

УДК 502/504; 556.512; 556.53

АНТРОПОГЕННЫЕ И КЛИМАТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ СОВРЕМЕННОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЛЕСОСТЕПИ РУССКОЙ РАВНИНЫ (НА ПРИМЕРЕ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ)¹

© 2025 г. С. В. Долгов^{a, *}, Н. И. Коронкевич^{a, **}

^aИнститут географии РАН, Москва, 119017 Россия

*e-mail: svdolgov1978@yandex.ru

**e-mail: koronkevich@igras.ru

Поступила в редакцию 11.04.2024 г.

После доработки 27.06.2024 г.

Принята к публикации 27.06.2024 г.

Предложены подходы к региональному гидроэкологическому анализу, учитывающие взаимосвязь поверхностных и подземных вод. На примере Белгородской области выявлены особенности формирования ресурсов поверхностного и подземного стока в меняющихся климатических и хозяйственных условиях в лесостепной зоне Русской равнины. Установлены тенденции в использовании водных ресурсов. Оценено влияние на них сточных вод, стока с урбанизированных территорий и пахотных угодий. Показано, что весьма важную гидрологическую и экологическую роль играет изменение климатических условий, прежде всего рост температуры воздуха. Установлены изменения за последние годы (с 2008 по 2021 г.) речного стока, его поверхностной и подземной составляющих, выявлены их позитивные и негативные последствия. Важным резервом обеспечения населения водой высокого качества служат ресурсы подземных вод, которые освоены далеко не в полной мере. Для улучшения экологического состояния водных объектов весьма актуально совершенствование системы очистки сточных вод, создание мониторинга загрязнения водных объектов от диффузных источников и снижение безвозвратных потерь воды при ее использовании.

Ключевые слова: Белгородская область, лесостепная зона, поверхностные и подземные воды, речной сток, антропогенные и климатические факторы, количественные и качественные изменения водных ресурсов, последствия.

DOI: 10.31857/S0321059625020017 EDN: UCZUJ

ВВЕДЕНИЕ

Современные (с начала 1990-х гг.) особенности формирования ресурсов стока обусловлены неоднозначным антропогенным воздействием в условиях значительно изменившихся за последние десятилетия климатических факторов. Интегральный результат произошедших трансформаций, представляющий значительный интерес для разработки эффективных природо- и водоохраных мер и оценки перспектив развития области, остается недостаточно изученным.

Особенно актуальна такая задача для регионов с ограниченными ресурсами стока и интенсив-

ной антропогенной нагрузкой, способствующей низкому их качеству. К таким регионам относится и Белгородская область, расположенная в зоне недостаточного увлажнения (преимущественно в лесостепи Русской равнины и на небольшом участке степи на водосборе р. Айдар).

В суммарных водных ресурсах Белгородской области преобладают ресурсы местного стока (92%). Поступающий из соседней Курской области сток составляет лишь 8% [4]. Общие ресурсы стока характеризуются низким качеством – преобладают “грязные” речные воды [21], генезис загрязнения которых остается недостаточно изученным.

Гидрологической и гидроэкологической характеристике Белгородской области посвящено довольно большое число публикаций [16, 19, 22, 23, 29, 30]. Она освещается и в целом ряде спра-

¹ Исследование выполнено в рамках Государственного задания Института географии РАН ФМWS-2024-0007 (1021051703468-8).

вочных изданий по СССР и России [3–5, 8, 21, 26]. Все они в основном посвящены отдельным аспектам затрагиваемой темы.

Цель данной статьи заключается в комплексной оценке состояния водных ресурсов Белгородской области под влиянием современных изменений во взаимодействии поверхностных и подземных вод, климатических условий, водного хозяйства и антропогенного воздействия на водосборы (урбанизации территории, сельскохозяйственной деятельности), приводящего к неконтролируемому диффузному загрязнению водных объектов.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИСХОДНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Различные аспекты региональной оценки состояния ресурсов речного стока в лесостепи

и степи Русской равнины рассмотрены в ряде публикаций [5, 7, 10, 11, 14, 15, 17, 28]. В данной статье используется комплексный географо-гидрологический подход, ориентирующий на учет генетической неоднородности стока, обусловленной различиями во влиянии природно-климатических и антропогенных факторов, а также в процессах формирования поверхностной и подземной его составляющих [12, 17].

Указанные составляющие были выделены на гидрографах речного стока с учетом контрастных особенностей его формирования в последние десятилетия, когда весеннее половодье и межень выражаются очень четко (рис. 1а) и когда выделение половодья и межени осложнено зимними и летними паводками (рис. 1б). Тот и другой типы гидрографа за период 2008–2021 гг. имели место примерно поровну. Подземная составляющая

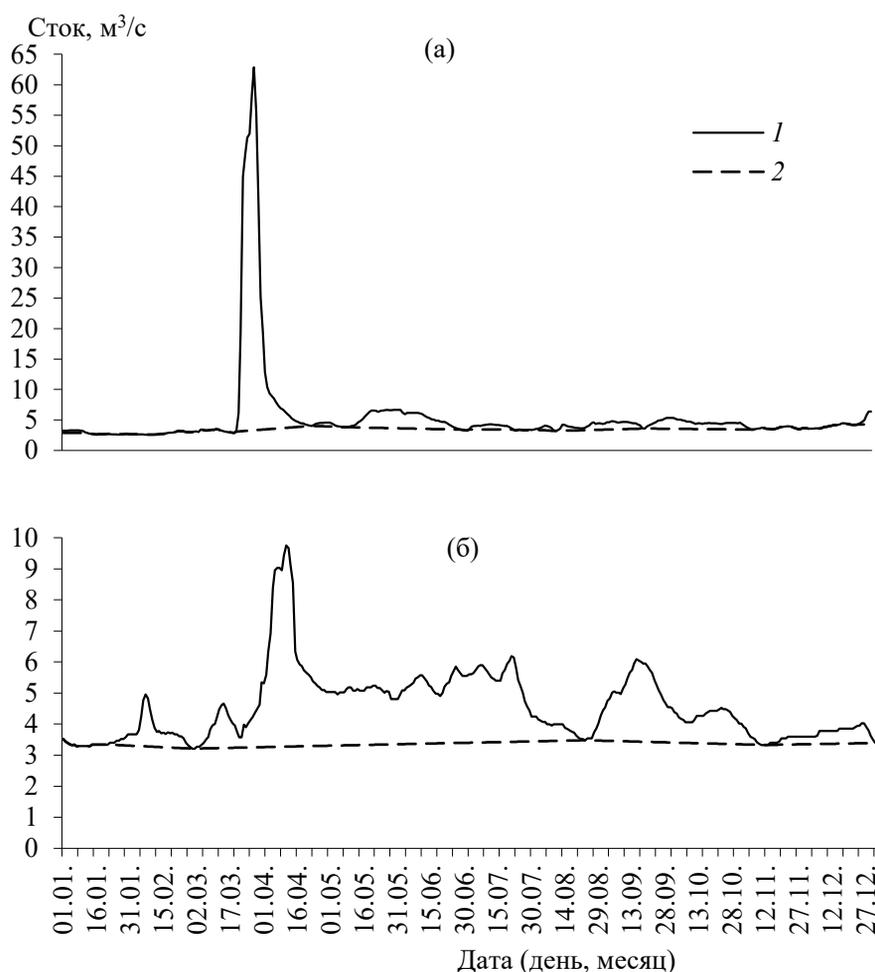


Рис. 1. Гидрографы стока р. Тихая Sosна у г. Алексеевки за 2010 г. (а) и 2015 г. (б): 1 – полный речной сток; 2 – подземная составляющая стока.

стока на рис. 1 выделена по кривой, проведенной через точки с минимальным суточным стоком.

Такой подход к расчленению гидрографов представляется достаточно обоснованным. Расчеты для 11 пунктов наблюдений Росгидромета на реках Белгородской области показали, что между рассчитанным таким образом годовым подземным стоком и его устойчивой составляющей (минимальным суточным) коэффициент корреляции довольно высокий (> 0.90) (рис. 2). В качестве показателя минимального суточного подземного стока принято среднее между величинами минимального суточного речного стока в холодный (ноябрь–март) и теплый (апрель–октябрь) сезоны.

Для ориентировочной оценки подземной составляющей стока использовались также и менее репрезентативные показатели – минимальный среднемесячный речной сток в холодный и теплый сезон. В данном случае наблюдается достаточно тесная корреляционная связь ($0.90–0.94$) этих показателей с наиболее надежным показателем подземного стока – минимальным суточным речным стоком (рис. 3).

Массив исходной информации представлен ежедневными данными наблюдений Росгидромета [1] за стоком рек в 11 пунктах: Северский До-

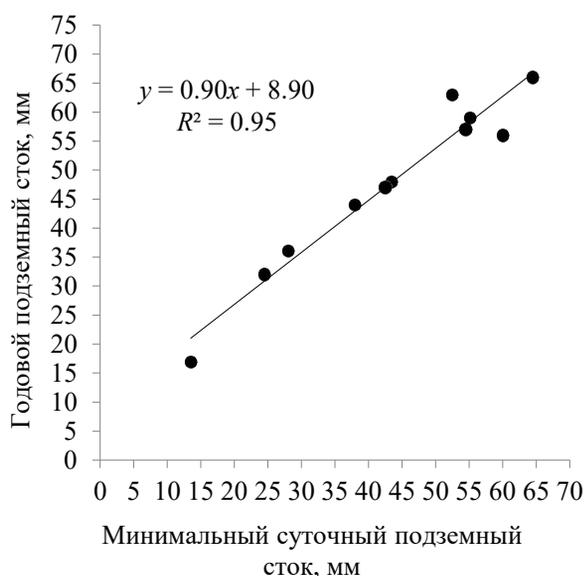


Рис. 2. Связь среднего за 2008–2021 гг. годового и минимального суточного подземного стока рек Белгородской области.

нец у с. Киселево (площадь водосбора 740 км^2) и с. Зеленая Поляна (1225); Оскол в г. Старый Оскол (1540), с. Ниновка (6270) и п. Раздолье (8640); Болховец в г. Белгород (394); Нежеголь – г. Шебекино (2070); Ворскла – с. Козинка (1870); Осколец – г. Старый Оскол (494); Валуй – г. Валуйки (1290); Тихая Сосна – г. Алексеевка (2060 км^2). Были рассчитаны величины речного стока, его поверхностной и подземной составляющих, осредненные как за гидрологический год (с ноября по март), так и за отдельные сезоны (холодный – с ноября до начала половодья; половодье; теплый – с конца половодья по октябрь). Другой массив исходной информации представлен результатами наблюдений Росгидромета за температурой воздуха и атмосферными осадками по трем метеостанциям (Богородицкое-Фенино, Валуйки и Готня). Анализировались также сведения Росреестра и Росстата и данные об использовании ресурсов поверхностных и подземных вод [1, 3, 8, 9, 25, 27].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБСУЖДЕНИЕ

Ландшафтно-гидрологические особенности

Территория Белгородской области расположена на водораздельных пространствах Дона (80.4%) и Днепра (19.6%). Густота речной

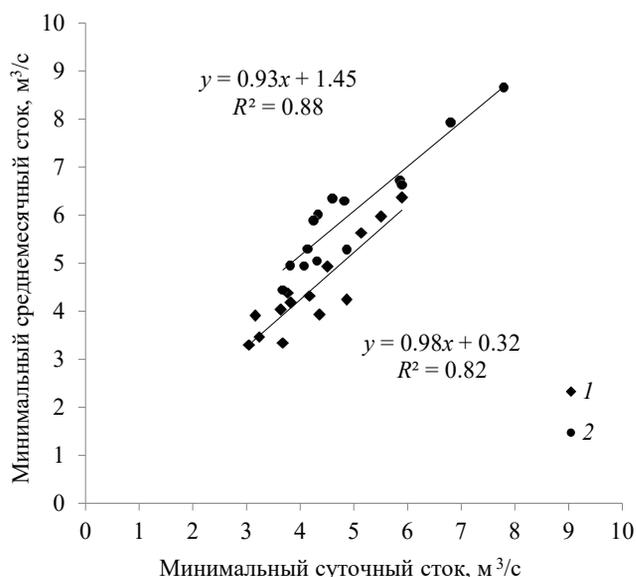


Рис. 3. Корреляционная связь минимального среднемесячного и суточного стока р. Тихая Сосна у г. Алексеевки за 2008–2021 гг. в холодный (1) и теплый (2) сезоны.

сети составляет 0.18 км/км², протяженность ~ 4658 км. В области насчитывается более 500 водотоков, но рек длиной более 100 км – лишь четыре: Ворскла – 118 км (бассейн р. Днепр), Оскол – 293 км, Северский Донец – 102 км и Тихая Сосна – 105 км (бассейн Дона).

По данным Росреестра, земельный фонд Белгородской области составляет 2713.4 тыс. га. В ее ландшафтно-гидрологической структуре преобладают сельскохозяйственные угодья (78.7% ее площади, в том числе пашня – 60.7%). Угодьями с повышенным коэффициентом стока вследствие уплотненной к началу весеннего половодья почвы (озимые, многолетние травы, пастбища, залежи, стерня) занято 41.9% территории области. Несколько меньше (36.8%) приходится на поля с рыхлой почвой (зябь и черный пар) с невысоким коэффициентом стока. Доля земель лесного фонда и лесных насаждений, не входящих в лесной фонд, с наименьшим коэффициентом стока составляет 8.9%. На урбанизированные территории (земли застройки, промышленности, под дорогами) с наиболее высоким коэффициентом стока приходится 4.6%. Прочими территориями (охраняемые природные участки, водные объекты, парки, свалки, земли энергетики, связи и др.) занято 7.8%.

Влияние водного хозяйства

Белгородская область относится к регионам с невысокой обеспеченностью населения ресурсами речного стока. Средняя многолетняя их величина (местных и притока) составляет 2.7 км³/год [8]. На одного жителя Белгородской области в средний по водности год приходится только 1780 м³ воды, что в 16 раз меньше среднего российского показателя (29 060 м³/год).

В большей мере по сравнению с соседними регионами обеспечено население Белгородской области прогнозными ресурсами подземных вод – 1430 м³/год на одного человека (Курской – 1080, Воронежской – 650 м³/год). Они служат важным резервом хозяйственно-питьевого водоснабжения, для которого здесь используются преимущественно подземные воды зоны активного водообмена. Их отбор на различные нужды в 5–7 раз превышает отбор воды из поверх-

ностных водных объектов (рис. 4). При этом на отдельных участках отмечается существенный ущерб речному стоку за счет усиленной фильтрации речных вод в эксплуатируемые водоносные горизонты. Так, в 1993 г. в бассейне Северского Донца на участке между с. Огурцово и г. Белая Калитва доля поглощенных речных вод в заборе подземных вод достигала 49% (37% суммарного отбора речных и подземных вод) [8].

Сброс сточных вод в подземные водные объекты на территории области не осуществляется. Основную нагрузку сточными водами испытывают поверхностные водные объекты. Поступление сточных вод в них значительно (в 3.5–4.0 раза в 2019–2021 гг.) превышает водоотбор из них. В основном сбрасываются использованные подземные воды, что компенсирует ущерб речному стоку вследствие фильтрации речных вод в водоносные горизонты. Однако общий ущерб для ресурсов речного и особенно подземного стока довольно высокий (~56% суммарного водоотбора составляют безвозвратные потери воды) (рис. 4). Кроме того, из-за недостаточно эффективной очистки сточных вод снижается качество речных вод.

Несмотря на существенное снижение в Белгородской области (37% за 1990–2021 гг., в том числе 20% за 2000–2021 гг.) суммарного отбора поверхностных и подземных вод и уменьшение общей величины сброса сточных вод (рис. 4), наблюдается повышенный сброс загрязненных вод. Их доля в суммарном объеме учитываемых водохозяйственной статистикой категорий сточных вод возросла с 8–10% в среднем за 1995–2008 гг. до 50–52% и более за 2009–2021 гг. Причем произошло это на фоне в основном климатического снижения речного стока в последние годы. В среднем за 2009–2021 гг. его величина (2.1 км³/год) составила 78% от нормы за 1930–1980 гг. (2.7 км³/год) [8], что привело к уменьшению разбавляющей способности речного стока и способствовало ухудшению экологического состояния речных вод.

Гидроэкологическая роль урбанизированных территорий

Весьма существенную роль в формировании количества и особенно качества речных вод

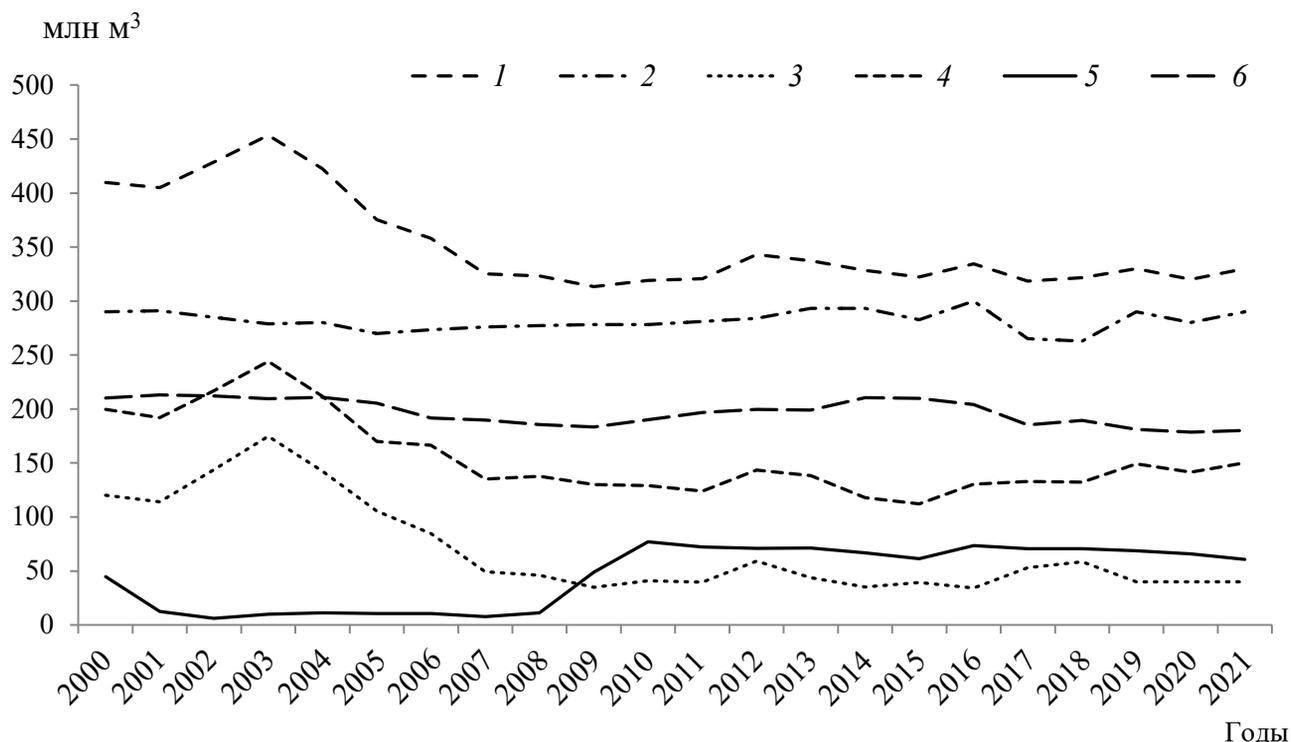


Рис. 4. Динамика суммарного водоотбора (1), отбора подземных (2) и речных (3) вод, сброса сточных вод всех категорий (4), загрязненных сточных вод (5) и безвозвратных потерь воды (6).

в Белгородской области играют урбанизированные территории. Влияние дорожно-транспортной нагрузки рассмотрено в публикации [13]. Дорожное строительство приводит к увеличению площади урбанизированных территорий с наиболее высоким коэффициентом поверхностного стока по сравнению с природными ландшафтами. Придорожный сток на одних участках возрастает и активизирует эрозионные процессы, а на других концентрируется в понижениях рельефа, приводя к переувлажнению, подтоплению дорожной насыпи и ее деформации. В общем случае при эксплуатации дорог формируется сплошная региональная полоса загрязнения почвогрунтов, поверхностного и подземного стока. Причем на одних участках преобладает вынос загрязняющих веществ в гидрографическую сеть, а на других — их аккумуляция. В пробах воды, отобранных в зоне влияния дорог, нередко обнаруживается повышенное содержание тяжелых металлов, нефтепродуктов, сульфитов, сульфатов, нитритов, нитратов, аммонийного азота и других загрязнителей.

За последние десятилетия дорожно-транспортная нагрузка существенно возросла. По данным Росстата [25], в Белгородской области густота одних лишь автодорог с твердым покрытием еще в 1990 г. (0.16 км/км^2) по величине оказалась близкой к густоте речной сети (0.18 км/км^2). Несмотря на кризисные явления в экономике, автодорожная сеть продолжала развиваться, и к 2000 г. густота автодорог возросла почти на 50% и составила 0.24 км/км^2 . С 2012 г. Росстатом стала учитываться и протяженность уличных дорог в населенных пунктах. Но и по обновленной методике зафиксирован дальнейший рост дорожно-транспортной нагрузки. В самые последние годы (с 2012 г.) густота автодорог увеличилась на 23% и более чем в 4 раза превысила густоту речной сети.

По состоянию на 2022 г. вне населенных пунктов землями транспорта, предназначенными для его функционирования, занято 19.3 тыс. га, в самих населенных пунктах — 8.2 тыс. га [9]. Средняя многолетняя величина годовых атмосферных осадков в Белгородской области, рас-

считанная за период 2008–2021 гг. по данным метеостанций Богородицкое-Фенино, Валуйки и Готня, составила 561 мм (за холодный сезон – 214 мм, теплый сезон – 347 мм). Отсюда следует, что объем загрязненных от осадков вод на землях транспорта составляет 154.3 млн м³/год, что существенно больше объема отбора речных вод и сброса в поверхностные водные объекты сточных вод всех категорий (рис. 4).

Помимо земель транспорта на землях, занятых промышленностью вне населенных пунктов (19.4 тыс. га) и в самих населенных пунктах (11.6 тыс. га), ежегодно подвергается загрязнению еще 173.9 млн м³ талых и дождевых вод.

Существенное загрязнение выпавших осадков наблюдается также на землях населенных пунктов (347.2 тыс. га), прежде всего на территориях, занятых жилой и общественно-деловой застройкой (суммарно – 66.1 тыс. га). На таких территориях загрязняется ~ 370.8 млн м³/год выпавших осадков.

В итоге суммарное количество выпавших годовых атмосферных осадков, подверженных в той или иной степени загрязнению на урбанизированных территориях Белгородской области, довольно значительное – 699 млн м³/год (267 за холодный сезон и 432 за теплый сезон).

Согласно публикации [18], на формирование диффузного стока с урбанизированных территорий в бассейне Дона расходуется в холодный сезон (включая половодье) в среднем 0.6 осадков, что составляет 160 млн м³/год. Для расчета стока за теплый сезон нами, как и в упомянутой публикации [18], использован коэффициент стока 0.1 для территории г. Курска [20]. С учетом данного коэффициента объем стока за счет осадков теплого сезона составил 43.2 млн м³/год. За годовой период в целом объем стока с урбанизированных площадей Белгородской области составляет 203.2 млн м³ – ~10% ее общего стока (2.1 км³/год местного и притока). Объем загрязненного диффузного стока, сформированного на урбанизированных территориях, значительно больше (на 52%) объема сточных вод всех учитываемых водохозяйственной статистикой категорий (в среднем за 2008–2021 гг. 133.5 млн м³/год)

и более чем в 3 раза превышает объем загрязненных сточных вод (63.5 млн м³/год).

Сельскохозяйственная нагрузка

Наиболее распространено антропогенное воздействие сельского хозяйства на речные водосборы, особенно на пашне – как на количество, так и на качество водных ресурсов вследствие выноса с полей талыми и дождевыми водами в водные объекты компонентов удобрений, ядохимикатов и других загрязнителей. Вследствие спада сельскохозяйственного производства в 1990-е гг. произошло сокращение посевной площади Белгородской области на 6% относительно 1990 г. К 2005 г. оно достигло 19%, затем наблюдался рост, но уровень 1990 г. остается пока не достигнутым (в 2022 г. – 92%).

Негативная гидроэкологическая сельскохозяйственная нагрузка уменьшилась и по применению минеральных удобрений. Особенно значительно снизилось их использование к 1999 г. – на 85% относительно уровня 1990 г., при этом вносились удобрения не более чем на 40% посевной площади. Однако затем применение удобрений довольно быстро стало возрастать и стабилизировалось в период с 2010 по 2022 г. на уровне ~65%, а доля земель с внесенными удобрениями во всей посевной площади в последние годы (2019–2022 гг.) достигла 91–94% по отношению к 1990 г.

В отличие от минеральных удобрений, снижение использования органических удобрений продолжалось и после 1999 г. Минимальная их величина была зафиксирована в 2006 г. – 84% от уровня 1990 г., а удельный вес земель с внесенными удобрениями во всей посевной площади ≤ 2%. Затем использование органических удобрений стало довольно быстро увеличиваться. В последние годы (2019–2022 гг.) их объем даже значительно превысил уровень 1990 г. – на 65%, а удельный вес земель с внесенными органическими удобрениями во всей посевной площади увеличился до 14–15%.

Один из главных результатов трансформации ландшафтной структуры сельским хозяйством – изменение поверхностного склонового стока.

Это видно, в частности, при сравнении стока с зяблевой (осенней) пахоты и с полей, не распашанных с осени, с уплотненной к началу половодья почвой. В табл. 1 приведены результаты анализа данных многолетних наблюдений на ближайшем к территории Белгородской области Новосильском воднобалансовом стационаре ФНЦ Агроэкологии РАН (ранее ВНИАЛМИ) в Мценском районе Орловской области. Видно, что различия отмечены и по инфильтрации, которая во время весеннего половодья и в холодный сезон в целом значительно преобладает над поверхностным склоновым стоком. Причем на зяби коэффициент инфильтрации больше, чем на полях с уплотненной почвой.

Пашней, как отмечено выше, занято 60.7% территории области (1647 тыс. га). Поскольку в среднем многолетняя величина питания подземных вод эквивалентна величине подземного стока зоны активного водообмена [24], то, учитывая величину коэффициента подземного стока (0.10 за 2008–2021 гг.), можно ориентировочно определить объем загрязненных талых и дождевых вод, расходуемый на формирование годового подземного стока на пашне. Он составил 924 млн м³/год. За счет другой части загрязненных на пашне осадков образуется поверхностный склоновый сток. В последние десятилетия (с 1981 г.) он значительно сократился и, по оценке в [14], составляет ~4 мм в расчете на всю площадь области. Отсюда следует, что ежегодно в холодный сезон на пашне оказываются загрязненными в среднем еще ~66 млн м³ стекающих поверхностным путем талых и дождевых вод. В дополнение к этому, если принять во внимание соотношение между поверхностными составляющими стока в холодный и теплый сезоны за 2008–2021 гг., то оказывается, что в теплый сезон может загрязняться на пашне ~2 мм дождево-

го поверхностного стока (33 млн м³). Суммарная величина диффузного стока с пашни составляет значительную величину – 1023 млн м³/год.

Таким образом, на урбанизированных территориях и пашне в Белгородской области формируется в последние годы (2008–2021 гг.) 1.23 км³/год в основном неконтролируемого диффузного стока (включая его поверхностную и подземную составляющие), что составляет ~59% от всего объема годового речного стока. В дальнейшем эта ориентировочная величина может быть уточнена, прежде всего с учетом современных особенностей агрофона, различий в формировании поверхностного и подземного стока в холодный и теплый сезоны, что остается пока слабо изученным.

Изменение климатических условий

Весьма важным фактором современной гидроэкологической ситуации в Белгородской области стал рост температуры воздуха как в среднем за год, так и во все сезоны. По данным метеостанции Богородицкое-Фенино, устойчивый рост температуры воздуха в холодный сезон (ноябрь–март) наблюдается с 1981 г., в теплый (апрель–октябрь) – с 1998 г., а за год в целом – с 1989 г. [7]. Относительно периода 1890–1980 гг. в период с 1981 по 2022 г. среднегодовая температура воздуха увеличилась на 1.3°C. Наибольшее увеличение температуры (на 2.4–2.9°C) отмечено в январе–марте, в гораздо меньшей степени (0.5–0.8°C) – летом в июне–августе.

Особенно значительный рост температуры воздуха произошел в последние годы (2008–2022 гг.). Относительно нормы (по состоянию на 1980 г.) в период с 1981 по 2007 г. (за 27 лет) годовая температура увеличилась на 0.8°C (за хо-

Таблица 1. Средний многолетний поверхностный склоновый сток и инфильтрация в почву за период половодья и весь холодный сезон (включая половодье) за 1957–2016 гг. на Новосильском стационаре (рассчитано по данным [2])

Вид агрофона	Инфильтрация в почву весной, мм	Коэффициент весенней инфильтрации	Суммарная инфильтрация в почву за холодный период, мм	Весенний поверхностный склоновый сток, мм	Коэффициент стока
Зябрь	76	0.80	213	20	0.20
Уплотненная пашня	74	0.71	204	29	0.29

лодный сезон – на 1.4°C , теплый сезон – 0.5°C), а с 2008 по 2022 г. (15 лет) она возросла еще больше – на 2.2°C (за холодный сезон – 2.8°C , теплый сезон – 1.7°C).

По гидроэкологическим последствиям произошедшее увеличение температуры воздуха в холодный и теплый сезоны существенно различается. В холодный сезон ее рост приводит к уменьшению поверхностного стока и миграции с ним загрязняющих веществ, но способствует увеличению почвенных влагозапасов, инфильтрации, подземного стока и степени загрязненности подземных вод, а в теплый сезон – сопровождается увеличением испарения, что приводит к уменьшению величины как поверхностной, так и подземной составляющих стока. Немаловажный минус в экологическом отношении – снижение запасов влаги в почве в вегетационный период.

В отличие от температуры воздуха, в многолетних колебаниях средних по территории Белгородской области атмосферных осадков (рассчитанных по данным метеостанций Богородицкое-Фенино, Валуйки и Готня) за период с 1966 по 2007 г. отчетливо выраженных долговременных тенденций не прослеживается. По данным метеостанций Богородицкое-Фенино, Валуйки и Готня, за период с 1966 по 1980 г. средняя сумма годовых осадков составила 594 мм, в том числе за холодный сезон – 224 мм, теплый

сезон – 370 мм. С 1981 по 2022 г. их величина практически не изменилась и составила 591 мм (за холодный сезон – 211 мм, теплый сезон – 380 мм). Однако в последние годы (2008–2022 гг.) суммы годовых осадков и осадков за холодный и теплый сезоны несколько уменьшились (на 4.3–4.5%). Это наряду с ростом температуры воздуха (особенно в теплый сезон) создает предпосылки к ухудшению гидроэкологической ситуации в отношении как ресурсов речного стока, так и запасов влаги в почве на сельскохозяйственных угодьях.

Оценим далее реакцию стока на наблюдающиеся изменения факторов его формирования.

Изменения речного стока

Из приведенных на рис. 5 разностных интегральных кривых следует, что многолетние колебания годового речного стока и максимального среднего месячного стока (в значительной мере отражающего сток половодья) обладают сходством (коэффициент корреляции равен 0.81). За период наблюдений на р. Тихая Сосна (1947–2021 гг.) до 1971 г. прослеживается фаза повышенного стока, затем – весьма длительная (~50 лет) фаза пониженного стока. Наиболее отчетливо она выражена с 1981 г., когда произошел переход к фазе повышенных значений температуры воздуха за холодный сезон.

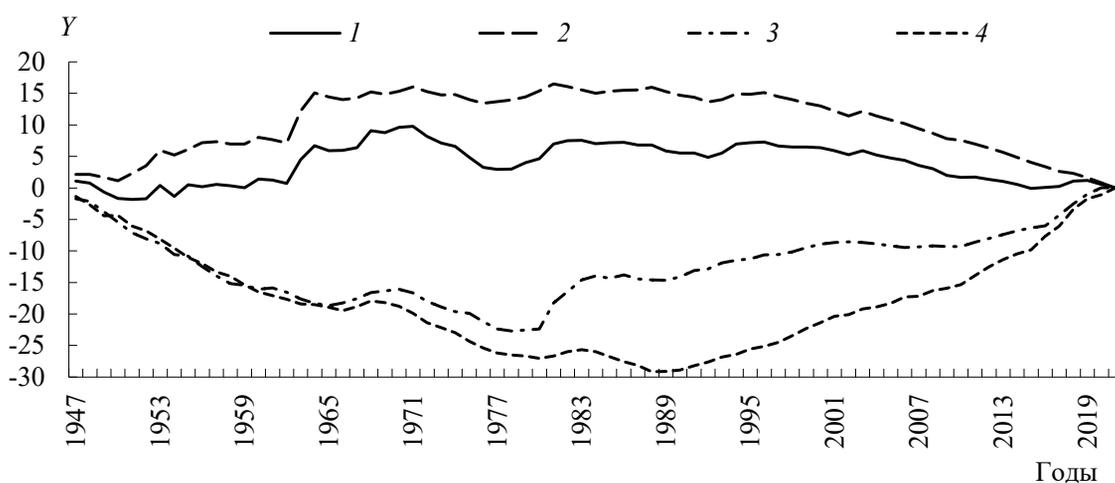


Рис. 5. Нормированные разностные интегральные кривые годового стока (1), максимального месячного стока (2), минимального месячного стока в холодный (3) и теплый (4) сезоны. ($Y = \sum(k_i - 1)/Cv$, где k_i – отношение величины стока за i -й год к средней многолетней его величине, Cv – коэффициент вариации).

Из рис. 5 также следует, что многолетние колебания годового речного стока р. Тихая Сосна, как и максимального среднемесячного, характеризуются асинфазностью (многолетней фазе соответствует маловодная, и наоборот) с колебаниями показателей подземного стока – минимального месячного стока в холодный и теплый сезоны. Причем переход к фазе повышенного подземного стока в холодный сезон произошел в 1981 г., а в теплый сезон – значительно позднее, лишь в 1990 г., когда сформировалась фаза повышенной годовой температуры воздуха. Насколько такая ситуация типична для всей рассматриваемой территории – предмет дальнейших исследований.

Под влиянием главным образом климатических изменений годовой сток в Белгородской области в целом (местный сток плюс приток) за последние годы (2008–2021 гг.) существенно снизился – на 30% по отношению к его средней многолетней величине на начало 1960-х гг., составлявшей 2,98 км³ год [6] (на 22% относительно стока за 1930–1980 гг.). При этом значительно возросла доля подземного стока в годовом речном стоке – с 19 до 67%, а доля поверхностной составляющей, напротив, сократилась – с 81 до 33% (рис. 6), что привело к более равномерному внутригодовому распределению стока. Сток

в половодье резко уменьшился и по величине стал практически таким же, как и в осенне-зимний сезон, составив лишь 29% полного годового стока. В итоге при прочих равных условиях снизилась транспортирующая способность поверхностного стока по выносу загрязняющих веществ в реки, а подземного стока увеличилась.

Такая ситуация обусловлена значительным снижением за последние десятилетия величины поверхностного склонового стока вследствие изменения климатических условий. Так, в районе Новосильского стационара ФНЦ Агрэкологии РАН снижение составило 69% на не распашанных с осени угодьях с уплотненной к началу половодья почвой и 77% – на полях с зяблевой (осенней) пахотой [2]. Другая тенденция заключается в существенном увеличении инфильтрации в почвогрунты в зоне аэрации – на 13–16% за весь холодный сезон, включая половодье, что способствует пополнению запасов подземных вод и повышению урожайности сельскохозяйственных культур.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В связи с невысокой обеспеченностью ресурсами речного стока водоснабжения населения и хозяйства Белгородской области используют-

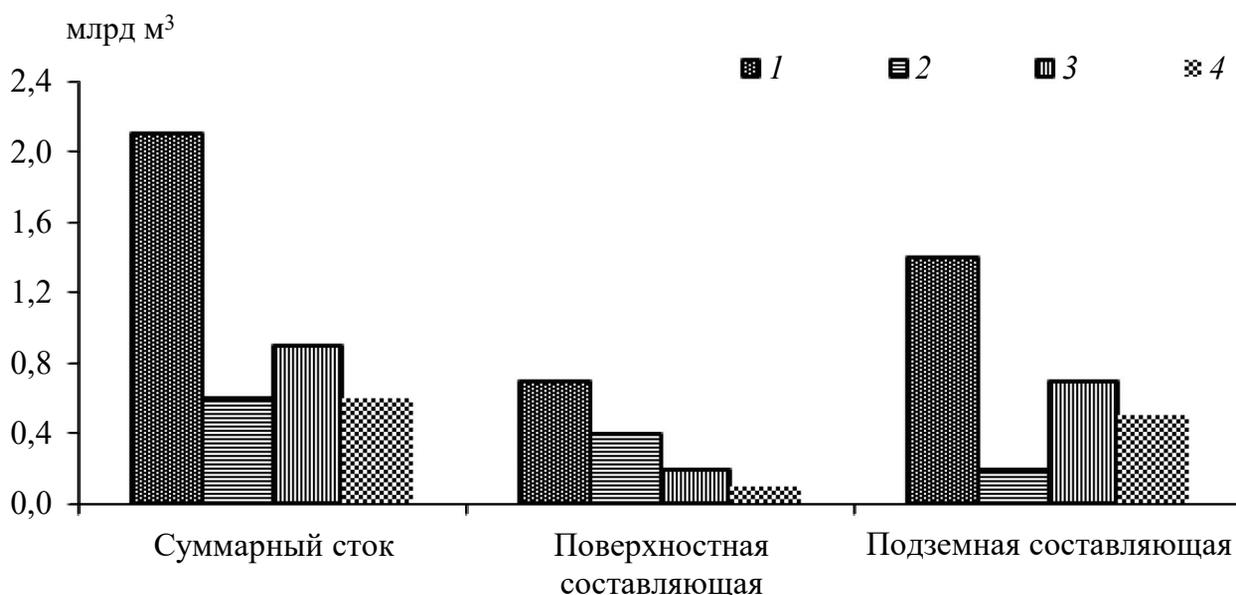


Рис. 6. Годовой сток Белгородской области и его внутригодовое распределение в среднем за 2008–2021 гг. (1 – год в целом, 2 – период половодья, 3 – летне-осенний сезон, 4 – осенне-зимний сезон).

ся преимущественно подземные воды зоны активного водообмена. Их отбор в 5–7 раз больше отбора поверхностных вод. Ущерб речному стоку вследствие усиленной фильтрации речных вод в эксплуатируемые водоносные горизонты компенсируется значительным объемом сбрасываемых сточных вод. Он в 3.5–4.0 раза (2019–2021 гг.) превышает отбор речных вод. Однако для ресурсов подземного стока ущерб довольно высокий, ~50% отбора подземных вод составляют безвозвратные потери. Кроме того, в перспективе при истощении эксплуатационных запасов подземных вод, как правило, весьма медленно восполняющихся, ущерб речному стоку может стать значительным. Но и в настоящее время компенсации качества речных вод не происходит; напротив, в основном сбрасываются использованные подземные воды, относящиеся к категории загрязненных. Их объем в последние годы (2009–2021 гг.) стал даже больше объема отбора поверхностных вод, причем на фоне снижения разбавляющей способности речного стока.

Наблюдающаяся в последние годы негативная гидроэкологическая ситуация на территории Белгородской области в определенной степени обусловлена также усилением отдельных видов антропогенной нагрузки (после ее спада в 1990-е гг.). Сокращение посевной площади в Белгородской области в 1990-е гг. сменилось с 2005 г. ее увеличением (к 2022 г. до 92% уровня 1990 г.). Объем вносимых удобрений довольно быстро стал возрастать и стабилизировался в период с 2010 по 2022 г. на уровне ~ 65% по отношению к 1990 г. В многочисленных личных подсобных хозяйствах и на дачных участках наблюдается также активная и практически не контролируемая природоохранными органами сельскохозяйственная деятельность, негативно влияющая на состояние водных ресурсов.

Несмотря на осуществление водоохранных мероприятий, направленных в основном на снижение поступления в водные объекты загрязняющих веществ от точечных источников, качество вод остается неудовлетворительным вследствие негативного воздействия неконтролируемого диффузного поверхностного и подземного стока с пахотных угодий и урбанизированных территорий. Суммарный объем антропогенно изме-

ненных вод в Белгородской области составляет весьма значительную величину – 1.23 км³/год (2008–2021 гг.), ~59% всего объема годового речного стока.

Наиболее значительными за последние десятилетия оказались климатические изменения стока. Весьма существенный рост температуры воздуха в холодный сезон, сопровождавшийся участвовавшими оттепелями, привел к уменьшению глубины промерзания почвогрунтов зоны аэрации, снижению запасов воды в снеге перед началом весеннего половодья и уменьшению роли поверхностного склонового стока в миграции загрязняющих веществ. В то же время такая ситуация привела к увеличению инфильтрации талых вод в почву во время оттепелей и весеннего половодья, способствуя миграции этих веществ в почвогрунты зоны аэрации и далее в верхние водоносные горизонты с грунтовыми водами. Причем изменение климатических условий и сельскохозяйственной деятельности на современном этапе разнонаправлено действует на весенний поверхностный склоновый сток. Если бы не влияние угодий с уплотненной к началу половодья почвой, то современный склоновый сток в половодье под влиянием климатических изменений снизился бы еще в большей степени, а инфильтрация талых вод, соответственно, увеличилась бы.

Негативными последствиями климатических изменений стали снижение ресурсов речного стока, уменьшение эффективности стока весеннего половодья по промывке речных русел, ухудшение условий естественного воспроизводства рыбы на пойменных нерестилищах, возникновение определенных трудностей в заполнении весной прудов и водохранилищ до проектных отметок. Однако по своим гидроэкологическим последствиям изменение климата не столь однозначно. Наблюдаются и позитивные последствия. К их числу относятся уменьшение вероятности формирования экстремально высоких наводнений, снижение эрозионной деятельности поверхностного склонового стока и его способности транспортировать загрязняющие водные объекты вещества, создание предпосылок для получения более высоких урожаев вследствие увеличения инфильтрации осадков, рост

ресурсов не требующего регулирования подземного стока, а также снижение неравномерности внутригодового распределения речного стока.

Для улучшения экологического состояния водных объектов весьма актуально снижение безвозвратных потерь воды при ее использовании, совершенствование системы очистки сточных вод и создание мониторинга диффузного загрязнения водных объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО). <https://gmvo.skniivh.ru/>
2. Барабанов А.Т., Долгов С.В., Коронкевич Н.И., Панов В.И., Петелько А.И. Поверхностный сток и инфильтрация в почву талых вод на пашне в лесостепной и степной зонах Восточно-Европейской равнины // Почвоведение. 2018. № 1. С. 74–81.
3. Водные ресурсы и водное хозяйство России. Ежегодный статистический сборник, 2006–2018 гг. / Под ред. Н.Г. Рыбальского, А.Д. Думнова. М.: НИИ-Природа, 2007–2019 гг.
4. Водные ресурсы и водный баланс территории Советского Союза. Л.: Гидрометеиздат, 1967. 199 с.
5. Водные ресурсы России и их использование / Под ред. И.А. Шикломанова. СПб.: ГГИ, 2008. 600 с.
6. Воскресенский К.П. Норма и изменчивость годового стока рек Советского Союза. Л.: Гидрометеиздат, 1962. 548 с.
7. Георгиади А.Г., Долгов С.В., Кашутина Е.А., Коронкевич Н.И., Шапоренко С.И., Ясинский С.В. Современные климатические и гидрологические изменения в Белгородской области и их последствия // Вестн. ВГУ. Сер. География. Геоэкология. 2023. № 4. С. 84–89.
8. Государственный водный кадастр Российской Федерации. Ресурсы поверхностных и подземных вод, их использование и качество. Ежегодное издание. 1994, 2001–2021 гг.
9. Государственный доклад о состоянии и охране окружающей среды Белгородской области. Ежегодное издание. Белгород, 2019–2023.
10. Диффузное загрязнение водных объектов: проблемы и решения / Под рук. В.И. Данилова-Данильяна. М.: РАН, 2020. 512 с.
11. Дмитриева В.А. Водные ресурсы Воронежской области в условиях меняющегося климата и хозяйственной деятельности. Воронеж: Изд. дом ВГУ, 2015. 192 с.
12. Долгов С.В., Коронкевич Н.И. Гидрологическая ярусность равнинной территории // Изв. РАН. Сер. геогр. 2010. № 1. С. 7–25.
13. Долгов С.В., Коронкевич Н.И. Трансформация водных ресурсов линейными антропогенными формами // Изв. РАН. Сер. геогр. 2000. № 3. С. 38–49.
14. Долгов С.В., Коронкевич Н.И., Барабанова Е.А. Ландшафтно-гидрологические изменения в бассейне Дона // Вод. ресурсы. 2020. Т. 47. № 6. С. 674–685.
15. Закруткин В.Е., Коронкевич Н.И., Шишкина Д.Ю., Долгов С.В. Закономерности антропогенного преобразования малых водосборов степной зоны Юга России (в пределах Ростовской области). Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовского ун-та, 2004. 252 с.
16. Корнилов А.Г., Киселев В.В., Курепина В.А., Лопина Е.М., Боровлев А.Э. Биогенное загрязнение водных объектов в сельскохозяйственных районах Белгородской области // Регион. геосистемы. 2023. Т. 47. № 1. С. 76–87.
17. Коронкевич Н.И. Водный баланс Русской равнины и его антропогенные изменения. М.: Наука, 1990. 205 с.
18. Коронкевич Н.И., Черногаева Г.М., Долгов С.В., Кашутина Е.А., Барабанова Е.А., Лукьянов К.В. Антропогенно-измененные воды, поступающие в водные объекты в бассейне Дона // Метеорология и гидрология. 2023. № 6. С. 74–82.
19. Крымская О.В., Лебедева М.Г. Качество вод в реках Центрально-Черноземного региона. Белгород: Политерра, 2004. 105 с.
20. Львович М.И., Чернышев Е.П. Водный баланс и вещественный обмен в условиях города. // Изв. АН СССР. Сер. географ. 1983. № 3. С. 34–48.
21. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2022 год / Под ред. Г.М. Черногаевой. М.: Росгидромет, 2023, 215 с.
22. Петин А.Н., Сердюкова Н.С., Шевченко В.Н. Малые водные объекты и их экологическое состояние. Белгород: Изд-во БелГУ, 2005, 240 с.
23. Петина М.А., Клубкова Г.В., Новикова Ю.И. Изменение водности и гидрохимических показателей основного трансграничного водотока Белгородской области – р. С. Донец // Науч. ведомости БелГУ. 2011. № 21. Вып. 17. С. 132–136.
24. Попов О.В. Подземное питание рек. Л.: Гидрометеиздат, 1968, 290 с.
25. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2021. Стат. сб. М.: Росстат, 2021. 1112 с.

26. Ресурсы поверхностных вод, их использование и качество. Ежегодное издание ГГИ. 2001–2022 гг.
27. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 7. Донской район. Л.: Гидрометиздат, 1973. 460 с.
28. Россия и ее регионы: Внешние и внутренние экологические угрозы / Под ред. *Н.Н. Клюева*. М.: Наука, 2001. 216 с.
29. *Швецова М.Ж., Ильина Л.В., Швецов Ж.Э.* Анализ и оценка гидроэкологического состояния водных ресурсов Белгородской области с использованием “Единой автоматизированной информационной системы государственного мониторинга водных объектов (ЕАИС ГМВО)” // Вестн. БГТУ. 2015. № 4. С. 169–171.
30. *Шевченко В.Н.* Гидроэкологический анализ водного режима территории Белгородской области: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Воронеж: ВГПУ, 2006. 24 с.

Anthropogenic and climatic factors of the current ecological state of water resources in the central forest-steppe of the russian plain (on the example of the Belgorod region)

S. V. Dolgov*, N. I. Koronkevich

Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences, Moscow, 119017 Russia

**e-mail: svdolgov1978@yandex.ru*

Approaches to regional hydroecological analysis are proposed, taking into account the relationship between surface and groundwater. Using the example of the Belgorod region, the features of the formation of surface and underground runoff resources in changing climatic and economic conditions in the forest-steppe zone of the Russian Plain are revealed. Trends in the use of water resources have been established. The impact of wastewater, runoff from urbanized territories and arable lands on them is estimated. It is shown that a very important hydrological and ecological role is played by changing climatic conditions, primarily an increase in air temperature. The changes in recent years (from 2008 to 2021) of river flow, its surface and underground components have been established, their positive and negative consequences have been revealed. Groundwater resources, which have not been fully developed, serve as an important reserve for providing high-quality water to the population. To improve the ecological condition of water bodies, it is very important to improve the wastewater treatment system, create monitoring of pollution of water bodies from diffuse sources and reduce irretrievable water losses during its use.

Keywords: Belgorod region, forest-steppe zone, surface and groundwater, river runoff, anthropogenic and climatic factors, quantitative and qualitative changes in water resources, consequences.