

УДК 556(476.7)

СТОК РЕКИ ЛАНЬ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПРОГНОЗ

А.А. Волчек, *д.г.н.*

Брестский государственный технический университет, г. Брест, Республика Беларусь

E-mail: Volchak@tut.by

Представлены результаты исследования водного режима реки Лань, типичной малой реки Белорусского Полесья. Река Лань представлена тремя расчетными створами (Логновичи, Локтыши и Мокрово) с площадями водосбора $A=480 \text{ км}^2$, $A=909 \text{ км}^2$ и $A=2550 \text{ км}^2$, соответственно, различными периодами наблюдений и степенью антропогенного воздействия. Помимо крупномасштабных мелиораций в бассейне реки, проведенных в середине прошлого века, в 1977 году в русле реки построено водохранилище для целей рыбоводства и сельскохозяйственного использования. С использованием метода аналогий ряды наблюдений годовых, максимальных, минимальных летне-осенних и зимних расходов воды приведены к единому расчетному периоду продолжительностью 68 лет с периодом с 1948 по 2015 гг. Оценка влияния антропогенных воздействий и природных факторов на сток, исходные временные ряды анализировались интервалы осреднения: с 1948 по 2015 гг. (весь период наблюдения, 68 лет); с 1948 по 1977 гг. (период до введения в строй водохранилища Локтыши, 29 год); с 1978 по 2015 гг. (период функционирования водохранилища, 38 лет); с 1978 по 1987 гг. (период функционирования водохранилища до начала современного потепления климата, 10 лет); с 1988 по 2015 гг. (период функционирования водохранилища при современном потеплении климата, 27 лет). Установлена статистическая неоднородность, как результат интенсивной хозяйственной деятельности, которая существенно нарушает естественный гидрологический режим. Выявлено, что для среднегодового стока имеет место уменьшение по створу Логновичи и рост по створу Локтыши; для максимального стока наблюдается уменьшение по всем рассматриваемым створам; для минимального летне-осеннего стока наблюдается рост по створу Локтыши; для минимального зимнего стока наблюдается увеличение по всем створам. На основе гидролого-климатической гипотезы даны прогнозные оценки средних значений стока на период 2050 г., которые выражаются в некотором его уменьшении и смещении пика весеннего половодья на более ранние сроки.

Ключевые слова: река, сток, климат, колебания, моделирование, прогноз

Поступила 11.02.21

DOI: 10.54668/2789-6323-2021-101-2-6-22

ВВЕДЕНИЕ

Малые реки весьма чувствительны к изменению природных факторов и антропогенным воздействиям и наиболее уязвимы в отличии от средних и крупных рек. Наблюдаются многочисленные факты обмеления, загрязнения и исчезновения малых рек под воздействием антропогенных факторов, которые в последнее время

усугубляются современными климатическими изменениями.

Белорусское Полесье является уникальным природным объектом, с многочисленными малыми реками и озерами, расположено на юге Беларуси занимает площадь около 61 тыс. км², что примерно треть территории страны. Протяжённость территории региона с запада на восток составляет около 500 км, с севера на юг – около

200 км. Поверхность – водно-ледниковая и озёрно-аллювиальная песчаная низина с древними надпойменными террасами, слабым наклоном с близким к поверхности уровнем залегания грунтовых вод. Абсолютная высота 100...150 м. В наиболее пониженной части низины (100...130 м) с почти плоским рельефом встречаются крупные массивы и обширные заболоченные участки с песчаными дюнами, микрохолмами, озёрными котловинами и древними береговыми валами Припяти и её притоков, частично переработанные эоловыми процессами. Крупномасштабные мелиорации середины прошлого века и современные климатические изменения внесли весомый вклад, а порой и негативный, в естественное развитие процессов формирования водного режима малых рек региона. Характер колебаний водных ресурсов определяется климатическими факторами, но, начиная со второй половины XX века, роль антропогенной составляющей в ряде случаев становится соизмеримой с природными воздействиями. Таким образом, можно констатировать, что конец XX – начало XXI века характеризуется направленной климатической изменчивостью и повышением антропогенной нагрузки на сток рек, особенно малых. Основные гидрологические характеристики речного стока не являются стабильными величинами во времени. Под влиянием и при участии комплекса разнообразных по генезису и динамике факторов они непрерывно изменяются как по территории, так и во времени. Совокупность этих причин можно разделить на природные и антропогенные, которые различаются характером и последствиями своего влияния на водные ресурсы. Природные причины определяют пространственно-временные колебания водных ресурсов в зависимости от различий в ее физико-географических условиях, а также под влиянием годового и векового хода климатических условий влияющих на формирование водных ресурсов. Внутригодовые колебания происходят постоянно и последовательно. Вековые колебания происходят сравнительно медленно, распространяются на довольно обширные территории, носят обычно квазипериодический характер и стремятся к некоторой постоянной величине. Исследования показывают, что в историческое время эти отклонения не носили прогрессирующего характера. Периоды похолодания и потепления, засушливые и влажные чередуются во

времени и общее состояние водных ресурсов и их качество существенно не изменяются. Главной особенностью естественных причин является то, что происходящие изменения не имеют односторонней тенденции.

Антропогенные причины являются следствием различных видов человеческой деятельности. Они влияют на водные ресурсы и качество вод сравнительно быстро и односторонне, в чем и состоит их главное отличие от природных причин. Виды хозяйственной деятельности, вызывающие изменения количественных и качественных характеристик водных ресурсов, весьма разнообразны, зависят от физико-географических условий территории, особенностей ее водного режима и характера использования.

Целью настоящей работы является объективная оценка изменения режима стока реки Лань в современных условиях и на ближайшую перспективу, чтобы получить представление о процессах на малых реках Белорусского Полесья, что позволит выработать научно обоснованную стратегию сохранения и рационального использования водного потенциала малых рек региона.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Река Лань является типичной рекой Белорусского Полесья, протекает в пределах Копыльской гряды и Припятского Полесья, впадает слева в р. Припять. Длина реки 147 км, площадь водосбора 2190 км², среднегодовой расход воды в устье около 11,3 м³/с, средний уклон водной поверхности 0,4 ‰, общее падение реки 79,2 м [2]. Долина в верхнем течении ящикообразная (ширина 1...1,5 км), на остальном протяжении невыраженная. Пойма имеет ширину 0,6...1 км, пересечена мелиоративными каналами. Русло канализировано. Ширина русла 4...8 м, в нижнем течении 15...20 м. Малые уклоны русел и широкие поймы образуют благоприятные условия для аккумуляции речной воды в период половодья и летних ливневых паводков, что приводит к заболачиванию на прилегающих территориях, густая сеть мелиоративных каналов и канав. Много небольших озёр в поймах рек [1]. На реке в 1977 г. создано водохранилище Локтыши руслового типа сезонного регулирования для двухстороннего регулирования влажности почв мелиори-

рованных сельскохозяйственных угодий, водообеспечения рыбного хозяйства «Локтыши». Котловина представляет собой часть заболоченной поймы. Дно водохранилища плоское, преимущественно илистое. Колебания уровня воды на протяжении года составляют до 2 м. Площадь водохранилища составляет 15,9 км², длина 6 км, максимальная глубина 4,9 м, максимальная ширина – 4,2 км, объем воды 50,2 млн. м³, площадь водосбора 940 км². Склоны в западной части невыразительные (прилегающая к ним местность заболочена и облесена), остальные на протяжении 9,8 км огорожены дамбой. Для перепуска в водохранилище воды с рек Лань и Нача построен шлюз-регулятор возле д. Локтыши [2]. Самый высокий уровень половодья наблюдается в апреле, средняя высота над меженным уровнем до регулирования реки составляет 1,5 м, наибольшая 1,9 м (1947 г.) возле д. Локтыши. В летний период режим уровней регулируется шлюзами. Замерзает река в первой декаде декабря, ледоход (длится около 4 суток) обычно наблюдается в конце марта [2]. Климат тёплый, неустойчиво-влажный, на юго-востоке приближающийся

к лесостепному. Средняя температура января от -4,4°С на Западе до -7 °С на востоке, июля от 18 °С до 19 °С. Осадков 520...645 мм в год. Вегетационный период 193...208 сут. [1].

Одной из задач исследования являлось оценка стационарности временных рядов стока р. Лань с различной степенью антропогенной нагрузки. Для этих целей использованы временные ряды стока (годового, максимального, минимального летне-осеннего и минимального зимнего) р. Лань в створах: Логновичи с площадью водосбора – А=480 км² и периодом наблюдений с 1979 по 1988 гг.; Локтыши (А=909 км²; 1948...1977 гг.) и Мокрово (А=2550 км²; 1975...2015 гг.). Для сопоставимости полученных результатов принят единый расчетный период с 1948 по 2015 гг. продолжительностью 68 лет. Пропущенные и недостающие данные восстановлены с помощью компьютерного программного комплекса «Гидролог» [6] с привлечением рек-аналогов согласно требованиям [18]. Как правило, для решения задачи восстановления пропущенных данных, использовали линейные уравнения регрессии вида:

$$Q(t) = \alpha \cdot Q_a(t) + \beta, \quad (1)$$

где $Q(t)$ – восстановленный или пропущенный расход воды в t -ный год; $Q_a(t)$ – расход воды реки-аналога в t -ный год; α и β – эмпирические коэффициенты.

Систематическое преуменьшение дисперсий исключалось путем дополнительного расчета погодичных (Q'_i) значений по формуле [18]:

$$Q'_i = \frac{Q_i - \bar{Q}_{n'}}{R} + \bar{Q}_{n'}, \quad (2)$$

где Q_i – погодичные значения гидрологической характеристики, рассчитанные по уравнению регрессии; $\bar{Q}_{n'}$ – среднее значение гидрологической характеристики за совместный период наблюдений.

с 1978 по 1987 гг. (период функционирования водохранилища до начала современного потепления климата, 10 лет); с 1988 по 2015 гг. (период функционирования водохранилища при современном потеплении климата, 27 лет).

Для оценки влияния антропогенных воздействий и природных факторов на сток, исходные временные ряды расходов воды анализировались за различные интервалы осреднения: с 1948 по 2015 гг. (весь период наблюдения, 68 лет); с 1948 по 1977 гг. (период до введения в строй водохранилища Локтыши, 29 год); с 1978 по 2015 гг. (период функционирования водохранилища, 38 лет);

При статистическом анализе временных рядов стока использованы следующие методики:

– для выявления тенденций изменений стока использовались хронологические графики колебаний, разностные интегральные кривые и линейные тренды;

– для оценки различий в статистических параметрах использовался критерий Стьюдента и критерий Фишера [5; 7]:

$$t = \frac{\bar{Q}_1 - \bar{Q}_2}{\sqrt{n_1 \cdot \sigma_1^2 + n_2 \cdot \sigma_2^2}} \cdot \sqrt{\frac{n_1 \cdot n_2 \cdot (n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}}, \quad (3)$$

$$F = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2}, \quad (4)$$

где \bar{Q}_1, \bar{Q}_2 – выборочные средние; $\mathcal{E}_1^2, \mathcal{E}_2^2$ – выборочные дисперсии; n_1 и n_2 – объемы выборок.

Полученное значение t критерия Стьюдента и F -критерия Фишера сравнивалось с их критическими значениями при заданном уровне значимости $\alpha=5\%$. Если $t > t_{\alpha}$, принимается гипотеза статистического различия двух выборочных средних, а при $F > F_{\alpha}$ принимается гипотеза статистического различия в колебаниях рассматриваемых рядов.

Для прогнозных оценок изменения водности р. Лань адаптирован метод гидролого-климатических расчетов (ГКР), основанный на совместном решении уравнений водного

и теплоэнергетического балансов [17]. Положив в основу метод ГКР, нами разработан алгоритм и компьютерная модель, включающая стандартное уравнение водного баланса участка суши с независимой оценкой основных элементов баланса (атмосферные осадки, суммарное испарение и климатический сток) в годовом разрезе [6]. Разработанная модель использована для оценки возможных изменений водных ресурсов рек в зависимости от тех или иных гипотез климатических колебаний и антропогенных воздействий на характеристики водосбора.

Уравнение водного баланса речного водосбора за некоторый промежуток времени имеет вид:

$$Y_K(I) = H(I) - E(I) \pm \Delta W(I), \quad (5)$$

где $Y_K(I)$ – суммарный климатический сток, мм; $H(I)$ – суммарные ресурсы увлажнения, мм; $E(I)$ – суммарное испарение, мм; $\Delta W(I)$ – изменение

влажностных запасов деятельного слоя почвогрунтов, мм; I – интервал осреднения.

Суммарное испарение находится по формуле:

$$E(I) = E_m(I) \left[1 + \left(\frac{\frac{E_m(I)}{W_{HB}} + V(I)^{1-r(I)}}{\frac{KX(I) + g(I)}{W_{HB}} + V(I)} \right)^{n(I)} \right]^{\frac{1}{n(I)}}, \quad (6)$$

где $E_m(I)$ – максимально возможное суммарное испарение, мм; W_{HB} – наименьшая влагоемкость почвы, мм; $V(I) = W(I)/W_{HB}$ – относительная влажность почвогрунтов на начало расчетного периода; $KX(I)$ – сумма измеренных атмосферных осадков, мм; $g(I)$ – грунтовая составляющая

водного баланса, мм; $r(I)$ – параметр, зависящий от водно-физических свойств и механического состава почвогрунтов; $n(I)$ – параметр, учитывающий физико-географические условия стока.

Относительная влажность почвы на конец расчетного периода определяется из соотношений:

$$V(I+1) = V(I) \cdot \left(\frac{V_{cp}(I)}{V(I)} \right)^{r(I)}, \quad (7)$$

$$V_{cp}(I) = \left(\frac{\frac{KX(I) + g(I)}{W_{HB}} + V(I)}{\frac{E_m(I)}{W_{HB}} + V(I)^{1-r(I)}} \right)^{\frac{1}{r(I)}}. \quad (8)$$

Полученные значения $V_{cp}(I)$ сравнивают с относительной величиной полной влагоемкости $V_{ПВ}$. Если $V_{cp}(I) \leq V_{ПВ}$, то принимается расчетное значение относительной средней влажности, в противном случае, когда $V_{cp}(I) \geq V_{ПВ}$ к расчету принимается $V_{cp}(I) = V_{ПВ}$, разница $(V_{cp}(I) - V_{ПВ}) \cdot W_{HB}$ относится к поверхностному стоку.

Величина атмосферных осадков в месяцы

холодного периода за вычетом величины суммарного испарения переносится на период половодья, т.е. на март месяц.

Максимально возможное суммарное испарение определяется по методике, описанной в работе [8].

Суммарные ресурсы увлажнения определяются следующим образом:

$$H(I) = KX(I) + W_{HB}(V(I) - V(I+1)). \quad (9)$$

Решение системы уравнений (5)...(9) осуществляется методом итераций до тех пор, пока значение относительной влажности почвогрунтов на начало расчетного интервала не будет равно значению относительной влажности на конец последнего интервала.

При расчете начальное значение

$$Y_p(I) = k(I) \cdot Y_k(I), \quad (10)$$

где $Y_p(I)$ – суммарный русловой сток, мм; $k(I)$ – коэффициент, учитывающий гидрографические характеристики водосбора.

Моделирование водного баланса исследуемой реки реализовано в виде компьютерной программы и осуществляется в два этапа. На первом этапе производится настройка модели по известным составляющим водного и теплового балансов исследуемой реки. При настройке модели преследуется цель достичь наибольшего соответствия рассчитанного климатического и руслового стоков. Первый этап заканчивается построением графиков климатического и руслового стока и выводом ошибки моделирования.

Хорошее совпадение измеренного и рассчитанного стока свидетельствует о корректности модели. Полученные параметры модели использованы при проведении численного эксперимента.

Второй этап представляет собой непосредственный расчет водного баланса исследуемой реки, используя параметры, полученные при калибровке модели. Расчет элементов водного баланса исследуемой реки производится с учетом конкретных особенностей рассматриваемого водосбора [3].

При настройке моделей по предлагаемой методике возникли проблемы с определением параметров для зимних месяцев. Дело в том, что модель недостаточно точно учитывала участвовавшие в последнее время оттепели. Поэтому нами проведена корректировка модели, учитывающая оттепели. Полученная при настройке модели разница между русловым и климатическим стоком относилась к стоку, сформировавшемуся во время оттепелей, которая фиксировалась в настройках модели. При прогнозировании стока будущего эта составляющая добавлялась непосредственно к стоку, а ее величина отнималась от атмосферных осадков соответствующего месяца и на период половодья переносились осадки за вычетом суммарного испарения и стока в

влажности принимается равным значению наименьшей влагоёмкости, т.е. $W(I) = W_{HB}$, откуда $V(I) = I$.

Корректировка климатического стока осуществляется с помощью коэффициентов, учитывающих влияние различных факторов на формирование руслового стока, т.е.:

период оттепелей. Причем величина стока в период оттепелей корректировалась с учетом прогнозируемой температуры соответствующего месяца. В первом приближении величину этого стока можно принять из соотношения месячных температур воздуха и величины стока, в период оттепелей полученной при настройке модели.

Решение уравнения водного баланса для водосбора связано с определением среднего значения тех элементов, наблюдения за которыми ведутся в отдельных точках водосбора. Поэтому одной из главных составляющих моделирования водного режима является корректная оценка климатических характеристик и их осреднение по водосбору. Это, в свою очередь, вызывает необходимость интерполяции и осреднения используемых величин. Применяемые в настоящее время методы оценки среднего значения того или иного балансового элемента на водосборе, по существу, являются вариантами способа нахождения среднего взвешенного. Методы осреднения, как правило, отличаются лишь в части приемов оценки весовых коэффициентов; степени учета основных факторов формирования балансовых элементов уделяется недостаточное внимание.

Так, пространственно-временное распределение атмосферных осадков зависит от направления движения циклонов, положения фронтов раздела, происхождения и мощности влажных воздушных масс, от рельефа местности, экспозиции склонов и ряда других факторов.

Каждый бассейн имеет различную конфигурацию, специфическое строение поверхности с присущей ей гаммой индивидуальных свойств. Поэтому распределение величин осадков и стока по реальным периодам на реальных территориях, как правило, пестрое, а их, так называемые, поля уже в силу этого – неоднородные и анизотропные.

В качестве исходной функции распределения гидрометеорологической характеристики

в речном бассейне принимается функция $x(\varphi, \lambda, H)$ заданная в табличном виде, в которой λ , φ – принимаемые прямоугольные координаты (географическая широта, долгота) расчетного пункта, H – абсолютная отметка поверхности земли в данном пункте. На основе теоремы Вейерштрасса возможно аналитическое выражение исходной функции распределения гидрометеорологической характеристики, ранее заданной в табличном виде. Это приводит к замене точечных данных наблюдений аппроксимирующей функцией трехмерной нелинейной (полиномиальной) интерполяции.

Нами, на материалах Беларуси, выполнено, с использованием аналогичного подхода, исследование связей климатических характеристик с определяющими их факторами. При этом, использован дифференцированный подход к учету в структуре регрессионной модели трех групп формирующих факторов. Во-первых, –

$$X_j = a_{1j} \cdot \varphi + a_{2j} \cdot \lambda + a_{3j} \cdot H + a_{0j} \quad , \quad (11)$$

где X_j – месячная (сезонная, годовая) норма ЭВБ в расчетном пункте, мм; φ , λ – условные прямоугольные координаты (широта, долгота) расчетного пункта, принимаемые, относительно некоторого пункта, км; H – абсолютная отметка поверхности земли (в Балтийской системе) в расчетном пункте,

$$\bar{X}_A = \frac{1}{A \cdot \Delta H} \cdot \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \int_{H_1}^{H_2} X(\varphi, \lambda, H) d\varphi d\lambda dH \quad , \quad (12)$$

где A – площадь водосбора, км²; φ_1 , φ_2 , λ_1 , λ_2 – координаты крайних точек водосбора, м; $\Delta H = H_{max} - H_{min}$ – разность, соответственно, максимальной и минимальной абсолютных отметок поверхности водосбора, м.

Методика имитационного моделирования апробирована нами практически на всех основных климатических характеристиках, что дало возможность привлечь дополнительно большой объем гидрометеорологической информации о возможных вариантах значений и изменений, входящих в балансовые уравнения случайных величин.

Результаты моделирования свидетельствуют о высокой точности расчета водного баланса как для практического применения, так и для теоретических исследований, что проверено на большом количестве рек Беларуси с площадью водосбора около 1000 км², на которых ведутся гидрометрические наблюдения. Таким обра-

зовых факторов, определяемых глобальными влагопереносами в атмосфере и, естественно, участвующих в формировании климатических характеристик над всей рассматриваемой территорией. Во-вторых, – региональных факторов, влияющих на ограниченной территории, охваченной инструментальными наблюдениями. В-третьих, – местных факторов, оказывающих свое влияние на режим климатических характеристик в пределах ограниченной и не охваченной инструментальными наблюдениями территории [3, 4].

В зависимости от точности описания структуры месячных норм климатических характеристик, могут использоваться различные регрессионные уравнения. Так, нормы климатических характеристик за различные интервалы осреднения (месяц, сезон, год) в первом приближении, могут быть оценены по линейным регрессионным зависимостям типа [14, 15]:

м; a_{1j} , a_{2j} , a_{3j} , a_{0j} – коэффициенты частных уравнений регрессии для оценки норм климатических характеристик за различные интервалы осреднения.

Зная значения климатических характеристик, можно определить средний их слой для водосборного бассейна (\bar{X}_A) по выражению:

зом, программа «Баланс» при наличии данных об атмосферных осадках, температуре воздуха, дефицитах влажности воздуха на расчетный период и современные значения стока воды реки, а также гидрографических характеристиках водосбора позволяет получить прогнозные оценки водного баланса малых рек Беларуси на расчетную перспективу [12, 13, 19].

Для получения прогнозных оценок метеорологических величин использовались временные ряды наблюдений за период с 1986 (начало роста средних годовых температур воздуха) по 2015 гг. с месячной дискретностью. Для этого периода строились линейные тренды для месячных и годовых величин атмосферных осадков, температуры воздуха и дефицитов влажности воздуха, а полученные параметры использовались для получения средних месячных и годовых величин на период до 2050 г. Более подробно процедура оценки климатических параметров на расчет-

ную перспективу представлена в работе [12].

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

На первом этапе исследований выполнена процедура приведения гидрологических рядов к единому расчетному периоду с 1948 по 2015 гг. В качестве примера в табл. 1 приведены основные

гидрологические характеристики годовых расходов воды, а также годовые расходы расчетной обеспеченности, определенные с использованием трехпараметрического гамма-распределения вероятностей для двух расчетных периодов: непосредственно по данным наблюдений и по восстановленным значениям, приведенным к репрезентативному периоду (68 лет) для гидрологических створов на р. Лань.

Таблица 1

Статистические параметры и расходы воды годового стока р. Лань

Параметры	Створ			
	Логновичи ($A=480 \text{ км}^2$)	Локтыши ($A=909 \text{ км}^2$)	Мокрово ($A=2550 \text{ км}^2$)	
Количество лет наблюдений	10 / 68	29 / 68	40 / 68	
Период наблюдений, годы	1979...1988	1948...1977	1975...2015	
	1948...2015	1948...2015	1948...2015	
Среднее значение стока, $\text{м}^3/\text{с}$	$1,90 \pm 0,17$	$3,68 \pm 0,19$	$8,84 \pm 0,53$	
	$2,04 \pm 0,07$	$4,09 \pm 0,13$	$8,59 \pm 0,46$	
Коэффициент автокорреляции	0,37 / 0,16	-0,17 / 0,19	0,28 / 0,12	
Норма стока, $\text{м}^3/\text{с}$	1,94 / 2,04	3,71 / 4,12	8,84 / 8,59	
Коэффициент вариации (C_v)	0,22 / 0,27	0,29 / 0,28	0,29 / 0,36	
Соотношение (C_s/C_v)	3,5 / 3,0	5,5 / 4,0	2,5 / 2,0	
	1 %	3,06 / 3,41	6,35 / 6,79	13,9 / 15,8
Расход воды	5 %	2,64 / 2,91	5,26 / 5,76	12,1 / 13,3
	25 %	2,17 / 2,32	4,15 / 4,65	9,96 / 10,2
обеспеченности	50 %	1,89 / 1,98	3,58 / 4,00	8,68 / 8,32
	75 %	1,66 / 1,70	3,22 / 3,48	7,51 / 6,69
обеспеченностью, $\text{м}^3/\text{с}$	95 %	1,38 / 1,35	2,64 / 2,88	6,09 / 4,76
	99 %	1,21 / 1,16	2,37 / 2,53	5,22 / 3,67

Примечание: В числителе приведены параметры, определенные по данным наблюдений; в знаменателе – по данным, приведенным к репрезентативному периоду.

Таким образом, получены гидрологические виды стока р. Лань, а многолетний ход параметров по рассматриваемым среднегодовых расходов воды представлен на гидрологическим створами для различных рис. 1.

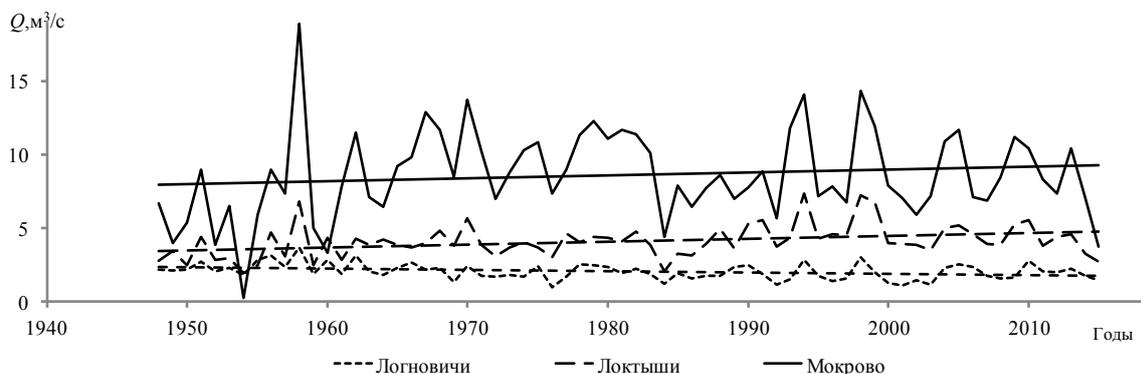


Рис. 1. Многолетний ход среднегодовых расходов воды р. Лань.

Как видно из графиков, имеет место некоторая тенденция к росту годового стока по створам Локтыши и Мокрово прядка 0,2 м³/с (10 лет), которая вызвана крупномасштабными мелиорациями второй половины прошлого столетия, что привело к сработке вековых запасов грунтовых вод верхних горизонтов [13, 15] и небольшое уменьшение стока (0,09 м³/с (10 лет)) в верховье реки (с. Логновичи), вызванная климатическими влияниями. Для максимального стока по всей реке наблюдается существенное снижение максимальных расходов воды и это обусловлено природными факторами (повсеместно на территории Беларуси наблюдается снижение максимальных расходов воды весеннего половодья [9, 15, 16]) и аккумуляция части стока весеннего половодья водохранилищем Локтыши. Общая тенденция изменения минимального стока на территории Беларуси это повсеместное увеличение зимнего стока, вызванное современным климатическим потеплением в холодный период, как результат частых оттепелей и повышение стока, летний сток не изменился за исключением Полесья, где произошло некоторое повышение стока, вызванное крупномасштабными мелиорациями

и сработкой вековых запасов грунтовых вод верхних горизонтов [19]. Колебания минимального стока, в створах Локтыши и Мокрово, как в летне-осенний, так и в зимний период определены режимом работы водохранилища и носят предсказуемый характер.

В табл. 2 представлены выборочные оценки основных статистических параметров рассматриваемых временных рядов стока за различные периоды осреднения. Эмпирические кривые обеспеченности для всех периодов осреднения соответствуют трёхпараметрическому гамма-распределению, а соотношение коэффициента асимметрии (Cs) к коэффициенту вариации (Cv), как правило, не превышает Cs=1...3Cv. Поскольку функция распределения вероятностей стока при таких оценках параметров незначительно отличается от функции нормального распределения, применение параметрических критериев для проверки статистических гипотез можно считать допустимым. Гистограммы, построенные для рассматриваемых расходов воды, свидетельствует, что распределение близко к нормальному.

Таблица 2
Статистические параметры расходов воды р. Лань за различные периоды осреднения

Вид стока	средний годовой			максимальный			минимальный летне-осенний			минимальный зимний		
	Логновичи	Локтыши	Мокрово	Логновичи	Локтыши	Мокрово	Логновичи	Локтыши	Мокрово	Логновичи	Локтыши	Мокрово
Период осреднения 1948...2015 гг.												
Qcp, м ³ /с	2,04	4,12	8,59	2,90	60,8	45,7	0,534	1,52	2,50	0,741	1,47	3,96
Cv	0,27	0,28	0,36	0,67	0,83	0,95	0,22	0,38	0,64	0,693	0,457	0,597
Cs	0,60	0,80	0,40	0,67	0,83	0,95	0,22	0,39	0,65	3,25	1,07	0,981
Qp=1 %, м ³ /с	3,41	6,79	15,8	139	225	231						
Qp=5 %, м ³ /с	2,91	5,76	13,3	90,9	159	137						
Qp=25 %, м ³ /с	2,32	4,65	10,2	45,5	85,4	56,1						
Qp=50 %, м ³ /с	1,98	4,00	8,32	33,2	48,6	35,3	0,513	1,50	2,20	0,628	1,36	3,45
Qp=75 %, м ³ /с	1,70	3,48	6,69				0,446	1,13	1,37	0,432	1,03	2,32
Qp=95 %, м ³ /с	1,35	2,88	4,76				0,373	0,658	0,612	0,268	0,693	1,29
Qp=99 %, м ³ /с	1,16	2,53	3,67				0,334	0,403	0,305	0,197	0,529	0,838

Вид стока	средний годовой			максимальный			минимальный летне-осенний			минимальный зимний		
	Логновичи	Локтыши	Мокрово	Логновичи	Локтыши	Мокрово	Логновичи	Локтыши	Мокрово	Логновичи	Локтыши	Мокрово
Период осреднения 1948...1977 гг.												
Q _{ср} , м ³ /с	2,22	3,71	8,36	45,3	81,3	67,0	0,523	1,05	2,74	0,518	1,17	3,21
C _v	0,27	0,29	0,46	0,76	0,71	0,94	0,29	0,43	0,66	0,37	0,63	0,78
C _s	1,06	1,58	1,38	3,42	1,76	3,29	1,71	1,06	1,66	1,10	3,76	4,31
Q _{p=5 %} , м ³ /с	3,15	5,26	14,8	103	191	178						
Q _{p=10 %} , м ³ /с	2,88	4,79	12,8	81,2	155	135						
Q _{p=90 %} , м ³ /с	1,64	2,81	4,66				0,340	0,554	0,998	0,277	0,558	1,31
Q _{p=95 %} , м ³ /с	1,52	2,64	4,02				0,310	0,467	0,760	0,237	0,488	1,10
Период осреднения 1978...2015 гг.												
Q _{ср} , м ³ /с	1,99	4,45	8,88	35,3	49,7	34,3	0,553	1,86	2,39	0,984	1,78	4,47
C _v	0,27	0,26	0,30	0,57	0,95	0,72	0,16	0,21	0,68	0,74	0,34	0,46
C _s	0,68	1,29	0,75	2,28	2,85	4,00	0,96	0,43	1,69	4,05	1,34	0,91
Q _{p=5 %} , м ³ /с	2,83	6,16	12,2	68,7	134	76,9						
Q _{p=10 %} , м ³ /с	2,61	5,67	11,3	57,3	102	60,4						
Q _{p=90 %} , м ³ /с	1,43	3,37	6,61				0,427	1,39	0,858	0,396	1,17	2,33
Q _{p=95 %} , м ³ /с	1,31	3,19	6,11				0,404	1,28	0,651	0,331	1,06	1,94
Период осреднения 1978...1987 гг.												
Q _{ср} , м ³ /с	1,96	3,70*	9,42	49,6	68,9	56,1	0,606	1,48	3,60	0,757	1,98	4,29
C _v	0,21	0,22	0,30	0,76	0,85	0,76	0,15	0,19	0,50	0,50	0,49	0,67
C _s	0,53	-1,40	0,15	3,42	3,81	3,80	0,76	1,12	1,00	1,73	2,44	3,00
Период осреднения 1988...2015 гг.												
Q _{ср} , м ³ /с	1,99	4,70	8,78	31,2	39,2	27,0	0,530	2,01	2,01	1,06	1,74	4,68
C _v	0,28	0,25	0,30	0,41	0,98	0,45	0,14	0,16	0,69	0,77	0,28	0,41
C _s	0,69	1,51	1,21	2,48	2,95	2,00	0,84	0,41	2,44	4,22	0,83	1,02

АНАЛИЗ ОДНОРОДНОСТИ РЯДОВ СТОКА

Рассмотрим устойчивость выборочных статистик (средних, коэффициентов вариации) для периодов осреднения 1948...1977 гг. и 1978...2015 гг. (оценка влияния водохранилища) и 1978...1987 гг. и 1988...2015 гг. (до и в период современного потепления климата) применительно к анализируемым видам стока и створам р. Лань. В табл. 3 приведена матрица статистических критериев Стьюдента и Фишера.

Рассмотрим изменения стока р. Лань, вызванные строительством водохранилища, т.е. сравним изменения происшедшие со стоком за периоды 1948...1977 гг. и 1978...2015 гг. Как показал совместный анализ табл. 2 и

3 средний годовой сток на р. Лань в створе Логновичи, за рассматриваемые периоды, уменьшился на 0,23 м³/с, в створе Локтыши увеличился на 0,74 м³/с, а Створе Мокрово статистически значимых изменений не произошло. Это обусловлено в первом случае природными процессами свойственными рассматриваемой территории, а увеличение стока воды ниже водохранилища, его влиянием в ходе внутригодового перераспределения стока. Как показал анализ дисперсий, изменений в структуре колебания среднегодового стока р. Лань не отмечается, значения F-критериев не превышали критических. Максимальные расходы воды существенно уменьшились на 10,0, 30,6, 32,7 м³/с соответственно, при этом изменился и характер колебаний, существенно

уменьшилась амплитуда колебаний. Это вызвано наполнением водохранилища в этот период и частыми зимними оттепелями. Минимальный летне-осенний сток реки увеличился только в створе Локтыши (0,81 м³/с), что является статистически значимо и вызвано влиянием водохранилища, в остальных рассматриваемых створах наблюдается некоторое статистически незначимое увеличение стока. Характер колебаний минимального летне-осеннего стока, судя по F-критериям, существенных изменений

не претерпел, кроме створа Логвиновичи. Минимальный зимний сток повсеместно увеличился соответственно на 0,466, 0,61 и 1,26 м³/с, причем во всех случаях статистически значимо. Это произошло вследствие зимних оттепелей, выше водохранилища, а ниже добавился антропогенный фактор в виде попусков воды из водохранилища. Кроме того, изменился и характер колебаний минимального зимнего стока, кроме створа Локтыши, где решающее влияние оказывает характер попусков из водохранилища.

Таблица 3

Статистические критерии для различных интервалов осреднения и видов стока р. Лань

Створ	Логновичи		Локтыши		Мокрово	
	t	F	t	F	t	F
Вид стока	Годовой					
1948...1977 – 1978...2015	2,19	1,29	2,68	1,22	1,20	1,94
1978...1987 – 1988...2015	1,77	1,66	1,25	2,06	1,31	1,10
	Максимальный					
1948...1977 – 1978...2015	2,07	2,55	2,47	1,63	2,85	5,69
1978...1987 – 1988 – 2015	1,72	5,22	1,70	2,29	1,91	6,21
	Минимальный летне-осенний					
1948...1977 – 1978...2015	1,25	2,62	7,77	1,24	1,42	1,23
1978...1987 – 1988...2015	2,64	1,68	5,34	1,53	2,86	1,73
	Минимальный зимний					
1948...1977 – 1978...2015	3,93	11,7	4,50	1,14	1,94	2,44
1978...1987 – 1988...2015	1,39	4,63	1,61	3,17	1,06	1,61

Примечание: Выделенные значения статистически значимы.

Определенный интерес представляет оценка изменения стока при современном потеплении климата. С этой целью сравнивались два периода: 1978...1987 гг. (ввод в эксплуатацию водохранилища до начала современного потепления) и 1988...2015 гг. (начало современного потепления). Как показал анализ, статистически значимых изменений в среднегодовом стоке не произошло. Картина изменений максимального стока весеннего половодья аналогична выше рассматриваемому периоду, т.е. наблюдается по-

всеместное уменьшение: -18,4; -40,0; -29,1 м³/с, причем в первом и третьем случаях статистически значимое. Минимальный летне-осенний сток статистически значимо изменился во всех створах, но характер изменения отличается, если Логновичи и Мокрово он уменьшился соответственно на -0,076; -1,59 м³/с, то в створе Лктыши вырос на 0,53 м³/с. Характер колебаний существенных изменений не претерпел.

Таким образом, проверка гипотезы об однородности рассматриваемых параметров годово-

го, максимального, минимальных летне-осеннего и минимального зимнего стока для периодов с разными интервалами осреднения основана на использовании критериев Стьюдента и Фишера как показал анализ, для некоторых отрезков расхода в параметрах существенны и могут быть признаны статистически достоверными.

Скорость изменения значений расходов воды р. Лань в рассматриваемых створах оценивалась с помощью линейных градиентов (α) численно равных произведению коэффициента регрессии линейных трендов (a) на 10 лет. Градиент характеризует изменение расхода воды в $\text{м}^3/\text{с}$ (10 лет). Значения градиентов стока и их значимость с помощью коэффициентов корреляции приведены в табл. 4.

Для всего рассматриваемого периода (1948...2015 гг.) статистически значимые линей-

ные градиенты имеют место для среднегодовых расходов воды в створах Лагновичи – отрицательный ($-0,09 \text{ м}^3/\text{с}$ (10 лет)), а в створе Локтыши – положительный ($0,19 \text{ м}^3/\text{с}$ (10 лет)). Во всех створах градиенты максимальных расходов воды отрицательны и статистически значимые и составляют $-2,76, -8,13 -7,76 \text{ (м}^3/\text{с (10 лет))}$, соответственно. Здесь налицо действие двух факторов антропогенного – наполнение водохранилища и природного – современного потепления климата. Для минимального стока статистически значимый положительный градиент наблюдался в летне-осенний период в створе Локтыши и составил $0,218 \text{ м}^3/\text{с}$ (10 лет), а в зимний период во всех створах наблюдался рост расходов и составил соответственно $0,113; 0,182; 0,0513 \text{ м}^3/\text{с}$ (10 лет), что характерно для всей территории Беларуси [19].

Таблица 4

Статистические параметры линейных трендов изменения расходов воды р. Лань за различные периоды осреднения

Вид стока	средний годовой			максимальный			минимальный летне-осенний			минимальный зимний		
	Лагновичи	Локтыши	Мокрово	Лагновичи	Локтыши	Мокрово	Лагновичи	Локтыши	Мокрово	Лагновичи	Локтыши	Мокрово
Период осреднения 1948...2015 гг.												
$\alpha \cdot 10, \text{ м}^3/\text{с}$	-0,09	0,19	0,18	-2,76	-8,13	-7,76	0,003	0,218	-0,117	0,113	0,182	0,513
r	-0,34	0,34	0,12	-0,23	-0,34	-0,39	0,00	0,76	-0,15	0,44	0,53	0,40
Период осреднения 1948...1977 гг.												
$\alpha \cdot 10, \text{ м}^3/\text{с}$	-0,27	0,34	1,62	0,11	-8,59	-2,61	-0,006	0,413	0,388	0,026	0,395	0,749
r	-0,42	0,30	0,42	0,00	-0,15	-0,04	-0,00	0,84	0,21	0,13	0,57	0,26
Период осреднения 1978...2015 гг.												
$\alpha \cdot 10, \text{ м}^3/\text{с}$	-0,05	0,06	-0,50	-6,10	-6,80	-7,96	-0,028	0,065	-0,501	0,123	0,015	0,416
r	-0,11	0,06	-0,22	-0,37	-0,19	-0,41	-0,36	0,18	-0,37	0,22	0,03	0,23
Период осреднения 1978...1987 гг.												
$\alpha \cdot 10, \text{ м}^3/\text{с}$	-1,08	-1,33	-0,69	-55,6	49,0	-53,5	-0,105	-0,405	-2,461	-0,321	-0,963	-1,587
r	-0,73	-0,51	-0,78	-0,63	0,29	-0,50	-0,34	-0,47	-0,47	-0,31	-0,40	-0,21
Период осреднения 1988...2015 гг.												
$\alpha \cdot 10, \text{ м}^3/\text{с}$	0,00	-0,43	-0,38	-0,84	3,52	-2,13	0,002	-0,240	0,099	0,147	0,215	0,527
r	0,00	-0,31	-0,12	-0,06	0,09	-0,14	0,00	-0,61	0,07	0,18	0,38	0,24

Примечание: Выделенные значения статистически значимы.

Для периода наблюдений (1948...1977 гг.) наблюдается снижение стока в створе Логновичи, а в створе Мокрово некоторый рост среднегодового стока – -0,27; 1,62 м³/с (10 лет) соответственно; в максимальном стоке во всех створах существенных изменений не установлено, хотя и наблюдается некоторая тенденция к снижению стока; минимальный сток как летне-осенний, так и зимний статистически значимо вырос только в створе Локтыши и составил 0,413 и 0,395 м³/с (10 лет) соответственно.

В период с 1978 по 2015 гг. (время функционирования водохранилища) преобладает тенденция уменьшения стока. Статистически значимо уменьшался максимальный и минимальный летне-осенний сток в створах Логновичи и Мокрово -6,10; -7,96; -0,028; -0,501 м³/с (10 лет), соответственно.

В период с 1978 по 1987 гг. (период работы водохранилища до начала современного потепления) значимых тенденций не наблюдалось, исключение составляет средний годовой сток в створе Мокрово -0,69 м³/с (10 лет), вызвано дополнительным испарением с водной поверхности водохранилища.

В период современного потепления климата статистически значимые градиенты наблюдались в створе Локтыши для минимальных летне-осенних и зимних периодов и составили -0,240 и 0,215 м³/с (10 лет). Это обусловлено влиянием водным режимом водохранилища.

Таким образом, в результате выполненного анализа во временных рядах стока р. Лань установлена статистическая неоднородность, т.е. в бассейне реки имеет место интенсивная хозяйственная деятельность, существенно нарушающая естественный гидрологический режим.

При этом роль последних с каждым годом усиливается недоучет их может привести к значительным ошибкам при определении расчетных параметров.

Прогнозные оценки изменения стока р. Лань

Тенденции в колебаниях климата на глобальном и региональном уровнях подтверждаются: повышением глобальной температуры воздуха у земной поверхности, уменьшением площади морского льда в Арктическом бассейне и снежного покрова на суше, повышением среднего уровня океана. Согласно исследованиям ведущих климатологов, изменение глобальной температуры в XX – начале XXI века имеет место общее потепление, которое в среднем на Земле составило 0,75 °С. Существенно изменилась за это время внутригодовая структура атмосферных осадков. Месячные значения осадков в апреле-мае и, особенно, в августе понизились, примерно, на 20 %. Тенденции многолетних колебаний индексов экстремальности температуры воздуха согласуются с фактом глобального потепления, когда годовые минимумы и максимумы увеличиваются, а размах между ними сокращается (минимумы увеличиваются быстрее максимумов), число суток с морозами уменьшается.

Моделирование изменения метеорологических характеристик на территории Белорусского Полесья до 2050 г., осуществлялось на базе архива метеорологических данных с использованием мультимодельного ансамбля CMIP5 из четырех сценариев (RCP8.5, RCP6.0, RCP4.5, RCP2.6) [12], результаты представлены табл. 5.

Таблица 5

Прогнозные оценки изменения метеорологических характеристик на территории Белорусского Полесья до 2050 г.

Интервал осреднения												
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
температуры воздуха (°С)												
2,4	2,2	1,9	1,6	1,4	1,6	2,0	1,9	1,7	1,6	1,7	2,0	1,8
количества осадков (%)												
9,0	5,0	2,0	-6,0	-7,0	-8,0	-12,0	-10,0	-6,0	-4,0	3,0	4,0	-2,5
дефицита влажности воздуха (%)												
0,1	0,1	0,2	0,3	0,5	-0,3	-0,4	-0,3	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0

По рассмотренной методике нами выполнены прогнозные оценки по р. Лань в створе Мокрово на перспективу до 2050 г. В связи с существенным антропогенным воздействием на сток р. Лань настройка модели проводилась по реке-аналогу р. Цна в створе Детловичи. Реки находятся в непосредственной близости друг от друга, имеют весьма схожие геоморфологиче-

ские характеристики и климатические условия. Пример моделирования среднемноголетнего годового стока и его внутригодового распределения представлены на рис. 2.

На рис. 3 представлены современные и прогнозные значения речного стока для различных прогнозных климатических сценариев по варианту 2.



Рис. 2. Измеренный и рассчитанный сток р. Цна в створе с. Дятловичи (результаты настройки модели).

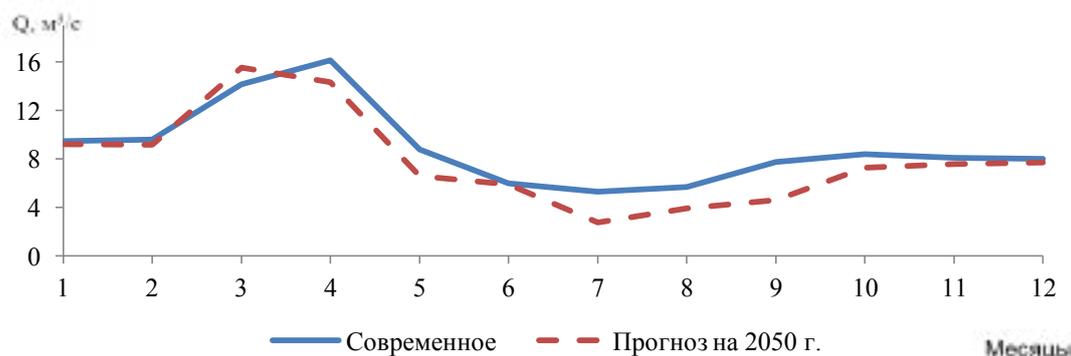


Рис. 3. Современный и прогнозные гидрографы стока р. Лань в створе с. Мокрово.

В таблице 6 приведены результаты изменения среднемноголетнего стока на моделирования прогнозных оценок 2050 г.

Таблица 6

Сток р. Лань в створе с. Мокрово

Интервал осреднения												
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Современные величины стока, м ³ /с												
9,46	9,60	14,2	16,2	8,78	5,99	5,32	5,69	7,74	8,38	8,10	8,01	8,89
Прогнозные оценки величин стока на 2050 г., %												
97,3	95,4	109,8	88,7	74,8	98,8	51,6	68,9	59,5	87,1	93,6	96,1	89,9
Прогнозные оценки величин стока на 2050 г., м ³ /с												
9,20	9,15	15,6	14,3	6,57	5,92	2,75	3,92	4,61	7,30	7,57	7,70	8,00

Полученные значения климатического стока сравнивались между собой по соотношению $\Delta_{кл.} = Y_{кл.}^{пр.} / Y_{кл.}^{сов.} \cdot 100\%$. Непосредственная прогнозная оценка руслового стока находилась из соотношения $Q^{пр.} = Q^{сов.} \cdot \Delta_{кл.} / 100, м^3 / с.$ Как видно из табл. 6 существенных изменений стока не произойдет, так как прогнозные климатические параметры значимо не изменились. Прогнозируется некоторое уменьшение стока, вызванное дополнительным испарением с водной поверхности водохранилища, в связи с ростом температур воздуха, при этом произойдет некоторое сжатие пика весеннего половодья на март месяц.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе комплексного анализа гидрометрической информации по р. Лань в створах Логновичи, Локтыши и Мокрово за период инструментальных наблюдений с 1948 по 2015 гг. установлены следующие закономерности. Для среднегодового стока имеет место уменьшение по створу Логновичи и рост по створу Локтыши; для максимального стока наблюдается уменьшение по всем рассматриваемым створам; для минимального летне-осеннего стока наблюдается рост по створу Локтыши; для минимального зимнего стока наблюдается увеличение по всем створам.

На основе гидролого-климатической гипотезы и многофакторной модели получены прогнозные характеристики изменения стока выраженные в некотором его уменьшении и смещении максимального весеннего стока на более ранние сроки.

Наибольшее влияние на объем и режим стока р. Лань оказывает водохранилище Локтыши, что требует строго соблюдения научно обоснованных режимов управления водным режимом водохранилища.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беларуская энцыклапедыя: у 18 т./ рэд-кал.: Г.П. Пашкоў (гал. рэд.) [і інш.]. – Мінск: БелЭн, 2002. – Т. 15. – 552 с.
2. Блакітны скарб Беларусі : Рэкі, азёры, вадасховішчы, турысцкі патэнцыял водных аб'ектаў / Маст.: Ю.А. Гарэеў, У.І. Цярэнцьеў – Мн.: БелЭн, 2007. – 480 с.

3. *Валуев В.Е, Волчек А.А., Юрченко Н.Т.* К вопросу интерполяции, осреднения и инженерных расчетов воднобалансовых характеристик // Воспроизводство плодородия мелиорируемых земель Сибири: Тр./ СибНИИГиМ. – Красноярск, 1991. – С. 21-39.

4. *Валуев В.Е., Волчек А.А., Мешик О.П., Цилиндь В.Ю.* // Инженерные расчеты воднобалансовых характеристик / Сб. тез. докл. XXI научно-технической конференции в рамках проблемы «Наука и мир» // Брест. политехн. институт. – Брест, 1994. – Ч. II. – С. 89-90.

5. *Валуев В.Е., Волчек А.А., Пойта П.С., Шведовский П.В.* Статистические методы в природопользовании : учебное пособие для студентов высших учебных заведений. – Брест: Изд-во Брестского политехнического института, 1999. – 252 с.

6. *Волчек А.А.* Автоматизация гидрологических расчетов // Водохозяйственное строительство и охрана окружающей Среды: Труды международной научно-практической конференции по проблемам водохозяйственного, промышленного и гражданского строительства и экономико-социальных преобразований в условиях рыночных отношений. / Брест. политехн. институт.- Биберах – Брест – Ноттингем, 1998. – С. 55-59.

7. *Волчек А.А.* Гидрологические расчеты : учебное пособие. – Москва : КНОРУС, 2021. – 418 с.

8. *Волчек А.А.* Методика определения максимально возможного испарения по массовым метеоданным (на примере Белоруссии) // Научно-техническая информация по мелиорации и водному хозяйству (Минводхоз БССР), 1986. – № 12. – С. 17-21.

9. *Волчек А.А., Волчек Ан.А.* Половодья на реках Беларуси: закономерности формирования и прогноз // Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2012. – 216 с.

10. *Волчек А.А., Волчек Ан.А., Сидак С.В.* Оценка современных изменений максимального стока рек Беларуси // Географія. – 2020. – № 4. – С. 26-32.

11. *Волчек А.А., Грядунова О.И.* Минимальный сток рек Беларуси.– Брест: БрГУ, 2010. –169 с.

12. *Волчек А.А., Корнеев В.Н., Парфомук С.И., Булак И.А.* Водные ресурсы Беларуси и их прогноз с учетом изменения климата / под общ. ред. А.А. Волчек, В.Н. Корнеева. – Брест :

Альтернатива, 2017. – 228 с.

13. Волчек А.А., Парфомук С.И. Оценка трансформации водного режима малых рек Белорусского Полесья под воздействием природных и антропогенных факторов (на примере р. Ясельда) // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – Екатеринбург, 2007. – № 1. – С. 50-62.

14. Волчек, А.А. Оптимизация режимной гидрологической сети Беларуси // Мелиорация.— 2020. – №4(94) – С. 24-29.

15. Логинов В.Ф., Волчек А.А. Водный баланс речных водосборов Беларуси. – Минск: Тонпик, 2006 – 160 с.

16. Логинов В.Ф., Волчек А.А., Волчек А.А. Весенние половодья на реках Беларуси: пространственно-временные колебания и прогноз. – Минск: Беларуская навука, 2014. – 244 с.

17. Мезенцев В.С. гидролого-климатическая гипотеза и примеры ее использования // Водные ресурсы, 1995. – Том 22, №3. – С. 299-301.

18. Расчетные гидрологические характеристики. Порядок определения. Технический кодекс установившейся практики ТКП 45-3.04-168-2009(02250). – Минск: РУП «Стройтехнорм», 2010. – 55 с.

19. Korneev V.N., Volchak A.A., Hertman L.N. The Strategic Framework for Adaptation to Climate Change in the Neman River Basin / United Nations Development Programme in Belarus and United Nations Economic Commission for Europe – Brest, 2015. – p. 64.

REFERENCE

1. Belaruskaya entsyklapedyya: u 18 t./redkal.: G.P. Pashkoŭ (gal. red.) [i insh.]. – Minsk: BelEn, 2002. – Т. 15. – 552 с.

2. Blakitny skarb Belarusi : Reki, azery, vadaskhovishchy, turystski patentsyyal vodnykh ab'ektaŭ / Mast.: Yu.A. Tareeŭ, U.I. Tsyarents'ey – Mn.: BelEn, 2007. – 480 с.

3. Valuev V.E., Volchek A.A., Yurchenko N.T. К вопросу интерполяции, осреднения и инженерных расчетов воднобалансовых характеристик // Производство плодородия мелиорированных земель Сибири: Тр./ SibNIIGiM. – Krasnoyarsk, 1991. – С. 21-39.

4. Valuev V.E., Volchek A.A., Meshik O.P., Tsilind' V.Yu. // Инженерные расчеты

vodnobalansovykh kharakteristik / Sb. tez. dokl. XXI nauchno-tekhnicheskoi konferentsii v ramkakh problemy «Nauka i mir» // Brest. politekhn. institut. – Brest, 1994. – Ch. II. – S. 89-90.

5. Valuev V.E., Volchek A.A., Poita P.S., Shvedovskii P.V. Statisticheskie metody v prirodopol'zovanii : uchebnoe posobie dlya studentov vysshikh uchebnykh zavedenii. – Brest: Izd-vo Brestskogo politekhnicheskogo instituta, 1999. – 252 s.

6. Volchek A.A. Avtomatizatsiya gidrologicheskikh raschetov // Vodokhozyaistvennoe stroitel'stvo i okhrana okruzhayushchei Sredy: Trudy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii po problemam vodokhozyaistvennogo, promyshlennogo i grazhdanskogo stroitel'stva i ekonomiko-sotsial'nykh preobrazovanii v usloviyakh rynochnykh otnoshenii. / Brest. politekhn. institut.- Biberakh - Brest – Nottingem, 1998. – S.55-59.

7. Volchek A.A. Hidrologicheskie raschety : uchebnoe posobie. – Moskva : KNORUS, 2021. – 418 s.

8. Volchek A.A. Metodika opredeleniya maksimal'no vozmozhnogo ispareniya po massovym meteodannym (na primere Belorussii) // Nauchno-tekhnicheskaya informatsiya po melioratsii i vodnomu khozyaistvu (Minvodkhoz BSSR), 1986. – № 12. – S. 17–21.

9. Volchek A.A., Volchek An.A. Polovod'ya na rekakh Belarusi: zakonomernosti formirovaniya i prognoz // Saarbrucken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2012. – 216 с.

10. Volchek A.A., Volchek An.A., Sidak S.V. Otsenka sovremennykh izmenenii maksimal'nogo stoka rek Belarusi // Geografiya. – 2020. – № 4. – S. 26-32.

11. Volchek A.A., Gryadunova O.I. Minimal'nyi stok rek Belarusi.– Brest: BrGU, 2010. –169 s.

12. Volchek A.A., Korneev V.N., Parfomuk S.I., Bulak I.A. Vodnye resursy Belarusi i ikh prognoz s uchetom izmeneniya klimata / pod obshch. red. A.A. Volchek, V.N. Korneeva. – Brest : Al'ternativa, 2017. – 228 s.

13. Volchek A.A., Parfomuk S.I. Otsenka transformatsii vodnogo rezhima malyykh rek Belorusskogo Poles'ya pod vozdeistviem prirodnykh i antropogennykh faktorov (na primere r. Yasel'da) // Vodnoe khozyaistvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie. – Ekaterinburg, 2007. – № 1. – S. 50–62.

14. *Volchek, A.A.* Optimizatsiya rezhimnoi gidrologicheskoi seti Belarusi // Melioratsiya.— 2020. – №4(94) – S. 24 – 29.
15. *Loginov V.F., Volchek A.A.* Vodnyi balans rechnykh vodosborov Belarusi. – Minsk: Tonpik, 2006 – 160 s.
16. *Loginov V.F., Volchek A.A., Volchek An.A.* Vesennie polovod'ya na rekakh Belarusi: prostranstvenno-vremennye kolebaniya i prognoz. – Minsk: Belaruskaya navuka, 2014. – 244 s.
17. *Mezentsev V.S.* gidrologo-klimaticheskaya gipoteza i primery ee ispol'zovaniya // Vodnye resursy, 1995. – Tom 22, №3. – S. 299-301.
18. Raschetnye gidrologicheskie kharakteristiki. Poryadok opredeleniya. Tekhnicheskii kodeks ustanovivsheisya praktiki TKP 45-3.04-168-2009(02250). – Minsk: RUP «Stroitekhnorm», 2010. – 55 s.
19. *Korneev V.N., Volchak A.A., Hertman L.N.* The Strategic Framework for Adaptation to Climate Change in the Neman River Basin / United Nations Development Programme in Belarus and United Nations Economic Commission for Europe – Brest, 2015. – p. 64.

ЛАН ӨЗЕНІНІҢ АҒЫНЫ: ҚАЗІРГІ ЖАҒДАЙЫ ЖӘНЕ БОЛЖАМЫ

А.А. Волчек, *геогр. ғылым. докторы*

Брест мемлекеттік техникалық университеті, Брест қ., Беларусь Республикасы
E-mail: Volchak@tut.by

Беларуссияның Полесьесінің типтік кіші өзені Лань өзенінің су режимін зерттеу нәтижелері көрсетілген. Лань өзені су жинау алаңдары тиісінше $A=480 \text{ км}^2$, $A=909 \text{ км}^2$ және $A=2550 \text{ км}^2$ тең үш есептеу тұстамасмен (Логновичи, Локтыши және Мокрово) және әр түрлі кезеңдерде бақылау жүргізу және антропогендік әсер ету дәрежесімен көрсетілген. Өткен ғасырдың ортасында жүргізілген өзен бассейніндегі ауқымды мелиорациядан басқа, 1977 жылы өзен арнасында балық өсіру және ауылшаруашылық мақсатта су қоймасы салынды. Аналогия әдісін қолдана отырып, жылдық, максималды, минималды жазғы-күзгі және қысқы су шығындарын бақылау қатарлары 1948 жылдан 2015 жылға дейінгі кезеңмен ұзақтығы 68 жыл болатын бірыңғай есептік кезеңге келтірілген. Антропогендік әсерлер мен табиғи факторлардың ағынға әсерін бағалау, бастапқы уақыт қатарлары орташандыру аралықтары талданды: 1948 жылдан 2015 жылға дейін (бақылаудың барлық кезеңі, 68 жыл); 1948 жылдан 1977 жылға дейін (су қоймасы пайдалануға берілгенге дейінгі кезең, 29 жыл); 1978 жылдан 2015 жылға дейін (су қоймасының жұмыс істеу кезеңі, 38 жыл); 1978 жылдан 1987 жылға дейін (су қоймасының жұмыс істеу кезеңі қазіргі климаттың жылынуына дейін, 10 жыл); 1988...2015 жж. (қазіргі климаттың жылынуы кезіндегі су қоймасының жұмыс істеу кезеңі, 27 жыл). Табиғи гидрологиялық режимді едәуір бұзатын қарқынды шаруашылық қызметтің нәтижесінде статистикалық әртектілік анықталды. Орташа жылдық ағыс үшін Логновичи тұстамасы бойынша төмендеу және Локтыши тұстамасы бойынша өсу орын алғаны анықталды; ең жоғары ағын үшін барлық қаралатын тұстамалар бойынша төмендеу байқалады; минималды жазғы-күзгі ағын үшін Локтыши тұстамасы бойынша өсу байқалады; минималды қысқы ағын үшін барлық тұстамалар бойынша ұлғаю байқалады. Гидрологиялық-климаттық гипотезаға сүйене отырып, 2050 жылға арналған ағынның орташа мәндерінің болжамды бағалары берілді, олар оның біршама азаюымен және көктемгі су тасқыны шыңының ертерек кезеңдерге ауысуымен көрінеді.

Түйін сөздер: өзен, ағын, климат, тербелістер, модельдеу, болжау

RIVER LAN DISCHARGE: CURRENT STATE AND FORECAST

A.A. Volchek, *Doctor of Geographical Sciences*

Brest State technical university, Brest, Republic of Belarus

E-mail: Volchak@tut.by

The results of the study of the water regime of the Lan River, a typical small river of the Belarusian Polesye, are presented. The Lan River is represented by three monitoring sites (Lognovichi, Loktyshi and Mokrovo) with drainage areas $A = 480 \text{ km}^2$, $A = 909 \text{ km}^2$ and $A = 2550 \text{ km}^2$, respectively, with different observation periods and the degree of anthropogenic impact. In addition to large-scale reclamation in the river basin, carried out in the middle of the last century, in 1977, a reservoir was built in the river bed for fish farming and agricultural use. Using the method of analogies, the series of observations of annual, maximum, minimum summer-autumn and winter water discharges are reduced to a single calculated period of 68 years from 1948 to 2015. Assessment of the influence of anthropogenic impacts and natural factors on the runoff, the initial time series, the averaging intervals were analyzed: from 1948 to 2015. (the entire observation period length is 68 years); from 1948 to 1977 (29 years period before the commissioning of the Loktyshi reservoir); from 1978 to 2015 (38 years of reservoir operation period); from 1978 to 1987 (10 years period of the reservoir functioning before the beginning of the modern climate warming,); from 1988 to 2015 (27 years period of the reservoir functioning under the current climate warming). Statistical heterogeneity was found as a result of intensive economic activity, which significantly disrupts the natural hydrological regime. It was revealed that for the average annual runoff there is a decrease along the Lognovichi site and an increase along the Loktyshi site; for the maximum runoff, a decrease is observed along all the stations under consideration; for the minimum summer-autumn discharge, an increase is observed along the Loktyshi site; for the minimum winter runoff, an increase is observed along all stations. Based on the hydrological and climatic hypothesis, predictive estimates of the average discharge values for the period of 2050 are given, which are expressed in a certain decrease in it and a shift in the peak of spring flood to earlier dates.

Keywords: river, discharge, climate, fluctuations, modeling, forecast