



Р. Г. Джамалов
Институт водных
проблем Российской
академии наук



Н. Л. Фролова
Московский государс-
твенный университет



М. Б. Киреева
Московский государс-
твенный университет

Т. И. Сафронова
Институт водных
проблем Российской
академии наук

Динамика подземного стока бассейна Дона

под влиянием изменений климата¹

Проведено районирование территории по условиям формирования стока и выполнена переоценка естественных ресурсов подземных вод бассейна Дона за период 1970–2005 гг. с построением соответствующей карты.

The territory of river Don divided into districts by conditions of drain forming and natural resource of underground Don's waters revalued by period from 1970 to 2005 with mapping.

Ключевые слова: подземные и поверхностные воды, климат, межень, температура, атмосферные осадки, сток.
Keywords: underground and surface waters, mean water, temperature, atmospheric precipitates, drain.

Одна из актуальных задач гидрологии и гидрогеологии – переоценка современных ресурсов поверхностных и подземных вод в связи с наблюдающимися климатическими изменениями [2, 3]. Изучение пространственно-временных закономерностей формирования речного стока для крупных речных бассейнов позволяет выявить основные соотношения между элементами водного баланса, особенности питания подземных и поверхностных вод и формирования их естественных ресурсов как при существующих климатических условиях, так и при прогнозируемых изменениях климата и основных его элементов (осадков, испарения, стока). Бассейн Дона – важный в хозяйственном отношении регион страны и относится к территориям, где происходящие климатические изменения наблюдаются особенно заметно. По характеру водного режима Дон принадлежит к восточноевропейскому типу с выраженным весенним половодьем и относительно устойчивой летней меженью. Подземные воды играют существенную роль в питании рек бассейна. Их доля зависит от целого ряда факторов: местоположения и размера водосбора, рельефа, почв и растительности, геологического строения, гидрогеологических условий и прочего. В наиболее засушливой части многие реки не обеспечены подземным питанием, и в межень они пересыхают.

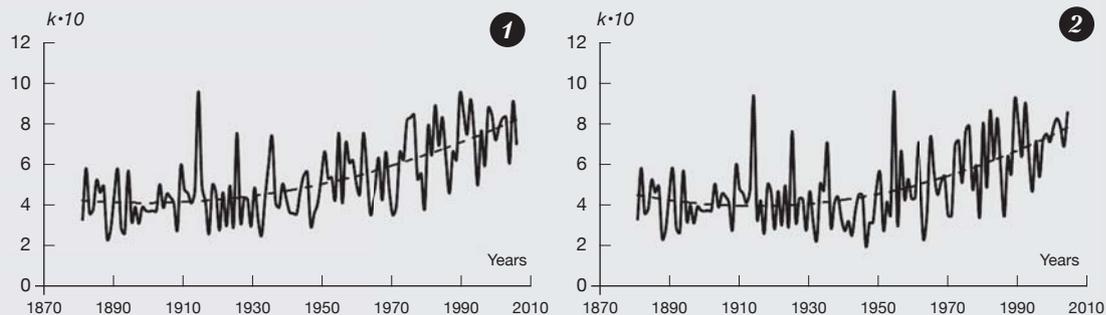
Выполненный анализ изменения климатических условий в бассейне Дона показал, что статистически значимый возрастающий тренд средних температур воздуха за холодный период года (XI–III месяцы) прослеживается на всех метеостанциях в бассейне с коэффициентами линейного тренда 0.3–0.42°C/10 лет. Средние температуры воздуха за теплый период (IV–X месяцы) также

имеют тенденцию к увеличению, но статистически незначимое. Изменение сумм осадков за холодный и теплый период носит сходный характер с изменением средних температур воздуха. В среднем для всего бассейна сумма количества осадков за холодный период с 1880 по 2000 г. увеличилась на 50 мм, или на 35%, а сумма положительных температур – на 150 °C, т.е. возросла в 4 раза по сравнению с начальными величинами.

Климатические изменения за последние десятилетия в бассейне Дона влияют на особенности водного режима рек, величину их годового и меженного стока, объем и высоту весеннего половодья, на характеристики бессточных периодов пересыхающих рек [5]. Водные ресурсы бассейна Дона за период 1930–2005 гг., по данным [1], составляют 26.8 км³/год ($C_v = 0.33$). Объем годового стока Дона у станции Раздорская за весь период наблюдений (1881–2005 гг.) составляет 25.1 км³, при наибольшем значении – 49.9 км³ в 1942 г. и наименьшем – 9 км³ в 1972 г. В естественных условиях за период 1881–1951 гг. объем стока составил – 27.5 км³ (средний расход – 873 м³/с); при регулировании и изъятии стока (1952–2000 гг.) – 21.6 км³ (расход – 685 м³/с). Сток Нижнего Дона с 1952 г. регулируется Цимлянским водохранилищем.

Естественный режим речного стока большинства рек бассейна нарушен хозяйственной деятельностью человека, что приводит к изменению однородности многолетних рядов. Оценить степень влияния климатических и антропогенных факторов на речной сток возможно с помощью восстановления естественных характеристик стока. Для восстановления условно-естественного стока использовались регрессионные зависимости и воднобалансовые соотношения. В частности, для створа

Рис. 1. Изменение доли меженного (в общем объеме годового) стока k за 1880–2005 гг. (1 – Don – Zadonsk; 2 – Don – Liski) (пунктир – линия полиномиального тренда второй степени)



1 Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты 08-05-00428, 09-05-00339, 09-05-92001-ННС, 10-05-00252), НОЦ (госконтракт 02.740.11.0336), ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (госконтракт 02.740.11.0336 и проект П164).

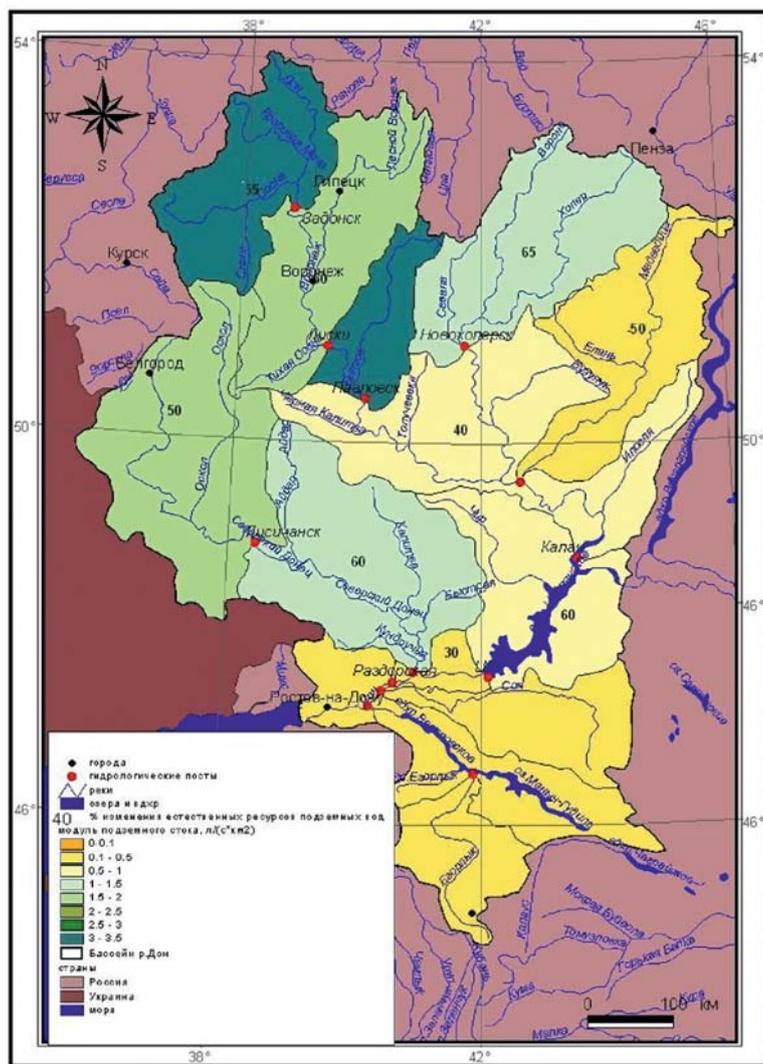


Рис. 2.
Карта–схема
подземного
стока бассейна
Дона по
состоянию на
2005 г. (л/с км²,
цифры –
отклонение
современных
величин стока
от их преды-
дущих оценок
[4], в %)

Цимлянкой плотины многолетний ряд был продлен и приведен к условно-естественному стоку по воднобалансовой методике с учетом сброса и забора воды в оросительные системы и Волго-Донской судоходный канал, а также испарения с зеркала водохранилища и изменения его объема. Анализ гидрологической и водохозяйственной информации в бассейне показал, что основные изменения стока за счет антропогенной деятельности проявляются ниже Цимлянского водохранилища, а выше для Верхнего Дона (до г. Задонска) и Среднего Дона (до г. Калач) потери стока на промышленно-коммунальное и сельскохозяйственное водопотребления не столь существенны.

Основная особенность современных изменений стока Дона – увеличение в последние десятилетия меженного стока со статистически значимыми возрастающими трендами для большинства створов. При этом величина годового меженного стока рассчитывалась как средняя величина из зимних и летних его значений, которые наиболее полно отражают вариации подземной составляющей в течение гидрологического года [3]. Наблюдаемый месячный сток как летней, так и зимней межени

существенно превысил соответствующие величины за предшествующий многолетний период времени, который нередко принимается за норму. Водность реки в период межени за 1970–2005 гг. на 25–30% выше, чем за предшествующий многолетний период (рис. 1, 2). Более того, аналогичным ростом характеризуется минимальный месячный сток за год в низовьях Дона. Ряды меженного стока за эти периоды времени статистически однородны. Для оценки роли метеорологических факторов рассчитаны парная и множественная корреляция меженного стока с осадками за холодный и теплый периоды года. Коэффициенты парной корреляции составляли 0.3–0.55, а множественной – 0.7–0.75.

Анализ динамики меженного стока с учетом данных наблюдений на воднобалансовых станциях показал, что подобный рост стока обусловлен:

- увеличением частоты и продолжительности оттепелей и уменьшением глубины и продолжительности промерзания почв и пород зоны аэрации;
- увеличением питания и повышением уровня подземных вод, определяющих меженное питание рек.

По данным воднобалансовых станций, расположенных в бассейне Дона (Нижедевицкая ВБС, обсерватория «Каменная степь»), увеличение меженного стока достигает 50–60% [5].

Обобщение изменений меженного стока Дона и его притоков позволило составить новую редакцию карты подземного стока бассейна по состоянию на 2005 г. (в модулях, л/с км²). Сопоставление выполненной региональной оценки подземного стока с аналогичными величинами по состоянию на 1974 г. позволило оценить степень отклонения (в %) современных величин подземного стока от их значений за предшествующий период по отдельным частным водосборам (рис. 3) [4]. Построенная карта подземного стока подтверждает, что региональные величины подземной составляющей общего речного стока возросли в среднем на 30–40%. Этот рост постепенно снижается от 60–50% в верхней части бассейна до менее 30% для его нижней части. Следует отметить, что и годовой сток Дона за 1881–2005 гг. имеет тенденции к уменьшению, статистически достоверному лишь для нижних створов (Дон – ЦГУ, Дон – Раздорская).

Отсутствие стока малых рек в бассейне Дона и динамика бессточных периодов в течение года представляет собой сложный и малоизученный процесс. Его исследование

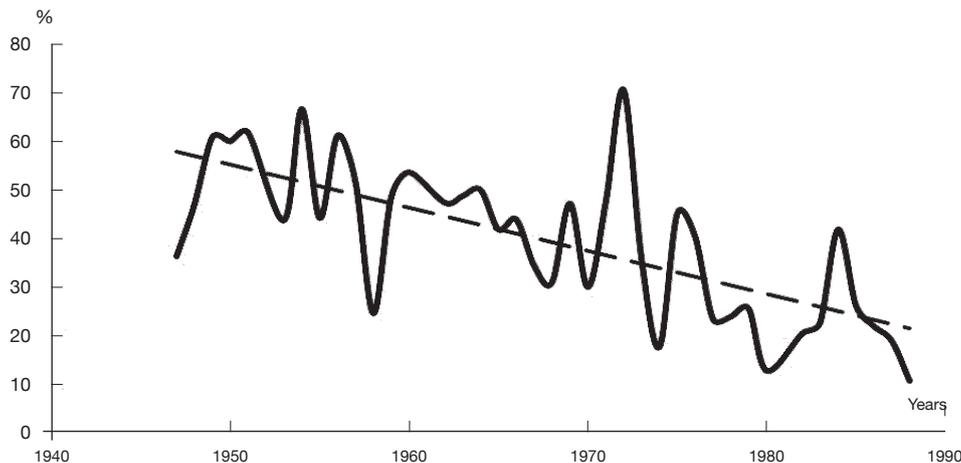


Рис. 3.
Изменение
числа пересыхающих рек,
% всех рек
бассейна Дона
с отсутстви-
ем стока

важно при изучении причин деградации малых рек в условиях изменяющегося климата, для оценок гидроэкологической безопасности территории, взаимосвязи подземных и поверхностных вод, вариаций подземного стока. На реках России прекращение стока происходит во время зимнего и летне-осеннего периодов, причем оно может наблюдаться как ежегодно, так и эпизодически. Основные факторы, определяющие отсутствие стока:

- площадь бассейна, его физико-географические и гидрогеологические условия;
- метеорологическая обстановка в весенне-летний период, характеризующая текущее увлажнение бассейна;
- общий запас воды в бассейне в весеннее половодье и его объем [1].

Особенно актуальна данная проблема в регионах с дефицитом воды и большими потребностями в ней (сельскохозяйственные районы бассейнов Дона, Терека, Кубани, Нижней Волги).

Пересыхание рек в бассейне Дона – особая проблема. Площади водосборов более чем 100 использованных в работе пересыхающих рек колеблются от 10 до 19 000 км². Бессточный период длится 2–2.5 месяца и обычно начинается в конце июля. В последние годы наблюдается уменьшение среднегодового и увеличение меженного стока. Половодье смещается на более ранние сроки, а начало бессточного периода – на более поздние. Продолжительность бессточного периода в большинстве случаев сокращается.

Многолетняя динамика пересыхания рассмотрена на соотношении изменения между пересохшими в данном году реками и общим числом потенциально пересыхающих в данном районе рек, на которых однажды наблюдался бессточный период. Дополнительно исследовалась динамика климатических изменений: суммы осадков и суммы положительных температур за холодный период (XI–III месяцы). Как отмечалось, средняя сумма осадков за холодный период с 1881 по 2000 гг. увеличилась на 50 мм, а сумма положительных температур – на 150°С, что сказывается на увеличении зимнего меженного стока. Однако такое изменение данных характеристик влияет на объем весеннего половодья двояко: с одной стороны, наличие оттепелей снижает величину снеготазов, частично срабатывая их еще зимой и пополняя запас подземных вод, с другой – увеличение зимних осадков в целом увеличивает снеготазы и тем самым увеличивает объем половодья.

Увеличение числа оттепелей и суммы осадков за холодный период привело на большинстве пересыхающих рек к увеличению объема половодья, смещению его сроков и сокращению продолжительности бессточных периодов. К концу XX в. количество реально пересохших в конкретном году рек относительно общего числа потенциально пересыхающих рек уменьшилось с 60 (1960-е гг.) до 20% (1990-е гг.) (рис. 3). На большинстве пересыхающих рек наблюдается увеличение объема половодья и сокращение продолжительности бессточных периодов. ❀

Использованная литература

- 1 Водные ресурсы России и их использование /Под ред. Шикломанова И. А. СПб.: ГГИ, 2008. 600 с.
- 2 Данилов-Данильян В.И., Лосев К.С. Потребление воды: экологические, экономические, социальные и политические аспекты. М.: Наука, 2006. 221 с.
- 3 Джамалов Р.Г., Зекцер И.С., Кричевец Г.Н. и др. Изменение подземного стока под влиянием климата и антропогенных воздействий // Водные ресурсы. 2008. Т.35. № 1. С.17–24.
- 4 Карта подземного стока территории СССР. Масштаб 1:2500000 М.: Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР, 1974.
- 5 Кислов А.В., Евстегнеев В.М., Малхазова С.М. и др. Прогноз климатической ресурсообеспеченности Восточно-Европейской равнины в условиях потепления XXI века. М.: МАКС Пресс, 2008. 292 с.