

фациально замещены каменной солью. Такой характер изменчивости осадков в зависимости от топографии палеорельефа дна соответствует схеме седиментогенеза в эвапоритовых бассейнах, в соответствии с которой более тяжелые растворы (в данном случае насыщенные NaCl) скапливаются в пониженных формах палеорельефа [3]. В результате над вершиной палеоподнятия сформировалась своеобразная «ангидритовая шапка», которая на погруженных склонах фациально замещена каменной солью. В плане эта «ангидритовая шапка» четко прослеживается на литолого-фациальной карте «верхнего ангидрита» и отвечает сульфатному полю.

Подобные «ангидритовые шапки» достаточно распространенное явление в эвапоритовых бассейнах. Они чаще всего возникают над положительными формами палеорельефа (нередко рифами и рифогенными постройками) на начальных стадиях эволюции эвапоритовых бассейнов. Наиболее близкой моделью к описанной нами на Давыдовской площади является модель образования «ангидритовых шапок» в Мичиганском бассейне США [4]. В этом бассейне в разрезе силурийской формации Салина в эвапоритовой пачке А-2 над вершинами рифогенных построек распространены сульфатные отложения («ангидритовые шапки»), которые в межрифовых зонах фациально замещены каменной солью значительно большей мощности.

Палеорельеф дна бассейна оказывал существенное влияние на формирование коллекторских свойств продуктивной части разреза ангидритовой пачки. Наиболее благоприятные условия для образования коллекторов возникли на свде палеоподнятия во время формирования средней (карбонатно-сульфатной) части разреза ангидритовой пачки и отчасти «верхнего ангидрита». Осадконакопление происходило в мелководных, временами субаэральных условиях. В породах достаточно активно протекали процессы выщелачивания, обусловившие образование каверн и пор. Здесь сформировались карбонатно-сульфатные и карбонатные порово-кавернозные, местами трещиноватые породы-коллекторы с пористостью (K_n) 6,5–12,0 %.

Таким образом, проведенные палеогеоморфологические реконструкции позволили выяснить особенности формирования палеорельефа дна бассейна в раннелебедянское время в районе Давыдовской площади и выявить особенности фациальных изменений ангидритовой пачки. Палеорельеф обусловил размещение скоплений нефти в сульфатно-карбонатных породах-коллекторах в сводовой части валообразного палеоподнятия. Аналогичные условия осадконакопления существовали в пределах Полесской и Хуторской площадей, где в присводовых частях палеоподнятий также формировались карбонатно-сульфатные породы-коллекторы.

Список литературы

1. Демидович Л. А. Формирование коллекторов. Мн., 1979.
2. Гарецкий Р. Г., Кислик В. З., Высоцкий Э. А. и др. Девонские соленосные формации Припятского прогиба. Мн., 1982.
3. Страхов Н. М. Основы теории литогенеза. М., 1962. Т. 3.
4. Schreiber В. С. // Sedimentary Environments and Facies. Oxford, 1986. P. 189.

УДК 551.481.1

Л. В. ГУРЬЯНОВА, В. Ф. ИКОННИКОВ, С. Ф. ТУМИШСКАЯ

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ЛИМНОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ оз. ЧЕРВОНОЕ

As a result of analysis of temporal series, the stages of limnological indices of the Chervonoe Lake are found. It is shown, that destruction of stages of some of them is connected with anthropogenic influence on the lake's ecosystem.

Оз. Червоное – крупнейший водоем Белорусского Полесья с площадью водного зеркала 40,7 км², объемом водной массы 49 млн м³, максимальной глубиной 4,5 м. Гидротехническое строительство вокруг водоема привело к формированию сложного водохозяйственного комплекса, в котором озеро используется как водоприемник дренажных вод сельскохозяйственных полей и торфоучастков, водоисточник рыбо-

за «Красная зорька», а также является местом промышленной добычи сапропелевого сырья, рыбохозяйственным водоемом. Напряженная многолетняя эксплуатация природных ресурсов озера коренным образом трансформировала его лимнический комплекс. В этой связи в данной работе с применением математических методов рассматриваются вопросы временной динамики лимнологических показателей оз. Червоное, трансформации их причинно-следственных связей, что необходимо для оценки экологического состояния озера и выбора соответствующих мероприятий по его рациональному использованию.

Материал и методика

В качестве исходных данных по водному режиму озера использовались материалы наблюдений за отметками уровня воды на постах Белгидромета (д. Ляховичи, д. Пуховичи) в первый домелиоративный период 1927–1940 гг. и последующие 1957–1990 гг. Для увязки данных двух водомерных постов в отметки уровня поста д. Ляховичи вводилась поправка минус 132 см [1]. Сведения по метеорологическим показателям за период 1929–1989 гг. получены на метеостанции Житковичи. Результаты сезонных гидрохимических определений в нефiltroванных водах из оз. Червоное по данным Белгидромета проанализированы с декабря 1964 г. Комплексное лимнологическое обследование озера и его современного водохозяйственного комплекса выполнено лабораторией озераведения Белгосуниверситета в 1990 г. (гидробиологические определения проведены В. М. Самойленко, С. А. Бойковой). В работе используются фондовые материалы БелНИИрыбпроекта за 1963, 1968 гг. Обработка материалов многолетних наблюдений за лимнологическими показателями выполнена на ПЭВМ ЕС-1840 с использованием статистического пакета «STATGRAPHICS». В качестве основного инструмента при выделении циклических вариаций использован анализ временных рядов и, в частности, автокорреляционные функции, способы анализа и расчета которых приведены в работах [2–5]. Для увеличения достоверности результатов анализа корреляционных функций их расчеты проводились для разных периодов наблюдений за отдельными показателями.

Результаты и их обсуждение

Гидрометеорологические показатели. Изменение характера протекания лимнических процессов в оз. Червоное в значительной мере связано с водным режимом и факторами, его обуславливающими. За имеющийся период метеорологических наблюдений (1929–1989) среднегодовые значения температуры воздуха изменялись от 4,9 °С (1933) до 8,5 °С (1973), суммы атмосферных осадков за год – от 422 мм в 1963 г. до 915 мм в 1970 г. (рис. 1,а). В отдельные маловодные годы испарение с водной поверхности озера достигало 849 мм, а в среднем за расчетный многолетний период оценивается в 698 мм, что по сравнению с соответствующим значением осадков (652 мм) свидетельствует о недостаточном увлажнении территории.

Расчет коэффициентов автокорреляции для некоторых климатических характеристик (табл. 1) показал слабовыраженную многолетнюю цикличность – для годовых сумм осадков при $\tau = 3$ и 8 годам; для среднегодовых значений температуры воздуха при $\tau = 2$ и 8–9 годам. Возможно, при наличии более длительных временных рядов по этим показателям можно будет получить более достоверные результаты. Учитывая, что в естественном состоянии озера в домелиоративный период (1927–1940) доля атмосферных осадков в приходной части водного баланса оценивалась до 54 %, можно сделать вывод, что влияние циклов водности на уровеньный режим озера было достаточно велико. Имеющиеся наблюдения за уровеньным режимом показывают, что среднегодовой уровень озера в это время колебался в пределах 136,0–136,4 м (см. рис. 1,а). Итоги математической обработки уровеньных наблюдений за этот период показали наличие цикличности, описываемой двумя слабовыраженными пиками с временным интервалом $\tau = 2$ и 4 года (см. табл. 1). Таким образом, для естественного состояния оз. Червоное, как и для всех

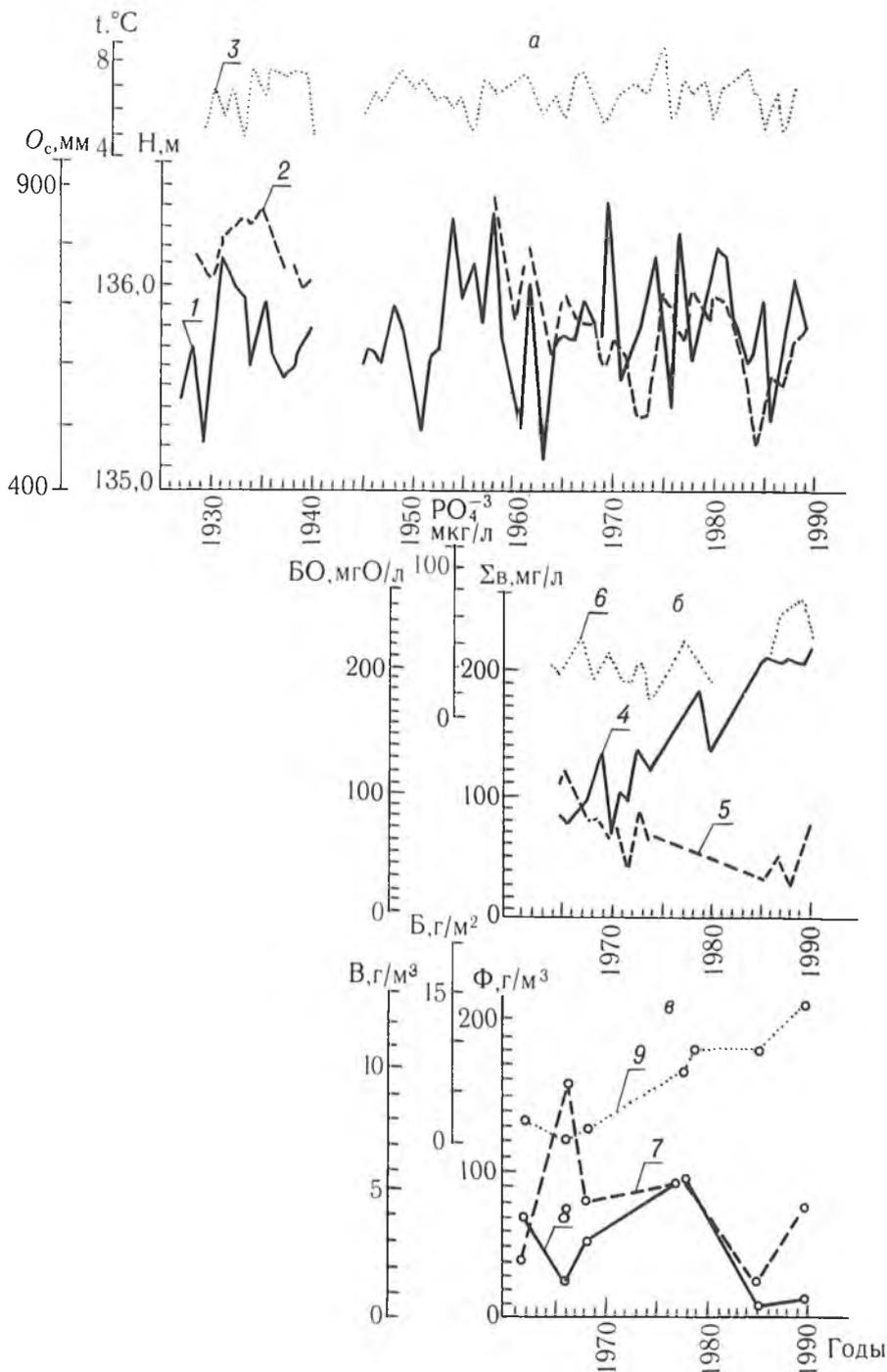


Рис. 1. Многолетняя динамика среднегодовых значений гидрометеорологических элементов (а) и гидрохимических показателей (б), летней биомассы гидробионтов (в):

1—уровень воды (Н, м); 2—сумма осадков (Ос, мм); 3—температура воздуха (t, °C); 4—общая минерализация (Σв, мг/л); 5—биохроматная окисляемость (БО, мг O/л); 6—минеральный фосфор (PO_4^{3-} , мкг/л); 7—фитопланктон (Ф, г/м³); 8—зоопланктон (В, г/м³); 9—зообентос (Б, г/м²)

озер умеренной климатической зоны, многолетняя динамика уровня воды была в значительной мере связана с циклами водности [6]. Полученный результат является тем более важным, что позволяет в дальнейших исследованиях оценить воздействие осушительной мелиорации земель на водность озера и не отождествлять его с природными факторами.

Коэффициенты автокорреляции (R_y) и их стандартные ошибки (S_r) для рядов среднегодового уровня воды оз. Червоное (Н, м), среднегодовых значений температуры воздуха по метеостанции Житковичи (t , °С) и суммы атмосферных осадков (Ос, мм) за два периода наблюдений (1927—1940 и 1957—1989 гг.)

г, год	Н, м				t, °С				Ос, мм			
	1927—1940		1957—1989		1927—1940		1957—1989		1927—1940		1957—1989	
	R_y	S_r										
1	0,075	0,267	0,607	0,174	-0,225	0,288	0,061	0,150	0,199	0,267	-0,184	0,174
2	0,218	0,269	0,273	0,229	0,352	0,302	0,033	0,151	-0,028	0,278	-0,027	0,179
3	-0,176	0,281	0,244	0,239	-0,241	0,335	-0,302	0,151	-0,218	0,278	0,065	0,180
4	0,115	0,289	0,137	0,246	0,086	0,349	-0,212	0,164	-0,227	0,289	0,057	0,180
5	-0,089	0,292	-0,038	0,248	-0,191	0,351	-0,233	0,171	-0,137	0,302	-0,178	0,181
6	-0,107	0,294	-0,239	0,248			-0,135	0,177	-0,365	0,306	0,218	0,186
7	-0,124	0,297	-0,165	0,255			0,144	0,180	0,047	0,336	0,012	0,194
8			-0,102	0,259			0,133	0,182			0,121	0,194
9			-0,131	0,260			0,294	0,185			-0,180	0,196
10			-0,057	0,262			-0,197	0,195			0,031	0,201

В связи с тем, что с 1952 г. на территории водосбора озера начинают производиться мелиоративные работы, в результате которых уменьшается площадь водосбора, возрастает водопотребление, уровень озера в 1972, 1984 гг. понижался до 135,2 м, а по состоянию на 1989 г. составлял 135,8 м (см. рис. 1,а). Данные математической обработки рядов среднегодовых значений уровня воды за второй период 1957–1989 гг. подтверждают натурные наблюдения и показывают, что во временной динамике среднегодовых отметок уровня воды оз. Червоное циклическая червонность отсутствует, что характеризует определяющую роль техногенного преобразования его водного режима.

Гидрохимические характеристики. Изменение характера водного питания озера сопровождается качественной перестройкой химического состава вод, поступающих с водосборной территории и непосредственно водной массы озера. Если в естественном состоянии по данным [7–10] типичной была пониженная минерализация воды 89–103 мг/л с содержанием гидрокарбонатов 54–69 мг/л, кальция 20,1–20,4 мг/л, магния 0,8–1,7 мг/л, хлор-ионов 4–6 мг/г, сульфат-ионов 4,6–6,1 мг/л, то в настоящее время (1985–1990) для водной массы озера характерны среднегодовые значения общей минерализации воды в пределах 201–221 мг/л при содержании гидрокарбонатов 115–137 мг/л, ионов кальция 35,7–44,3 мг/л, Mg^{+2} 4,3–6,9 мг/л, Cl^{-} 8–16 мг/л, $Na^{+} + K^{+} - 7 - 10,4$ мг/л, SO^{-2}_4 9,9–23,9 мг/л (см. рис. 1,б).

На основании имеющихся временных рядов (1964–1980, 1985–1989) был проведен расчет автокорреляционных функций среднегодовых значений гидрохимических ингредиентов – сумма ионов, HCO^{-3} , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Cl^{-} , SO^{-2}_4 , Na^{+} , $+ K^{+}$, содержания органического вещества по перманганатной (ПО) и бихроматной (БО) окисляемости, PO^{-3}_4 , $Fe_{общ}$. Циклические составляющие прослеживаются во временной динамике содержания ионов SO^{-2}_4 при $\tau = 2$ ($R_{\tau} = 0,232$), суммы ионов $N^{+} + K^{+}$ с периодом 6 лет ($R_{\tau} = 0,242$), органического вещества по перманганатной окисляемости при $\tau = 2$ ($R_{\tau} = 0,428$) и бихроматной окисляемости при $\tau = 2$ ($R_{\tau} = 0,436$), общего железа с периодом 5 лет ($R_{\tau} = 0,321$). Для остальных гидрохимических показателей циклические ритмы не прослеживаются. По-видимому, на временную динамику содержания в водной массе гидрокарбонатов, ионов Ca^{+2} и Mg^{+2} , Cl^{-} , фосфатов, pH накладываются направленные техногенные воздействия, изменяющие природную циклическую червонность.

Таблица 2

Эмпирические модели, описывающие тенденции изменения гидрохимических показателей, мг/л оз. Червоное за период 1964–1980 гг.

Параметр	Уравнение
Общая минерализация	$59,74 + 6,62 \cdot T^*$
HCO^{-3}	$15,62 + 6,53 \cdot T$
Ca^{+2}	$13,71 + 1,43 \cdot T$
Mg^{+2}	$1,168 + 0,316 \cdot T$
$Na^{+} + K^{+}$	$1,87 + 0,157 \cdot T$
PO^{-3}_4	$0,0325 + 6,74 \cdot 10^{-4} \cdot T$
Перманганатная окисляемость	$exp(3,46 - 0,0178 \cdot T)$
Бихроматная окисляемость	$exp(4,956 - 0,085 \cdot T)$

Примечание: $T^* = t - 1963$, где t — год наблюдения.

Данные математического анализа хорошо согласуются с результатами проведенного комплексного лимнологического обследования водохозяйственного комплекса оз. Червоное и выявленными источниками хими-

ческого загрязнения. Так, в связи с эксплуатацией торфоучастков «Булев Мох», Белсельхозхимии связано направленное поступление в озеро значительных объемов дренажных вод с повышенной минерализацией воды (317–389 мг/л), в том числе гидрокарбонатов (220–287 мг/л), ионов кальция (56–69 мг/л) и магния (7–9 мг/л). Поступление соединений фосфора с сельхозудий, сапропелевых отстойников (0,028–2,060 мг/г) вызывает прогрессирующее накопление их в водной массе озера (см. рис. 1,б).

Дополнительным материалом, иллюстрирующим основные особенности многолетней динамики гидрохимических ингредиентов, является выявление и описание статистическими моделями их основных трендов, т. е. направленных временных изменений. Расчеты проведены по наблюдениям за период 1964–1980 гг. и проверены по данным 1985–1990 гг. (табл. 2). Характерным является выявленная многолетняя тенденция к увеличению общей минерализации воды и составляющих ее основных ионов. Из полученного уравнения следует, что ежегодно минерализация водной массы оз. Червоное увеличивается на 6,6 мг/л. Прирост общей минерализации осуществляется в основном за счет увеличения содержания ионов HCO_3^- , Ca^{+2} , Mg^{+2} , $\text{Na}^{+} + \text{K}^{+}$. Эмпирически описывается слабовыраженный тренд увеличения в водной массе содержания минерального фосфора. Обратная тенденция прослеживается для динамики содержания органических веществ. Для таких параметров, как содержание в воде хлор-ионов, сульфатов, общего железа, величины рН устойчивого тренда не получено.

Гидробиологические параметры. Техногенная трансформация абиотических факторов водной среды сказывается на условиях обитания биологических сообществ озера. Выявление многолетней изменчивости количественных и качественных гидробионтов и их математическая обработка представляет собой наиболее сложную задачу. Это связано с отсутствием режимных наблюдений, многофакторностью воздействия на экологию обитания водных организмов, уровнем достоверности имеющихся сведений. Однако, исходя из имеющихся фондовых материалов БелНИИрыбпроекта, некоторых опубликованных данных [11–13] и полученных результатов комплексного лимнологического обследования озера в 1990 г., можно отметить следующие тенденции.

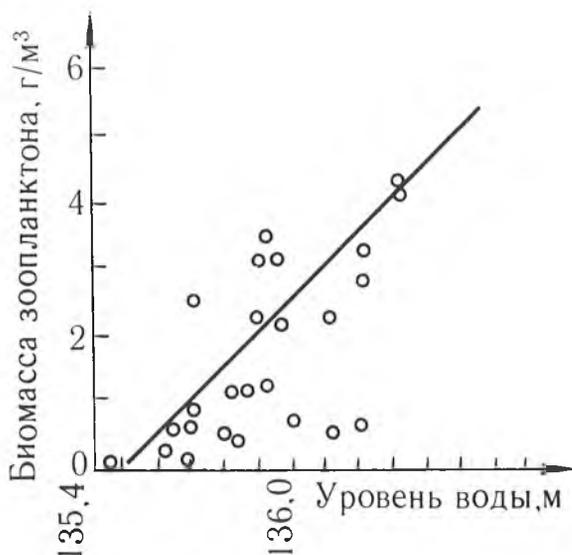


Рис. 2. Графическая связь между уровнем воды в оз. Червоное и биомассой зоопланктона.

В домелиоративный период и в настоящее время для оз. Червоное характерно летнее «цветение» фитопланктона, когда биомасса водорослей оценивается до 73,6–94,8 г/м³ (см. рис. 1,в). Каких-либо закономерностей

стей в многолетнем ходе количественного развития фитопланктона не прослеживается. Имеющиеся данные по биомассе зоопланктона указывают на наблюдающуюся тенденцию к ее снижению начиная с конца 70-х гг. Так, если в период летних обследований (1962, 1966, 1968) биомасса зоопланктона колебалась в пределах 1–4 г/м³, то в последнее время она не превышает 0,8 г/м³. Проведенное графическое и статистическое сопоставление значений объема наполнения озерной котловины и количественного развития зоопланктона показало ухудшение экологии обитания водных животных в условиях понижения уровня воды мелководного озера.

Как видно из рис. 2, при значениях уровня воды менее 135,8 м биомасса зоопланктона, как правило, не превышает 1,5 г/м³. Уравнение связи между уровнем воды в оз. Червоное (Н, м) и биомассой зоопланктона (В, г/м³) имеет вид: $V = (-694,6 \pm 277,6) + (5,13 \pm 2,04) \cdot H$; ($r = 0,456$), $N = 25$. Обратная зависимость между этими показателями была получена для условий мезотрофного оз. Нарочь [14], где определяющим фактором этой связи является концентрационный механизм.

Количественное развитие зообентоса в озере является типичным для эвтрофных озер республики. В отдельные годы биомасса донных животных достигала 32,68 г/м² (сентябрь 1962 г), в настоящее время (июль 1990 г.) – 21,49 г/м² (см. рис. 1,в). Однако периодически (1966) в связи с общими заморными явлениями регистрировалась полная гибель донных животных. Количественной связи между уровнем наполнения озерной котловины и биомассой зообентоса установить не удалось, так как большее количество неучтенных факторов определяет экологию обитания донных животных.

В заключение необходимо отметить, что в многолетней динамике лимнологических характеристик оз. Червоное и, как было показано, на озерах Нарочанской группы [14] прослеживается слабовыраженная природная цикличность с временным интервалом 2–10 лет, что следует учитывать при анализе временных рядов и выделении антропогенных нарушений. В условиях направленного техногенного воздействия (в данном случае мелиоративных мероприятий на водосборе озера) изменяется динамика лимнических процессов, что отмечается при рассмотрении временных рядов отметок уровня воды оз. Червоное, ряда гидрхимических показателей (общая минерализация, соединения фосфора, кислотность среды), и прослеживаются изменения количественных показателей некоторых гидробионтов.

Моделирование временных изменений лимнических характеристик, взаимосвязей биотических и абиотических показателей позволяет выполнять как прогнозныи оценки экологического состояния озера, так и коррективную рекомендуемых природоохранных мероприятий.

Список литературы

1. Булавко А. Г., Барановская Т. Н. // Проблемы Полесья. Мн., 1984. Вып. 9. С. 33.
2. Брокфман А. М., Воловик С. П., Казантина С. В., Кучай Л. А., Попов И. В. Статистическая структура океанических и биологических параметров экосистемы Азовского моря. Ростов, 1979.
3. Косинская В. И., Крылова Е. А., Ровнова О. В., Терещенко О. В., Шитик Г. В. // Программное обеспечение ЭВМ. М., 1983. Вып. 4. Ч. 2. С. 113.
4. Андерсен Т. Спектральный анализ временных рядов. М., 1976.
5. Бокс Дж., Дженкинс Т. Анализ временных рядов. М., 1974.
6. Малинина Т. И., Филатова И. В., Филатов Н. Н. // Проблемы исследования крупных озер СССР. Л., 1985.
7. Захаренков И. С. // Тр. Белорус. науч.-исслед. ин-та рыбного хозяйства. 1958. Т. 2. С. 3.
8. Захаренков И. С. // Там же. 1960. Т. 3. С. 147.
9. Винберг Г. Г. // Тр. комплексной экспедиции по изучению водоемов Полесья. Мн., 1956. С. 302.
10. Якушко О. Ф. География озер Белоруссии. Мн., 1967.
11. Савина Н. О. // Тр. Белорус. науч.-исслед. ин-та рыбного хозяйства. 1958. Т. 2. С. 60.
12. Черемисова К. А. // Там же. 1958. Т. 2. С. 21.
13. Михеева Т. М. // Биопродуктивность озер Белоруссии. Мн., 1974. С. 48.
14. Иконников В. Ф. // Вестн. Белорус. ин-та. Сер. 2: Хим. Биол. Геогр. 1989. № 1. С. 43.