижению (на 15, 26 и 24 % соответственно). Наиболее заметное снижение минерализации наблюдается с 90-х годов.

Полученные результаты изменения минерализации и основных солеобразующих компонентов более чем за 30-летний период в воде р. Северский Донец являются еще одним доказательством снижения влияния этого притока на солевой состав воды р. Дон в нижнем течении.

Снижение среднегодовой минерализации в воде р. Северский Донец может быть связано: во-первых, с уменьшением суммарного объема выпуска сточных вод, наиболее заметное сокращение, более чем в 2 раза, наблюдалось с 1992 по 2000 годы (минерализация за этот же период сократилась в 1,3 раза), во-вторых, – с нарастанием водного стока, начавшегося с 90-х годов.

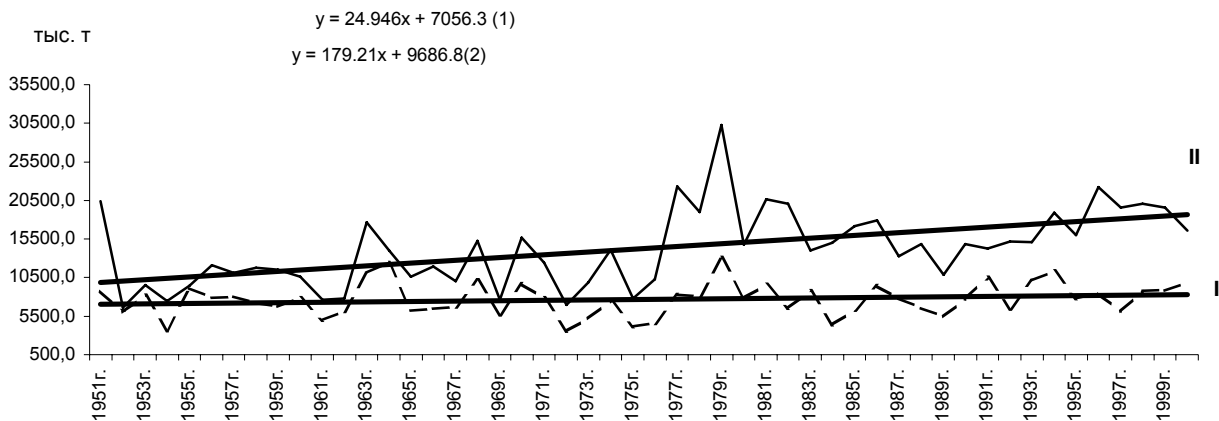
Проведенный корреляционный анализ между содержанием в воде HCO_3^- – SO_4^{2-} , HCO_3^- – Cl^- , SO_4^{2-} и Cl^- показал следующее: парный коэффициент корреляции между гидрокарбонатными и сульфатными ионами на нижнем участке р. Дон изменялся от 0,6 в первом периоде до 0,9 – во втором, тогда как между SO_4^{2-} и Cl^- ионами за этот же период он снизился от 0,6 до 0,03. Это может свидетельствовать об увеличении поступления загрязняющих веществ, в частности сульфатов, с прилегающей территории и об уменьшении роли промышленного загрязнения соответственно.

Исходя из вышеизложенного, можно считать основным фактором солевого загрязнения воды р. Дон в нижнем течении процессы миграционного потока главных солеобразующих компонентов из засоленных почво-грунтов водосбора, в

том числе и в результате сельскохозяйственной деятельности, спровоцировавшей подъем уровня грунтовых вод и рост засоления почв.

Проведенный анализ многолетней тенденции изменения ионного стока и модульного стока между створами г. Калач-на-Дону и г. Ростов-на-Дону косвенно подтвердил, что нарастание засоления вниз по течению р. Дон происходит в результате миграционных потоков из засоленных почво-грунтов.

В многолетнем цикле динамики ионного стока у обоих створов прослеживается тенденция роста: слабо выраженная – у г. Калач-на-Дону, достаточно заметная – у г. Ростов-на-Дону (рис. 6). Прирост среднегодовых значений ионного стока у этих створов за весь рассматриваемый период составил 17 и 18% соответственно.



Условные обозначения: 1 – г. Калач-на-Дону; 2 – г. Ростов-на-Дону.

Рис. 6. Изменение ионного стока р. Дон в нижнем течении.

Обращает на себя внимание тот факт, что увеличение ионного стока у г. Ростов-на-Дону по сравнению с его величиной у г. Калач-на-Дону далеко не компенсируется увеличением водного стока. В первой половине рассматриваемого периода (50–60-е годы) водный сток у г. Ростов-на-Дону был выше, чем у г. Калач-на-Дону в 1,1– 1,3 раза, ионный сток – в 1,3– 1,7 раза; во второй половине (70–90-е годы) рассматриваемого периода – в 1,1– 1,5 и в 1,5–3,4 раза соответственно (рис.7).

Это обстоятельство косвенно указывает на значительное поступление солей с водосбора исследуемого участка реки. Для подтверждения этого вывода были рассчитаны среднегодовые значения модуля ионного стока с водосбора р. Дон выше г. Калач-на-Дону и с водосбора участка нижнего течения реки. Полученные результаты указывают на значительное (в 2–3 раза и более) увеличение поступления

солей с единицы площади водосбора нижнего участка реки по сравнению с поступлением с водосбора реки на участке выше г. Калач-на-Дону.

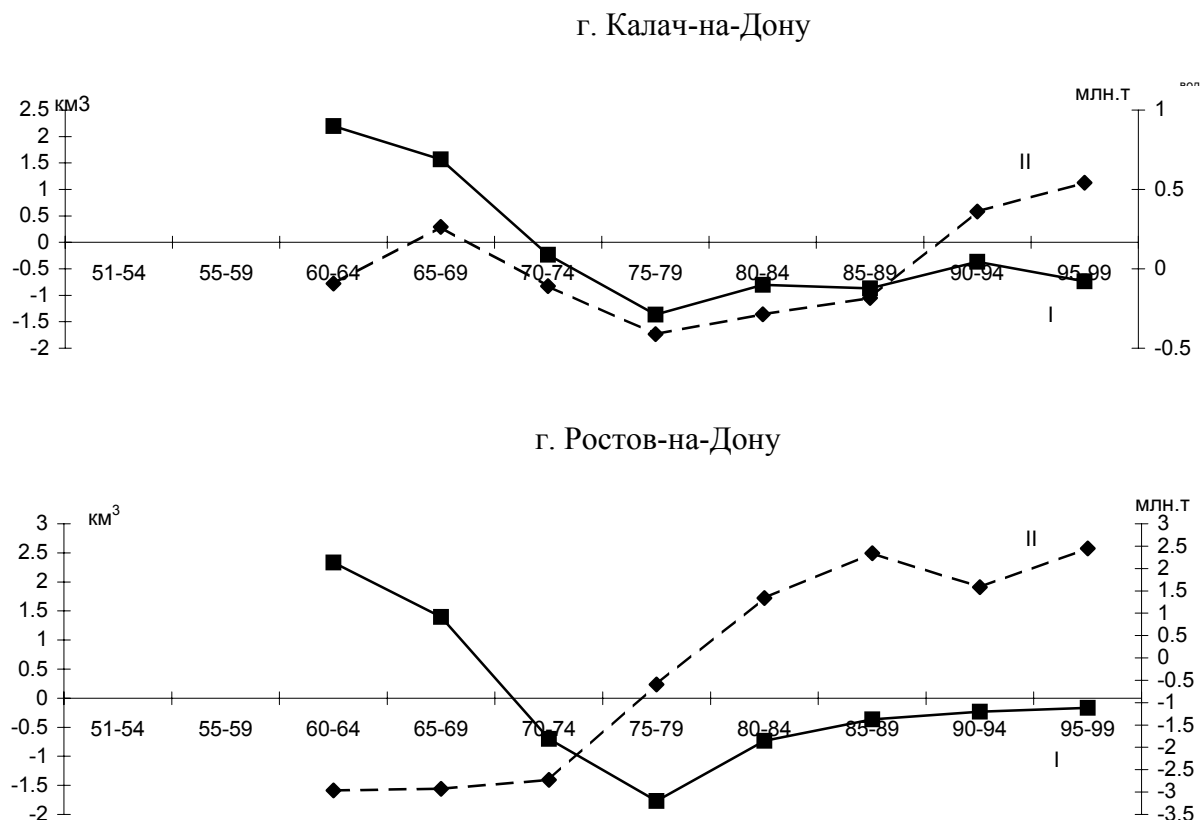


Рис. 7. Графики соотношения изменения среднемноголетних значений водного (I) и ионного (II) стоков.

Наращение ионного стока по результатам исследований (на 53–74%) вниз по течению обусловлено, прежде всего, нарастанием стока легкорастворимых солей (сульфатов, хлоридов). Модуль ионного стока с водосбора нижнего участка реки за весь рассматриваемый период увеличился в среднем на 85%, с водосбора участка выше г. Калач-на-Дону – всего лишь на 17%. Среднегодовые значения модуля ионного стока на водосборе выше г. Калач-на-Дону, как правило, не превышают 40 т/км²*год. Модуль ионного стока с водосбора участка нижнего течения реки во второй половине исследуемого периода времени изменялся в основном в интервале 70–110 т/км²*год. Аналогичные тенденции за период с 1950 по 2001гг. прослеживаются и в изменении показателя стока сульфатных и хлоридных ионов: увеличение показателя стока сульфатов – у г. Калач-на-Дону составило 54%, у г. Ростов-на-Дону –143%; показатель стока хлоридов увеличился на 87 и 192% соответственно.

Значительная роль в трансформации ионного стока в р. Дон связана с влиянием наиболее крупных притоков (р.р. Северский Донец, Сал, Западный Маныч). Сравнение изменений стока в средние по водности годы в реках Нижнего Дона показало, что абсолютная величина ионного стока у г. Усть-Донецк составила в 1971 г. 4,5 млн т, в 1999 г. – 4,9 млн т; в р. Сал – 0,4 и 0,7 млн т соответственно. Показатель стока изменялся в эти же годы от 40,9 до 49,4 т/км²*год (р. Северский Донец); в р. Сал – от 36,5 до 46,9 т/км²*год соответственно.

Расчет антропогенной составляющей ионного стока выявил наличие тенденции роста ее значений вниз по течению реки (табл.1). В многолетнем цикле наибольшие значения антропогенной составляющей ионного стока приходятся на 2-ю половину 70-х и 90-х годов. В эти годы антропогенная составляющая ионного стока практически сравнялась с природной и достигла соответственно 47 и 50% от общей его величины. Основная доля (50–60%) антропогенной составляющей приходится на сток легкорастворимых веществ (SO_4^{2-} , Cl^-), многолетняя тенденция динамики которого в общих чертах повторяет динамику ионного стока. Полученные результаты хорошо согласуются с расчетами антропогенной составляющей, выполненными А.Д. Хованским за период с 1965 по 1975 гг.

Таблица 1

Динамика антропогенной составляющей ионного стока р. Дон
(I – г. Калач-на-Дону; II – г. Ростов-на-Дону)

Временные интервалы (годы)	Среднегодовое значение антропогенной составляющей ионного стока			
	тыс. т		% от общего ионного стока	
	I	II	I	II
1	2	3	4	5
60-64 г.	722.8	1917.4	8.5	16.6
65-69 г.	1305.6	2800.8	18.4	25.2
70-74 г.	1080.6	4130.4	15.9	35.0
75-79 г.	1351.7	8340.1	17.7	46.5
80-84 г.	1036.9	7170.0	13.9	42.2
85-89 г.	1393.4	5971.1	19.6	40.3
90-94 г.	2431.8	5897.8	26.3	37.7
95-99 г.	1992.7	9696.5	24.9	49.7

Основная часть стока ионов SO_4^{2-} и Cl^- , как показали расчеты, формируется антропогенными факторами: доля антропогенной составляющей стока SO_4^{2-} , начиная со 2-й половины 70-х годов и до конца рассматриваемого периода, достигала у г. Ростов-на-Дону 40–60%, антропогенная составляющая стока Cl^- –

58–67% от их общего стока (табл. 1).

В целях ориентировочной оценки изменения факторов (естественных, антропогенных), оказывающих влияние на солевой состав воды р. Дон в нижнем течении, были выделены генетические составляющие ионного стока воды р. Дон в нижнем течении с учетом притоков первого порядка (р.р. Северский Донец, Сал, Маныч). Генетические составляющие выделялись на основе литературных данных, полученных для данной территории В.И. Пелешенко, а также данных, полученных автором в результате проведенных расчетов.

Как видно из таблицы (табл. 2), в конце 90-х годов отмечается возрастающее влияние рек Сал и Маныч на ионный сток в воде р. Дон в нижнем течении.

Таблица 2

Изменения генетической составляющей ионного стока

р. Дон, г. Ростов-на-Дону	Ионный сток суммарный, тыс. т	Основные элементы генетической составляющей суммарного ионного стока					Генетическая составляющая поверхностного ионного стока			Поверхностная, тыс. т
		подземная, тыс. т	атмосферная, тыс. т		антропогенная, тыс. т	поступление солей за счет выщелачивания, тыс. т	за счет притоков			
			прямая	косвенная			р. Северский Донец	р. Сал	р. Маныч	
1971 г.	12480.0	1622.4	352.7	1247.9	4368.0	4889.0	4045.2	297.6	1625.8	10857.6
1983 г.	13991.3	1818.9	365.2	1429.2	5932.3	4445.7	4957.1	399.3	2370.3	12172.4
1999 г.	19583.9	2545.9	511.1	2000.5	9733.2	4793.2	4892.1	503.7	6849.0	17038.0

В многолетнем цикле формирования ионного стока и его техногенной составляющей в р. Дон у г. Ростов-на-Дону за счет р.р. Северский Донец, Сал и Маныч произошли изменения наиболее заметные со второй половины 80-х – конца 90-х годов. По сравнению с началом 70-х годов отмечается усиление влияния р.р. Сал, Маныч на ионный сток и сток основных солеобразующих компонентов р. Дон в нижнем течении. Кроме того, значительно возрос ионный сток за счет поступления солей из нижнего бьефа Цимлянского водохранилища. За период с начала 70-х по конец 90-х ионный сток р.р. Сал, Маныч ориентировочно возрос более чем в 4 раза (в этих же масштабах возрос ионный сток из водохранилища), тогда как р. Северский Донец – приблизительно в 2 раза.

Полученные автором независимые расчеты поступления солей со сбросными

водами на участке ст-ца Раздорская – г. Ростов-на-Дону в 1971 г. (1,3 млн т) близки с расчетами, полученными А.Д. Хованским. Общее количество ионов, поступивших за счет орошения в 1971 г. приближалось к 3 млн т (23% от ионного стока). В 1980–х годах поступление солей со сбросными водами возросло почти до 2,5 млн т, общее количество составило 4 млн т; в 1999 г. отмечается незначительное снижение поступления солей со сбросными водами, тогда как суммарное количество солей поступивших в р. Дон за счет орошения составило 5,0 млн т.

Полученные результаты могут свидетельствовать о значительном вкладе в ионный сток солей, поступающих из почвенных горизонтов, за счет выщелачивания солей из пород, рассоления почв при стекании осадков по их поверхности (косвенная атмосферная составляющая). Это может быть спровоцировано смягчением климатических условий и значительным нарушением геохимического фона территории.

Поступление солей с промышленными и с хозяйственно-бытовыми сточными водами в конце 90-х, по сравнению с 80-ми годами, несколько снизилось и составило 1,8 млн т.

Техногенная составляющая в воде р. Дон в 1999 г. по сравнению с 1971 г. возросла более чем в 2 раза. Поступление с водами р. Северского Донца промышленных и хозяйственно-бытовых сточных вод сократилось с 32% в 1971 году до 9% в 1999 году.

Полученные результаты и проведенный анализ свидетельствуют об уменьшении роли Северского Донца в формировании ионного стока и основных солеобразующих компонентов (SO_4^{2-} , Cl^-) и еще раз подтвердили усилившееся антропогенное влияние орошаемого земледелия на солевое загрязнение воды р. Дон в нижнем течении.

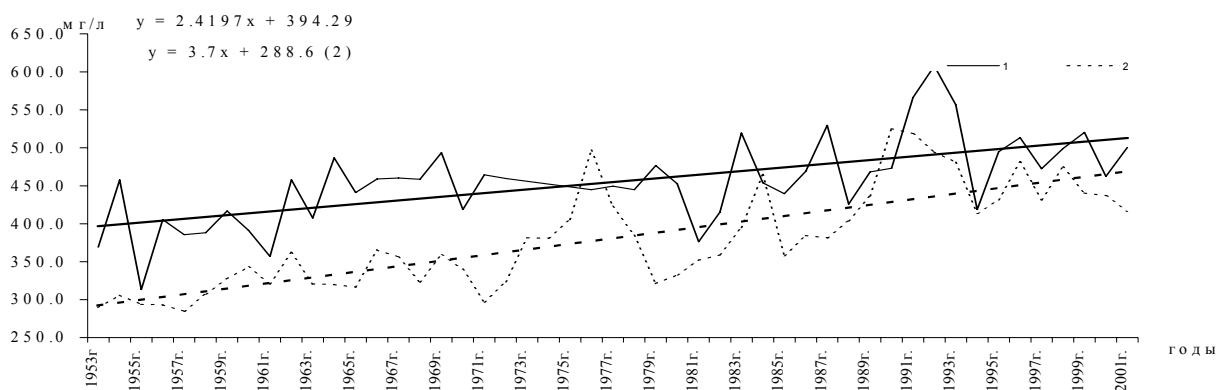
Рост ионного стока р. Дон в нижнем течении, вызванный антропогенными факторами (в первую очередь за счет орошаемого земледелия), избыточно компенсировал потери ионного стока, связанного с развитием безвозвратного водопотребления в этой части бассейна реки. Даже при весьма значительном объеме изъятия воды в 70–80-е годы расчетные значения ионного стока р. Дон у

г. Ростов-на-Дону достигали 15-20 тыс. т (у г. Калач-на-Дону – 7–8 тыс. т), в то время как в 50 -е годы он не превышал 12 тыс. т (у г. Калач-на-Дону не превышал 8 тыс. т).

В пятой главе подробно проанализированы особенности и тенденции пространственно-временных изменений качества воды р. Дон на участке длительного регулирования стока Цимлянским водохранилищем.

Результаты, полученные автором, показали, что Цимлянское водохранилище усиливает эффект засоления р. Дон в нижнем течении, хотя и не является определяющим фактором. В чаше водохранилища происходит незначительная метаморфизация солевого состава речной воды в сторону роста относительного содержания ионов Cl^- , SO_4^{2-} и снижения относительного содержания гидрокарбонатных ионов.

После зарегулирования реки характерным для всего периода эксплуатации водохранилища является заметное снижение (в отдельные годы до 100-150 мг/л) среднегодовой минерализации речной воды после прохождения чаши водохранилища (рис. 8).



Условные обозначения: 1 - г. Калач-на-Дону; 2 - г. Волгодонск.

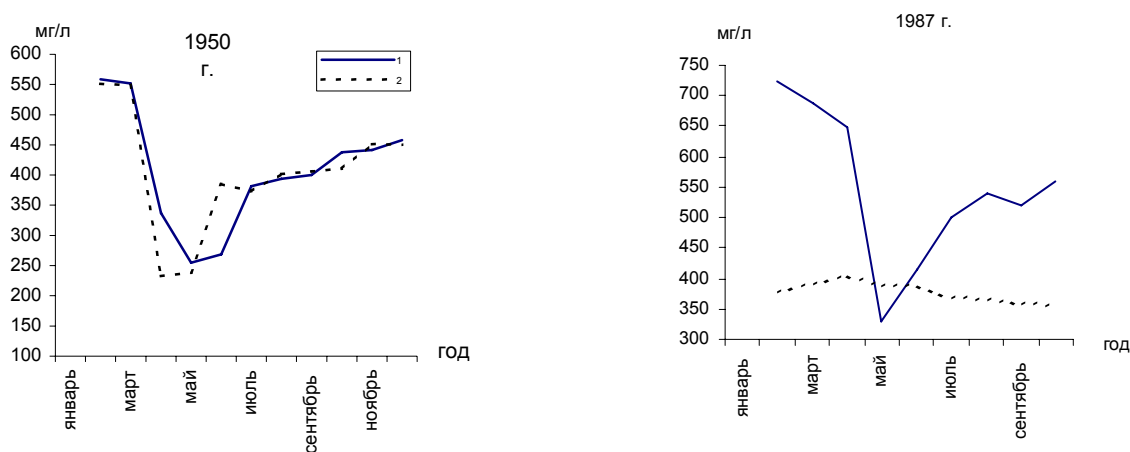
Рис. 8. Тенденция (тренд) изменения среднегодовой минерализации воды р. Дон на участке регулирования Цимлянским водохранилищем.

В многолетнем цикле минерализации воды в обоих створах, ограничивающих водохранилище, наблюдается тенденция роста, при этом масштабы увеличения минерализации в ограничивающих водохранилище створах различаются. Среднегодовая минерализация воды за наблюдаемый период (с 1953 по 2001 гг.) у входного створа выросла на 29%, тогда как на выходе эти изменения составили 60%. Наиболее заметное сокращение различий стало отмечаться с конца 70-х – начала

80-х годов. В последнее десятилетие различия между нижним и верхним створами сократились вплоть до статистически неразличимых.

Во внутригодовом распределении минерализации воды в период до зарегулирования стока р. Дон между створами, ограничивающими водохранилище, различий практически не было: максимальные в году значения в обоих створах наблюдались обычно в конце зимней межени (в феврале – начале марта), минимальные – в период весеннего половодья (в апреле–марте) (рис. 9).

В связи с особенностями эксплуатации водохранилища появились также временные изменения в сезонных колебаниях минерализации: в верхнем створе минимальная в году минерализация воды, как и до зарегулирования стока, наблюдается весной; в нижнем створе она нередко смещается по времени на лето, а иногда и осень, т. е. на время полного вытеснения из водохранилища более минерализованных вод, аккумулированных в его чаше до начала весеннего половодья, менее минерализованными водами питающей реки (рис. 9). Поэтому у г. Волгодонск минерализация воды в период весеннего половодья, как правило, бывает выше, чем в период межени.



Условные обозначения: см. рис. 8.

Рис. 9. Внутригодовое распределение минерализации воды р. Дон.

В содержании главных ионов в воде р. Дон в рассматриваемых створах произошли следующие изменения: концентрация сульфатных ионов увеличилась у г. Калач-на-Дону на 89 %, у г. Волгодонск – на 125 %; концентрация хлоридных ионов – соответственно на 96% и 151%. Существенных различий в величинах концентрации этих ионов между рассматриваемыми створами не наблюдалось.

Концентрация гидрокарбонатных ионов незначительно выросла (на 10% и 28 % соответственно). В то же время в период после зарегулирования стока концентрация этих ионов в воде нижнего створа систематически и заметно (на 100–150 мг/л) была ниже концентрации в верхнем створе.

Разнонаправленные изменения концентрации главных ионов у г. Волгодонск привели к изменению их соотношений в составе воды в сторону увеличения относительного содержания сульфатных и хлоридных ионов. Это свидетельствует о метаморфизации состава воды в чаше водохранилища, усиливающей в определенной степени засоление воды р. Дон, наблюдающееся в последние годы в его нижнем течении.

Изменения в концентрации минерализации после прохождения чаши водохранилища отразились и на ионном стоке. В 1953 г. ионный сток у г. Волгодонск по сравнению с ионным стоком у г. Калач-на-Дону снизился на 48%, в 1999 году этот показатель составил 34%, в 2000 году – 19%.

В многолетнем цикле в обоих створах, ограничивающих водохранилище, наблюдается рост ионного стока, с более выраженной интенсивностью в нижнем створе. В нижнем створе (г. Волгодонск) в 1999 году по сравнению с началом зарегулирования ионный сток увеличился на 1519,2 тыс. т (35%), а в 2000 году – на 3665,5 тыс. т (более 80%). Только за период с 1999 по 2000 гг. сток в нижнем створе возрос более чем в 2 раза.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что следствием усиления антропогенной нагрузки, отмечающейся в последние десятилетия, становится уменьшение барьерной роли водохранилища и, естественно, ухудшение качества воды в нижнем створе.

За исследуемый период приток веществ в водохранилище составил более 360,0 млн т (около 8 млн т /год), тогда как сток через нижний створ достиг 240 млн т. За период зарегулирования в чаше водохранилища могло аккумулироваться около 100 млн т отложений, поступающих как с речной водой, так и в результате обрушения и переоформления его берегов.

Несмотря на то, что в процессе длительной эксплуатации Цимлянского водохранилища прослеживалась неоднозначность пространственно-временной

динамики химического состава воды р. Дон как до, так и после прохождения чаши водоема, полученные результаты в целом подтверждают общеизвестные основные выводы об особенностях изменения качества речной воды под влиянием регулирования стока.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что следствием усиления антропогенной нагрузки, отмечающейся в последнее десятилетие, становится уменьшение барьерной роли водохранилища и, как следствие, ухудшение качества воды в нижнем створе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ:

Результаты исследований позволили уточнить причины и выявить тенденции загрязнения воды р. Дон в нижнем течении:

1. В динамике многолетних изменений качества воды р. Дон прослеживается тенденция увеличения солевого загрязнения с нарастанием вниз по течению.
2. Среднегодовая минерализация воды р. Дон за последние 50 лет увеличилась: в створе выше Цимлянского водохранилища (у г. Калач-на-Дону) – в 1,3 раза, в створе ниже Цимлянского водохранилища (у г. Волгодонск) – в 1,6 раза, у г. Ростов-на-Дону – в 2 раза.
3. Рост минерализации определяется, в первую очередь, увеличением концентрации основных солеобразующих компонентов: среднегодовая концентрация ионов Cl^- увеличилась у г. Калач-на-Дону в 2 раза, у г. Волгодонск – в 2,5 раза, у г. Ростов-на-Дону – в 3 раза; концентрация SO_4^{2-} – в 1,9; 2,2 и 2,6 раза соответственно.
4. Рост ионного стока р. Дон в нижнем течении, вызванный антропогенными факторами, избыточно компенсировал потери ионного стока, связанного с развитием безвозвратного водопотребления в этой части бассейна реки. Даже при весьма значительном объеме изменения воды в 70–80-е годы расчетные значения ионного стока р. Дон у г. Ростов-на-Дону достигали 15-20 тыс. т (у г. Калач-на-Дону – 7–8 тыс. т), в то время как в 50-е годы он не превышал 12 тыс. т (у г. Калач-на-Дону не превышал 8 тыс. т).
5. Основными причинами солевого загрязнения воды р. Дон в нижнем течении являются:

- миграционный поток в реки легкорастворимых солей из засоленных почвогрунтов водосбора, спровоцированный активизацией сельскохозяйственной (особенно мелиоративной) деятельности, повышением уровня грунтовых вод и их доли в питании рек, что способствовало засолению почв на 40% основной площади орошаемых систем;
 - усиление влияния р.р. Сал, Маныч на изменение солевого состава воды р. Дон.
6. На участке р. Дон, зарегулированном Цимлянским водохранилищем, в многолетнем цикле наблюдались следующие пространственно-временные изменения:
- в воде р. Дон как выше, так и ниже водохранилища, в течение всего периода его функционирования наблюдалась достаточно заметная тенденция роста минерализации, концентрации сульфатных и хлоридных ионов, менее выраженная тенденция роста концентрации гидрокарбонатных ионов;
 - после прохождения чаши водохранилища среднегодовая минерализация воды и концентрация гидрокарбонатных ионов р.Дон заметно снижаются; концентрация сульфатных и хлоридных ионов в среднем остается такой же, как и в речной воде выше водохранилища;
 - произошли изменения в сезонных колебаниях минерализации воды: в верхнем створе минимальная в году минерализация, как и до зарегулирования стока, наблюдается весной, в нижнем створе – нередко смещается на лето, а иногда и осень; у г. Волгодонск минерализация воды в период весеннего половодья, как правило, бывает выше, чем в период межени;
 - в воде р. Дон у г. Волгодонск снизилась амплитуда внутригодового изменения минерализации: до зарегулирования стока максимальная в году минерализация превышала минимальную в 2–3 раза, в последние годы – не более чем в 1,3 раза;
 - в чаше водохранилища происходит метаморфизация состава воды в сторону роста относительного содержания сульфатных и хлоридных ионов, что усиливает эффект засоления воды р. Дон в нижнем течении;
 - аккумулярованные в результате антропогенных и внутриводоемных процессов в чаше водохранилища солеобразующие вещества способствуют

засолению воды р. Дон в нижнем течении.

Список работ, опубликованных по теме диссертации.

1. Оценка тенденций долговременных изменений минерализации и компонентов солевого состава воды р. Дон в связи с зарегулированием стока // Сборник «Природные воды».— Ростов-на-Дону, 2001. – С.12–13 (в соавторстве с А.М.Никаноровым).
2. Оценка тенденций и наиболее опасных изменений качества воды р. Дон в нижнем течении под влиянием длительного антропогенного воздействия (зарегулирование стока и урбанизация): Отчет о НИР.— Тема 1.4.4.10 молодых ученых/Руководитель А.М. Никаноров.— № ГР 012.00204171, № Инв. № 02.20.02.02085.—2001.—58 с.
3. Особенности и тенденции пространственно-временных изменений качества воды р. Дон под влиянием длительного регулирования стока Цимлянским водохранилищем// Рукопись деп. ВИЦ ВНИИГМИ-МЦД 28.02 № 124 – гм02. – 18с. (в соавторстве с А.М. Никаноровым, В.М. Иваник).
4. Провести анализ и дать оценку многолетних тенденций изменения загрязненности поверхностных вод суши приоритетными, в том числе токсичными, загрязняющими веществами и выноса реками России биогенных, органических и приоритетных загрязняющих веществ в море: Отчет ГХИ/Руководитель. А.М. Никаноров. Ч.1. Анализ и оценка долговременных тенденций изменения загрязненности поверхностных вод суши приоритетными, в том числе токсичными, загрязняющими веществами. – № ГР 01200211839; Инв. № 02.20.0502902.— Ростов-на-Дону, 2004.- 143 с.
5. Тенденции многолетних изменений солевого состава воды р. Дон в нижнем течении// Метеорология и гидрология. – 2004. № 11. – С.83–89 (в соавторстве с А.М. Никаноровым, В.М. Иваник).
6. Многолетние тенденции изменения ионного стока в нижнем течении р. Дон// Проблемы гидрометеорологии и геоэкологии. Сборник научных статей. – Ростов-на-Дону: Изд-во СК НЦ ВШ АПСН, 2004. – С.169–177.
7. Оценка тенденции изменения качества поверхностных вод в условиях

- интенсивного антропогенного воздействия в течение второй половины XX века (на примере бассейна Нижнего Дона): Тез. докл. XXX Юбилейного гидрохимического совещания. – Ростов-на-Дону: ГУ «ГХИ», 2005. – С.31–32 (в соавторстве с А.М. Никаноровым, В.М. Иваник).
8. Тенденции изменения качества поверхностных вод в бассейне Нижнего Дона в условиях интенсивного антропогенного воздействия в течение второй половины XX века// Сборник трудов II научно-практической конференции «Экологические проблемы: взгляд в будущее (4-5 сентября 2005 г.) СОЛ «Лиманчик».- Ростов-на-Дону: Изд-во Ростиздат. – С.87–93.
 9. Особенности и тенденции пространственно-временного изменения качества воды р. Дон под влиянием длительного регулирования стока Цимлянским водохранилищем// Водная экосистема Нижнего Дона. Сборник статей. – СПб.: Гидрометеиздат, 2006 (в соавторстве с А.М. Никаноровым, В.М. Иваник).
 10. Тенденции многолетних изменений солевого состава воды р. Дон в нижнем течении: причины и тенденции// Водная экосистема Нижнего Дона: современное состояние и многолетние изменения качества воды: Сборник статей. – СПб.: Гидрометеиздат, 2006 (в соавторстве с А.М. Никаноровым, В.М. Иваник).
 11. Особенности многолетних изменений влияния притоков первого порядка (р.р. Северский Донец, Сал, Маныч) на солевой состав р. Дон в нижнем течении// Сборник трудов III научно-практической конференции «Экологические проблемы: взгляд в будущее (4-7 сентября 2006 г.) СОЛ «Лиманчик».- Ростов-на-Дону: Изд-во Ростиздат. – С.160–165.

