

Рис. 2. Графики зависимости отношений «генеральных ошибок» в зависимости от конечного года n -летнего периода для р. Припять – г. Мозырь

нормы стока не превышает 10% и поэтому такие ряды являются «гидрологически» длинными и репрезентативными.

Для практического применения нами построены номограммы определения «генеральной» ошибки нормы стока и выделения репрезентативного периода с нужной точностью. В качестве примера для реки Припять – г. Мозырь такая номограмма приведена на рис. 3.

Заключение. Информация, полученная в результате реализации данного алгоритма, может быть эффективно использована для приведения гидрологических параметров к длительному периоду известными методами [2, 3]. Предложенный способ может также применяться при выборе репрезентативного периода и таких характеристик стока, когда, например, в пространственных колебаниях проявляется синхронность. Короткие репрезентативные периоды могут быть использованы не только в гидрологических расчетах, но и расчетах в регулировании стока при выборе параметров гидротехнических сооружений.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Андреев, В.Г. Гидрологические расчеты при проектировании средних и малых ГЭС / В.Г. Андреев. – Л.: Гидрометеиздат, 1957.
2. Определение расчетных гидрологических характеристик: Пособие П1-98 к СНиП 2.01.14-83. – Мн.: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2000. – 174 с.
3. Красов, В.Д. К методике выбора репрезентативного периода для расчета характеристик годового стока // Водные ресурсы. – 1983. – М.: Наука, 1983. – № 5. – С. 167–169.

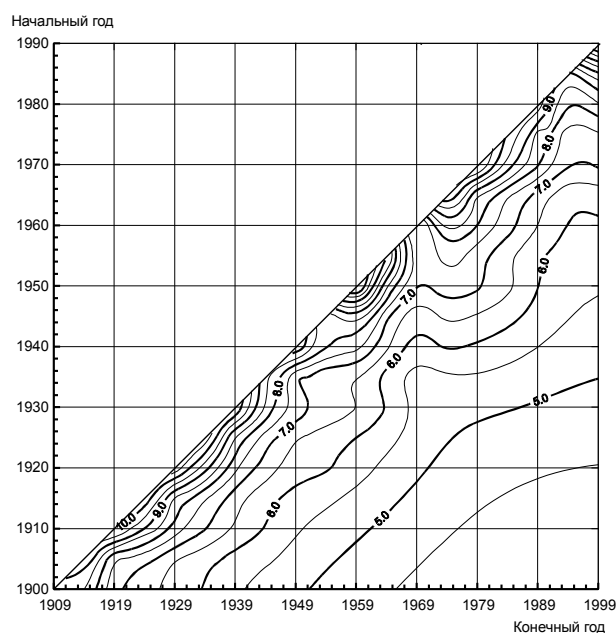


Рис. 3. Номограмма для определения ошибки отношения нормы n -летнего периода к норме стока всего ряда для р. Припять – г. Мозырь

Материал поступил в редакцию 28.02.09

LUKSHA V.V. Estimation of the representative period for calculation of characteristics of an annual river flow

The analysis of in-row regularity of an annual river flow has allowed to simplify at allocation of the n -year-old periods an estimation of the representative periods for calculation of rivers flow norm. Received nomograms for definition of an error of the relation of norm of the n -year period to norm of a river flow for the large rivers of Belarus will allow to use practically the results of researches at the choice of the representative period for an estimation of river flow norm.

УДК 551.526.8:551.583(476)

Волчек А.А., Курвель П.И., Мельник В.И.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ ОЗЕР БЕЛАРУСИ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА

Введение. Озера являются уникальными водными объектами и имеют важное экономическое и экологическое значение. В Беларуси насчитывается около 10 тыс. озер, площадь водного зеркала кото-

рых составляет 2000 км² и объем воды 6–7 км³. Они служат накопителями чистой пресной воды, а также выполняют функцию регулирования поверхностных и подземных вод. В связи с тем, что водо-

Курвель Павел Иванович, аспирант географического факультета Белорусского государственного университета. Беларусь, БГУ, 220050, г. Минск, пр. Независимости, 4, географический факультет.

Мельник Виктор Иванович, к.г.н. заместитель начальника Республиканского гидрометеорологического центра Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. Беларусь, 220014, г. Минск, пр. Независимости, 110.

обмен в озерах замедлен, они являются более уязвимыми по сравнению с реками и могут служить чувствительными индикаторами изменений большинства климатических факторов. Температура воды является одним из главных индикаторов, способных уже на ранних стадиях указать на характер и интенсивность изменения протекающих в озерных экосистемах биологических процессов. Кроме того, температура воды определяет величину испарения и размеры теплопотерь с поверхности водоемов, условия их замерзания и вскрытия и др.

В последнее время природно-климатические факторы и антропогенные воздействия вызвали изменения температурного режима озер Беларуси и в ряде случаев существенные. Поэтому появилась необходимость экологической оценки в условиях изменяющегося климата и антропогенных воздействий на водные объекты, которая ставит перед исследователями ряд конкретных задач по изучению эволюции озерных экосистем, разработке количественных, качественных диагностических, имитационных и прогностических моделей.

Существенной трудностью при моделировании температурного режима озер во времени является недостаток данных для ретроспективного анализа их эволюции. Кроме того, проблема усугубляется возрастающим антропогенным влиянием на водные экосистемы, сложностью выделения природных и антропогенных составляющих в наблюдаемых процессах. Индивидуальность в формировании температурного режима озер требует в каждом конкретном случае отдельного рассмотрения. Однако создание математических моделей, отражающих объективные закономерности развития температурных изменений во времени и построение прогнозов представляет значительный научный и практический интерес и разрабатывается в самых различных направлениях.

Целью настоящей работы является анализ временных рядов температуры воды озер Беларуси для выявления закономерностей в их колебании, количественной оценки изменений температурного режима озерных экосистем.

Исходные материалы и методы исследования. Материалом для исследования послужили данные многолетних инструментальных наблюдений Департамента гидрометеорологии Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь за температурами воды на 7 крупнейших озерах Беларуси. Объекты изучения – озера, имеющих большое народнохозяйственное и природоохранное значение, расположенные, согласно природному районированию в Белорусском Поозерье и Полесской низменности. Ниже даны основные количественные характеристики (таблица 1) и краткое описание озер [1, 2, 3].

Озеро *Выгонощанское* – это мелководный водоём типа озера-разлива. Котловина остаточного происхождения овальной формы имеет простые и плавные очертания, нарушаемые на северо-западном побережье узким заливом глубиной 1 м. Длина береговой линии 21 км. На всём протяжении берега низкие, торфянистые, труднодоступные. Большой водосбор озера – 61,1 км² представляет собой плоскую, низменную заболоченную равнину. Хорошо проточно. Особенности гидрологического режима складываются под воздействием искусственного регулирования уровня с помощью плотины на Огинском канале. Подводная часть котловины имеет блюдцеобразную форму. На большей его части преобладают глубины 1–1,5 м, на западе и юго-западе много отмелей. Наибольшая глубина находится в восточной части озера и составляет 2,3 м, при средней – 1,2 м. Литоральная полоса отсутствует. В безлёдный период вода в озере полностью прогревается. Около 80% ложа покрыто водной растительностью.

Озеро *Дривяты* относится к Браславской группе озёр, неглубокое, но значительное по площади. Овальная котловина подпрудного происхождения вытянута в широтном направлении с северо-запада на юго-восток почти на 10 км. Северные склоны представлены камовыми холмами, достигают 25–30 м высоты над уровнем моря. На юге вдоль озера тянется заболоченная низина. Рельеф ложа плоский и разнообразится лишь несколькими ямами в центральной части, где глубины превышают 10 м. Проточно, в него впадают несколько небольших речек, а вытекает р. Друйка. Температурное расслоение в начале лета кратковременно, к середине лета слой

скачка погружается, что приводит к сокращению гипolimниона. Интенсивное ветровое перемешивание приводит к возникновению гомотермии. Заращаемость небольшая.

Озеро *Мястро* является проточным, неглубоким водоёмом. Оно занимает подпрудную котловину, вытянутую в меридиональном направлении на 5,8 км. Северные, северо-восточные и юго-западные склоны котловины крутые, высота их достигает 10–15 м. Берега образонные. На остальном протяжении склоны пологие, берега низкие, заболоченные. Значительная площадь озера и небольшие глубины способствуют хорошему перемешиванию и аэрации водной толщи. Заметная температурная стратификация появляется лишь при длительной штилевой погоде.

Озеро *Нарочь* занимает обширную округлую ассиметричную котловину, разделённую на большой и малый плёсы. Северные склоны котловины высокие и образонные, абсолютные высоты здесь превышают 220 м, а относительные достигают 45–50 м. Восточные склоны представляют собой сочетание камовых холмов и дюнно-бугристых песков, постепенно снижаясь, в истоках реки Нарочь они переходят в низинное болото «Скок». Южные склоны возвышены и распаханы. Озеро слабо проточное. Отличается сложным рельефом дна, характерным для всех подпрудных озёр, где чередуются холмистые и плоские участки, далеко вытянутые подводные гряды и подводные впадины, которые перемежаются с поднятиями. Значительные средние глубины, переходят в округлые впадины и подводные ложбины. Термический режим озера формируется в условиях ветрового перемешивания, поэтому летом часто наблюдаются условия близкие к гомотермии и гомоокиснению, температурное расслоение водной массы возможно только при штилевой погоде.

Озеро *Нещердо* принадлежит к бассейну Западной Двины. Верхностный приток осуществляется небольшими ручьями с разных направлений. Сравнительно слабо выраженный приток и отток при значительной площади зеркала позволяют предположить ведущую роль атмосферных осадков в питании озера. Водосбор заболочен. Котловина, вытянутая с севера на юг на 12 км, отличается сложным строением, о чём свидетельствует наиболее длинная в Беларуси береговая линия (50,18 км), наличие полуостровов, островов и заливов. Глубины до 2 м занимают 8% площади озера. Ширина литоральной зоны колеблется в пределах 50–200 м. Небольшие глубины и открытость котловины способствуют перемешиванию водной массы, что выражается в небольшом снижении температуры у дна. Активны сгонно-нагонные явления.

Озеро *Освейское* расположено на крайнем севере в зоне Балтийского моренного пояса малопроточно. Округлая котловина подпрудного типа вытянута с юго-запада на северо-восток на 11,4 км, при максимальной ширине 7,8 км. Характерной особенностью озера является его мелководность. Береговая линия плавная, берега низкие, на севере заболоченные, на юге – сплавинные. Распределение температуры по глубине равномерное. Значительный приток подземных вод с юга обеспечивает озеро минеральным питанием.

Озеро *Червоное* является мелководным водоёмом. Плоская овальная котловина остаточного типа с ровным характером дна и небольшими желобообразными углублениями. Слабопроточно, принадлежит к системе реки Припять. Питается в основном болотными водами. Небольшая глубина и открытая котловина способствуют равномерному распределению температуры в водной толще, вызывая гомотермию. Сильное ветровое перемешивание благоприятствует прогреванию воды.

Расчётный интервал по исследуемым озёрным водоёмам принят дифференцированным: с мая по октябрь используется месячная дискретность; а для апреля и ноября – декадная дискретность, это вызвано необходимостью более полно отразить температурные особенности, поскольку весной идет нагревание водной толщи, преимущественно в апреле, а охлаждение в ноябре. Отдельно рассматривались максимальные температуры воды за год. Кроме того, выполнен анализ изменения дат устойчивого перехода срочных значений температуры воды через 0,2; 4 и 10°C весной и осенью. За дату

Таблица 1. Основные характеристики озер

Озеро	Объем воды, км ³	Площадь водного зеркала, км ²	Глубина, м	
			средняя	максимальная
Выгонощанское	32,1	26,0	1,2	2,3
Дривяты	223,52	36,14	6,0	12,0
Мястро	70,1	13,1	5,4	11,3
Нарочь	710,0	79,62	9,0	24,8
Нещердо	84,72	24,62	3,4	8,1
Освейское	104,0	52,8	2,0	7,5
Червонное	27,35	40,82	0,7	2,9

устойчивого перехода принимается день, начиная с которого температура воды во все сроки измерений будет выше (ниже) заданных пределов в течение периода не меньше 20 дней. Весной переход температуры воды через 0,2°C в сторону повышения (понижения) происходит спустя 10–15 дней после перехода температуры воздуха через 0°C. После этого перехода начинается интенсивное таяние (образование) ледового покрова. При температуре 4°C вода достигает своей максимальной плотности, и температура одинакова по всей глубине (во всей водной толще). После перехода воды через 10°C начинается ускоренный процесс фотосинтеза, идет активное развитие (отмирание) высшей водной растительности. При переходе температуры озёрной воды через 10°C происходит летнее нагревание (осеннее охлаждение) водоёма [4, 5].

Факторы, влияющие на формирование температурного режима воды озер, можно условно разделить на две группы. К первой группе относятся глобальные факторы, которые касаются больших территорий, а ко второй – локальные факторы. Тогда температуру воды в озере можно представить как:

$$t(\tau) = t_{\phi}(\tau) \pm \Delta t_n(\tau), \tag{1}$$

где $t(\tau)$ – температура воды в озере в расчетном календарном году, °C; $t_{\phi}(\tau)$ – фоновая составляющая в формировании температурного режима озера в том же году, °C; $\pm \Delta t_n(\tau)$ – вклад в формирование температурного режима озера локальных факторов, °C.

Влияние глобальных факторов на формирование температурного режима озера, с достаточной для практических расчетов точностью, можно описать с помощью линейных или полиномиальных второй степени трендов:

$$t_{\phi}(\tau) = t_{\phi}(0) \pm \Delta t \cdot \tau; \tag{2}$$

$$t_{\phi}(\tau) = \alpha \cdot \tau^2 + \beta \cdot \tau + \gamma, \tag{3}$$

где $t_{\phi}(0)$ – температура воды в озере на начало расчетного периода, °C; Δt – скорость изменения температуры воды, °C/год; α, β, γ – эмпирические коэффициенты; τ – календарный год.

При статистическом анализе временных рядов использованы следующие методики:

- для выявления тенденций изменений использовались хронологические графики колебаний и разностные интегральные кривые;
- для оценки различий в статистических параметрах использовался критерий Стьюдента и критерий Фишера:

$$t = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{\sqrt{n_x \cdot \hat{\sigma}_x^2 + n_y \cdot \hat{\sigma}_y^2}} \cdot \sqrt{\frac{n_x \cdot n_y \cdot (n_x + n_y - 2)}{n_x + n_y}}; \tag{4}$$

$$F = \frac{\hat{\sigma}_x^2}{\hat{\sigma}_y^2}, \tag{5}$$

где \bar{x}, \bar{y} – выборочные средние; $\hat{\sigma}_x^2$ и $\hat{\sigma}_y^2$ – выборочные дисперсии; n_x и n_y – 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 статисти-

стического различия двух выборочных средних, а при $F > F_{\alpha}$ принимается гипотеза статистического различия в колебаниях рассматриваемых рядов.

Анализ результатов исследований. На первом этапе исследований временных рядов температуры воды определены их основные статистические параметры (средняя температура ($t_{cp.}$, °C), максимальная ($t_{max.}$, °C) и минимальная ($t_{min.}$, °C) температура за период наблюдения, коэффициенты вариации (C_v) и асимметрии (C_s), а также скорость изменения температуры воды (Δt , °C/10 лет, значение коэффициента корреляции линейных трендов (r)), которые приведены в таблице 2.

Временной ход колебаний температуры воды озер Беларуси отслеживался с помощью хронологических графиков. Анализ колебаний температуры воды озер Беларуси за рассматриваемые интервалы свидетельствует о наличии в многолетнем ходе этих значений статистически значимых на 95 %-ном уровне трендов увеличения температуры воды. Наиболее выраженный рост температуры воды наблюдается на озерах Белорусского Поозерья и приходится на весенние месяцы. Для озер Белорусского Полесья менее выражен рост температуры воды и приходится на осенние месяцы. Максимальный рост температуры воды наблюдается в третьей декаде апреля и в ряде случаев превышает 1°C в 10 лет. Отрицательных статистически значимых градиентов температуры воды, как правило, не наблюдается, за исключением озера Дривяты в сентябре, где уменьшение температуры воды составляет -0,52°C в 10 лет.

На рис. 1 приведен хронологический ход максимальных температур воды, а также линейные и полиномиальные тренды изменения температуры воды рассматриваемых озер Беларуси. Как видно из рисунка, динамика температуры воды в озерах Беларуси носит сложный и неоднозначный характер. Имеет место глобальный рост температуры воды, на всех озерах, особенно расположенных в Белорусском Поозерье, на озерах Белорусского Полесья статистического значимого роста максимальных температур воды не наблюдается, хотя тенденции к росту имеют место. При этом скорости этих процессов существенно разнятся по территории. Это связано с особенностями температурной и ветровой структуры сформировавшихся на территории Беларуси в современных условиях [6, 7].

Эмпирические кривые обеспеченности для временных рядов температуры воды озер Беларуси для всех периодов соответствуют распределению Пирсона III типа при различных сочетаниях $C_s=(1-3)C_v$. Поскольку функция распределения вероятностей температуры воды озер при таких оценках параметров незначительно отличается от функции нормального распределения, применение параметрических критериев для проверки статистических гипотез можно считать допустимым.

Анализ однородности временных рядов температуры воды озер. Рассмотрим устойчивость выборочных статистик (средних, коэффициентов вариации) при изменении периодов осреднения применительно к температуре воды озер Беларуси за период инструментальных наблюдений. При этом исследуемый временной ряд разбивался на два периода: с начала наблюдений по 1985 г. включительно и с 1986 г. (начало роста среднегодовых температур воздуха) по 2007 г. Для оценки различий в режиме температуры воды озер использованы статистические критерии Стьюдента (оцен-

Таблица 2. Основные статистические параметры температуры воды озер Беларуси

Параметры	Интервал осреднения													
	Месяцы	апрель			май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь			макс.
		Декады	I	II							III	I	II	
Выгонощанское (период наблюдений 1965-2007 гг.)														
$t_{ср.}, ^\circ\text{C}$	4,9	7,3	10,3	14,8	18,1	19,5	18,4	13,2	7,4	3,7	2,3	1,5	24,4	
$t_{max.}, ^\circ\text{C}$	9,1	12,4	18,0	18,0	22,0	23,1	20,4	18,5	9,8	9,7	7,0	5,7	26,8	
$t_{min.}, ^\circ\text{C}$	0,0	1,1	5,0	10,5	14,4	16,1	16,3	10,5	4,3	0,0	0,0	0,0	21,1	
Cv	0,49	0,33	0,27	0,12	0,08	0,09	0,06	0,12	0,18	0,57	0,77	1,06	0,06	
Cs	-0,63	-0,02	0,55	-0,13	0,26	0,28	-0,10	0,73	-0,21	0,58	0,75	0,99	-0,27	
$\Delta t / 10\text{лет}, ^\circ\text{C}$	0,31	0,49	0,56	0,04	0,09	0,47	0,38	0,30	0,31	-0,11	-0,11	0,21	0,24	
r	0,24	0,23	0,30	0,10	0,22	0,25	0,49	0,33	0,15	0,01	-0,22	0,05	0,16	
Дривяты (период наблюдений 1963-2007 гг.)														
$t_{ср.}, ^\circ\text{C}$	2,4	4,4	7,1	12,8	17,9	19,9	18,9	14,0	7,5	3,6	2,4	1,3	24,1	
$t_{max.}, ^\circ\text{C}$	6,4	9,5	17,0	19,5	21,3	23,2	22,6	17,1	10,7	7,5	6,1	5,1	28,8	
$t_{min.}, ^\circ\text{C}$	0,0	0,0	1,8	8,5	13,4	16,2	16,0	8,8	2,8	0,1	0,0	0,0	20,0	
Cv	0,78	0,53	0,41	0,19	0,11	0,09	0,09	0,14	0,22	0,50	0,63	1,03	0,09	
Cs	0,65	0,30	1,07	0,21	-0,42	0,10	0,48	-0,42	-0,63	0,07	0,31	1,12	-0,04	
$\Delta t / 10\text{лет}, ^\circ\text{C}$	0,62	0,60	1,00	0,74	0,49	0,44	0,11	-0,52	-0,31	-0,45	-0,28	0,02	0,93	
r	0,32	0,48	0,51	0,49	0,44	0,21	0,07	-0,45	-0,20	-0,23	-0,18	-0,12	0,54	
Мястро (период наблюдений 1962-2007 гг.)														
$t_{ср.}, ^\circ\text{C}$	2,8	5,0	7,8	13,3	18,3	20,3	19,2	13,8	7,6	3,7	2,4	1,3	26,1	
$t_{max.}, ^\circ\text{C}$	6,5	9,5	17,1	18,0	22,9	24,4	21,4	17,1	11,8	9,7	5,0	4,8	28,6	
$t_{min.}, ^\circ\text{C}$	0,0	1,2	4,3	8,9	14,0	17,1	16,9	10,7	3,3	0,2	0,0	0,0	22,4	
Cv	0,63	0,39	0,34	0,14	0,10	0,10	0,07	0,11	0,21	0,47	0,63	0,92	0,06	
Cs	-0,10	0,13	1,28	-0,03	0,18	0,45	0,03	0,02	0,01	0,56	0,10	0,97	-0,53	
$\Delta t / 10\text{лет}, ^\circ\text{C}$	0,61	0,82	1,15	0,49	0,48	0,68	0,52	0,34	0,40	0,19	0,19	0,18	0,20	
r	0,44	0,61	0,61	0,39	0,33	0,42	0,55	0,25	0,31	0,16	0,15	0,11	0,18	
Нарочь (период наблюдений 1945-2007 гг.)														
$t_{ср.}, ^\circ\text{C}$	1,4	3,6	6,8	11,7	17,0	19,3	18,8	14,0	8,0	4,1	2,6	1,4	24,9	
$t_{max.}, ^\circ\text{C}$	6,6	9,1	13,9	16,8	22,2	24,5	21,8	17,0	11,8	9,6	5,4	5,7	28,8	
$t_{min.}, ^\circ\text{C}$	0,0	0,0	0,8	4,1	13,2	16,6	15,6	10,3	3,4	0,2	0,0	0,0	19,9	
Cv	1,17	0,69	0,39	0,19	0,11	0,09	0,08	0,10	0,18	0,44	0,57	0,93	0,08	
Cs	1,35	0,28	0,21	-0,52	0,23	0,76	0,04	-0,22	-0,18	0,28	0,10	1,29	-0,38	
$\Delta t / 10\text{лет}, ^\circ\text{C}$	0,32	0,37	0,37	0,54	0,38	0,49	0,47	0,21	0,22	0,08	0,09	0,16	0,51	
r	0,28	0,31	0,36	0,34	0,19	0,36	0,52	0,36	0,17	-0,07	0,07	0,26	0,46	
Нещердо (период наблюдений 1963-2007 гг.)														
$t_{ср.}, ^\circ\text{C}$	1,5	3,7	7,3	14,1	19,0	20,8	19,4	13,9	7,2	2,7	1,4	0,7	25,2	
$t_{max.}, ^\circ\text{C}$	6,5	9,3	15,3	18,3	23,1	26,2	22,3	17,1	9,7	6,0	4,8	3,0	30,5	
$t_{min.}, ^\circ\text{C}$	0,0	0,1	1,4	10,1	16,1	17,5	14,6	10,8	3,6	0,2	0,0	0,0	19,9	
Cv	1,16	0,69	0,46	0,13	0,09	0,09	0,07	0,11	0,20	0,63	0,94	1,28	0,09	
Cs	1,42	0,53	0,45	0,04	0,24	0,77	-0,68	0,12	-0,18	0,35	0,92	1,18	0,12	
$\Delta t / 10\text{лет}, ^\circ\text{C}$	0,68	1,04	1,30	0,30	0,06	0,40	0,35	-0,06	0,15	0,13	0,01	0,09	1,33	
r	0,40	0,56	0,59	0,16	-0,04	0,19	0,20	-0,11	-0,00	0,09	0,08	0,01	0,75	
Освейское (период наблюдений 1963-2007 гг.)														
$t_{ср.}, ^\circ\text{C}$	1,7	4,3	7,9	13,7	18,3	20,0	18,5	12,8	6,7	2,8	1,9	0,9	24,7	
$t_{max.}, ^\circ\text{C}$	6,5	10,0	17,0	17,9	22,6	24,7	21,5	15,4	10,4	8,8	8,1	4,5	29,1	
$t_{min.}, ^\circ\text{C}$	0,0	0,2	2,0	9,4	14,1	16,7	16,1	8,8	3,2	0,3	0,0	0,0	22,1	
Cv	1,08	0,61	0,39	0,14	0,09	0,10	0,07	0,12	0,23	0,70	0,94	1,18	0,07	
Cs	1,02	0,35	0,82	-0,05	0,17	0,53	0,27	-0,40	0,02	0,86	1,24	1,53	0,66	
$\Delta t / 10\text{лет}, ^\circ\text{C}$	0,59	0,84	1,24	0,36	0,42	0,75	0,62	0,47	0,48	0,05	0,22	0,17	0,95	
r	0,36	0,43	0,54	0,24	0,43	0,61	0,54	0,34	0,30	0,03	-0,03	0,05	0,68	
Червоное (период наблюдений 1959-2007 гг.)														
$t_{ср.}, ^\circ\text{C}$	4,5	7,4	10,9	15,7	20,1	21,7	20,4	14,6	8,2	3,8	2,6	1,6	27,6	
$t_{max.}, ^\circ\text{C}$	9,4	13,8	16,4	20,2	24,1	26,3	24,7	18,8	13,1	10,3	9,9	8,1	30,6	
$t_{min.}, ^\circ\text{C}$	0,0	1,1	3,9	10,7	14,4	16,5	17,2	9,8	4,5	0,0	0,0	0,0	22,6	
Cv	0,56	0,37	0,27	0,15	0,12	0,10	0,09	0,11	0,26	0,65	0,85	1,25	0,06	
Cs	-0,45	-0,16	-0,20	-0,32	-0,18	-0,01	0,53	-0,37	0,49	0,61	0,98	1,59	-0,66	
$\Delta t / 10\text{лет}, ^\circ\text{C}$	0,36	0,17	0,33	0,28	0,44	0,76	0,78	0,38	0,36	-0,32	-0,05	0,14	-0,24	
r	0,07	0,09	0,18	0,22	0,30	0,49	0,57	0,36	0,34	-0,10	0,01	0,09	-0,20	

Примечание: Выделены величины статистически значимых коэффициентов корреляции

выборочных средних, формула (4) и Фишера (оценка выборочных дисперсий, формула (5)). В табл. 3 приведены основные статистиче-

ские параметры для этих интервалов, а также результаты статистической проверки на однородность.

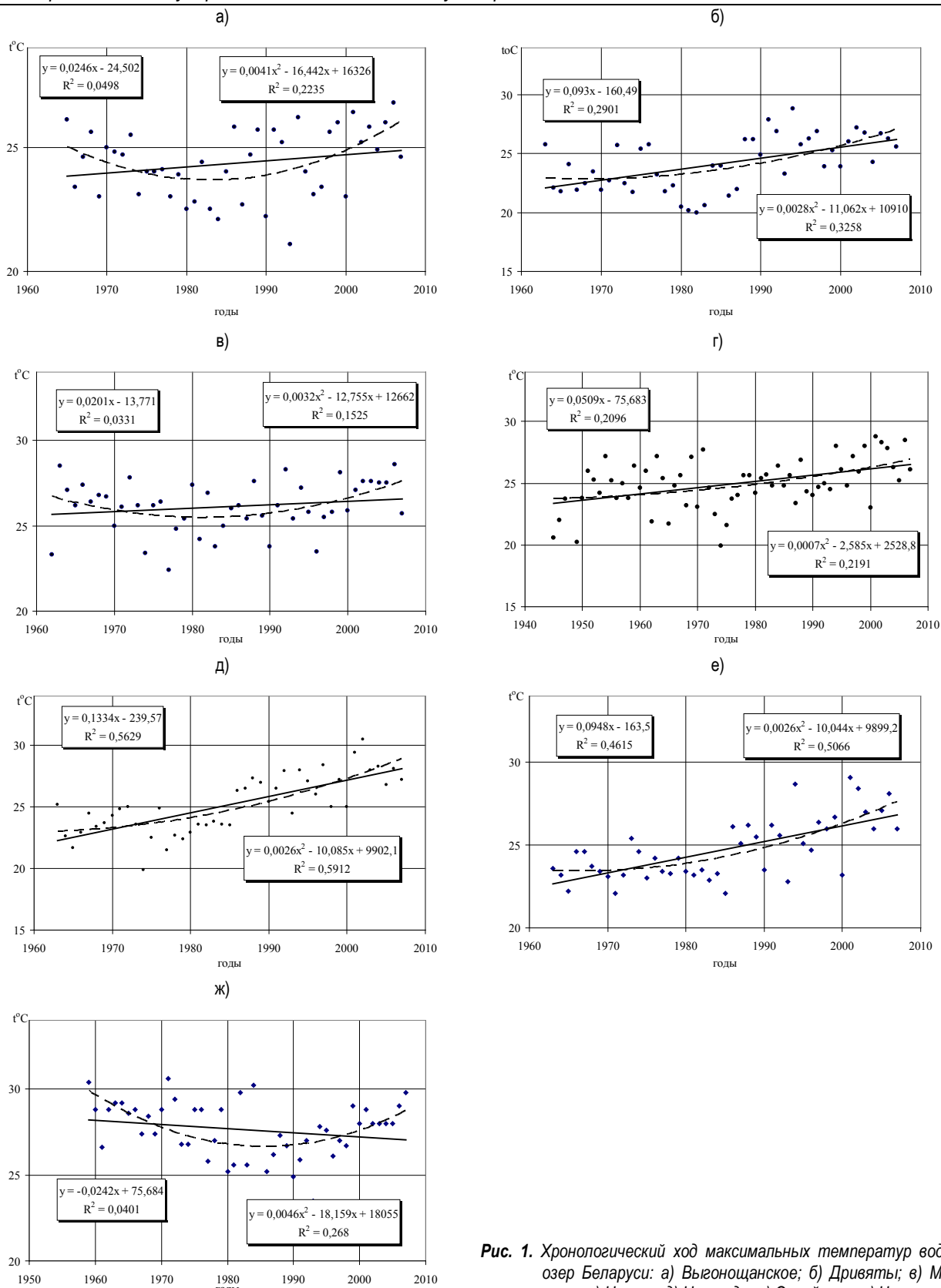


Рис. 1. Хронологический ход максимальных температур воды озера Беларуси: а) Выгонощанское; б) Дривяты; в) Мястро; г) Нарочь; д) Нещердо; е) Освейское; ж) Червоное

В результате анализа средних температур воды рассматриваемых озер Беларуси для выделенных периодов было установлено повсеместное ее увеличение, особенно весной. В то же время коэффициенты вариации существенно не изменились.

Анализ смещения дат однородности временных рядов температуры воды озер. Анализ изменения дат устойчивого перехода срочных значений температуры воды через 0, 2, 4 и 10⁰С весной и осенью исследовался с помощью хронологических графиков, считая с 1 января текущего года, на примере озера Нарочь (рис. 2). Как видно из рисунка, заметных трендов в изменении дат не наблюдается.

Таблица 3. Основные статистические параметры временных рядов температуры воды озер Беларуси для различных интервалов осреднения

Параметры	Интервал осреднения													
	Месяцы	апрель			май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь			макс.
		Декады	I	II							III	I	II	
Выгонощанское (период наблюдений 1965-1986 гг.)														
$t_{cp., °C}$	4,6	6,7	9,9	14,7	17,9	18,9	18,0	12,8	7,1	3,8	2,3	1,3	24,0	
Cv	0,53	0,34	0,28	0,12	0,08	0,08	0,06	0,11	0,19	0,53	0,76	1,01	0,05	
Выгонощанское (период наблюдений 1987-2007 гг.)														
$t_{cp., °C}$	5,3	8,0	10,8	14,9	18,3	20,2	18,8	13,7	7,8	3,6	2,3	1,6	24,7	
Cv	0,46	0,31	0,26	0,11	0,07	0,09	0,06	0,13	0,16	0,62	0,79	1,09	0,06	
Дривяты (период наблюдений 1963-1986 гг.)														
$t_{cp., °C}$	1,7	3,8	5,8	11,9	17,3	19,2	18,9	14,7	8,1	4,1	2,6	1,3	22,7	
Cv	0,70	0,45	0,31	0,16	0,10	0,08	0,07	0,11	0,17	0,36	0,52	0,89	0,08	
Дривяты (период наблюдений 1987-2007 гг.)														
$t_{cp., °C}$	3,1	5,1	8,7	13,7	18,7	20,8	19,0	13,1	6,9	2,8	2,0	1,1	25,8	
Cv	0,69	0,55	0,38	0,18	0,10	0,09	0,10	0,15	0,26	0,66	0,81	1,31	0,06	
Мястро (период наблюдений 1962-1986 гг.)														
$t_{cp., °C}$	2,2	4,1	6,5	12,7	17,7	19,4	18,7	13,5	7,2	3,5	2,2	1,2	25,8	
Cv	0,67	0,33	0,24	0,14	0,10	0,08	0,06	0,10	0,20	0,55	0,66	0,91	0,06	
Мястро (период наблюдений 1987-2007 гг.)														
$t_{cp., °C}$	3,6	6,1	9,4	14,0	19,1	21,4	19,8	14,2	8,1	3,9	2,6	1,5	26,5	
Cv	0,52	0,33	0,32	0,12	0,09	0,09	0,06	0,11	0,21	0,39	0,60	0,92	0,05	
Нарочь (период наблюдений 1945-1986 гг.)														
$t_{cp., °C}$	1,0	3,1	6,2	11,2	16,5	18,7	18,3	13,7	7,7	4,0	2,4	1,2	24,4	
Cv	1,3	0,7	0,4	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,5	0,6	0,9	0,1	
Нарочь (период наблюдений 1987-2007 гг.)														
$t_{cp., °C}$	1,9	4,3	8,0	12,7	17,8	20,7	19,8	14,6	8,5	4,1	2,9	1,6	26,0	
Cv	0,9	0,7	0,4	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,4	0,5	1,0	0,1	
Нещердо (период наблюдений 1963-1986 гг.)														
$t_{cp., °C}$	0,7	2,3	5,7	13,7	18,9	20,1	19,1	13,8	7,0	2,7	1,4	0,7	23,5	
Cv	1,04	0,65	0,37	0,15	0,08	0,08	0,08	0,13	0,20	0,61	0,85	1,20	0,06	
Нещердо (период наблюдений 1987-2007 гг.)														
$t_{cp., °C}$	2,5	5,3	9,1	14,6	19,2	21,5	19,8	13,9	7,3	2,7	1,5	0,7	27,1	
Cv	0,82	0,49	0,41	0,11	0,10	0,09	0,06	0,10	0,20	0,67	1,04	1,40	0,05	
Освейское (период наблюдений 1963-1986 гг.)														
$t_{cp., °C}$	1,0	3,2	6,5	13,2	17,7	19,0	17,9	12,2	6,3	2,8	1,7	0,9	23,6	
Cv	1,33	0,53	0,29	0,15	0,09	0,07	0,05	0,11	0,22	0,71	0,83	0,96	0,04	
Освейское (период наблюдений 1987-2007 гг.)														
$t_{cp., °C}$	2,6	5,5	9,6	14,2	18,9	21,1	19,3	13,5	7,3	2,9	2,2	0,9	26,1	
Cv	0,80	0,53	0,35	0,11	0,09	0,09	0,07	0,10	0,22	0,69	1,03	1,43	0,07	
Червоное (период наблюдений 1959-1986 гг.)														
$t_{cp., °C}$	4,2	6,9	10,1	15,3	19,5	20,6	19,4	14,1	7,5	4,0	2,4	1,5	27,8	
Cv	0,67	0,43	0,28	0,15	0,11	0,08	0,06	0,11	0,23	0,57	0,80	1,21	0,07	
Червоное (период наблюдений 1987-2007 гг.)														
$t_{cp., °C}$	4,8	8,1	12,1	16,3	20,9	23,2	21,6	15,3	9,1	3,4	2,8	1,9	27,3	
Cv	0,44	0,29	0,24	0,14	0,11	0,09	0,08	0,11	0,25	0,77	0,93	1,33	0,05	

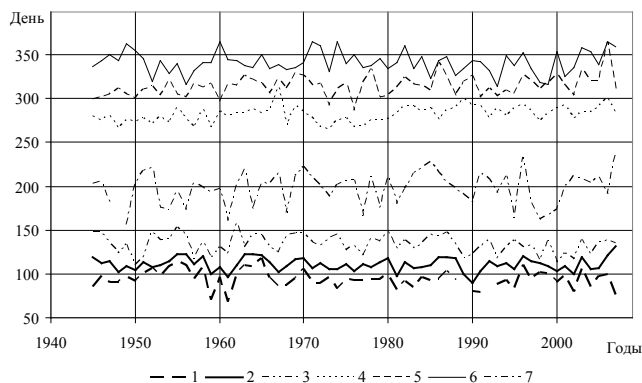


Рис. 2. Хронологический ход дат устойчивого перехода срочных значений температуры воды озера Нарочь через: 1 – 0,2°С; 2 – 4°С; 3 – 10°С весной; 4 – 10°С; 5 – 4°С; 6 – 10°С осенью; 7 – максимальные температуры

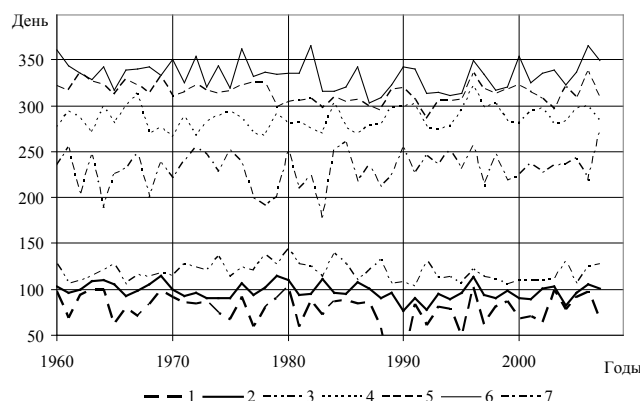


Рис. 3. Хронологический ход дат устойчивого перехода срочных значений температуры воды озера Червоное через: 1 – 0,2°С; 2 – 4°С; 3 – 10°С весной; 4 – 10°С; 5 – 4°С; 6 – 10°С осенью; 7 – максимальные температуры

Аналогичная картина наблюдается на всех крупных озерах. Несмотря на другую структуру изменения наступления дат перехода характерных температур воды наблюдается на Полесских озерах, в частности на озере Червоное (рис. 3).

Заключение. Проведенная оценка степени однородности основных статистических характеристик временных рядов температуры воды озер Беларуси за период инструментальных наблюдений позволяет сделать вывод о наличии статистически значимых изменений в динамике температуры воды рассматриваемых озер Беларуси, обусловленных как естественно-климатическими, так и антропогенными изменениями гидрологического цикла. Стационарность процесса многолетних температур воды озер имеет место для отдельных озер. При анализе закономерностей многолетних колебаний температуры воды озер использование методов теории случайных процессов должно сочетаться с анализом генезиса рассматриваемого процесса и определяющих его природно-хозяйственных факторов, прежде всего климатических.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Якушко, О.Ф. Белорусское Поозерье / О.Ф. Якушко. – Минск: Выш. шк., 1971. – 335 с.
2. Якушко, О.Ф. Озероведение. География озёр Белоруссии / О.Ф. Якушко. – Минск: Выш. шк., 1981. – 224 с.
3. Якушко, О.Ф. Озёра Белоруссии / О.Ф. Якушко. – Минск: Урожай, 1988. – 216 с.
4. Методические указания по ведению государственного водного кадастра – Раздел 1. Вып. 3. Сер. 2. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 106 с.
5. Фащевский, Б.В. Основы экологической гидрологии / Б.В. Фащевский. – Минск: Выш. шк., 1996. – 240 с.
6. Логинов, В.Ф. Изменение испарения с водной поверхности на территории Белоруссии / В.Ф. Логинов, А.А. Волчек // География и природные ресурсы. – 2005. – № 2. – С. 137–144.
7. Логинов, В.Ф. Изменение ветрового режима на территории Беларуси в XX в. / В.Ф. Логинов, А.А. Волчек, Г.В. Волобуева // Природные ресурсы. – 2005. – № 4. С. 5–12.

Материал поступил в редакцию 13.04.09

VOLCHEK A.A., KIRVIEL P.I., MELNIK V.I. Time-space temperature variations of water for Belarusian lakes in conditions of changed climate

The generalized results of studies of temperature variations of water for Belarusian lakes are explained. It is drawn a conclusion about availability statistically of significant variations in dynamics of temperature of water for Belarusian lakes for separate periods of measuring conditioned by natural-climatic and anthropogenous variations of the hydrological cycle.

УДК 621.181

Карницкий Н.Б., Чиж В.А., Нерезько А.В.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ КОТЛОВ ТЭС ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ПОВЕРХНОСТЕЙ НАГРЕВА

Введение. Образующиеся на поверхности теплообмена теплоэнергетического оборудования в процессе его эксплуатации малорастворимые химические соединения и продукты коррозии конструкционных материалов с коэффициентом теплопроводности меньше коэффициентов теплопроводности металла труб снижают надежность и экономичность работы оборудования. При невозможности предотвращения образования этих отложений единственным способом поддержания теплообменного оборудования в работоспособном состоянии на достаточно высоком уровне его экономичности является своевременное их удаление образовавшихся отложений. Для этого необходим останов теплообменного оборудования в тот момент времени, пока негативные последствия наличия отложений только начинают сказываться на его работе, т.к. со временем эти процессы резко интенсифицируются и могут привести к возникновению аварийных ситуаций. Так, известно, что основной причиной аварийных остановов паровых котлов на ТЭС является повреждаемость поверхностей нагрева, на долю которых приходится до 70 % общего числа технологических нарушений.

О пределе загрязнения поверхностей нагрева. Высокая точность прогнозирования состояния оборудования, проведение своевременного осмотра и предупреждения нарушений в его работе могут быть реализованы только при регулярном, предельно грамотном контроле за его сохранностью, обеспечении оптимального режима работы, тщательном анализе эксплуатации и ремонта, знании характера и особенностей процессов, которые происходят при работе каждого узла или отдельного участка теплообменного оборудования.

Задача технической диагностики процессов образования отложений на теплопередающей поверхности котла состоит в том, что определив динамику роста отложений, необходимо зафиксировать именно тот момент времени, после которого котел должен быть отключен для очистки в максимально короткий срок.

Действующими «Правилами устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов», а также инструкциями заводов-изготовителей установлены следующие значения предельного

количества отложений на поверхностях нагрева котлов, которые приведены в таблице 1.

В то же время в ряде публикаций приведено важное положение о том, что при нормировании удельной загруженности топочных экранов, требующей проведения химической промывки, следует учитывать интенсификацию коррозии металла труб под отложениями при уровне загрязнений, еще не приводящем к тепловому разрыву. По этой причине считается, что при количестве отложений более 400 г/м² (при указанной ранее норме в 600 г/м²) газомазутный котел не должен пускаться без предварительного проведения химической очистки.

В настоящее время контроль за состоянием основного теплосилового оборудования на ТЭС осуществляется путем осмотра проточной части турбин, экранных труб, коллекторов и барабанов паровых котлов во время профилактических мероприятий и капитальных ремонтов. В этот период проводятся необходимые вырезки экранных труб для оценки коррозионного состояния металла и характера солевых загрязнений, определяются физические и химические показатели этих загрязнений, проводятся химические очистки при отклонении показателей от нормируемых. В то же время наиболее эффективным и представительным контролем состояния внутренней поверхности труб котлов, температуры металла является организация стационарной системы технического диагностирования топки котла.

Температурный контроль металла. Варианты обеспечения температурного контроля могут быть различны: тепловизионный контроль горения, контроль горения с помощью оптических пирометров, отсосных термометров, переносных торцевых и поворотных сдвоенных термозондов, радиометров и т.д.

Однако на практике наиболее широкое применение получили радиометрические и температурные вставки. При организации такого контроля необходимо правильно определить место установки датчиков температуры в топке, т.е. зону максимальных тепловых нагрузок.

Карницкий Н.Б., д.т.н., профессор, Чиж В.А., к.т.н., доц., Нерезько А.В., Белорусский национальный технический университет, г. Минск.