

МОНИТОРИНГОВЫЕ, ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И
ЭКСПЕДИЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
MONITORING, EXPERIMENTAL AND EXPEDITIONARY RESEARCH

УДК 556.16

DOI: 10.34753/HS.2024.6.2.169

**КЛИМАТИЧЕСКИЕ И НЕ
КЛИМАТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ
ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА
В БАССЕЙНЕ РЕКИ БИТЮГ**

**CLIMATIC AND NON-CLIMATIC
FACTORS OF RUNOFF FORMATION
IN THE BASIN
OF THE BITYUG RIVER**

Е.В. Гуревич

Elena V. Gurevich

*Государственный гидрологический институт,
г. Санкт-Петербург, Россия*

State Hydrological Institute, St. Petersburg, Russia

e-mail: gewita@yandex.ru

e-mail: gewita@yandex.ru

Аннотация. В результате исследования выявлены особенности тенденций изменения характеристик регионального водного баланса на примере бассейна р. Битюг, являющегося крупным притоком р. Дон. Произошли существенные изменения приходной и расходной составляющих водного баланса, а также соотношения поверхностных и подземных вод на рассматриваемой территории.

Выявлено снижение количества эффективных осадков, обуславливающих поверхностный сток, на ~18 % и годового слоя стока р. Битюг на 10–20 мм. Суммарный слой стока весеннего половодья р. Битюг уменьшился в среднем в 1,6 раза. Эффект повышения зимнего стока за счет увеличения талой составляющей и зимних жидких осадков, улучшение питания подземных вод в зимний период в результате увеличения инфильтрационной способности почвогрунтов достиг своего предела к 2007 г., вызванного длительными маловодными периодами, после чего наблюдается снижение уровней речных и подземных вод.

Продолжительность периода между минимальными осенне-зимними и минимальными предвесенними уровнями воды и периода наибольшего пополнения подземных вод сократилась в среднем на 29–30 дней, что

Abstract. As a result of the study, the peculiarities of trends in changing the characteristics of the regional water balance have been revealed on the example of the Bityug River basin, which is a large tributary of the Don River. Significant changes have occurred in the inflow and outflow components of the water balance, as well as in the ratio of surface and groundwater in the territory under consideration.

The amount of effective precipitation causing surface runoff decreased by ~18 % and the annual runoff layer of the Bityug River by 10–20 mm. The total runoff layer of the spring flood of the Bityug River decreased by an average of 1.6 times. The effect of increasing winter runoff due to the increase in the melt component and winter liquid precipitation, improvement of groundwater supply in winter as a result of increased infiltration capacity of soils reached its limit by 2007, caused by prolonged low-water periods, after which there is a decrease in river and groundwater levels.

The duration of the period between the minimum fall-winter and minimum pre-spring water levels and the period of highest groundwater recharge decreased by 29–30 days on average, indicating accelerated depletion of groundwater storage during the off-season period of the year due to decreased recharge.

Significant intra-seasonal changes in the regime of snow accumulation and snowmelt have

указывает на ускорение истощения запасов подземных вод в межсезонный период года в связи со снижением объемов питания.

Произошли существенные внутрисезонные изменения режима снегонакопления и снеготаяния. Продолжительность существования запирающего слоя с 1990-х годов уменьшилась в 2–3 раза. По данным наблюдений на воднобалансовой станции Каменная Степь увлажнение верхнего метрового слоя в последнее десятилетие уменьшилось в среднем на 35–40 мм. Основными причинами наблюдаемых изменений являются внутригодовое перераспределение осадков и повышение температуры воздуха, в результате чего возросла продолжительность периода испарения с поверхности почвы.

С 1981 г. годовое подземное питание р. Битюг стало сопоставимо с максимальным стоком и даже превышает его в отдельные годы после 2007 г. Вклад годового подземного питания рек в годовой сток увеличился с 1980 г. в 1,7–2 раза.

Интенсивная антропогенная нагрузка разного характера на поверхностные и водные объекты препятствует их восстановлению после периодов с дефицитом водности.

Ключевые слова: изменения климата; многолетние колебания; гидрометеорологические характеристики.

Введение

Глобальное потепление изменило все компоненты гидрологического цикла. Несмотря на многие научные исследования в последние десятилетия, по-прежнему сохраняется неопределенность в отношении возможных последствий изменения климата для водных ресурсов. Поэтому существует необходимость в оценке и понимании происходящих перемен, влияющих на устойчивость ресурсов поверхностных и подземных вод, на основе анализа реальных гидрометеорологических данных.

Регулярный анализ обновляемой информации, основанный на данных специализированной сети Росгидромета,

произошло. Продолжительность запертого слоя сократилась в 2–3 раза с 1990-х годов. Согласно наблюдениям на воднобалансовой станции Каменистая Степь влажность верхнего метрового слоя в среднем снизилась на 35–40 мм за последнее десятилетие. Основными причинами наблюдаемых изменений являются внутрисезонное перераспределение осадков и повышение температуры воздуха, в результате чего продолжительность периода испарения с поверхности почвы увеличилась.

С 1981 г. годовое подземное питание р. Битюг стало сопоставимо с максимальным стоком и даже превышает его в отдельные годы после 2007 г. Вклад годового подземного питания рек в годовой сток увеличился с 1980 г. в 1,7–2 раза.

Интенсивная антропогенная нагрузка разного характера на поверхностные и водные объекты препятствует их восстановлению после периодов с дефицитом водности.

Keywords: climate change; multiyear fluctuations; hydrometeorological characteristics

позволяет отслеживать, какие тенденции потеряли актуальность или наоборот, вышли на первый план. В данном комплексном исследовании предпринята попытка выявить особенности тенденций изменения характеристик регионального водного баланса на примере бассейна р. Битюг, являющегося крупным притоком р. Дон. Актуальность исследования подтверждается прогнозной оценкой дефицита воды в бассейне р. Дона¹.

Материалы и методы

Район исследований расположен в степной зоне Европейской территории России. В верховье р. Битюг действует воднобалансовая станция (ВБС) Каменная степь (рисунок 1), регулярные

¹ Доклад о климатических рисках на территории Российской Федерации. – Санкт-Петербург. 2017 – 106 с.

Gurevich E.V. Climatic and non-climatic factors of runoff formation in the basin of the Bitug river. *Hazard processes and phenomena*, 2024, vol. 6, iss. 2, pp. 169–190. (In Russian; abstract in English).

наблюдения на которой за элементами водного и теплового баланса зоны аэрации характеризуют гидрометеорологический фон потенциального воздействия изменения климата на рассматриваемый речной бассейн.

ВБС Каменная степь организована в 1950 г., находится в южной части Таловского района Воронежской области, на водосборе р. Чигла, являющейся левобережным притоком р. Битюг. Площадь водосбора р. Битюг 8840 км², длина 379 км. Действующие гидрологические посты: р. Чигла – п. Первомайский А=508 км², р. Битюг – пгт. Мордово А=903 км², р. Битюг – г. Бобров А=7342 км².

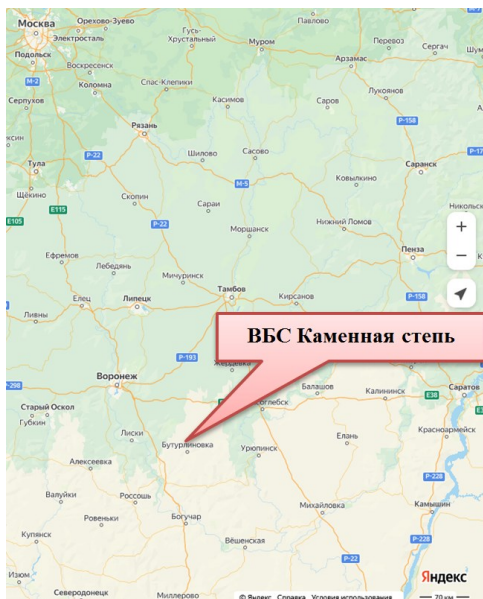


Рисунок 1. Местоположение воднобалансовой станции Каменная степь

Figure 1. Location of Kamennaya steppe water balancing station

Оценка многолетних изменений выполнена с помощью хронологического, сравнительного и корреляционного методов анализа гидрометеорологических характеристик за общий период наблюдений 1939–2022 гг.

Результаты и обсуждения

Температура воздуха, сезонные осадки.

Анализ многолетних изменений сезонных температур воздуха и количества осадков показал следующее:

Повышение средних за календарные сезоны температур воздуха началось с весеннего потепления в 1950-х гг., которое затем

«усилилось» осенним потеплением с 1960-х гг., зимним – с 1980-х гг., летним – с 1990-х гг. (рисунок 2). На хронологических графиках полиномиальным трендом прослеживается последняя фаза потепления сезонов с историческими температурными максимумами или близкими к ним в период 2007–2022 гг. Тепловая характеристика периодически выходит за пределы естественной изменчивости в формат «непривычной».

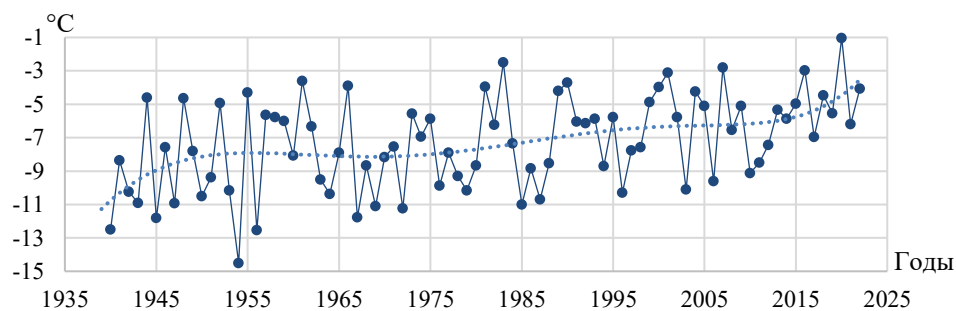
Изменения термических характеристик связаны с началом меридиональной южной циркуляционной эпохи с 1957 г., а «начало современного активного потепления (с 1970-х гг.) с переходом к зональным формам циркуляции на фоне продолжающейся южной циркуляционной эпохи» [Лебедева, 2017].

Годовое количество осадков к 1980-м гг. выросло на 26 % (на 120 мм) – в среднем с 380 мм до 500 мм (рисунок 3а). С 1980-х гг. чередование засушливых лет с средним и повышенным количеством осадков поддерживает слабовосходящий характер многолетних колебаний, но с более широким диапазоном изменений, чем в 1950–1970 гг. Средние значения годовых сумм осадков за период 1950–1980 гг. составляли 458 мм, за 1981–2022 гг. – 519 мм, т.е. выросли на 62 мм.

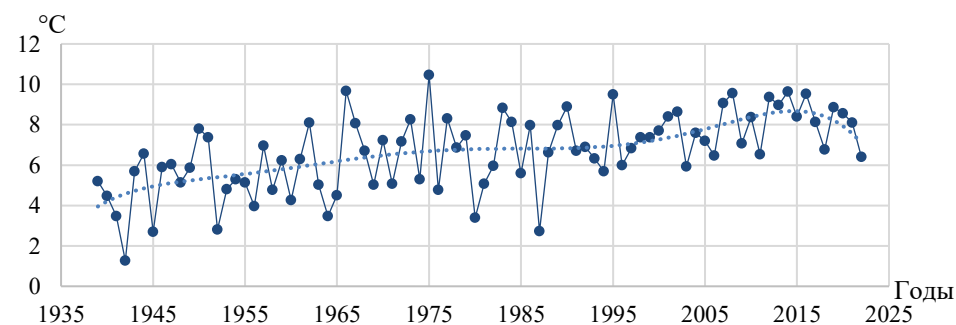
Многолетние колебания сумм осадков за календарные сезоны характеризуются чередованием серий лет различной водности с тенденциями их небольшого роста зимой и весной в последнее десятилетие (рисунок 3). При этом обращает на себя внимание период 2007–2014 гг. с низкими летними и осенними осадками.

Годовой сток. Анализ динамики многолетних колебаний коэффициента годового стока р. Битюг в верхнем течении у пгт. Мордово и нижнем у г. Бобров показал длительную тенденцию его снижения с 1950 г. к 1981 г., после чего выраженные разнонаправленные изменения наблюдаются уже в короткие серии лет (рисунок 4а). Количество осадков, участвовавших в формировании годового стока, снизилось к 1980-м гг. в два раза – в среднем с 35 % до 15–17 %. При этом годовое количество осадков к 1980-м гг. выросло (рисунок 3а).

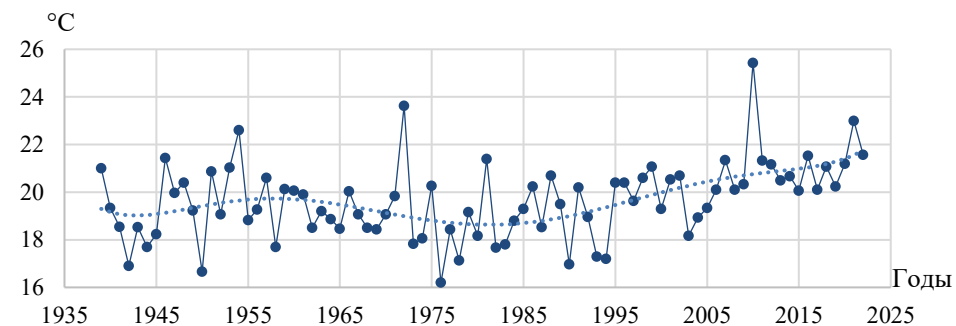
а)



б)



в)



г)

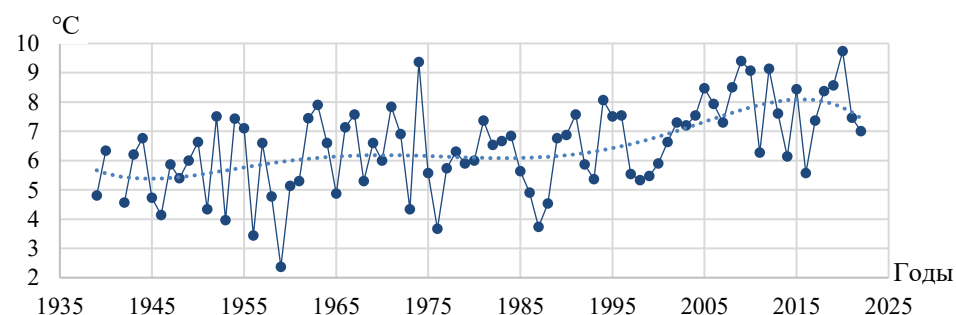


Рисунок 2. Многолетние изменения средних за сезон температур воздуха за календарные сезоны на ВБС Каменная степь: а) зима; б) весна; в) лето; г) осень

Figure 2. Multiyear changes in mean per season air temperatures for calendar seasons of Kamennaya Steppe station: winter; b) spring; c) summer; d) autumn

Многолетние изменения речного стока в 1971–2021 гг., несмотря на исторические максимумы 1979, 2005–2007 гг. из-за более частых и низких минимумов создают слабонисходящую тенденцию, при которой

годовой слой стока р. Битюг снизился со средней величины 90 мм 1950-х гг. до 70–80 мм в 1982–2000, 2008–2021 гг. При этом минимумы 1984, 1991, 1994, 2008, 2014, 2020 гг. превышали низкие величины годовых осадков до 1959 г.

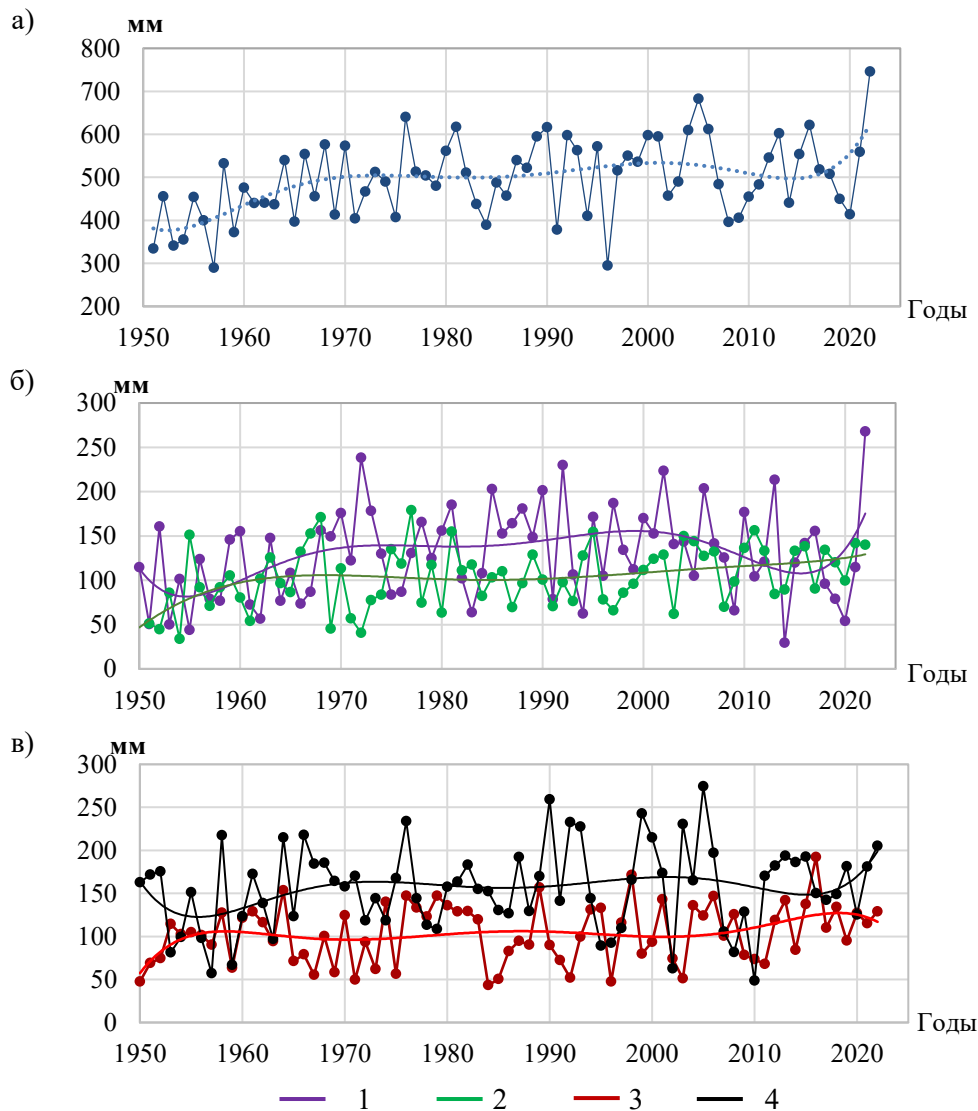


Рисунок 3. Многолетние изменения сумм осадков на ВБС Каменная степь за календарные сезоны: а) за год; б-в) по сезонам: 1 – осень, 2 – зима, 3 – весна, 4 – лето

Figure 3. Multiyear variations of precipitation amounts over calendar seasons of Kamennaya Steppe station: a) per year; b-c) by seasons: 1 – autumn, 2 – winter, 3 – spring, 4 – summer

Средние величины годового слоя стока р. Битюг у пгт. Мордово и г. Бобров за период 1950–1980 гг. составляли 102 мм и 86 мм, а за 1981–2021 гг. – 81 мм и 72 мм, т.е. снизились на 21 и 15 мм, соответственно.

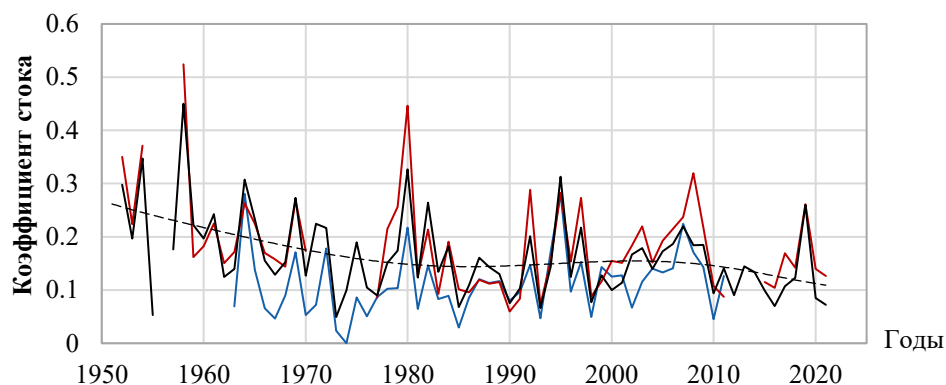
Таким образом, несмотря на признаки достаточности приходной части в виде осадков (рисунок 3) произошло снижение количества эффективных осадков, обуславливающих поверхностный сток, на ~18 % и годового слоя стока р. Битюг на 10–20 мм (рисунок 4). Хотя количество осадков играет очевидную доминирующую роль, другие характеристики осадков (вид, интенсивность, продолжительность, периодичность их выпадения) влияют на количество влаги,

выделяемой для стока [Czikowsky и др., 2004]. Изменения в количестве, интенсивности и характере выпадения осадков во взаимосвязи между влажностью почвы и режимами суммарного испарения могут привести к аномальному речному стоку [Омар и др., 2024].

Весеннее половодье, снежный покров. Наибольшая часть годового стока формируется в весеннее половодье. Процессы снижения максимальных расходов воды, как и коэффициента годового стока начались в 1950-х гг. Доля весеннего половодья в годовом стоке в начале наблюдений составляла в среднем 60–80 % и к современному периоду снизилась в 2 раза – до 30–40 % (рисунок 5а). Максимальные расходы воды, усредненные за периоды, уменьшились в

несколько раз с 1950–1960 гг. к 2010–2021 гг. на р. Битюг – пгт. Мордово с 220 до 29 м³/с, на р. Битюг – г. Бобров с 556 до 90 м³/с, на с 1960–1970 гг. к 2005–2015 гг. – с 59 до 9 м³/с (рисунок 56).

а)



б)

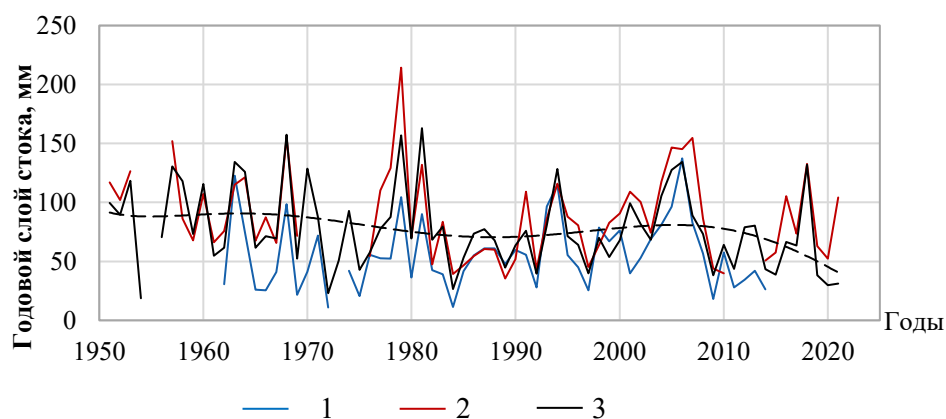


Рисунок 4. Многолетние изменения характеристик стока в бассейне р. Битюг:

а) коэффициент стока, б) годовой слой стока:

1 – р. Чигла – пос. Первомайский $A=508 \text{ км}^2$, 2 – р. Битюг – пгт. Мордово $A=903 \text{ км}^2$,
3 – р. Битюг – г. Бобров $A=7340 \text{ км}^2$

Figure 4. Multiyear variations of runoff characteristics in the Bityug River basin:

а) runoff coefficient, б) annual runoff layer:

1 – r. Chigla – pos. Pervomaisky $A=508 \text{ км}^2$, 2 – r. Bityug – village. Mordovo $A=903 \text{ км}^2$,
3 – r. Bitug – Bobrov $A=7340 \text{ км}^2$

По данным наблюдений за снежным покровом на водосборах балок ВБС Каменная степь в ходе многолетних колебаний максимальной высоты снежного покрова и запаса воды в снеге не отмечается значительных изменений, что косвенно указывает на достаточность приходной воднобалансовой составляющей (рисунок 6), но эффект количественного влияния этих факторов практически сводится к нулю изменениями временных характеристик и водопоглотительной способности почвогрунтов.

Произошли существенные внутрисезонные изменения режима снегонакопления и снеготаяния. По имеющимся данным за

1974–2019 гг. на водосборах балок Степной и Солонцы со второй половины 1990-х гг. даты начала снегонакопления сдвинулись в среднем на 1 месяц позднее – с конца ноября на конец декабря. Наблюдается тенденция смещения сроков начала водоотдачи из снега на 2 недели раньше с середины марта на его начало. Период от начала снегонакопления до начала водоотдачи из снега сократился в среднем на 40 дней, при этом с 1990-х гг. наблюдается его наиболее интенсивное и последовательное сокращение. За период 1950–2019 гг. даты максимума негосапасов сдвинулись в среднем на 10 дней раньше – с конца первой пентады марта на начало последней пентады февраля.

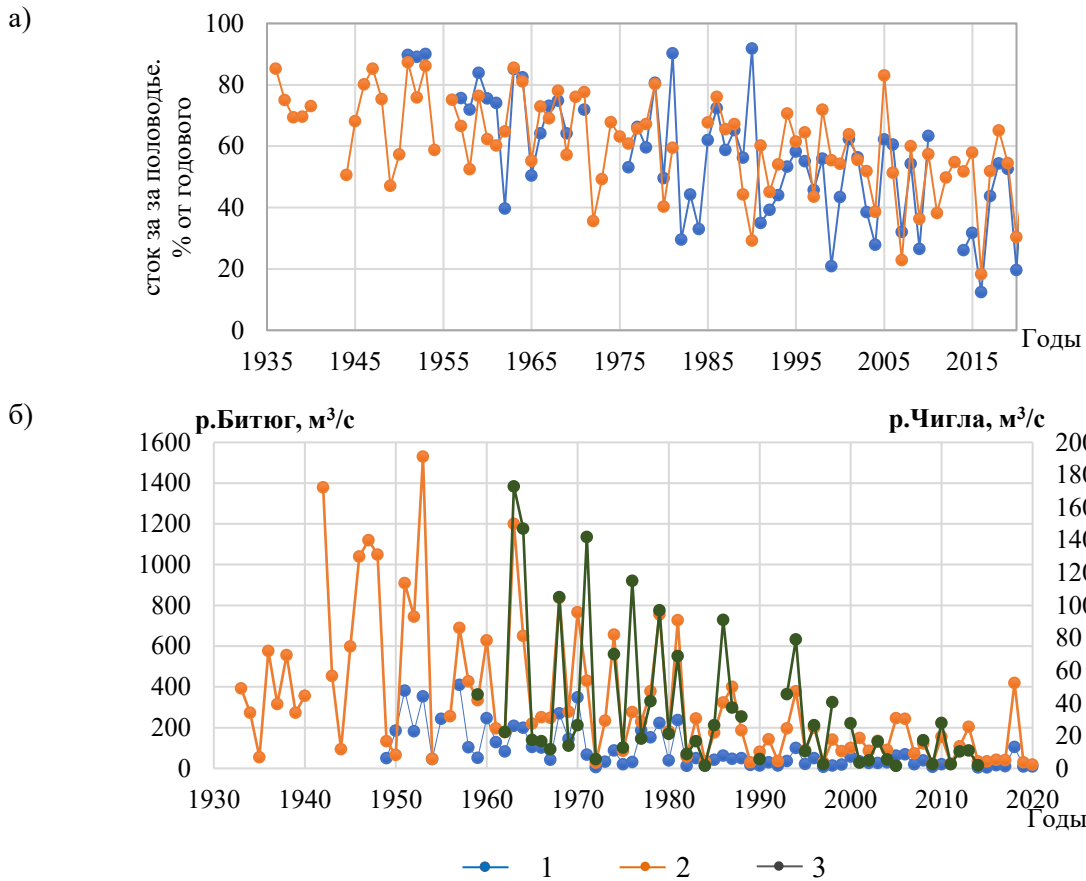


Рисунок 5. Многолетние изменения характеристик стока р. Битюг:

а) доли стока за половодье в годовом; б) максимальных расходов воды весеннего половодья
 1 – р. Битюг – пгт. Мордово $A=903 \text{ км}^2$, 2 – р. Битюг – г. Бобров $A=7340 \text{ км}^2$, 3 – р. Чигла – пос. Первомайский $A=508 \text{ км}^2$

Figure 5. Multiyear variations of flow characteristics of the Bityug River:

а) the share of runoff for the annual flood; б) maximum spring flood water discharge
 1 – р. Bitug – Mordovo settlement $A=903 \text{ км}^2$, 2 – r. Bitug – Bobrov $A=7340 \text{ км}^2$, 3 – р. Chigla – post. $A=508 \text{ км}^2$

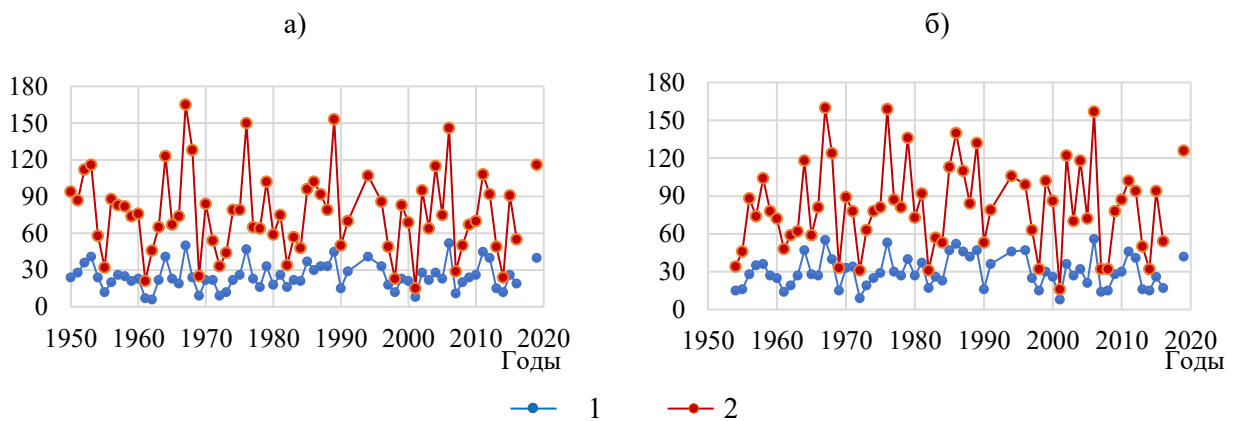


Рисунок 6. Многолетние изменения максимальной высоты снежного покрова и запаса воды в снеге на ВБС Каменная степь: а) балка Степная; б) балка Солонцы
 1 – высота (см), 2 – запас воды в снеге (мм)

Figure 6. Multiyear variations of maximum snow cover height and snow water storage in the Kamennaya Steppe VBS: а) Stepnaya gully; б) Solontsy gully
 1 – height (cm), 2 – water reserve in snow (mm)

Снижение вклада стока весеннего половодья в годовую величину обусловлено уменьшением максимальных расходов воды и продолжительности периода отрицательных температур воздуха, существенным изменением временных характеристик формирования снежного покрова, уменьшением глубины промерзания почвогрунтов, а также изменениями других не наблюдаемых факторов, сопутствующих указанным процессам (формирование запирающего слоя, ледяной корки и запасов влаги в зоне аэрации на глубине ниже 1 м, испарение со снега на разных ландшафтах и др.).

Важным обстоятельством в снижении максимального стока рек в бассейне р. Битюг является создание большого количества прудов. Таким образом, в формировании стока рек весеннего половодья участвуют процессы климатического и антропогенного характера.

Промерзание почвогрунтов. Указанные выше изменения характеристик снежного покрова происходят на фоне уменьшения глубины промерзания почвогрунтов и, соответственно, улучшения водопоглотительной способности почвенного горизонта. Интенсивное уменьшение глубины промерзания наблюдается с 1986–1987 гг. По данным наблюдений по 7 мерзлотомерам на балках Степная и Солонцы максимальная глубина промерзания почвогрунтов, усредненная за 1969–1987 гг., составляла 36–59 см, а за 1988–2019 гг. – 21–33 см, т.е. уменьшилась в среднем на 15–25 см. «Это свидетельствует о существенном сокращении случаев возникновения водонепроницаемого слоя почвы на водосборах, который, возникает при средних глубинах промерзания на водосборе в диапазоне от 40 до 60 см и более. При средней глубине промерзания на водосборе менее 30 см водонепроницаемый слой не образуется» [Журавин, 2022]. Следует отметить, что в ранний период в холодные зимы происходило промерзание почвогрунтов на 1–1,5 м.

Согласно работе [Ресурсы..., 1973] «потери на инфильтрацию могут составлять от 50–60 мм (если запирающий слой образовался на глубине 20–30 см) до 70–80 мм (если образуется водоупор на глубине 30–40 см). При этом, если бы в слоях

почвы 20–30 и 30–40 см начальная влажность была меньше 0,4 и 0,38 (в долях от объемного веса) или же температура была выше (-1,6 °С) и (-2,0 °С), запирающий слой не мог образоваться и наблюдалась бы провальная инфильтрация».

Увеличение частоты оттепелей повлияло на сокращение продолжительности мерзлых состояний почвогрунтов, характерных для холодных зим, в результате чего улучшение водопоглотительной способности почв стало проявляться в более ранние сроки, что также сказалось на увеличении инфильтрационных потерь. Продолжительность существования запирающего слоя с 1990-х гг. уменьшилась в среднем более, чем в 2 раза (рисунок 7).

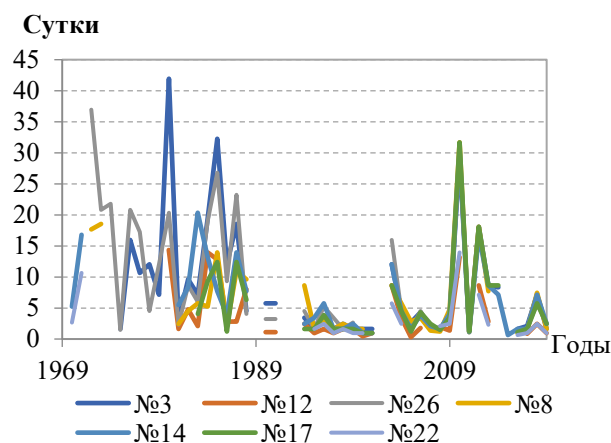


Рисунок 7. Изменения продолжительности существования запирающего слоя (№ мерзлотомеров на балках Степной и Солонцы, расчет по методике из работы [Бажин, Химин, 1980])

Figure 7. Changes in the duration of the locking layer existence (№ of permafrost gauges on the Steпноy and Solontsy girders, calculation according to the method from [Bazhin, Himin, 1980])

В результате сокращения периода аккумуляции воды в снежном покрове, речном льду и мерзлых грунтов при потеплении зим [Журавин, 2022; Научно-прикладной справочник...2021] изменились сроки и объемы задержки воды в речном бассейне в твердой фазе к началу половодья. А улучшение дренирующей способности рек и водопоглотительной способности почвенных горизонтов повлияли на межсезонное распределение стока рек зимне-весеннего периода с потерей весенних объемов поверхностного питания рек на инфильтрационное питание подземных вод.

Запасы влаги в почвогрунтах. Влияние потепления зимних сезонов на водный режим почвогрунтов проявилось двояко – как в зимнем повышении, так и в летне-осеннем понижении влагосодержания. На рисунке 8 приведены сравнения запасов почвенной влаги на водосборах балок Степной и Солонцы в феврале при их одинаковых предзимних величинах в ноябре (45 мм и 32 мм, соответственно), но в разные по суровости зимы. Средняя температура воздуха в период декабрь-февраль была в

1986–1987 гг. ($-10,7^{\circ}\text{C}$) и в 1989–1990 гг. ($-3,7^{\circ}\text{C}$), то есть зима 1989–1990 гг. была почти в три раза теплее. К концу более теплой зимы запасы влаги в нижнем 50-сантиметровом слое на балке Степной (залежь) были выше в среднем на 8–9 мм (по слоям). Сравнительная оценка почвенных влагозапасов по балке Солонцы (поля севооборота) показала также повышенные запасы влаги (на 5–6 мм) в более мягкую зиму по всему профилю метровой толщи.

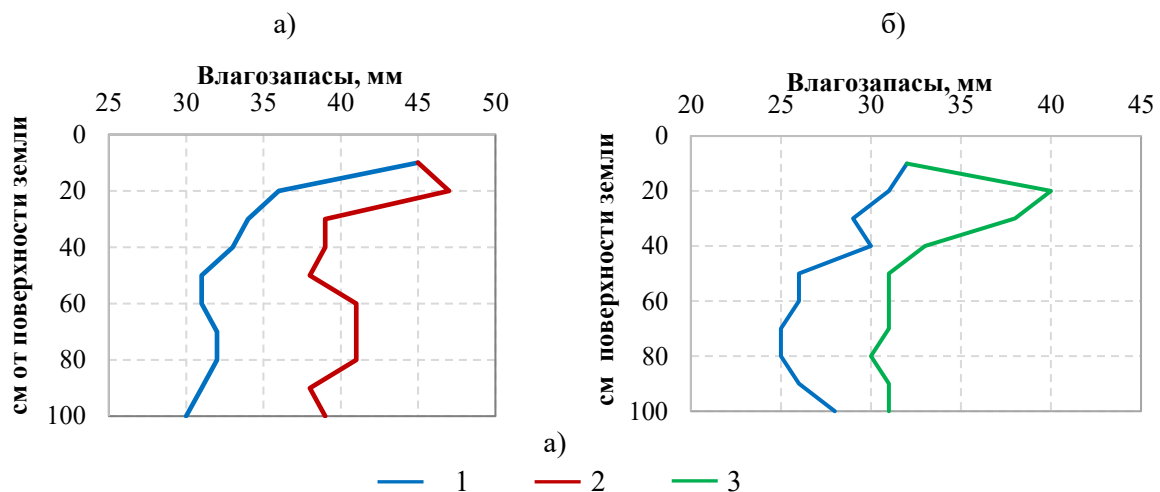


Рисунок 8. Изменение запасов влаги в феврале в метровой толще почвогрунтов в разные по суровости зимы при одинаковых влагозапасах в ноябре: а) балка Степная; б) балка Солонцы: 1 – зима 1986–1987 г. ($T_{\text{ХП-П}}$ 1986–1987 гг. = $-10,7^{\circ}\text{C}$), 2 – зима 1989–1990 г. ($T_{\text{ХП-П}}$ 1989–1990 гг. = $-3,0^{\circ}\text{C}$), 3 – зима 1990–1991 г. ($T_{\text{ХП-П}}$ 1989–1990 гг. = $-6,1^{\circ}\text{C}$)

Figure 8. Change of moisture reserves in February in a metre thick soil stratum in different winter severity with the same moisture reserves in November: a) Stepnaya gully; b) Solontsy gully: 1 – winter 1986–1987 ($T_{\text{ХП-П}}$ 1986–1987 = -10.7°C); 2 – winter 1989–1990 ($T_{\text{ХП-П}}$ 1989–1990 = -3.0°C); 3 – winter 1990–1991 ($T_{\text{ХП-П}}$ 1989–1990 = -6.1°C)

По данным наблюдений на ВБС Каменная Степь увлажнение верхнего метрового слоя в последнее десятилетие уменьшилось в среднем на 35–40 мм. Основными причинами наблюдаемых изменений являются внутригодовое перераспределение осадков и повышение температуры воздуха, в результате чего возросла продолжительность периода испарения с поверхности почвы. Промерзание почво-грунтов в зимний период в последнее десятилетие не наблюдается или оно незначительно, что во-первых, не вызывает миграцию влаги в верхний слой к фронту промерзания [Калужный, Лавров 2012], и, во-вторых, создает благоприятные условия для фильтрации влаги в более глубокие

горизонты в зимний и весенний периоды» [Журавин, 2022].

В период 2011–2019 гг. отмечаются наиболее низкие величины увлажнения верхних слоев почв глубиной до 30 см во все сезоны, а в слоях до 50 см и 70 см – зимой и весной, соответственно (рисунок 9). Особенно сильно в 2011–2019 гг., по сравнению с ранними периодами, во все сезоны уменьшилось влагосодержание почвы в приповерхностном 10-сантиметровом слое: зимой с 43 мм до 34 мм – на 9 мм; весной с 34 мм до 27 мм – на 7 мм; летом с 24 мм до 20 мм – на 4 мм; осенью с 30 мм до 25 мм – на 5 мм.

«В последнее десятилетие в полуаридной зоне происходит иссушение верхнего метрового

слоя почво-грунтов в теплый период года. В 2008–2017 гг. снижение осредненного увлажнения верхнего слоя почво-грунтов наблюдается начиная с апреля, достигает минимальных значений в 240–250 мм в июле-августе и восстанавливается только к концу декабря. Основными причинами наблюдаемых изменений являются внутригодовое

перераспределение осадков и повышение температуры воздуха, в результате чего возросла продолжительность периода испарения с поверхности почвы, а питание верхнего слоя почво-грунтов капиллярной влагой в условиях снижения уровней верхнего водоносного горизонта на 3–5 м прекратилось или снизилось до незначительных величин [Журавин, 2022].

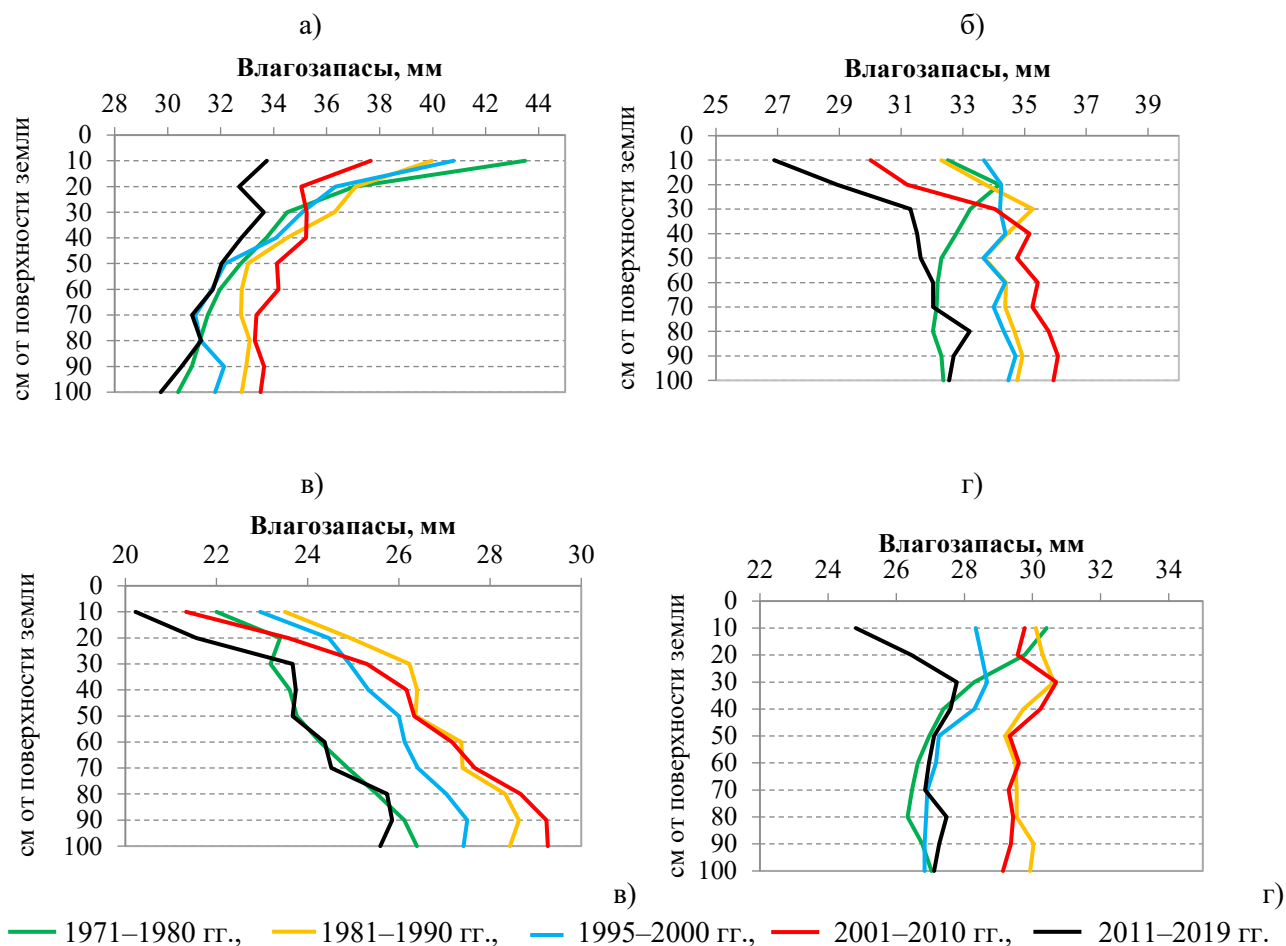


Рисунок 9. Средние за календарный сезон запасы влаги в метровой толще почвогрунтов на балке Степной: а) зима, б) весна, в) лето, г) осень

Figure 9. Average for the calendar season moisture reserves in a metre thick soil stratum on the Stepnoi gully: a) winter, b) spring, c) summer, d) autumn

Внутригодовое распределение осадков. Так как в теплый период года выпадает осадков в среднем на 35 % больше, чем в холодный период, осадки теплого периода являются более сильным стокообразующим фактором формирования стока рек, чем температурный, хотя не исключается чередование их ролей в отдельные годы или серии лет.

На существенное снижение предзимнего и зимнего увлажнения почвы, питание поверхностных и подземных вод в последние

десятилетия повлияло уменьшение количества осадков летне-осеннего периода. В июне и июле обычно выпадает самое большое количество осадков, которое могло бы участвовать в пополнении водных ресурсов, однако, в следующие месяцы летне-осенней межени происходит их истощение из-за дефицита осадков. Так, даже усредненные за многолетний период величины осадков за август показывают сильное падение за четыре десятилетия (рисунок 10), к которому присоединились тенденции

снижения осенних осадков с 2003 г. Довольно редкие случаи повышенных осадков не смогли изменить суммарный многолетний эффект снижения приходной составляющей, который оказал негативное влияние на запасы почвенной влаги, поверхностный сток и уровни подземных вод.

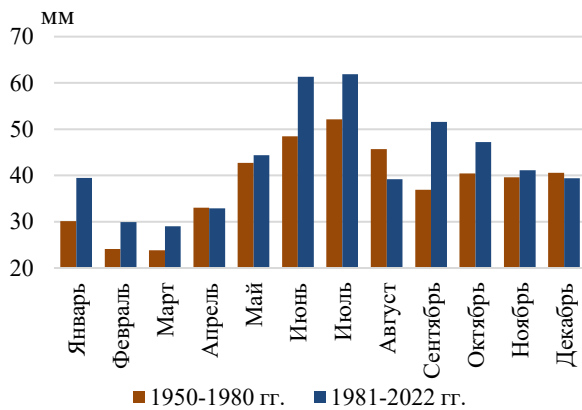


Рисунок 10. Внутригодовое распределение осадков за разные периоды

Figure 10. Intra-annual distribution of precipitation for different periods

В таблице 1 приведены средние величины осадков за общий период наблюдений за осадками и влагозапасами в почвогрунтах. После 2010 г. сумма осенних осадков снизилась в среднем на 30 мм, и такое существенное снижение предзимнего увлажнения территории отразилось дефицитом зимней влаги (рисунок 9), так как вклад фактора предзимнего увлажнения в такие сезоны оказался сильнее температурного.

Таблица 1. Средние за период суммарные осадки за сезон (мм)

Table 1. Period average total precipitation for the season (mm)

Период	Осень	Зима	Весна	Лето
1971–1980 гг.	142	95	109	148
1981–1990 гг.	151	108	99	166
1995–2000 гг.	135	95	103	150
2001–2010 гг.	148	117	105	147
2011–2019 гг.	118	120	120	172

Довольно длительный период пониженного количества осадков отмечается в последний зимний месяц, а также в летние и осенние месяцы периода 2007–2015 гг. со снижением до исторических минимумов или близких к ним.

За период 1950–1980 гг. среднее количество дней с осадками составляло 149 дней, за период 1981–2021 гг. оно уменьшилось до 135 дней, а в период 2008–2021 гг. было еще меньше – 129 дней. При этом увеличение количества дней без осадков отмечается с мая-июня по декабрь (рисунок 11), что характеризует уменьшение продолжительности приходной составляющей и, соответственно, увеличения продолжительности истощения поверхностных и подземных вод в результате отсутствия питания.

Подземное питание рек, уровни речных и подземных вод. Годовое подземное питание оценено по методике из работы [Методические рекомендации..., 1991] по оценке подземного притока в реки» как полусумма минимальных 30-суточных расходов воды зимней и летне-осенней межени.

Многолетняя динамика минимальных 30-суточных расходов воды р. Битюг показывает их неравномерный рост в интенсивной фазе с 1981 г. и последующим снижением после 2007 г. (рисунок 12). По данным наблюдений на р. Битюг у г. Боброва за наиболее длительный период с 1933 г. начальный период слабого роста минимального стока можно отнести к концу 1950-х – началу 1960-х гг. (таблица 2, рисунок 12).

Минимальные 30-суточный речной сток от начала наблюдений на постах вырос в несколько раз. Средние величины расходов воды в зимнюю межень увеличились с периода 1950–1980 г. в период 1981–2020 гг.: на р. Чигле с 0,07 до 0,3 м³/с; на р. Битюг – пгт. Мордово – с 0,3 до 0,95 м³/с; р. Бирюг – г. Бобров с 3,7 до 7,8 м³/с. Летне-осенний минимальный 30-суточный сток повысился на р. Чигле с 0,04 до 0,12 м³/с, р. Битюг – пгт. Мордово – с 0,2 м³/с до 0,7 м³/с; р. Бирюг – г. Бобров с 2,4 до 5,2 м³/с.

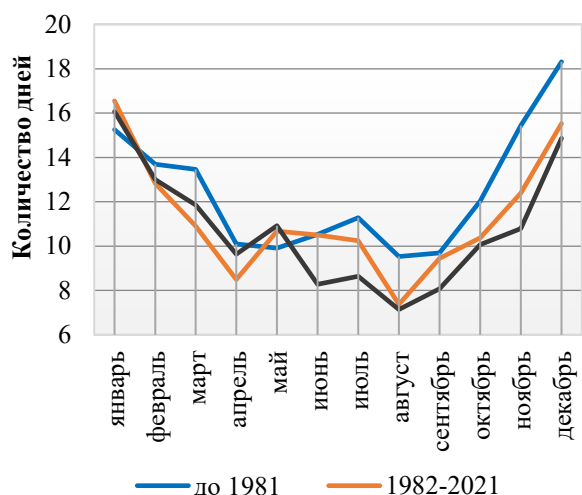


Figure 11. Average number of days with precipitation in different periods

Рисунок 11. Среднее количество дней с осадками в разные периоды

Ход многолетних колебаний максимальных и минимальных расходов воды имеют выраженную противоположную направленность, характеризуя изменения условия формирования поверхностных и подземных вод (рисунки 5б и 12). С 1981 г. годовое подземное питание р. Битюг стало сопоставимо с максимальным стоком и даже превышать его в отдельные годы после 2007 г. (рисунок 13).

Таблица 2. Средние за период минимальные 30-суточные расходы воды в створе р. Битюг – г. Бобров (m^3/c)

Table 2. Average for the period minimum 30-day water discharge at the Bityug River – Bobrov (m^3/s)

Период	Зимние	Летне-осенние
1930–1940 гг.	2,5	1,4
1941–1950 гг.	3,8	2,0
1951–1960 гг.	2,7	1,6
1961–1970 гг.	4,0	2,6
1971–1980 гг.	4,4	3,3
1981–1990 гг.	7,8	4,0
1991–2000 гг.	6,4	5,2
2001–2010 гг.	9,90	6,4
2011–2021 гг.	7,10	5,2

Вклад годового подземного питания рек в годовой сток увеличился с 1980 г. в 1,7–2 раза. На р. Чигле он вырос на 9%, на р. Битюг у пгт. Мордово – на 18% и у г. Боброва – на 21%, а в 6 случаях периода 2007–2020 гг. он достигал 69–78%.

В 2007–2021 гг. усредненная величина вклада годового подземного питания в годовой сток рек увеличилась в 2 раза по сравнению с ранним периодом до 1980 г. (таблица 3, рисунок 14).

Таблица 3. Усредненная величина вклада годового подземного питания (%) в годовой сток рек за разные периоды

Table 3. Average contribution of annual underground power supply (%) in the annual flow of rivers for different periods

Река - пост	до 1980 г.	1981–2006 гг.	2007–2021 гг.
р. Чигла – пгт. Первомайский	9	10	18
р. Битюг – пгт. Мордово	19	32	37
р. Битюг – г. Бобров	29	45	50

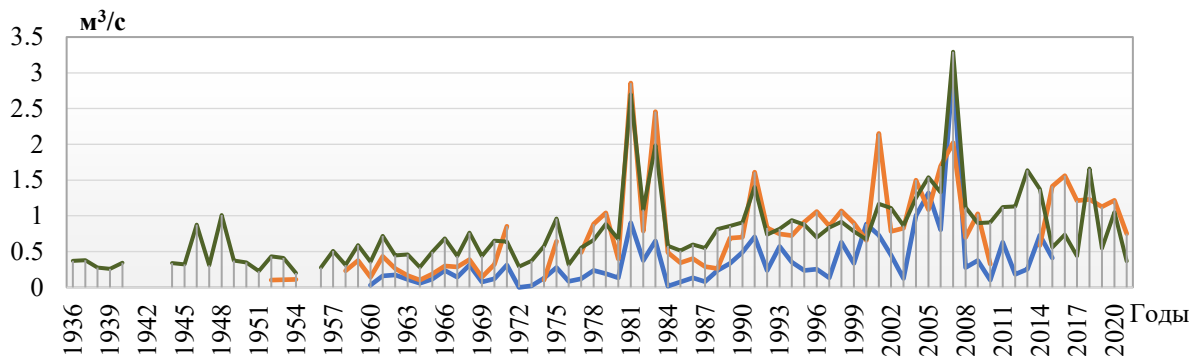
Коэффициент подземного стока, характеризующий отношение годового подземного питания к осадкам, также существенно повысился (рисунок 15) за счет увеличения степени участия эффективных осадков на формировании преимущественно не поверхностного, а подземного питания рек. При этом с 2008 г. наблюдается резкий спад участия осадков в формировании поверхностных и подземных вод (рисунки 4а, 15), что может

свидетельствовать о начале нового стационарного периода [Журавин, 2022].

В 1970-х гг. наблюдается существенное увеличение минимального стока рек в зимнюю и летне-осеннюю межени. Это обусловлено как повышенными средними величинами осадков в периоды январь-апрель, июнь-июль и сентябрь-октябрь (рисунок 11), так и ростом участия талых и дождевых вод в питании подземных вод в результате учащения случаев оттепелей и

смягчения криогенных условий в зимние сезоны за последние десятилетия.

а)



б)

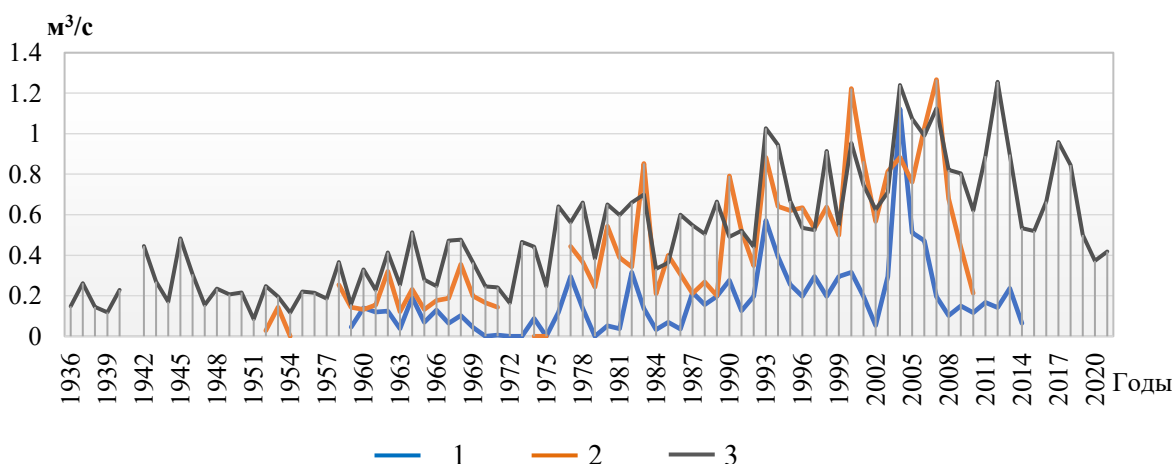


Рисунок 12. Многолетние изменения минимального 30-суточного стока рек в бассейне р. Битюг: а) зимнего, б) летне-осеннего

1 – р. Чигла – пос. Первомайский, 2 – р. Битюг – пгт. Мордово, 3 – р. Битюг – г. Бобров

Figure 12. Multiyear variations of the minimum 30-day river flow in the basin of the Bitug river – Bobrov city: a) winter, b) summer-autumn

1 – Chigla River – Pervomaisky village, 2 – Bitug River – Mordovo settlement, 3 – Bitug River – Bobrov town

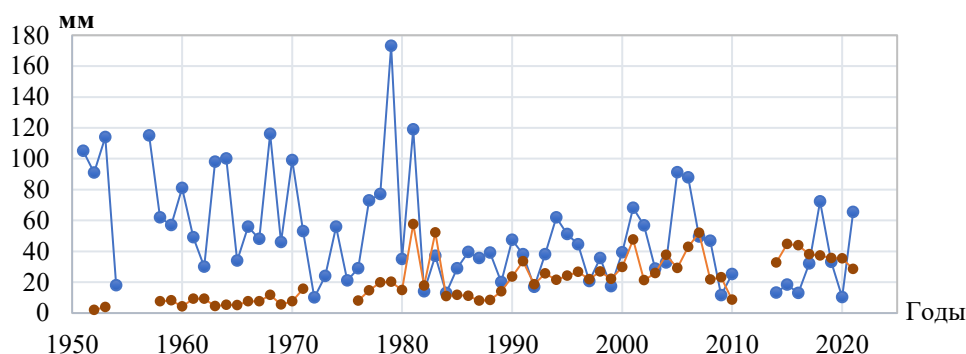
Если раньше наибольшее подземное питание реки получали в конце весеннего половодья, а наименьшее в конце зимней и летней межени [Ресурсы..., 1973], то в последние два десятилетия вклад весенней составляющей существенно снизился и реки перестали получать повышенное питание в конце весеннего половодья. Максимальный срочный расход по всей территории Донского района уменьшился в среднем в несколько раз. Суммарный слой стока весеннего половодья р. Битюг уменьшился в среднем в 1,6 раза. Повышение зимнего стока за счет увеличения талой составляющей и зимних жидких осадков, улучшение питания подземных вод в зимний период в результате увеличения инфильтрационной способности почвогрунтов уже перестало поддерживать многолетний рост

уровней подземных вод. Такая многолетняя восходящая тенденция могла сохраняться более длительное время при условиях продолжения увеличения количества осадков и снижения водопотребления из поверхностных и подземных источников. Однако, наблюдается обратная картина. В целом, многолетняя динамика осадков теплого и холодного периода не показывает значимого роста (рисунок 3б, в), а минимальный зимний сток повышался до 2007 г. (рисунок 13а) с последующей сменой направления многолетней положительной тенденции на отрицательную. Отражением данного процесса является понижение уровней речных вод р. Битюг как средних годовых, так и низших в зимней и летне-осенней межени (рисунок 16) и уровней подземных вод (рисунок 17).

Следует отметить, что в зимнюю межень на р. Битюг у пгт. Мордово в 2006 и 2007 гг. наблюдался минимальный 30-суточный сток 7 % и 8 %-ных обеспеченностей, соответственно, а в летнюю межень 2007-г. – 5 %-ной обеспеченности. На р. Битюг у г. Боброва в 2007 г. в зимнюю межень наблюдали исторический максимум минимального 30-суточного стока – близкие к 1 %-ной обеспеченности, то есть наибольшие почти за век величины редкой повторяемости. многолетняя

тенденция. После этой серии многоводных лет можно было ожидать с большой долей вероятности «отката» на понижение. Теоретические предпосылки к такому закономерному развитию гидрологической ситуации заложены в концепции кривой вероятностей превышения стока, когда величина стока с разной вариацией поднимаясь до максимума, через какое-то время возвращается в зону минимальных значений.

а)



б)

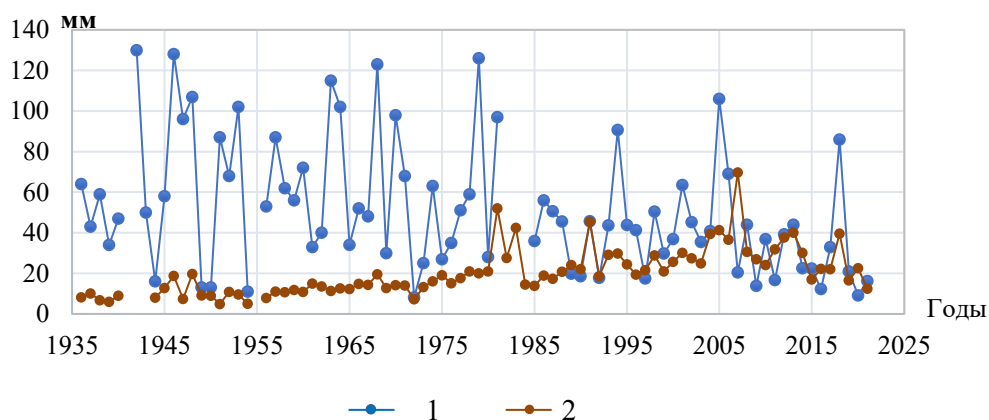


Рисунок 13. Многолетние изменения суммарного слоя стока весеннего половодья и слоя годового подземного питания р. Битюг:

а) пгт. Мордово $A=903 \text{ км}^2$; б) г. Бобров $A=7340 \text{ км}^2$

1 – суммарный слой стока за половодье, 2 – годовое подземное питание

Figure 13. Multiyear variations of the total layer of spring flood runoff and the layer of annual groundwater supply of the Bityug River:

а) Mordovo settlement $A=903 \text{ км}^2$; б) Bobrov town $A=7340 \text{ км}^2$

1 – total runoff layer for floods, 2 – annual groundwater supply

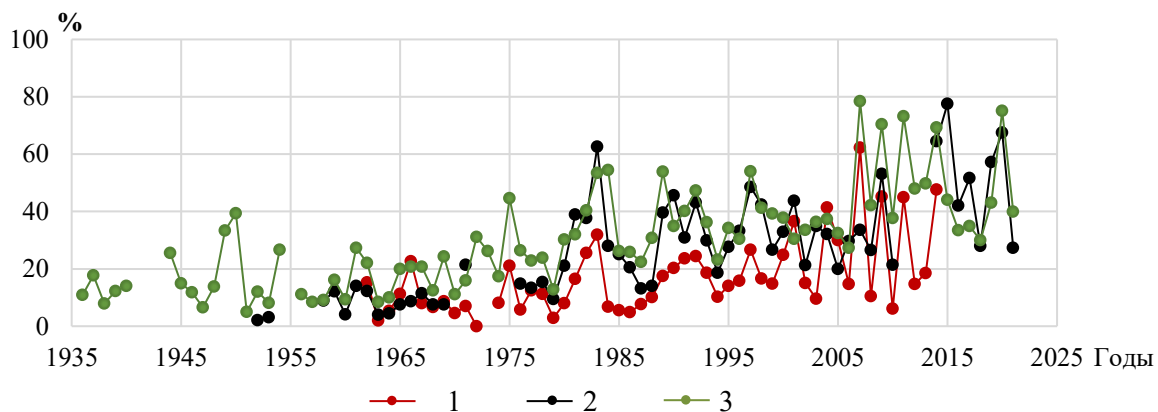


Рисунок 14. Изменение вклада годового подземного питания в годовой сток рек
1 – р. Чигла - пос. Первомайский, 2 – р. Битюг – пгт. Мордово, 3 – р. Битюг – г. Бобров

Figure 14. Change in the contribution of annual groundwater supply to annual river runoff
1 – Chigla River – Pervomaisky village, 2 – Bitug River – Mordovo settlement, 3 – Bitug River – Bobrov town

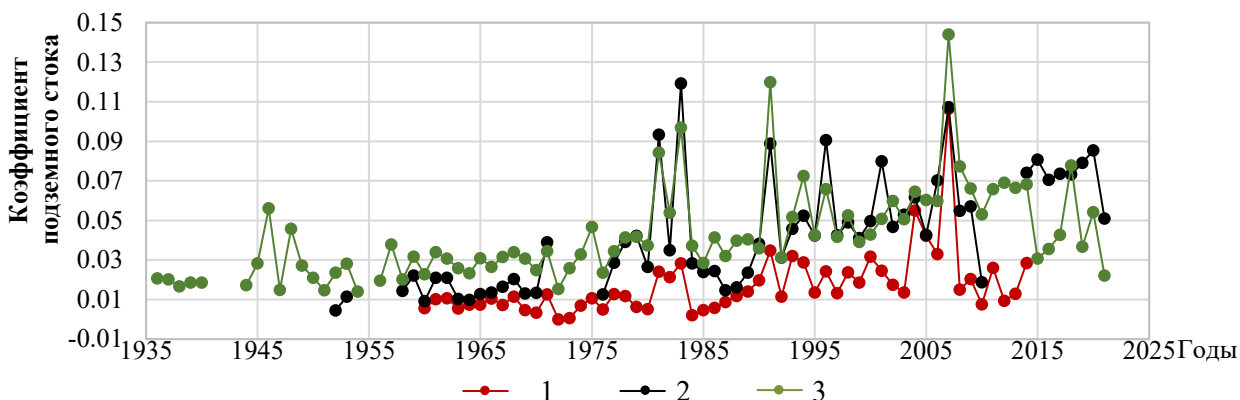


Рисунок 15. Многолетние изменения коэффициента подземного стока
1 – р. Чигла - пос. Первомайский $A=508 \text{ км}^2$, 2 – р. Битюг – пгт. Мордово $A=903 \text{ км}^2$,
3 – р. Битюг – г. Бобров $A=7340 \text{ км}^2$

Figure 15. Multiyear variations of the groundwater flow coefficient
1 – Chigla River – Pervomaisky village $A=508 \text{ км}^2$, 2 – Bitug River – Mordovo settlement $A=903 \text{ км}^2$,
3 – Bitug River – Bobrov town $A=7340 \text{ км}^2$

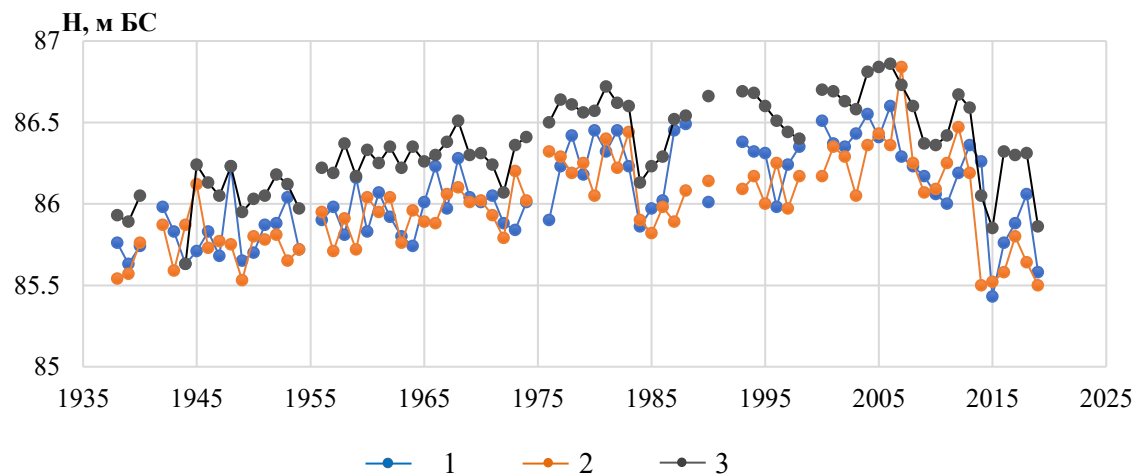


Рисунок 16. Многолетние изменения средних годовых уровней воды р. Битюг – г. Бобров
1 – низший зимний, 2 – низший летне-осенний, 3 – средний годовой

Figure 16. Multiyear variations of mean annual water levels Bitug River – Bobrov City
1 – lowest winter, 2 – lowest summer-autumn, 3 – average annual

Влияние колебаний уровней подземных вод на уровенный режим в реке показывает наличие связи между средними годовыми уровнями воды в р. Битюг и в Докучаевском колодце (рисунок 18), которая в то же время характеризует общие условия питания поверхностных и подземных вод в речном бассейне. Коэффициент корреляции связи 0,79.

На рисунке 18 приведены многолетние колебания уровней подземных вод в скв. 20109181 (Докучаевском колодце), за имеющийся период наблюдений 1930–1934, 1940–2011 гг. Колодец был создан в 1892 г., и впервые за 128 лет в 2021 г. он пересох. С 1950 по 2007 гг. происходило повышение уровней воды, а с 2008 года – понижение до пересыхания к настоящему времени. «В период 2020–2022 гг. оказалось, что по фактическим замерам в 2020 г. уровень был выше дна колодца только весной, в 2021 г. колодец был сухой весь год, а в 2022 г. только несколько летних фактических замеров показали минимальный слой воды над его дном в марте 2023 г. в колодце появилась вода, и ее уровень на конец марта поднялся на 48 см над дном» [Поздняков и др., 2023]. Осмотр колодца специалистами Государственного гидрологического института в сентябре 2023 г. показал отсутствие в нем воды, а 21 мая 2024 г. – уровень 1,18 м.

Здесь следует обратить внимание, что одной из причин высыхания колодца является не только дефицитное питание подземных вод, но и повышение его дна на 2 метра. «В момент сооружения в 1892 г., согласно архивным материалам, его глубина была 10 м. Сейчас по фактическим замерам глубина колодца составляет 8–8,05 м» [Поздняков и др., 2023], т.е. произошло поднятие дна на 2 м, что обычно происходит при заиливании колодцев.

Наиболее длительные снижения уровней воды в колодце наблюдали в период 1944–1957 гг. (14 лет), более кратковременные – в 1984–1986 гг. (3 года) и 1995–1997 гг. (3 года) (рисунок 17а). Но такое резкое и продолжительное падение уровней подземных и речных вод в 2008–2023 гг. (16 лет) до высыхания колодца отмечается впервые.

Предвесенние наименьшие уровни подземных вод с 1980 г. стали не в декабре-январе как в 1959–1979 гг., а в более поздние сроки – часто в марте (рисунок 19). До 1965 г. весеннее

пополнение подземных вод до максимальных отметок обычно происходило в июне, в последующий период до 2001 г. оно стало все чаще смещаться на более ранние майские даты, в 2002–2007 гг. – это уже апрель.

Таким образом, продолжительность периода наибольшего пополнения подземных вод сократилась в среднем на 29 дней – со средней продолжительности 132 дней за 1930–1980 гг. до 103 дней за 1981–2011 гг. Что указывает на дефицит приходной составляющей для питания подземных вод в поздний период времени, когда произошло падение уровней подземных вод (рисунок 20). Сравнение выполнено за имеющийся период наблюдений до 2011 г.

Наиболее низкие уровни подземных вод в осеннюю межень до 1975 г. наблюдались обычно в сентябре–октябре, с 1976 г. иногда в сентябре, и чаще в октябре–декабре (рисунок 19). Продолжительность периода между минимальными осенне-зимними и минимальными предвесенними уровнями воды сократилась в среднем на 30 дней – со средней продолжительности 106 дней за 1930–1980 гг. до 76 дней за 1981–2011 гг. Данные изменения также указывают на ускорение истощения запасов подземных вод в межсезонный период года в связи со снижением объемов питания.

Не климатические факторы формирования поверхностных и подземных вод. Есть мнение, что «климатически обусловленные изменения нормы стока оказались существенно меньше его естественных изменений, а также изменений, обусловленных антропогенным воздействием на водосборах и в руслах рек [Георгиади А.Г., 2020]. На формирование гидрологического режима влияют и другие природные и антропогенные процессы. Их роль во взаимодействии поверхностных и подземных вод может как усиливаться, так и ослабевать в результате изменения климата.

С целью изыскания способов регулирования лесного и водного хозяйства в конце XIX века была начата разработка стратегии полного перехвата атмосферной влаги, поступающей в степной ландшафт, в последствии – агроландшафт. Итогом работы Особой экспедиции должно было стать установление на основе научных данных «возможно правильное

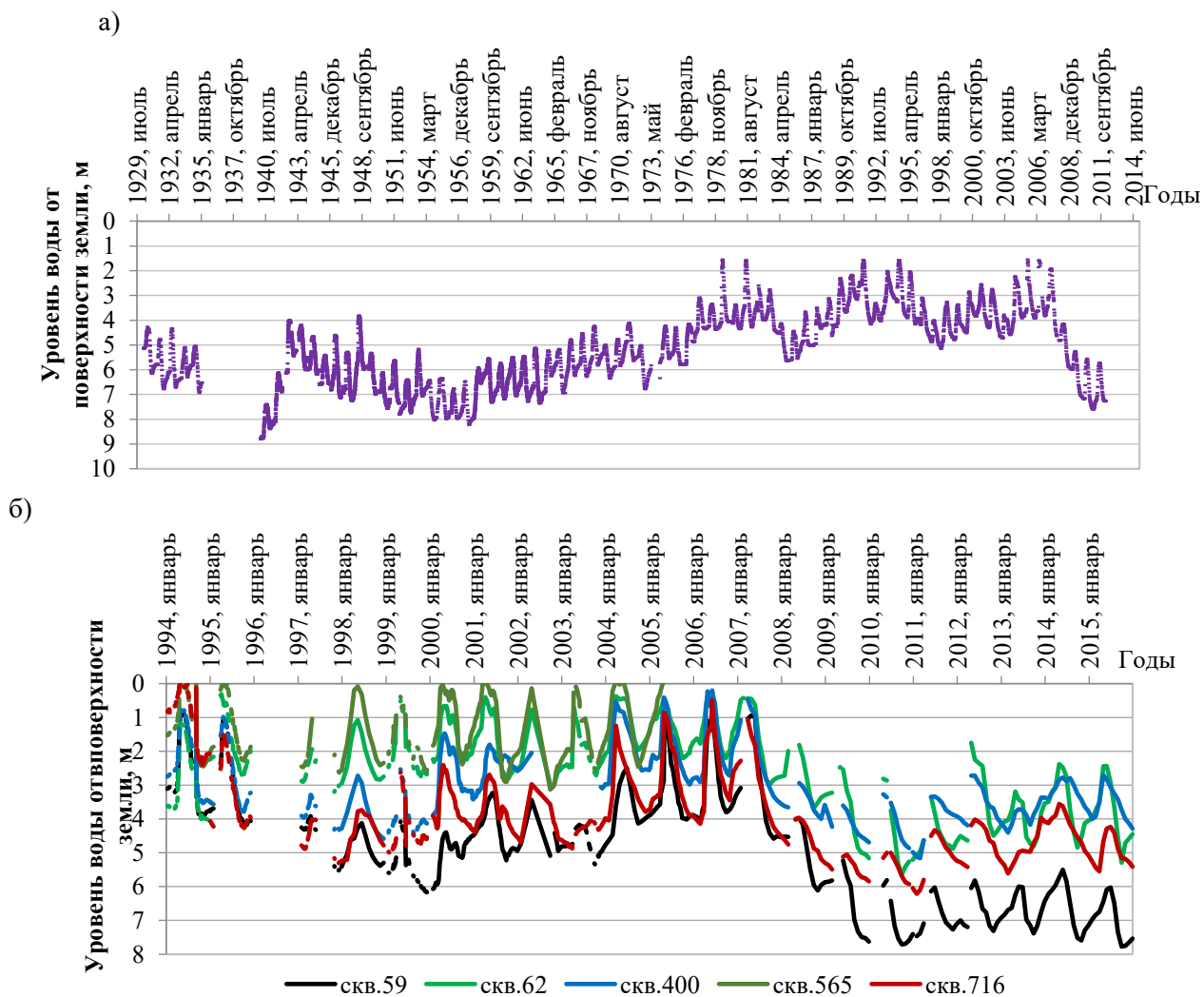


Рисунок 17. Суточные уровни подземных вод:

а) скважина № ГVK 20109181 за 1930–1934, 1940–2011 гг.; б) скважины ВБС Каменная степь за 1994–2015 гг.

Figure 17. Daily groundwater levels:

a) well No. GVK 20109181 for 1930–1934, 1940–2011; b) Kamennaya Step' VBS wells for 1994–2015

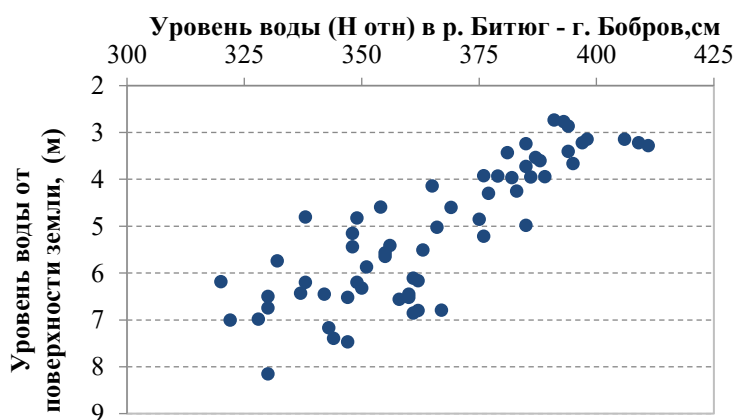


Рисунок 18. Связь средних годовых уровней воды в р. Битюг у г. Боброва и уровнями воды в скв. 20109181 (Докучаевский колодец)

Figure 18. Relationship between mean annual water levels in the Bityug River near Bobrov and water levels in well 20109181 (Dokuchaevsky well)

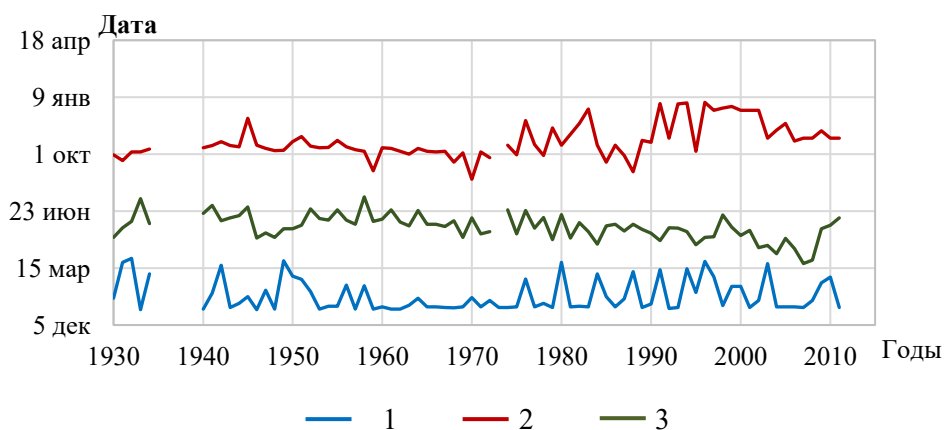


Рисунок 19. Изменения дат прохождения максимальных и минимальных уровней воды в скв.20109181 (Докучаевский колодец):

1 – предвесенний минимум, 2 – осенне-зимний минимум, 3 – весенний максимум

Figure 19. Changes in the dates of maximum and minimum water levels in well 20109181 (Dokuchaevsky well): 1 – pre-spring minimum, 2 – fall-winter minimum, 3 – spring maximum

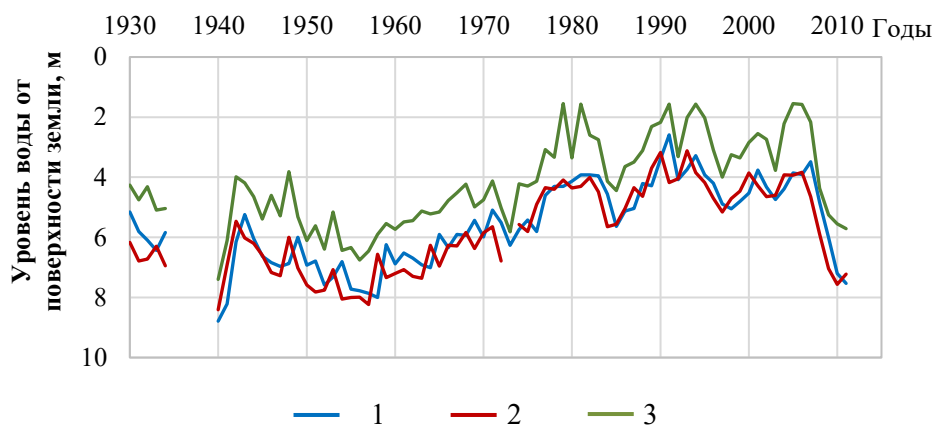


Рисунок 20. Многолетние изменения минимальных и максимальных уровней подземных вод скважине № ГVK 20109181 (Докучаевский колодец):

1 – предвесенний минимум, 2 – осенне-зимний минимум 3 – весенний максимум

Figure 20. Multiyear fluctuations of minimum and maximum groundwater levels of well № GVK 20109181 (Dokuchaevsky well):

1 – pre-spring minimum, 2 – fall-winter minimum, 3 – spring maximum

соотношение между водой, лесом, полями, лугами и другими хозяйственными угодьями». В ряду первоначальных работ было строительство прудов. Эта программа получила развитие и оправдала себя в первой половине XX века [Абанина, 2022], но дальнейшее практически полное преобразование ландшафта в агроландшафт при несбалансированных сверхэксплуатации водных ресурсов и воздействии на поверхностные и подземные водные объекты привели к современным негативным последствиям.

Создание прудов и гидротехнических сооружений (ГТС) на реках бассейна р. Битюг

внесло большие изменения в их естественный гидрологический режим. На рисунке 21 показано расположение прудов, плотность которых (или количество которых) отражает степень антропогенного воздействия на территорию. Пруды и ГТС создавались в разное время с различной интенсивностью и стали неотъемлемой составляющей внутрисезонного и внутригодового регулирования климатического стока рек, наряду с изъятием воды из поверхностных и подземных источников для хозяйственных нужд. Такая ситуация сложилась не только в бассейне р. Битюг. При создании прудов и водохранилищ происходит срезка

максимальных расходов воды весеннего половодья и дождевых паводков с аккумуляцией воды в водоемах. Поэтому в многолетнем снижении максимального стока рек присутствует не только климатический фактор, но и указанный. Кроме того, большое количество малых прудов и водохранилища играют огромную

преобразующую роль в формировании процессов и баланса подземных вод, образуя искусственные запасы подземных [Боревский и др., 1989]. Можно предположить, что в длительном подъеме уровней подземных вод в 1960–1980 гг. (рисунки 17а, 20) искусственные запасы сыграли немалую роль.



Рисунок 21. Схема расположения прудов в бассейне р. Битюг (рисунок выполнен Л.С. Курочкиной)

Figure 21. Scheme of ponds location in the Bityug River basin (drawing by L.S. Kurochkina)

В условиях, когда максимальные расходы воды на реках снизились в несколько раз, естественная расчистка водным потоком русел практически прекратилась [Дмитриева, 2020]. На реках бассейна р. Дон в летний период уже произошло и продолжается зарастание русел рек. На заросших участках происходит существенный

подъем воды в реках [Шарина, 2017]. Это особенно проявляется на малых реках, что приводит к снижению пропускной способности русел застаиванию и перегреву воды, а как следствие потерям речного стока на испарение и питание плантаций водной растительности.

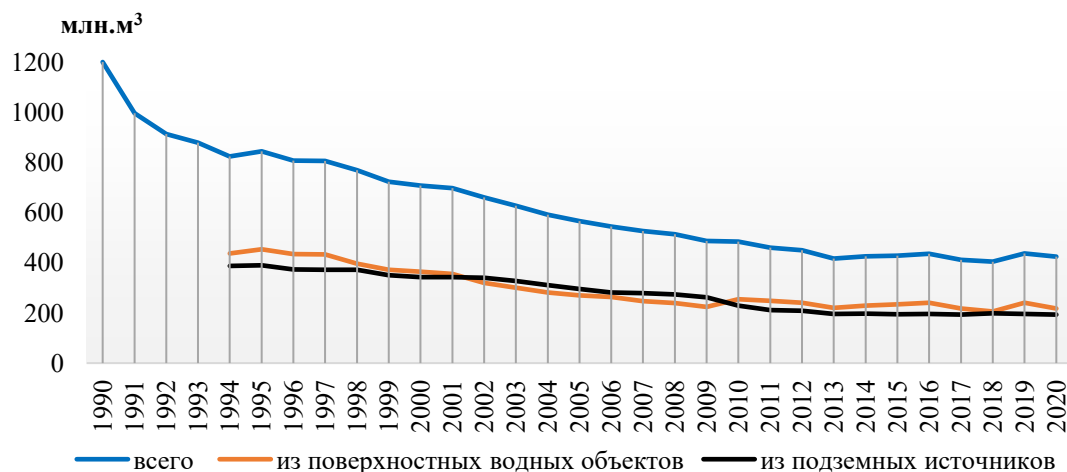


Рисунок 22. Многолетние изменения объемов забора воды в Воронежской области

Figure 22. Multi-year changes in water withdrawal volumes in Voronezh Oblast

Основные антропогенные мероприятия, оказывающие в разной степени, но в целом существенное изменение естественных условий формирования поверхностных и подземных вод:

создание прудов и ГТС, водопотребление. В основном водные ресурсы используются на питьевые и хозяйственно-бытовые нужды (подземные воды) и производственные нужды

(как правило, поверхностные воды). В эту же группу факторов, влияющих на формирование речного стока, следует отнести зарастание речных русел, так как оно носит природно-антропогенный характер. В результате частичного, но в течение длительного периода времени, смыва удобрений с сельскохозяйственных полей в реки создаются благоприятные условия для развития водной растительности. Зарастание русел, также как и ГТС, способствовало созданию дополнительного опорного сопротивления для прохождения русловых масс воды. В результате многолетнего эффекта искусственного изменения уклонов продольного профиля реки и водной поверхности произошло изменение условий разгрузки подземных вод.

На рисунке 22 приведены изменения объемов забора воды из водных объектов по материалам докладов о состоянии окружающей среды Воронежской области^{2,3,4} и работы [Дмитриева, 2010].

Общая величина забора воды интенсивно снижалась до 2013 г., после которого также снижалась, но не ежегодно и значительно меньшими темпами. В период 2002–2010 гг. объемы забора воды из подземных водных объектов стали превышать объемы из поверхностных. Водозабор из подземных, как и поверхностных источников, снизился к 2011 г., но затем величина изъятия существенно не менялась. Следует напомнить, что летние сезоны 2000–2003 гг. были маловодными по осадкам. Таким образом, к началу маловодной фазы реки и подземные водосборы оказались «ослабленными» в результате интенсивного изъятия ресурсов поверхностных и подземных вод в предшествующий период. А продолжение эксплуатации поверхностных и подземных источников с сохранением примерно одних и тех же (в среднем) объемов изъятия не позволяет им восстановиться, так как изымаются выпадающие

малоэффективные осадки, как было рассмотрено выше, и дополнительные объемы.

Выводы

Произошли существенные изменения приходной и расходной составляющих водного баланса, а также соотношения поверхностных и подземных вод на рассматриваемой территории.

Выявлено снижение количества эффективных осадков, обуславливающих поверхностный сток, на ~18 % и годового слоя стока р. Битюг на 10–20 мм

Суммарный слой стока весеннего половодья р. Битюг уменьшился в среднем в 1,6 раза. Эффект повышения зимнего стока за счет увеличения талой составляющей и зимних жидких осадков, улучшение питания подземных вод в зимний период в результате увеличения инфильтрационной способности почвогрунтов достиг своего предела к 2007 г., вызванного длительными маловодными периодами, после чего наблюдается снижение уровней подземных вод.

Продолжительность периода между минимальными осенне-зимними и минимальными предвесенними уровнями воды и периода наибольшего пополнения подземных вод сократилась в среднем на 29–30 дней, указывает на ускорение истощения запасов подземных вод в межсезонный период года в связи со снижением объемов питания.

Произошли существенные внутрисезонные изменения режима снегонакопления и снеготаяния. Продолжительность существования запирающего слоя с 1990-х гг. уменьшилась в 2–3 раза. По данным наблюдений на ВБС Каменная Степь увлажнение верхнего метрового слоя в последнее десятилетие уменьшилось в среднем на 35–40 мм. Основными причинами наблюдаемых изменений являются внутригодовое перераспределение осадков и повышение температуры воздуха, в результате

² Доклад о состоянии окружающей среды на территории Воронежской области в 2019 году. URL: <https://2uch.ru/textbooks/bes/onours/yearsngobie?ysclid=lo1k83n0r9649957157#A14> (дата обращения 22.10.2023)

³ Доклад о состоянии окружающей среды на территории Воронежской области в 2021 году. URL: <http://ooptvm.ru/video/3.pdf> (дата обращения 22.10.2023).

⁴ Воронежская область в цифрах. Краткий статистический сборник. Воронеж. 2022. 84 с. URL: 36.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Воронежская (дата обращения 22.10.2023)

чего возросла продолжительность периода испарения с поверхности почвы.

С 1981 г. годовое подземное питание р. Битюг стало сопоставимо с максимальным стоком и даже превышает его в отдельные годы после 2007 г. Вклад годового подземного питания рек в годовой сток увеличился с 1980 г. в 1,7–2 раза.

Литература

Абанина О. А., Кивва С. Ю. К 130-летию организации «Особой экспедиции...» // Воронежский агровестник, 2022. № 5 (230). С. 31–32.

Бажин Н.А., Химин Н.М. Влияние водопоглотительной способности почв на потери весеннего половодья на балых водосборах басс.р.Дон). // Труды ГГИ, 1980. Вып. 268. С.99–105.

Боревский Б.В., Дробноход Н.И., Язвин Л.С. Оценка запасов подземных вод. Монография. 2-е изд., перераб. И до.-К.: Выща шкл.Головное изд-во, 1989. 407 с.

Георгиади А.Г., Милукова И.П., Кашутина Е.А. Современные и сценарные изменения речного стока в бассейне Дона // Водные ресурсы. 2020. Т. 47. № 6. С. 651–662.

Дмитриева В.А. Структура использования водных ресурсов в Воронежской области. //Водное хозяйство. 2010. №5. С. 28-39.

Дмитриева В.А. Современные изменения водного режима и морфометрии рек Верхнедонского бассейна. Известия РАН. Серия географическая, 2020, Т. 84, № 1, стр. 103-113. DOI: 10.31857/S2587556620010070

Журавин С.А. Исследование процессов влагооборота на воднобалансовых станциях в России. Монография. СПб.: ООО «РИАЛ», 2022. 224 с.

Калюжный И.Л., Лавров С.А. Гидрофизические процессы на водосборе. Монография. СПб.: Нестор-История, 2012. 615 с.

Лебедева М.Г. и др. Изменения условий атмосферной циркуляции и региональные климатические характеристики на рубеже XX-XXI вв. (на примере Белгородской области) Научные ведомости БелГУ. Сер. Естественные науки, 2017. №18(267), вып.40. С. 157-163.

Нет никаких сомнений в том, что изменения в тепловых и водных характеристиках будут продолжать влиять на изменения в водном балансе территорий, однако, интенсивная антропогенная нагрузка разного характера на поверхностные и водные объекты препятствует их восстановлению после периодов с дефицитом по водности.

References

Abanina O. A., Kivva S. Y. K 130-letiyu organizatsii «Osoboy ekspeditsii...» [On the 130th anniversary of the organization of the "Special Expedition ..."]. *Voronezhskiy agrovestnik [Voronezh Agricultural Bulletin]*, 2022, no. 5 (230), pp.31–32.

Bazhin N.A., Khimin N.M. The influence of soil water absorption capacity on the loss of spring flood in the Baltic basin catchments R. Don. *Trudy GGI [The works of GGI]*, vol. 268, 1980, pp. 99–105.

Borevskiy B.V., Drobnohod N.I., Yazvin L.S. Estimation of groundwater reserves. *Monografiya [the Monograph]*, 2nd ed., revision. And up-K.: Vyshcha shkl.Golovnoe izdvo, 1989, 407 p.

Czikowsky, M.J. and D.R.Fitzjarral. Evidence of seasonal changes in evapotranspiration in Eastern U. S. hydrological records. *J. Hydrometeorol [J. Hydrometeorol]*, no 5, 974–988, DOI:10/1175/1525-7541(2004)005<0974:EOSCIE> 2.0.CO:2/

Dmitrieva V.A. The structure of water resources use in the Voronezh region. *Vodnoe hozyajstvo [Water management]*, no.5, 2010, pp.28–39.

Dmitrieva V.A. Modern changes in the water regime and morphometry of the rivers of the Upper Don basin. *Izvestiya RAN [News of the Russian Academy of Sciences]*, Geographical series, 2020, vol. 84, no 1, pp. 103–113. DOI: 10.31857/S2587556620010070

Georgiadi A.G., Milyukova I.P., Kashutina E.A. Modern and scenario changes in river flow in the Don basin. *Vodnye resursy [Water resources]*, 2020, vol. 47, no 6, pp. 651–662.

Kalyuzhny I.L., Lavrov S.A. Hydrophysical processes in the catchment area. *Monografiya [Monograph]*. St. Petersburg: Nestor-Istoriya, 2012, 615 p.

Lebedeva M.G. et al. Changes in atmospheric circulation conditions and regional climatic

URL:http://dspace.bsu.edu.ru/bitstream/123456789/22405/1/Lebedeva_Izmeneniya.pdf (дата обращения 1.12.2023)

Методические рекомендации по оценке подземного притока в реки. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 94 с.

Многолетние изменения элементов водного баланса на воднобалансовых и болотных станциях. Научно-прикладной справочник. СПб.: ООО «Риал», 2021. 202 с.

Ресурсы поверхностных вод. Том 7. Донской район. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 459 с.

Поздняков С.П. и др. Ретроспективный анализ многолетних колебаний уровней воды в Докучаевском колодце в Каменной степи/ Вестник МГУ. Серия 4, Геология 2023. С.110-126. DOI: 10.55959/MSU0579-9406-4-2023-63-4-110-126.

Шарина Ю.В. Методика оперативного учета стока в условиях зарастания русла (на примере реки Матра в створе села Крутое). Водное хозяйство России. №2, 2017. С.73-92. DOI: 10.35567/1999-4508-2017-2-6.

Czikowsky, M.J. and D.R.Fitzjarral. Evidence of seasonal changes in evapotranspiration in Eastern U. S. hydrological records. J. Hydrometeorol, no 5, 974–988. DOI:10.1175/1525-7541(2004)005<0974:EOSCIE>2.0.CO:2.

River flow in the near future: a global perspective in the context of a high-emission climate change scenario/ Omar V. Müller, Patrick C. McGuire, Pier Luigi Vidale, and Ed Hawkins. Articles. Volume 28, issue 10. HESS, 28, 2179–2201, 2024. DOI:10.5194/hess-28-2179-2024.

characteristics at the turn of the XX-XXI centuries (on the example of the Belgorod region) *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta [Scientific Bulletin of the Belarusian State University]. Ser. Natural Sciences*, 2017, no 18(267), issue 40, pp. 157–163, URL: http://dspace.bsu.edu.ru/bitstream/123456789/22405/1/Lebedeva_Izmeneniya.pdf (accessed 1.12.2023)

Metodicheskie rekomendacii po ocenke podzemnogo pritoka v reki [Methodological recommendations for the assessment of underground inflow into rivers], L.: Hydrometeoizdat, 1991, 94 p.

Pozdnyakov S.P. et al. A retrospective analysis of long-term fluctuations in water levels in the Dokuchaevsky well in the Stone Steppe. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of the Moscow State University]. Series 4, Geology* 2023, pp.110–126. DOI: 10.55959/MSU0579-9406-4-2023-63-4-110-126.

R Omar V. Müller et al. River flow in the near future: a global perspective in the context of a high-emission climate change scenario. *Articles*. vol. 28, issue 10, HESS, 28, 2179–2201, 2024, DOI:org/10.5194/hess-28-2179-2024

Long-term changes in the elements of the water balance at water balance and swamp stations. *Nauchno-prikladnoj spravochnik. [Scientific and applied reference book]*. St. Petersburg: Real LLC, 2021, 202 p.

Sharina Yu.V. The methodology of operational flow accounting in the conditions of overgrowth of the riverbed (using the example of the Matyr River in the village of Krutoe). *Vodnoe hozyajstvo Rossii [The water industry of Russia]*, no.2, 2017, pp.73–92, DOI: 10.35567/1999-4508-2017-2-6

Resursy poverhnostnyh vod [Surface water resources]. vol. 7, Donskoy district, L. Hydrometeoizdat, 1973, 459 p.

Zhuravin S.A. Investigation of moisture turnover processes at water balancing stations in Russia. *Monografiya [Monograph]*, St. Petersburg: REAL LLC, 2022, 224 p.