

МНОГОЛЕТНЯЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА И ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС РЕКИ ЛАНЬ

Н. Н. Шешко¹, М. Ф. Кухаревич²

¹ К. т. н., доцент, доцент кафедры природообустройства УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь

² М. т. н., специалист СУП кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь

Реферат

В статье выполнено исследование пространственно-временной изменчивости термического режима реки Лань, включающее изучение изменений температуры воды за многолетний и внутриводной периоды. Составлено для участка реки Лань уравнение теплового баланса и предложен способ вычисления его компонентов. Представлены результаты многолетней изменчивости теплового баланса и установлена роль отдельных метеорологических, гидрологических и актинометрических характеристик.

Ключевые слова: термический режим, температура, воды, тепловой баланс, тепловой обмен.

LONG-TERM VARIABILITY OF THE THERMAL REGIME AND THERMAL BALANCE OF THE LANRIVER

N. N. Sheshko, M. F. Kukharevich

Abstract

The article deals with the study of spatial and temporal variability of the thermal regime of the Lanriver, including the study of changes in water temperature over multi-year and intra-water periods. The heat balance equation for the Lan river section has been compiled and a method for calculating its components has been proposed. The results of long-term variability of the thermal balance are presented and the role of separate meteorological, hydrological and actinometric characteristics is established.

Keywords: thermal regime, temperature, water, heat balance, heat exchange.

Введение

Вода – это одно из важнейших веществ на всей нашей Планете. Она участвует в многочисленных процессах живой и неживой природы, таких как обмен веществ в организме или теплообмен между или внутри оболочек Земли. Существование всего живого зависит в значительной степени от воды, и поэтому любые изменения состояния воды отражаются на состоянии всей нашей природы.

Человечество уже достаточно длительное время наблюдает за состоянием природных вод, изучает их характеристики, описывает свойства. Немалый интерес из физических характеристик воды представляет ее температура. Исследованию данного вопроса посвящены некоторые научно-исследовательские работы [1–6]. Ведь изучение закономерностей формирования и изменения термического режима имеет не только научный, но и практический интерес. Очень важное значение для оценки антропогенного воздействия на водный объект имеет информация об изменении температуры его воды. Эти сведения дают возможность оценить силу и последствия от так называемого теплового загрязнения, которое может приводить к серьезным и часто необратимым изменениям в водном объекте.

Основной целью исследования является изучение особенностей формирования и развития термического режима реки Лань в многолетнем разрезе с применением балансового метода.

Исходные данные и методы исследования

В качестве объекта исследования в работе рассматривалась река Лань. Данная река относится к бассейну реки Припять и является ее левым притоком. Река располагается в Несвижском, Солигорском районах Минской области, на границе Клецкого и Ганцевичского районов, а также в Лунинецком районе Брестской области. Длина реки составляет 147 км, площадь водосборного бассейна 2190 км², а среднегодовой расход воды в устье 11,3 м³/с. Общее падение реки 79,2 м, а средний уклон поверхности в свою очередь составляет 0,4 ‰ [7, 8].

В верхнем течении река Лань имеет ширину в 4–8 м, а в нижнем до 20 м. Пойма реки имеет ширину 0,6–1 км. Берега реки торфянистые, местами песчаные и супесчаные, высотой 1–2 м. Долина реки

имеет ширину 1–1,5 км и покрыта смешанными лесами, заболочена, имеется сеть мелиорационных каналов. Река была канализирована первоначально в 1973–1975 годах на отдельных участках, затем в 1979–1983 годах работы по спрямлению и профилированию были проведены на всем протяжении, а в 2004–2005 годах было осуществлено ее повторное углубление [7, 8].

Изучение гидрологического режима реки началось с 1923 года. Наблюдения осуществлялись на трех постах (таблица 1).

Таблица 1 – Список гидрологических постов на реке Лань

Месторасположение поста	Период наблюдений
с. Локтыши	1955–1976
с. Мокрово	1975–2017
с. Логновичи	1978–1991

В качестве исходных данных для исследования термического режима реки Лань использовались материалы за периоды с 1955 и с 1977 по 2017 год, полученные из архивов Государственного учреждения «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды» и электронного ресурса «Погода и климат», которые можно представить в виде трех основных групп:

- данные гидрологических наблюдений;
- данные метеорологических наблюдений;
- данные актинометрических наблюдений.

Методика исследования термического режима реки Лань, рассмотренная в работе, представлена в виде двух основных направлений, отражающих термический режим на разных уровнях:

- исследование пространственно-временной изменчивости термического режима;
- исследование теплового баланса.

Первое направление представляет изучение многолетней и внутриводной изменчивости температур воды реки Лань, а также изменение температуры воды вдоль течения реки, осуществляемое на основании данных измеренных величин температур воды по рас-

положенным на реке гидрологическим постам. При этом изучение термического режима в этом направлении предусматривало использование стандартного статистического анализа и сопоставление исходных данных по постам.

Второе направление имеет более сложный характер и представляет исследование становления термического режима на уровне энергетического (теплового) взаимодействия между водной массой исследуемой реки и окружающей ее среды, отражающегося в виде уравнения теплового баланса [5, 9, 10]. При этом важную роль в исследовании занимает процесс решения уравнения теплового баланса путем оценки основных его компонентов.

Для участка реки Лань в рассмотренном исследовании тепловой баланс включает следующие составляющие:

$$Q_{cp} + Q_{эф} \pm Q_{та} \pm Q_{ук} = \pm Q, \quad (1)$$

где Q_{cp} – поглощённая суммарная солнечная радиация, МДж/м²; $Q_{эф}$ – эффективное излучение, МДж/м²; $Q_{та}$ – турбулентный теплообмен между водной поверхностью и атмосферой, МДж/м²; $Q_{ук}$ – теплообмен испарения (конденсации) между водной поверхностью и атмосферой, МДж/м²; Q – теплосодержание водной массы, МДж/м².

Для расчета компонентов теплового баланса был рассмотрен широкий спектр теоретических, эмпирических и полуэмпирических формул, среди которых большой интерес представляли эмпирические формулы, позволяющие работать со стандартными гидрологическими и метеорологическими данными.

Расчет поглощённой суммарной радиации производился на основании сведения о приходящей к земной поверхности солнечной радиации по формуле:

$$Q_{cp} = (Q + q)_0 (1 - r), \quad (2)$$

где $(Q + q)_0$ – суммарная приходящая солнечная радиация, МДж/м²; r – коэффициент отражения (альbedo) водной поверхности.

Эффективное излучение – разница между двумя противоположно направленными видами длинноволнового излучения, представленными излучением воды и поглощённым излучением атмосферы.

Расчёт длинноволнового излучения воды осуществлялся по формуле, основанной на законе Стефана-Больцмана:

$$Q_{ив} = \beta \sigma T^4, \quad (3)$$

где β – лучеиспускательная способность тела относительно абсолютно чёрного тела; σ – постоянная Стефана-Больцмана; T – абсолютная температура поверхности тела, К.

Для расчета поглощённого длинноволнового излучения воды применялась формула, приведенная в ТКП 17.10-27-2010 (02120) [11], и, кроме того, основанная на законе Стефана-Больцмана и учитывающая поправочный коэффициент по влажности воздуха и облачности [10, 12].

$$Q_{иа} = (b_1 + b_2) \sigma T_{200}^4, \quad (4)$$

где b_1 – параметр, зависящий от абсолютной и общей влажности воздуха; b_2 – параметр, зависящий от общей и нижней облачности.

Расчёт теплообмена в результате испарения или конденсации, во многих работах производится по аналогичной формуле вида:

$$Q_{ик} = EL\rho, \quad (5)$$

где E – высота слоя испарившейся воды, м; L – удельная теплота испарения, МДж/кг; ρ – плотность воды, кг/м³.

Определенную сложность при оценке теплообмена испарения (конденсации) представляет вычисление величины слоя испарившейся или конденсируемой воды. Для расчета величины испарения или конденсации с поверхности реки Лань была использована эмпирическая формула согласно [11] используемая в [12, 13]:

$$E = 0,14n(e_0 - e_{200})(1 + 0,72v_{200}), \quad (6)$$

где e_0 – максимальная упругость водяного пара, вычисленная по температуре поверхности воды, мб; e_{200} – среднее значение абсолютной влажности воздуха над водой, мб; v_{200} – средняя скорость ветра на высоте 200 см над водоёмом, м/с; n – число суток в расчётном интервале времени, сут.

Вычисление турбулентного теплообмена для исследуемой реки производилось на основании существующей взаимосвязи между турбулентным теплообменом и теплообменом испарения (конденсации), выраженное в виде следующего соотношения [14]:

$$\frac{Q_{ТА}}{Q_{ИК}} = 0,64 \frac{(t_0 - t_{200}) \rho}{(e_0 - e_{200}) 1033}, \quad (7)$$

где ρ – атмосферное давление, мб.; t_{200} – температура воздуха на высоте 200 см, °C; t_n – температура поверхности воды, °C.

Анализ результатов исследования

Пространственно-временная изменчивость термического режима. Для многолетней изменчивости среднегодовых температур воды реки Лань за безледоставный период года было установлено наличие ежегодного прироста в 0,03°C, при значимых коэффициентах Стьюдента и Фишера (рисунок 1). Схожая с исследуемой рекой тенденция увеличения была отмечена для рек Польши за аналогичный период исследований (с 1960 по 2009 гг.), рассмотренная в работе [6]. Согласно работе польских исследователей ежегодный рост температуры воды обусловлен соответствующим ростом температуры воздуха как параметра, имеющего высокую корреляционную взаимосвязь.

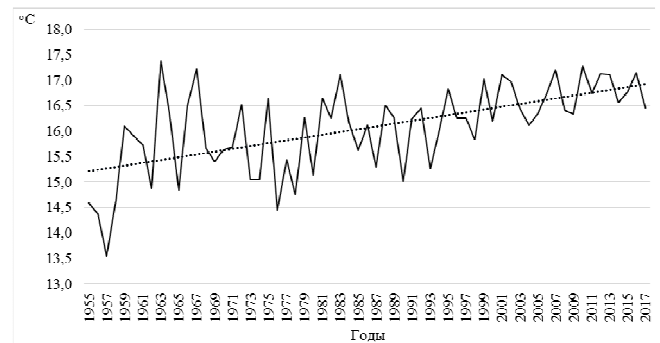


Рисунок 1 – Многолетняя изменчивость средней за безледоставный период года температуры воды реки Лань

За многолетний период (с 1955 года по 2017 гг.) установлено, что максимальная среднесуточная температура составила 29,6°C и наблюдалась на постах Локтыши и Мокрово (таблица 2), в то же время анализ дат перехода через 0,2°C и 10°C в осенний и весенний периоды показали, что переход через 0,2°C в весенний – преимущественно выпадает на 3-ю декаду февраля и месяц март, переход через 10°C – 2–3-ю декаду апреля и первую декаду мая. Переход температуры в осенний период через 10°C в основном выпадает на октябрь, а через 0,2°C – на период с 3-ей декады ноября по 1 декаду января.

Таблица 2 – Максимальные и минимальные температуры воды

Посты	Максимальная температура		Месяцы перехода температур, мес.			
	Дата	Значение, °C	через 0,2°C	через 10°C	через 10°C	через 0,2°C
Мокрово	19.07.2010	29,6	02–04	04–05	10–11	11–01
Логновичи	23.06.1991	28,2	03	04–05	09 – 10	11–01
Локтыши	13.07.1955	29,6	02–04	-	-	11–12

Внутригодовой ход изменения температуры воды реки Лань имеет типичный для рек циклический характер (рисунок 2).

Таблица 3 – Пространственная изменчивость температур, °С

Посты	Месяцы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Логновичи–Мокрово												
Логновичи	-	-	-	8,1	15,3	18,6	19,1	18,0	13,2	7,6	-	-
Мокрово	-	-	-	8,7	15,6	19,0	20,0	19,3	14,2	8,2	-	-
Разница	-	-	-	0,6	0,3	0,4	0,9	1,3	1	0,6	-	-
Локтыши–Мокрово												
Локтыши	-	-	-	8,0	15,7	18,0	20,3	18,4	14,4	6,5	-	-
Мокрово	-	-	-	8,3	15,9	18,0	20,8	19,4	14,7	6,8	-	-
Разница	-	-	-	0,3	0,4	0	0,5	1	0,3	0,3	-	-

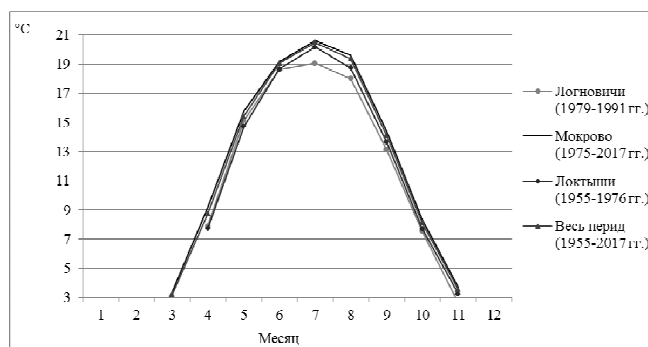


Рисунок 2 – Многолетняя внутригодовая изменчивость температуры воды по гидрологическим постам реки Лань

Для всех постов работавших и работающих на исследуемой реке, отмечен аналогичный внутригодовой ход температур воды в виде плавного весенне-летнего потепления до июля и более резкого осенне-зимнего похолодания до периода ледостава (ноябрь–апрель). Максимальные среднемесячные температуры воды наблюдались для всех постов, как правило в июле.

Река Лань преимущественно течет в меридиональном направлении с севера на юг по равнинной территории, что определяет её зональный характер изменения температур воды. По этой причине в направлении от истока к устью для реки Лань наблюдается незначительное увеличение температуры, на величину которой оказывает влияние температура вод притоков и водохранилища Локтыши. Отмечено, что от гидрологического поста Логновичи к посту Мокрово наблюдается увеличение температур на 0,3–1,3°С (таблица 3).

Тепловой баланс участка реки Лань. В качестве основных компонентов теплового баланса реки Лань были рассмотрены поглощённая суммарная солнечная радиация, эффективное излучение, теплообмен испарения (конденсации) и турбулентный теплообмен. Именно характер изменения величин этих компонентов баланса определил закономерности многолетней изменчивости самой величины теплового баланса.

Результаты расчёта поглощённой суммарной солнечной радиации (рисунок 3) показали ежегодный прирост величины радиации на 16,5 МДж/м² при значимых коэффициентах Фишера и Стьюдента (рисунок 3). Важно подчеркнуть, что в рамках изучаемого временного ряда выделяются два отличительных подпериода. Первый подпериод длится с 1978 года по 1999 год и характеризуется для поглощённой суммарной солнечной радиации положительной тенденцией, совпадающей с тенденцией временного ряда температур воды. Для второго подпериода, наблюдаемого с начала 2000-х, изменчивость величин радиации характеризуется нулевым трендом.

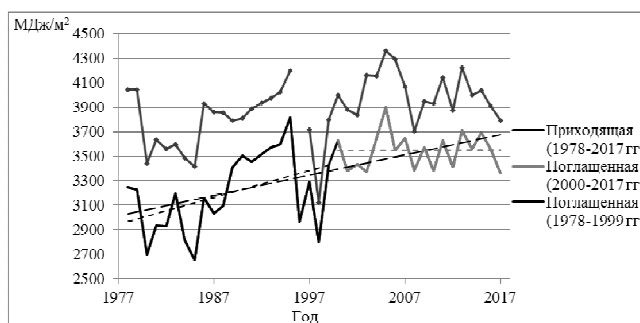


Рисунок 3 – Многолетняя изменчивость поглощённой суммарной солнечной радиации

Основная роль в становлении величин поглощённой солнечной радиации принадлежит приходящей суммарной солнечной радиации. Как видно из рисунка 3, многолетний ход поглощённой суммарной солнечной радиации почти полностью идентичен ходу приходящей радиации. Отличия между величинами приходящей и поглощённой радиации прослеживаются лишь в абсолютной их величине, что обусловлено тем, что не вся приходящая к водной поверхности суммарная солнечная радиация поглощается водой из-за наличия некоторой отражательной способности у воды.

За многолетний период (с 1978 по 2017) в ходе исследования для величины эффективного излучения была получена положительная тенденция (рисунок 4), величиной в 2,3 МДж/м², однако она статистически не значима. Отдельные тенденции наблюдались для подпериодов, выделенных при исследовании солнечной радиации. Так, для отрезка времени с 1978 по 1999 год имеется положительная тенденция, а с начала 2000-х годов тенденция полностью изменила свое направление.

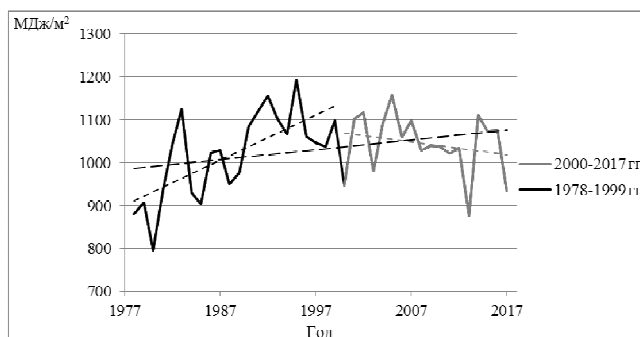


Рисунок 4 – Многолетняя изменчивость эффективного излучения

Определяющую роль в характере изменения величин эффективного излучения сыграли такие метеорологические и гидрологические характеристики, как температура воды и воздуха. Для этих параметров на всем протяжении установлена положительная тенденция, даже на отрезке времени с начала 2000-х годов (рисунок 5).

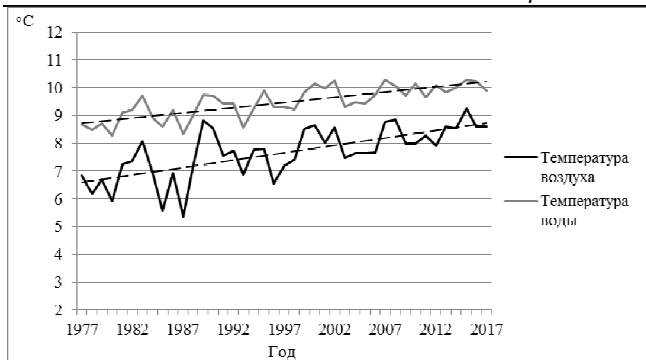


Рисунок 5 – Многолетняя изменчивость температуры воды и температуры воздуха

В то же время при исследовании многолетней изменчивости разницы между температурой воды и температурой воздуха была отмечена противоположная отрицательная тенденция, с особенно выделяющимся отрезком с 2000 по 2017 год с наиболее низкими в среднем величинами излучения (рисунок 6).

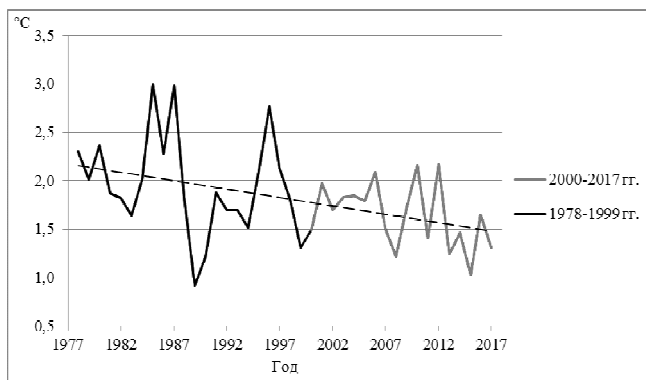


Рисунок 6 – Многолетняя изменчивость разницы температуры воды и температуры воздуха над рекой Лань

В результате расчётов и анализа теплообмена между водной массой и атмосферой за счёт процессов конденсации и испарения за многолетний период (1978–2017) установлена отрицательная тенденция в изменении годовой суммы величины теплообмена (рисунок 7), значимость которой была подтверждена проверкой по критерию Стьюдента и Фишера. Ежегодное уменьшение величины теплообмена составило $6,4 \text{ МДж/м}^2$. Несмотря на отмеченную отрицательную тенденцию для всего периода исследования тенденции подпериод отличны. В первом подпериоде тенденция противоположна основной, имеет положительное направление, однако сильное падение величин теплообмена с начала 2000-х установила отрицательную тенденцию для всего исходного ряда.

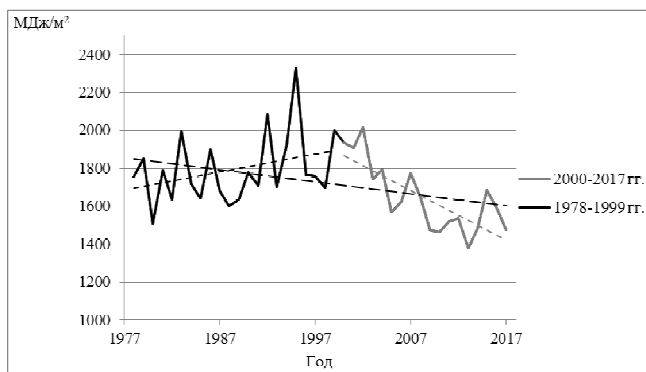


Рисунок 7 – Многолетняя изменчивость теплообмена испарения (конденсации)

Основополагающее значение в определении многолетней изменчивости теплообмена испарения (конденсации) и тенденции, как видно из формулы 6, принадлежит упругости водяного пара над водной поверхностью, максимальной упругости водяного пара по температуре воды, и скорости ветра. Несмотря на положительную тенденцию в изменениях многолетних величин упругости водяного пара (рисунок 8) и температуры воды (рисунок 5) как фактора определяющего максимальную упругость, многолетняя изменчивость разницы величин максимальной упругости водяного пара и упругости водяного пара (рисунок 9) не имеет существенной тенденции. Однако некоторое падение в изменении разности наблюдается с начала 2000-х годов.

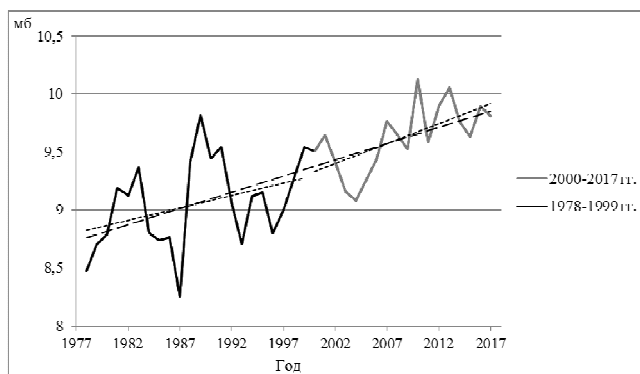


Рисунок 8 – Многолетняя изменчивость упругости водяного пара над рекой

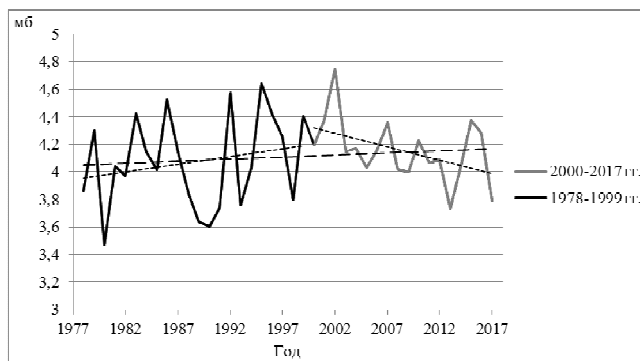


Рисунок 9 – Многолетняя изменчивость разницы между максимальной упругостью водяного пара и парциальным давлением над рекой Лань

Немалую значимость имеет скорость ветра. В многолетней изменчивости ее величины за весь исследуемый период, хорошо просматривается отрицательный тренд, направление которого в значительной степени определило падение скоростей с середины 90-х годов прошлого века (рисунок 10).

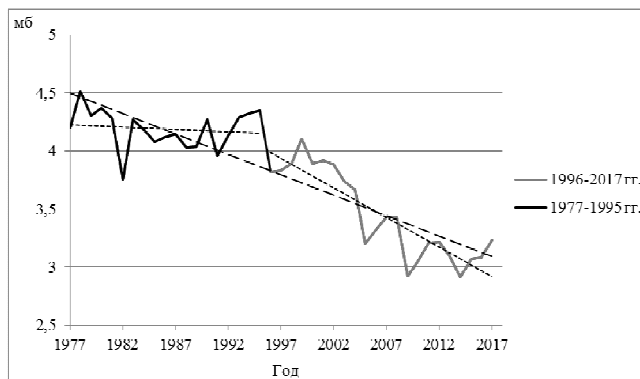


Рисунок 10 – Многолетняя изменчивость скорости ветра

В многолетней изменчивости величин турбулентного теплообмена, как и для величин теплообмена за счёт испарения (конденсации), наблюдается отрицательная тенденция. В результате составления регрессионного уравнения и проверки непосредственно его и его коэффициентов была получена статистически значимая величина отрицательного тренда, равная 3,2 МДж/м² (рисунок 11). Анализ ранее выделенных подпериодов показал, что до начала 2000-х многолетний ход имел положительную тенденцию, которая сменила свою направленность на противоположную после начала 2000-х годов.

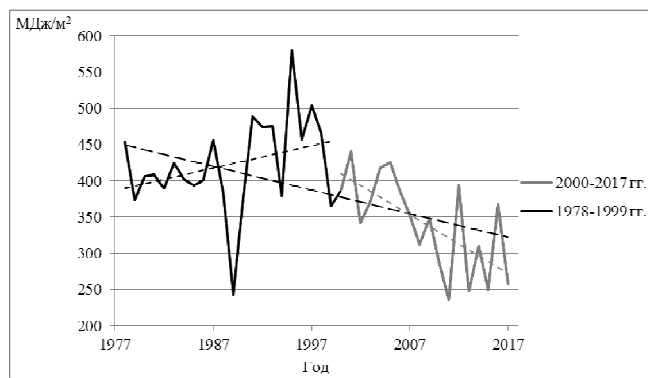


Рисунок 11 – Многолетняя изменчивость турбулентного теплообмена

Многолетняя изменчивость турбулентного теплообмена обязана своим характером таким величинам, как температура воды, температура воздуха и скорость ветра. Сопоставление тенденций турбулентного теплообмена и многолетней изменчивости температур воды и воздуха показывает их несоответствие, так как при положительной тенденции для температур тенденция для годовых сумм турбулентного теплообмена отрицательна. Другая ситуация наблюдается при сопоставлении величин турбулентного теплообмена с многолетней изменчивостью разницы температур воды и воздуха (рисунок 5). Как было отмечено ранее, для многолетней изменчивости разницы температуры воды и температуры воздуха отмечен отрицательный тренд, с выделяющимся отрезком времени с начала 2000-х годов. Помимо температуры воды и воздуха на становление отрицательного тренда турбулентного теплообмена существенное воздействие оказал многолетний ход скорости ветра со своим отрицательным трендом.

В качестве приходных частей для теплового баланса участка реки Лань выступали поглощённая суммарная солнечная радиация и длинноволновое излучение атмосферы, а качестве расходной – длинноволновое излучение воды. Потери или поступления тепла при турбулентном теплообмене и при теплообмене в результате испарения (конденсации) принимают переменный характер и поэтому выступают при некоторых условиях в качестве приходных или расходных величин.

В результате соотношения приходных и расходных частей теплового баланса установлена величина теплосодержания водного объекта для каждого года за период исследования (рисунок 12).

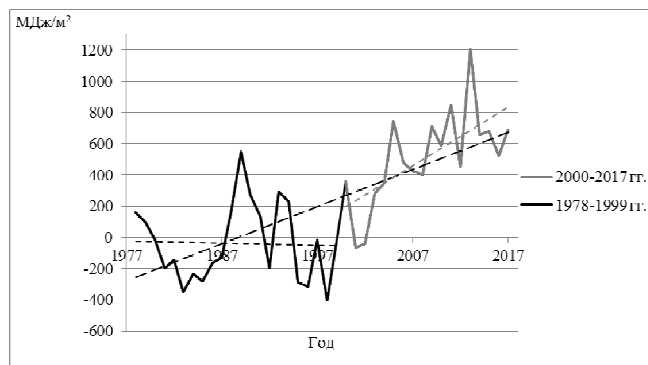


Рисунок 12 – Многолетняя изменчивость теплосодержания участка реки Лань

За весь рассматриваемый период величина теплосодержания характеризуется явной положительной тенденцией в 23,9 МДж/м² (рисунок 12), однако в самом ходе, как и во всех компонентах уравнения теплового баланса, можно увидеть два подпериода разделяемых 2000-м годом. Первый подпериод характеризуется колебанием величины теплосодержания в пределах, приближенных к нулю, тогда как второй период имеет резкий и постоянный рост. Такие особенности изменения теплосодержания в конечном итоге отразились на характере изменения теплового баланса (рисунок 13). В нем также выделяются два подпериода, с аналогичным ходом величин, однако очень выделяется второй подпериод с весьма резким ростом значений с начала 2000-х годов с ежегодным приростом в 571,3 МДж/м². Такого рода скачок обусловлен тем, что именно с начала 2000-х годов наблюдался подъем величин приходных составляющих теплового баланса, когда для расходных, зачастую включающих теплообмен испарения (конденсации) и турбулентный теплообмен, наблюдалось падение. Все это в совокупности и определило ход теплового баланса в этот подпериод.

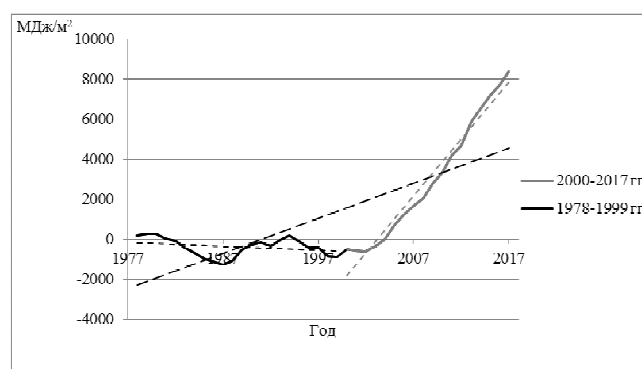


Рисунок 13 – Тепловой баланс участка реки Лань

Заключение

Изменчивость термического режима реки Лань на пространственно-временном уровне имеет достаточно типичную картину для рек аналогичного характера. Так, во внутригодовом ходе температур отмечен циклический характер с достижением максимума летом и минимума зимой, при этом потепление от зимы к лету имеет более плавный характер, чем похолодание с лета к зиме. В изменчивости температуры воды вдоль течения реки, как и для большинства рек, текущих в меридиональном направлении (с севера на юг) по равнинной территории, отмечено повышение температур воды от 0 до 1,3°C. Многолетняя изменчивость температур воды для реки Лань имеет положительный тренд в 0,03°C, который обязан аналогичному ходу температуры воздуха.

Изменчивость термического режима реки Лань на уровне энергетического (теплового) обмена характеризуется знакопеременным колебанием величины теплового баланса в пределах нуля до начала 2000-х годов и резким ростом величин с 2000-го года с ежегодным приростом в 571,3 МДж/м². Такой характер изменения объясняется ростом с начала 2000-х величин приходных частей баланса и уменьшением расходных, которые в свою очередь преимущественно связаны с тенденциями приходящей солнечной радиации, многолетними величинами температуры и воздуха, величинами упругости водяного пара и максимальной упругости водяного пара по температуре воды, а также скорости ветра.

Список цитированных источников

1. Маргарян, В. Г. Особенности термического режима рек в регионе Агстев – Тавуша / В. Г. Маргарян // Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту. – 2013. – Вип. 264. – С. 51–64.

2. Алексеевский, Н. И. Термический режим рек на юге европейской территории России / Н. И. Алексеевский, Е.О. Кузьмина, А. А. Базелюк // Известия РАН. Серия географическая. – 2014. – № 5. – С. 56–66.
 3. Геращенко, И. Н. Термический режим в устьевой области реки и его влияние на рекреационные свойства Приморской зоны / И. Н. Геращенко // Наука и современность –2013 : сборник материалов XXI Международной научно-практической конференции / Под общ. ред. С. С. Чернова. – Новосибирск : ООО агентство «СИБПРИНТ», 2013. – С. 19–23.
 4. Caissie, D. The thermal regime of rivers: a review / D. Caissie // Freshwater Biology. – 2006. – Vol. 51 (№ 8). – P. 1389–1406.
 5. Михайлов, В. М. Основные закономерности формирования термического режима рек и водоемов на северо-востоке Азии / В. М. Михайлов // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. 2009. – № 4. – С. 27–34.
 6. Marszelewski, W. Long-term changes in temperature of river waters in the transitional zone of the temperate climate : A case study of Polish rivers / W. Marszelewski, B. Pius. – Hydrological Sciences Journal. – 2016. – Vol. 61. Iss. 8 – S. 1430–1442.
 7. Природа Беларуси. Энциклопедия : в 3 т. / Редкол.: Т. В. Белова (гл. ред.) [и др.]. – Минск : БелЭн, 2010. – Т. 1 : Земля и недра. – 464 с.
 8. Блакітная кніга Беларусі : Энцыклапедыя / Рэдкал.: Н. А. Дзісько [і інш.]. – Мінск : БелЭн, 1994. – 415 с.
 9. Михайлов, В. М. Развитие пойменных таликов в долине р. Колыма и температура речных вод / В. М. Михайлов // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 1998. – № 6. – С. 100–110.
 10. Остроумова, Л. П. Исследование составляющих теплового баланса Северного Каспия и Невской губы / Л. П. Остроумова, В. Ф. Полонский [и др.] // Труды ГОИН. – 2009 – Вып. 212. – С. 123–145.
 11. Охрана окружающей среды и природопользование. Гидрометеорологическая деятельность. Правила проведения наблюдений за испарением с водной поверхности и расчета испарения с поверхности водоемов : ТКП 17.10-27-2010 (02120). – Введ. 01.03.11. – Минск : РУП "Бел НИЦ «Экология», 2011. – 112 с.
 12. Гречушников, М. Г. Адаптация модели теплообмена к расчету внутрисуточного режима температуры воды в стратифицированном водохранилище / М. Г. Гречушников // Водные ресурсы. – 2008. – № 6. – С. 671–680.
 13. Кирвель, И. И. К вопросу расчета водного баланса прудов / И. И. Кирвель // Проблемы гидрометеорологического обеспечения хозяйственной деятельности в условиях изменяющегося климата : материалы науч. конф., Минск, 5–8 мая 2015 г. / Издательский центр БГУ ; редкол.: П. С. Лопух (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2015. – С. 280–282.
 14. Догановский, А. М. Гидрология суши (общий курс) / А. М. Догановский. – СПб. : РГГМУ, 2012. – 524 с.
- References**
1. Margaryan, V. G. Features of Thermal Regime of Rivers in the Region of Agstev – Tavush / V. G. Margaryan // Scientific Works of the Ukrainian Research Hydrometeorological Institute. – 2013. – Issue 264. – P. 51–64.
 2. Alekseyevsky, N. I. Thermal Regime of Rivers in the South of the European Territory of Russia / N. I. Alekseyevsky, E. O. Kuzmina, A. A. Bazelyuk // News of the Russian Academy of Sciences. Series geographical. – 2014. – № 5. – P. 56–66.
 3. Gerashchenko, I. N. Thermal regime in the mouth region of the river and its influence on the recreational properties of the Maritime Zone / I. N. Gerashchenko // Science and modernity – 2013 : collection of materials of the XXI International Scientific and Practical Conference / Under commonly. S. S. Chernov. – Novosibirsk : LLC agency «SIBPRINT» – 2013. – P. 19–23.
 4. Caissie, D. The thermal regime of rivers: a review / D. Caissie // Freshwater Biology. – 2006. – Vol. 51 (№ 8). – P. 1389–1406.
 5. Mikhailov, V. M. Main patterns of formation of thermal regime of rivers and water bodies in northeast Asia / V. M. Mikhailov // Journal of the Northeast scientific center of the Russian Academy of Sciences. 2009. – No. 4. – P. 27–34.
 6. Marszelewski, W. Long-term changes in temperature of river waters in the transitional zone of the temperate climate : A case study of Polish rivers / W. Marszelewski, B. Pius. – Hydrological Sciences Journal. – 2016. – Vol. 61. Iss. 8 – S. 1430–1442.
 7. Nature of Belarus. Encyclopedia: in 3 vol. / Redkol. : T. V. Belova (ed.) [et al.]. – Minsk : BelEn, 2010. – Vol. 1 : Earth and subsoil. – 464 p.
 8. Blakit kniga Belarus : Encyklopedya / Radkal. : N. A. Dzisko [et al.]. – Mynsk : BelEn, 1994. – 415 p.
 9. Mikhailov, V. M. Development of floodplains in the Kolyma river valley and river water temperature / V. M. Mikhailov // Geoecology. Engineering geology, hydrogeology, geocriology. – 1998. – № 6. – P. 100–110.
 10. Ostromova, L. P. Research of Components of Thermal Balance of the Northern Caspian Sea and Nevskaya Lip / L. P. Ostromova, V. F. Polonsky [etc.] // Works of GOIN. – 2009 – Vip. 212. – P. 123–145.
 11. Environmental protection and management. Hydrometeorological activity. Rules for observation of evaporation from the water surface and calculation of evaporation from the surface of water bodies : TAP 17.10-27-2010 (02120). 01.03.11. – Minsk : RUE "Bel NIC «Ecology», 2011. – 112 p.
 12. Grechushnikov, M. G. Adaptation of the model of heat and mass exchange to the calculated regime of water temperature in the stratified reservoir / M. G. Grechushnikov // Water resources. – 2008. – № 6. – P. 671–680.
 13. Kirvel, I. I. On the issue of calculation of water balance of ponds / I. I. Kirvel // Problems of hydrometeorological support of economic activity in conditions of changing climate: materials of research. Cont., Minsk, May 5-8, 2015 / Publishing center of BSU; Ed.: P. S. Lopukh (ed.) [et al.]. – Minsk, 2015. – P. 280–282.
 14. Doganovsky, A. M. Hydrology of sushi (general course) / A. M. Doganovsky. – Spb. : RGGMU, 2012. – 524 p.

Материал поступил в редакцию 25.02.2020