



УДК 551.481

Г. М. БАЗЫЛЕНКО, Л. В. ГУРЬЯНОВА, Л. А. БЛАЖЕВИЧ

ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС ОЗ. НАРОЧЬ

Оз. Нарочь достаточно хорошо изучено в гидрохимическом и гидро-биологическом отношении [1]. Службами Белгидромета периодически публикуются данные об основных составляющих водного баланса озера, термических показателях. Однако целостное освещение особенностей термического режима озера в литературе не представлено в связи с неизученностью механизмов теплообмена между озером и окружающей средой. Исключение составляет работа Г. М. Базыленко, Л. А. Блажевич [2] по составляющим радиационного баланса. В этой связи изложим результаты анализа компонентов теплового баланса оз. Нарочь, рассчитанных нами за двадцатипятилетний период (1961—1985), что позволяет с единых позиций оценить комплекс факторов, определяющих термику озера.

Материал и методика

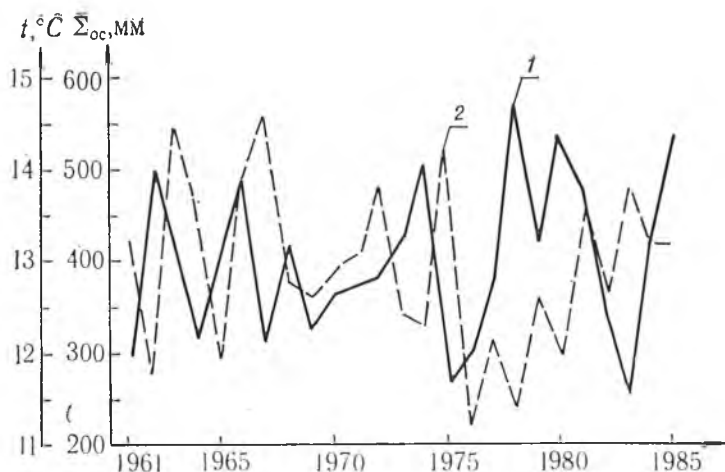
Основанием для расчета составляющих теплового баланса являются проводимые службами Белгидромета режимные наблюдения за уровнем воды в оз. Нарочь, температурой поверхностного слоя водной массы, распределением температуры по глубине в зоне максимальных глубин, объемом поверхностного притока с водосбора и стоком из озера, температурой воды в водотоках. Сведения о метеорологических показателях (температура воздуха, сумма осадков, скорость и направление ветра) приводятся по данным озерной станции Нарочь. Характер распределения донных отложений по ложу озера и их качественный состав получены из фондовых материалов лаборатории озероведения БГУ. Радиационный баланс оз. Нарочь рассчитан и опубликован в работе [2]. Для определения остальных составляющих теплового баланса используются следующие методики: метеорологические элементы над поверхностью воды — методом [3]; затраты тепла на испарение и турбулентный обмен с атмосферой — по гидрометеорологическим формулам А. П. Браславского и З. А. Викулиной [4]; тепловой сток, приток — с учетом рекомендаций Б. Б. Богословского [5]; теплозапас воды — по формуле, предложенной А. И. Тихомировым [6]; теплозапас донных отложений — по работе [7].

Результаты и их обсуждение

Расчет теплового баланса озера в безледный период выполнен по формуле

$$B - LE \pm P + Q_{\text{пр}} - Q_{\text{ст}} + Q_{\text{ос}} \pm \Delta W_{\text{в}} \pm \Delta W_{\text{г}} = 0 \pm H,$$

где B — радиационный баланс, МДж/м²; LE — затраты тепла на испарение; P — затраты тепла на турбулентный обмен с атмосферой; $Q_{\text{пр}}$, $Q_{\text{ст}}$ — тепловой приток, сток; $Q_{\text{ос}}$ — тепло, поступающее с атмосферными осадками; $\Delta W_{\text{в}}$, $\Delta W_{\text{г}}$ — приращение теплозапаса водной массы и донных отложений; H — невязка баланса.



Многолетняя динамика средней месячной температуры воздуха (t , $^{\circ}\text{C}$) и сумма осадков ($\Sigma_{\text{ос}}$, мм) за май—октябрь по данным озерной станции Нарочь:

1 — сумма осадков; 2 — средняя месячная температура воздуха

Средние месячные значения составляющих теплового баланса оз. Нарочь за период 1961—1985 гг. приводятся в табл. 1. Оценка метеорологических условий в рассматриваемое время графически представлена на рисунке. Для каждого года рассчитана средняя месячная температура воздуха в безледный период (май — октябрь) и соответствующее значение общей суммы атмосферных осадков. Исследования показали, что среднемесячные значения температуры воздуха в мае — октябре колеблются в пределах $11,2$ — $14,6$ $^{\circ}\text{C}$ (среднее $12,9^{\circ}$). Пределы многолетних колебаний суммы атмосферных осадков за май — октябрь составляют 258 — 570 мм (среднее 401 мм). Экстремальные годы характеризуются как повышенными температурами воздуха в безледный период с суммой атмосферных осадков ниже средних значений (1967, 1975, 1983 и др.), так и при повышенной влажности температурой воздуха в мае — октябре ниже средних многолетних значений (1962, 1978, 1980 гг. и др.) (см. рисунок).

Положительные значения B , P , $Q_{\text{пр}}$, $Q_{\text{ос}}$ (см. табл. 1) указывают на

Таблица 1

Средние месячные значения составляющих теплового баланса оз. Нарочь за безледный период 1961—1985 гг., МДж/ м^2

Составляющие теплового баланса	05	06	07	08	09	10
B	+383	+439	+419	+327	+157	+28
LE	—123	—222	—256	—253	—195	—114
P	+17	—11	—25	—37	—43	—31
$Q_{\text{пр.}}$	+3	+3	+2	+2	+1	+1
$Q_{\text{ст.}}$	—5	—5	—4	—3	—2	—2
$Q_{\text{ос.}}$	+3	+5	+6	+5	+3	+1
$\Delta W_{\text{в.}}$	—9	—10	—5	—2	+4	+9
$\Delta W_{\text{г.}}$	—2	—3	—2	—1	+1	+4
$\Sigma (+)$	406	447	427	334	166	43
$\Sigma (-)$	139	251	292	296	240	147
H , %	49	28	19	6	18	55

Таблица 2

Месячные суммы затрат тепла на испарение с водной поверхности (LE)
и турбулентный теплообмен с атмосферой (P) оз. Нарочь
за безледный период 1961—1985 гг., МДж/(м²·мес.)

Год	05	06	07	08	09	10
1961	$\frac{169}{30}$	$\frac{259}{29}$	$\frac{210}{27}$	$\frac{268}{86}$	$\frac{183}{76}$	$\frac{143}{45}$
1962	$\frac{69}{2}$	$\frac{149}{-5}$	$\frac{169}{27}$	$\frac{247}{81}$	$\frac{166}{74}$	$\frac{126}{81}$
1963	$\frac{93}{-47}$	$\frac{287}{43}$	$\frac{304}{23}$	$\frac{349}{69}$	$\frac{239}{78}$	$\frac{131}{68}$
1964	$\frac{125}{-14}$	$\frac{316}{31}$	$\frac{298}{46}$	$\frac{283}{0}$	$\frac{181}{-2}$	$\frac{116}{52}$
1965	$\frac{100}{13}$	$\frac{201}{-5}$	$\frac{319}{67}$	$\frac{210}{59}$	$\frac{196}{63}$	$\frac{144}{109}$
1966	$\frac{192}{-49}$	$\frac{320}{40}$	$\frac{336}{54}$	$\frac{386}{89}$	$\frac{220}{101}$	$\frac{97}{62}$
1967	$\frac{145}{-19}$	$\frac{290}{40}$	$\frac{353}{54}$	$\frac{305}{70}$	$\frac{242}{44}$	$\frac{132}{27}$
1968	$\frac{148}{-7}$	$\frac{239}{-14}$	$\frac{275}{-12}$	$\frac{219}{19}$	$\frac{274}{87}$	$\frac{110}{57}$
1969	$\frac{139}{19}$	$\frac{234}{48}$	$\frac{302}{39}$	$\frac{310}{46}$	$\frac{231}{60}$	$\frac{130}{41}$
1970	$\frac{121}{-59}$	$\frac{273}{4}$	$\frac{300}{34}$	$\frac{187}{45}$	$\frac{196}{73}$	$\frac{104}{61}$
1971	$\frac{110}{-39}$	$\frac{225}{61}$	$\frac{272}{18}$	$\frac{302}{24}$	$\frac{177}{34}$	$\frac{140}{18}$
1972	$\frac{65}{-34}$	$\frac{185}{-20}$	$\frac{265}{-11}$	$\frac{349}{-7}$	$\frac{201}{2}$	$\frac{115}{16}$
1973	$\frac{139}{-31}$	$\frac{244}{-22}$	$\frac{313}{2}$	$\frac{290}{10}$	$\frac{246}{12}$	$\frac{100}{36}$
1974	$\frac{174}{-15}$	$\frac{192}{-13}$	$\frac{241}{13}$	$\frac{217}{-2}$	$\frac{217}{-2}$	$\frac{130}{-18}$
1975	$\frac{161}{-37}$	$\frac{192}{-22}$	$\frac{316}{-8}$	$\frac{282}{-10}$	$\frac{237}{-24}$	$\frac{136}{-2}$
1976	$\frac{117}{-23}$	$\frac{164}{-17}$	$\frac{254}{-2}$	$\frac{201}{15}$	$\frac{214}{0}$	$\frac{46}{-75}$
1977	$\frac{126}{13}$	$\frac{168}{4}$	$\frac{194}{47}$	$\frac{183}{33}$	$\frac{191}{59}$	$\frac{84}{16}$
1978	$\frac{125}{-21}$	$\frac{193}{-2}$	$\frac{209}{29}$	$\frac{264}{50}$	$\frac{168}{48}$	$\frac{107}{30}$
1979	$\frac{91}{-75}$	$\frac{289}{5}$	$\frac{231}{62}$	$\frac{231}{34}$	$\frac{175}{39}$	$\frac{129}{-50}$
1980	$\frac{116}{11}$	$\frac{219}{13}$	$\frac{189}{20}$	$\frac{187}{45}$	$\frac{126}{42}$	$\frac{119}{51}$
1981	$\frac{170}{15}$	$\frac{206}{12}$	$\frac{289}{23}$	$\frac{206}{27}$	$\frac{138}{27}$	$\frac{128}{34}$

Год	05	06	07	08	09	10
1982	$\frac{114}{-30}$	$\frac{194}{19}$	$\frac{201}{9}$	$\frac{196}{24}$	$\frac{155}{41}$	$\frac{114}{53}$
1983	$\frac{121}{-3}$	$\frac{172}{5}$	$\frac{199}{17}$	$\frac{265}{33}$	$\frac{175}{33}$	$\frac{106}{39}$
1984	$\frac{108}{-4}$	$\frac{170}{29}$	$\frac{176}{19}$	$\frac{173}{31}$	$\frac{128}{40}$	$\frac{101}{-4}$
1985	$\frac{35}{-14}$	$\frac{165}{12}$	$\frac{177}{21}$	$\frac{218}{54}$	$\frac{190}{69}$	$\frac{77}{30}$

Примечание: в числителе — LE ; в знаменателе — P .

повышение теплозапаса, а отрицательные значения P , $Q_{ст}$, LE — на снижение теплозапаса водной массы озера. Накопление тепла водой ($\Delta W_{в}$) и донными отложениями ($\Delta W_{г}$) обозначено отрицательными, а его снижение — положительными знаками.

Положительные значения радиационного баланса (B) с мая по сентябрь указывают на то, что озеро за счет лучистого теплообмена получает тепло. В среднем за расчетный период сумма B с мая по октябрь равна 1753 МДж/м², наибольшая в 1963 г.—2009 МДж/м², наименьшая в 1977 г.—1344 МДж/м² [2].

Величина испарения с поверхности оз. Нарочь в среднем изменяется в пределах от 50 мм/мес. в мае до 104 мм/мес. в июле. В целом в течение года с поверхности озера в зависимости от метеоусловий испаряется слой воды толщиной 35—53 см. Наибольшая потеря тепла за счет испарения наблюдается в июле, когда температура поверхности воды достигает максимума, и в среднем за указанный месяц составляет 256 МДж/(м² · мес.). При смещении максимальной температуры поверхности воды на август (1966 г.—19,8 °С) величина испарения с поверхности озера увеличилась до 386 МДж/(м² · мес.). В холодном июле 1962 г. при средней температуре поверхности воды 15,9 °С величина испарения снижалась до 169 МДж/(м² · мес.). Средняя за расчетный период сумма LE с мая по октябрь оценивается в 1163 МДж/м² (пределы многолетних колебаний 856—1551 МДж/м²) (табл. 2). В хорошо перемешиваемых озерах затраты тепла на испарение являются основной статьей расхода всего поступающего в водную массу тепла за счет лучистой энергии солнца с мая по октябрь; для оз. Нарочь эта величина составляет от радиационного баланса 66 %.

Сумма тепла, поступающая на акваторию озера с атмосферными осадками за май — октябрь, в многолетний период изменяется от 15 до 30 МДж/м². Эти величины поступающего тепла в озеро более чем в 50 раз меньше затрачиваемого тепла на испарение с водной поверхности озера.

Поток тепла при турбулентном теплообмене между поверхностью озера и атмосферой направлен от воды, если ее температура выше температуры воздуха. Только в мае температура поверхности воды оз. Нарочь бывает ниже температуры приводного слоя воздуха, а с июня по октябрь — выше (см. табл. 1). Потери тепла водной массой за счет турбулентного обмена между поверхностью озера и атмосферой достигают максимума в сентябре (43 МДж/(м² · мес.)) и составляют за безледный период в среднем 130 МДж/м². Для оз. Нарочь характерна значительная многолетняя амплитуда колебаний затрат тепла на P в мае — октябре от —103 до 306 МДж/м². Суммарные отрицательные значения P указывают на то, что в безледный период в связи с особенностями погодных условий (преобладающее направление действия ветров В, СВ, СЗ румбов со ско-

ростью 2—3 м/с) наблюдается интенсивное перемешивание и охлаждение водной массы. При этих метеоусловиях характерным является понижение температуры поверхностного слоя воды озера по сравнению с окружающим воздухом (1974, 1975, 1976 гг.) (см. табл. 2). В течение безледного периода потери тепла с поверхности оз. Нарочь на обмен с атмосферой составляют 11 % величины затрат тепла на испарение, что типично для водоемов умеренной климатической зоны [6]. В экстремальные годы эта величина увеличивается до 26 % (1965 г.).

Отличительной особенностью экосистемы оз. Нарочь является незначительная площадь водосборной территории (199 км²) по сравнению с площадью озера. В этой связи доля поверхностного притока с водосбора в приходной части водного баланса озера составит около 37 % [8]. Сток из озера происходит по р. Нарочанка, доля которого в расходной части баланса не превышает 56 %. Межсезонная динамика теплового притока и стока сопоставимы и характеризуются наибольшими значениями в мае — июне (3—5 МДж/(м² · мес.)) с постепенным уменьшением к октябрю (1—2 МДж/(м² · мес.)). Для озер умеренной зоны типичным является превышение в 1,5—2 раза теплового стока над тепловым притоком [9], что связано со стоком верхнего прогретого эпилимниального слоя воды. Общая сумма теплового притока за период открытой воды оценивается в 12 МДж/м², теплового стока — 21 МДж/м².

Теплозапас водной массы оз. Нарочь определялся с учетом температуры водной массы на первое число месяца (или близкую дату) и соответствующего значения средней глубины озера [6]. При отсутствии данных по распределению тепла в водной массе (1961—1971 гг.) теплозапас озера рассчитывался по температуре поверхности воды, что в условиях перемешиваемого до дна озера в целом допустимо. В безледный период значения теплозапаса водной массы в среднем изменяются от 280 МДж/(м² · мес.) в мае до наибольших значений в августе — 708 МДж/(м² · мес.). Наиболее интенсивное накопление тепла в водной массе происходит в мае — июне (на 150—250 МДж/(м² · мес.)).

Теплозапас донных отложений оз. Нарочь рассчитывался с учетом толщины теплоактивного слоя донных отложений, который для озер умеренной зоны равен 3 м [6]. Основная часть озерного ложа (52 % от общей площади) выстилается карбонатными и кремнеземистыми сапропелями с содержанием органического вещества 47—57 %. Остальная часть дна оз. Нарочь представлена песком заиленным и песком с содержанием органического вещества около 10 %. По данным, полученным С. С. Бакастовым [7], теплоемкость донных отложений озера находится в пределах 1,17—18,58 МДж/(м² · К). Средневзвешенное значение по площади дна озера теплоемкости грунтов составляет 9,49 МДж/(м³ · К) и использовалось нами для расчета теплозапаса теплоактивного слоя донных отложений. Исследования, проведенные нами, показали, что среднее значение теплозапаса донных отложений в мае оценивается в 182 МДж/(м² · мес.) и достигает максимума в августе — 355 МДж/(м² · мес.). Наибольшее количество тепла донные отложения получают в мае — июне. Наименьшее приращение теплозапаса донных отложений приходится на август. С начала сентября донные отложения начинают отдавать тепло в воду (см. табл. 1).

Расчет теплозапасов оз. Нарочь позволяет оценить роль донных отложений в тепловом бюджете этого водоема. В апреле доля теплозапаса донных отложений в общем теплозапасе озера составляет около 50 %. В мае она уменьшается до 44 %. С дальнейшим прогреванием озера до максимального и в начале периода осеннего охлаждения доля теплозапаса донных отложений составляет 30—35 %.

Анализ и сопоставление элементов теплового баланса позволяют выявить основные причины невязки, относительное значение которой к сумме составляющих изменяется от 6 до 60 %: недостаточная точность для всей акватории данных по температуре воды и донных отложений, влияющие нарушения плавности хода гидрометеорологических условий. В ре-

зультате наиболее существенные величины невязки прослеживаются в периоды интенсивного прогревания (май) и охлаждения озера (октябрь) (см. табл. 1).

В условиях естественных водоемов основным источником поступления тепла является лучистая энергия солнца. В этой связи целесообразно провести сопоставление суммарных значений основных компонентов теплового баланса за безледный период с поглощенной радиацией. Значения поглощенной радиации и эффективного излучения приводятся в работе [2]. За исследуемый период затраты тепла на испарение от поглощенной радиации составляют в среднем 46 %; эффективное излучение — 31; турбулентный теплообмен с атмосферой — 5; тепловой приток — 0,5; тепловой сток — 0,8; тепло, поступающее с атмосферными осадками — 0,9 %. В период интенсивного прогревания водоема (май — август) 20 % от суммы поглощенной радиации аккумулируются в водной массе озера и 6 % — в донных отложениях.

Таким образом, определяющим фактором термического режима оз. Нарочь в безледный период является энергетический обмен между поверхностью воды и приповерхностным слоем воздуха (испарение, эффективное излучение, турбулентный теплообмен). В результате этих процессов более 80 % поглощенной водой радиации возвращается в атмосферу. В сумме аккумулированного тепла в период открытой воды на теплозапас водной массы приходится 60—70 %, соответственно на теплоактивный слой донных отложений — 30—40 %.

Список литературы

1. Экологическая система Нарочанских озер / Под ред. Г. Г. Винберга. Мн., 1985.
2. Базыленко Г. М., Блажевич Л. А. Радиационный режим Нарочанских озер // Вестн. Белорус. ун-та. Сер. 2: Хим. Биол. Геогр. 1988. № 3. С. 66.
3. Указания по расчету испарения с поверхности водоемов / Под ред. В. Н. Кузнецова, В. С. Голубева, Т. Г. Федоровой. Л., 1969.
4. Браславский А. П., Викулина З. А. Нормы испарения с поверхности водохранилищ. Л., 1954.
5. Богословский Б. Б. Водный баланс и термика озер и водохранилищ. Л., 1979.
6. Озеро Кубенское. Гидрология / Под ред. Т. И. Малининой, И. М. Распопова. Л., 1977. Ч. 1.
7. Буторин Н. В., Курдина Т. Н., Бакастов С. С. Температура воды и грунтов Рыбинского водохранилища. Л., 1982.
8. Курганова Н. М., Иодо А. А. Водный баланс озера Нарочь // Комплексное использование водных ресурсов: Сб. науч. тр. М., 1978. Вып. 6. С. 32.
9. Гурьянова Л. В. Тепловой баланс водоема-охладителя ТЭС // Вестн. Белорус. ун-та. Сер. 2: Хим. Биол. Геогр. 1990. № 2. С. 47.

УДК 551.481.1

Л. В. ГУРЬЯНОВА, С. Ф. ТУМИШСКАЯ

ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫЙ БАЛАНС МЕЛКОВОДНОГО ОЗЕРА В УСЛОВИЯХ ОСУШИТЕЛЬНОЙ МЕЛИОРАЦИИ ЗЕМЕЛЬ ПОЛЕСЬЯ (на примере оз. Червоное, РБ)

Белорусское Полесье — район широкомасштабного осушения земель и интенсивной хозяйственной деятельности. Мелиорация озерных водосборов, забор воды из водоемов на орошение, водоснабжение рыбхозов делают актуальными проблемы оптимизации водного режима озер. На примере самого крупного (площадь 40,7 км²; объем 49 млн м³; максимальная глубина 4,5 м) и достаточно хорошо изученного озера Белорусского Полесья — оз. Червоное, водосборная территория которого более чем на 40 % представлена польдерными осушительно-увлажнительными системами, рассмотрим основные составляющие водохозяйственного баланса озера.