

traditsii i sovremennost: materialy VI Mezhdunar. nauch. konf. (g. Volgograd, 15-18 maya 2013 g.). – Belgorod: ID «Belgorod» NIU «BelGU», 2013. – S. 271-274.

5. Vereshchagina I.V. Perezimovka dekorativnykh mnogoletnikov v Altayskom krae. RASKhN. Sib, otd-nie. NIIS imeni M.A. Lisavenko. – Novosibirsk, 1990. – 170 s.

6. Dolganova Z.V. Kultura astilby na Altae: rekomendatsii / RASKhN. Sib. otd-nie. NIIS im. M.A. Lisavenko. – Novosibirsk, 2001. – 32 s.

7. Metodika gosudarstvennogo ispytaniya selskokhozyaystvennykh kultur. Dekorativnye kultury. – M.: Kolos, 1968. – Vyp. 6. – 223 s.



УДК 535.8+556.5+574.5

О.Б. Акулова, В.И. Букатый, К.П. Попов
O.B. Akulova, V.I. Bukatiy, K.P. Popov

КОРРЕЛЯЦИОННАЯ СВЯЗЬ СОДЕРЖАНИЯ ОБЩЕГО ФОСФОРА, ХЛОРОФИЛЛА И ПОКАЗАТЕЛЯ ОСЛАБЛЕНИЯ СВЕТА В ОЗЁРАХ РАЗНОГО ТРОФИЧЕСКОГО ТИПА

CORRELATION BETWEEN TOTAL PHOSPHORUS, CHLOROPHYLL AND LIGHT ATTENUATION COEFFICIENT IN LAKES OF DIFFERENT TROPHIC TYPE

Ключевые слова: озёра Алтайского края, фосфор общий, хлорофилл, показатель ослабления света, спектральная прозрачность воды, корреляция, трофический статус, коэффициент детерминации, растворённое органическое вещество, взвесь.

Keywords: Altai Region' lakes, total phosphorus, chlorophyll, light attenuation coefficient, water spectral transparency, correlation, trophic status, determination coefficient, dissolved organic matter, suspension.

Исследованы корреляционные связи между показателем ослабления света, концентрациями общего фосфора и хлорофилла «а» в поверхностном слое трёх разнотипных озёр Алтайского края – Лапа, Красиловское и Большое Островное. Исследования на водоёмах проводились в течение нескольких лет (2013-2017 гг.) в различные сезоны. Определялся количественный состав компонентов озёрной воды: рассчитывались концентрации хлорофилла "а", общего фосфора, величины спектрального показателя ослабления света в диапазоне длин волн 400-800 нм при натуральном основании логарифма, а также определялась трофность исследуемых водных объектов. Среднее значение показателя ослабления света на длине волны $\lambda = 430$ нм за исследуемый период составило для оз. Большое Островное $21,8 \text{ м}^{-1}$, для озёр Лапа и Красиловское – $6,6$ и $8,0 \text{ м}^{-1}$ соответственно. Концентрации хлорофилла "а" (общего фосфора) в поверхностном слое эвтрофного оз. Лапа находились в диапазоне $0,60-35,40 \text{ мг/м}^3$ ($20,0-40,0 \text{ мг/м}^3$), эвтрофно-гипер-эвтрофного оз. Красиловское – $2,30-55,93 \text{ мг/м}^3$ ($30,0-80,0 \text{ мг/м}^3$) и гиперэвтрофного оз. Большое Островное – $10,16-54,59 \text{ мг/м}^3$ ($50,0-150,0 \text{ мг/м}^3$).

The paper discusses the studied correlations between light attenuation coefficient, concentrations of total phosphorus and chlorophyll-a in the surface layer of three different-type lakes of the Altai Krai (Region), i.e. Lapa, Krasilovskoye and Bolshoye Ostrovnoye. The studies were conducted from 2013 to 2017 in different seasons. The quantitative composition of lake water components was determined: the concentrations of chlorophyll-a, total phosphorus; the value of spectral attenuation coefficient of light in the wavelength range of 400-800 nm at the natural logarithmic base were calculated, and trophicity of the water bodies was identified. The mean light attenuation coefficient at the wavelength $\lambda = 430$ nm for the Lake Bolshoye Ostrovnoye made up 21.8 м^{-1} , for the Lakes Lapa and Krasilovskoye – 6.6 м^{-1} and 8.0 м^{-1} , respectively. The concentrations of chlorophyll-a (total phosphorus) in the surface layer of eutrophic Lake Lapa were within $0.60-35.40 \text{ mg m}^{-3}$ ($20.0-40.0 \text{ mg m}^{-3}$), eutrophic-hypereutrophic Lake Krasilovskoye – $2.30-55.93 \text{ mg m}^{-3}$ ($30.0-80.0 \text{ mg m}^{-3}$), and hypereutrophic Lake Bolshoye Ostrovnoye – $10.16-54.59 \text{ mg m}^{-3}$ ($50.0-150.0 \text{ mg m}^{-3}$).

Акулова Ольга Борисовна, к.т.н., н.с., лаб. гидрологии и геоинформатики, Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул. Тел.: (3852) 666-501. E-mail: akulova8282@mail.ru.

Букатый Владимир Иванович, д.ф.-м.н., проф., гл. н.с., лаб. гидрологии и геоинформатики, Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул. Тел.: (3852) 666-502. E-mail: v.bukatyy@mail.ru.

Попов Кирилл Павлович, аспирант, лаб. гидрологии и геоинформатики, Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул. Тел.: (3852) 666-502. E-mail: k237p@mail.ru.

Akulova Olga Borisovna, Cand. Tech. Sci., Staff Scientist, Hydrology and Geoinformatics Lab., Institute for Water and Environmental Problems, Sib. Branch of Rus. Acad. of Sci., Barnaul. Ph.: (3852) 666-501. E-mail: akulova8282@mail.ru.

Bukatiy Vladimir Ivanovich, Dr. Phys.-Math. Sci., Prof., Chief Staff Scientist, Hydrology and Geoinformatics Lab., Institute for Water and Environmental Problems, Sib. Branch of Rus. Acad. of Sci., Barnaul. Ph.: (3852) 666-502. E-mail: v.bukatyy@mail.ru.

Popov Kirill Pavlovich, post-graduate student, Hydrology and Geoinformatics Lab., Institute for Water and Environmental Problems, Sib. Branch of Rus. Acad. of Sci., Barnaul. Ph.: (3852) 666-502. E-mail: k237p@mail.ru.

Введение

В настоящее время рациональному использованию, охране, экологической оценке и хозяйственному учёту средних и малых озёр уделяется значительно меньше внимания, по сравнению с большими водоёмами. Вместе с тем в мире наибольшее значение отводится комплексным (гидробиологическим, гидрохимическим, гидрооптическим) исследованиям именно малых озёр как индикаторов возможных изменений окружающей природной среды и климата в целом [1-5]. Несомненно, что проведение подобных исследований способствует развитию фундаментальных положений по изучению основных внутриводоёмных физико-химических процессов. Последние определяют пространственно-временную изменчивость множества характеристик водоёмов (температуру, количество органических веществ и хлорофилла, наличие биогенные элементов, прозрачность, цветность и др.), и их изучение является сейчас весьма актуальным. **Цель** работы – нахождение корреляционных связей между показателем ослабления света и

концентрациями общего фосфора и хлорофилла "а" в озёрных водах. Важность решения подобных задач определяется необходимостью разработки методов прогнозирования экологического состояния озёрных экосистем.

Материалы и методы исследования

Исследования выполнены в период с 2013 по 2017 гг. на трёх разнотипных озёрах Алтайского края: Лапа, Красиловское и Большое Островное. Лимнологические характеристики водоёмов представлены в таблице 1.

Отбор проб проводился в местах постоянных наблюдений в пелагиальной части озёр с помощью батометра объёмом 1,5 л. Обработано и проанализировано 34 пробы поверхностного слоя озёр. Трофический статус оценивался с применением трофического индекса *TSI (Trophic State Index)* Карлсона [6]. В результате расчётов получено, что трофический статус оз. Лапа можно охарактеризовать в основном как эвтрофный, оз. Красиловского – эвтрофно-гиперэвтрофный, оз. Большое Островное – гиперэвтрофный.

Таблица 1

Лимнологические характеристики озёр

Озеро	S , км ²	$H_{\text{макс}}$, м	$H_{\text{ср}}$, м	SD , см	$\varepsilon(\lambda)$, м ⁻¹	pH	$P_{\text{общ}}$, мг/м ³	Chl_{a} , мг/м ³
Лапа	0,76	11,5	–	40-150	3,3-13,5	7,2-8,6	20,0-40,0	0,60-35,40
Красиловское	0,80	6,5	2,7	40-150	2,7-14,3	6,2-8,7	30,0-80,0	2,30-55,93
Большое Островное	28,60	5,6	0,9-1,8	25-45	7,8-32,7	8,5-9,1	50,0-150,0	10,16-54,59

Примечание. S – площадь водного зеркала; $H_{\text{макс}}$ – максимальная глубина; $H_{\text{ср}}$ – средняя глубина; SD – прозрачность по диску Секки; $\varepsilon(\lambda)$ – диапазон значений показателя ослабления света (при натуральном основании логарифма) в поверхностном слое озёр, при $\lambda = 430$ нм, pH – водородный показатель; $P_{\text{общ}}$ – концентрация общего фосфора; Chl_{a} – концентрация хлорофилла "а"; «–» – данные не определялись.

Представляет интерес сравнение полученных результатов с аналогичными по другим озёрам и их соотношение с существующими классификациями озёр по уровню трофности в зависимости от содержания фосфора. По амплитуде сезонных колебаний $P_{общ}$ исследованные озёра похожи на литоральные участки крупного Ладожского озера [7] и небольшого мелководного озера Лукнайно в Польше [8]. По максимальным величинам содержания общего фосфора исследованные озёра, в соответствии с существующими классификациями для поверхностных вод умеренных широт [9-12], относятся к классу высокоэвтрофных и гиперэвтрофных водоёмов. Это согласуется и с содержанием в них хлорофилла "а" как маркера уровня развития фитопланктона.

Содержание общего фосфора в воде озёр определялось в химико-аналитическом центре ИВЭП СО РАН под руководством докт. хим. наук Т.С. Папиной фотометрическим методом после окисления персульфатом [13].

Озёра – это аккумулирующие системы, в том числе и для фосфора, который относится к числу элементов как требуемых, так и нежелательных для водоёмов. Его присутствие совершенно необходимо для правильного протекания всех биологических процессов. Вместе с тем при его избыточном содержании возникают проблемы, связанные с загрязнением водоёмов данным элементом. Эти два аспекта дают представление о важной роли фосфора в метаболизме растений и животных в водных экосистемах [14].

Концентрация хлорофилла "а" определялась стандартным методом [15]. Авторы глубоко признательны за предоставленные данные по концентрации хлорофилла "а" сотрудникам ИВЭП СО РАН: канд. биол. наук А.В. Котовщикову (данные 2013-2014 гг.) и инженеру И.М. Фроленкову (данные 2015-2017 гг.).

Общая концентрация различных фотосинтетических пигментов (хлорофиллов "а", "б", "с", феофитина и др.), содержащихся в фитопланктоне, тесно коррелирует с содержанием главного пигмента – хлорофилла "а". Вследствие этого концентрацию всех пигментов часто выражают через содержание только хлорофилла "а". Измеренные значения его концентрации в пробах озёрной воды являются репрезентативным индикатором биомассы водорослей

[16, 17]. В данной работе оценка возможности расчёта биомассы фитопланктона по содержанию хлорофилла "а" не проводилась.

Измерения спектральной прозрачности (коэффициента пропускания T , %) воды в области спектра 400-800 нм проводились спустя 1-3 ч после взятия проб в лабораторных условиях на спектрофотометре ПЭ-5400УФ с погрешностью, равной 0,5% [18]. Затем рассчитывалась первичная гидрооптическая характеристика – спектральный показатель ослабления света $\varepsilon(\lambda)$ – по формуле $\varepsilon(\lambda) = (1/L) \cdot \ln(1/T)$, где L – длина кюветы, $T = I/I_0$ – прозрачность в относительных единицах, I , I_0 – интенсивности прошедшего и падающего света соответственно. Максимальная абсолютная погрешность $\varepsilon(\lambda)$ составила около 0,5 м⁻¹.

Результаты и их обсуждение

На рисунках 1-3 в логарифмическом масштабе приведены зависимости между показателем ослабления света $\varepsilon(\lambda)$ при $\lambda = 430$ нм, концентрациями общего фосфора ($P_{общ}$) и хлорофилла "а" (Chl_{a^*}) в поверхностном слое исследуемых озёр. Здесь $\varepsilon(\lambda)$ имеет размерность м⁻¹, Chl_{a^*} – мг/м³, $P_{общ}$ – мг/м³.

Для всех приведённых зависимостей имеет место удовлетворительная корреляция между значениями $\ln \varepsilon$ и $\ln Chl_{a^*}$, с коэффициентом детерминации $R^2 \geq 0,62$. Достаточно высокая корреляция между величинами $\ln \varepsilon$ и $\ln P_{общ}$ имеет место только в оз. Большое Островное ($R^2 = 0,93$), тогда как в двух других озёрах аналогичные зависимости имеют удовлетворительную корреляцию ($R^2 \geq 0,65$).

Анализ связи между $\ln Chl_{a^*}$ с $\ln P_{общ}$ показывает, что для оз. Красиловское она практически отсутствует ($R^2 = 0,28$) и, наоборот, существует для двух других водоёмов – оз. Лапа ($R^2 = 0,80$) и оз. Большое Островное ($R^2 = 0,73$).

Средняя концентрация общего фосфора в воде оз. Лапа за период исследования составила 32,50 мг/м³, хлорофилла "а" – 13,40 мг/м³, среднее значение показателя ослабления света при $\lambda = 430$ нм – 6,65 м⁻¹. Для озёр Красиловское и Большое Островное средние концентрации $P_{общ}$ составили 56,09 и 92,50 мг/м³, Chl_{a^*} – 23,40 и 33,52 мг/м³ соответственно, средние величины $\varepsilon(\lambda)$ – 8,03 и 21,80 м⁻¹.

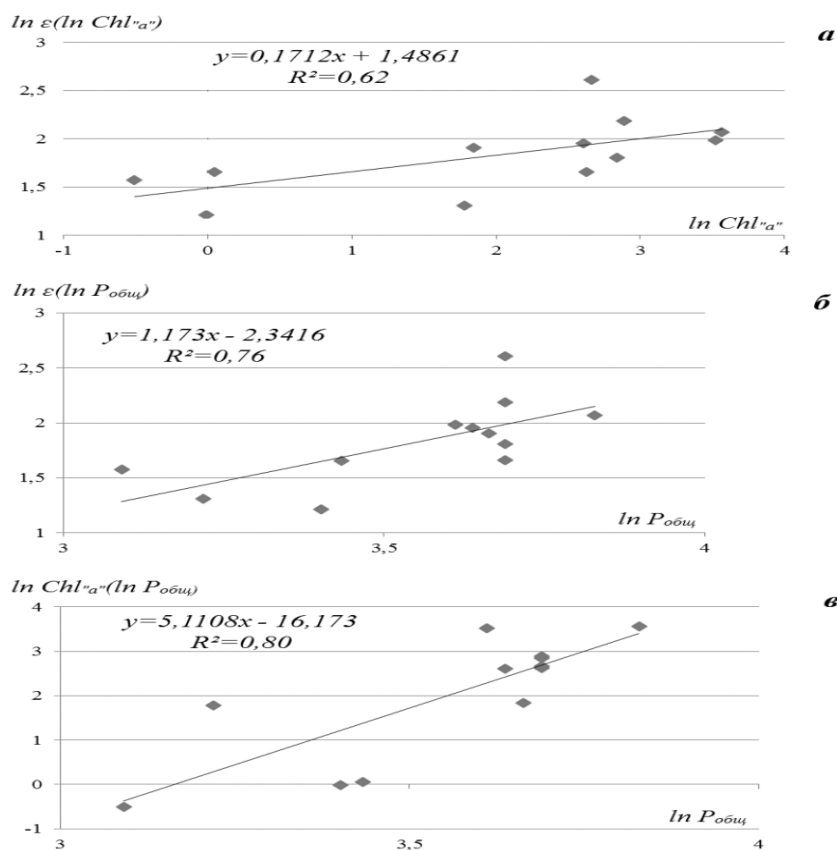


Рис. 1. Зависимости: **а** — показателя ослабления света от концентрации хлорофилла "а"; **б** — показателя ослабления света от концентрации общего фосфора; **в** — концентрации хлорофилла "а" от концентрации общего фосфора в поверхностном слое оз. Лапа

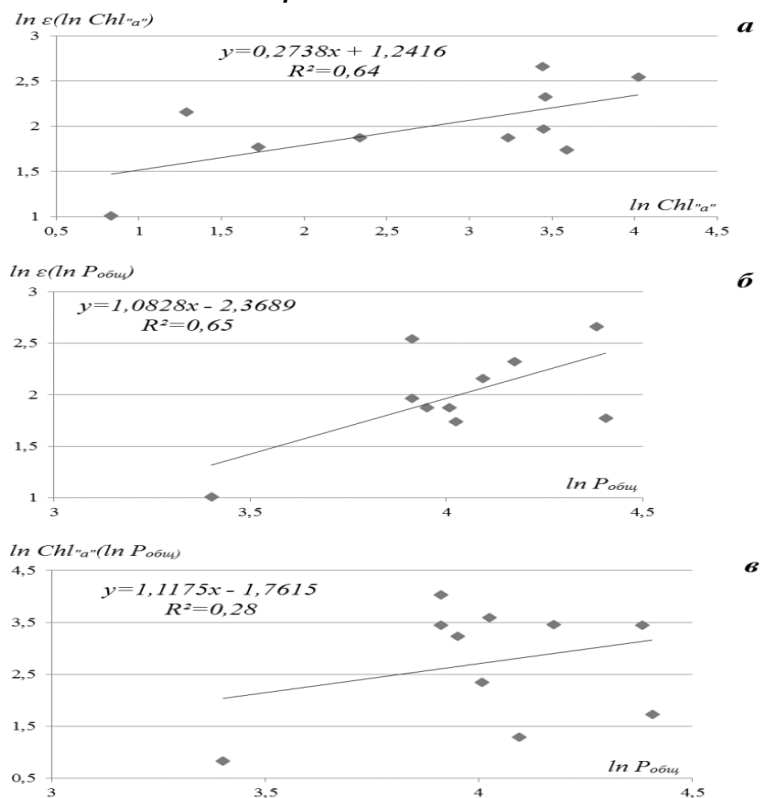


Рис. 2. Зависимости: **а** — показателя ослабления света от концентрации хлорофилла "а"; **б** — показателя ослабления света от концентрации общего фосфора; **в** — концентрации хлорофилла "а" от концентрации общего фосфора в поверхностном слое оз. Красиловское

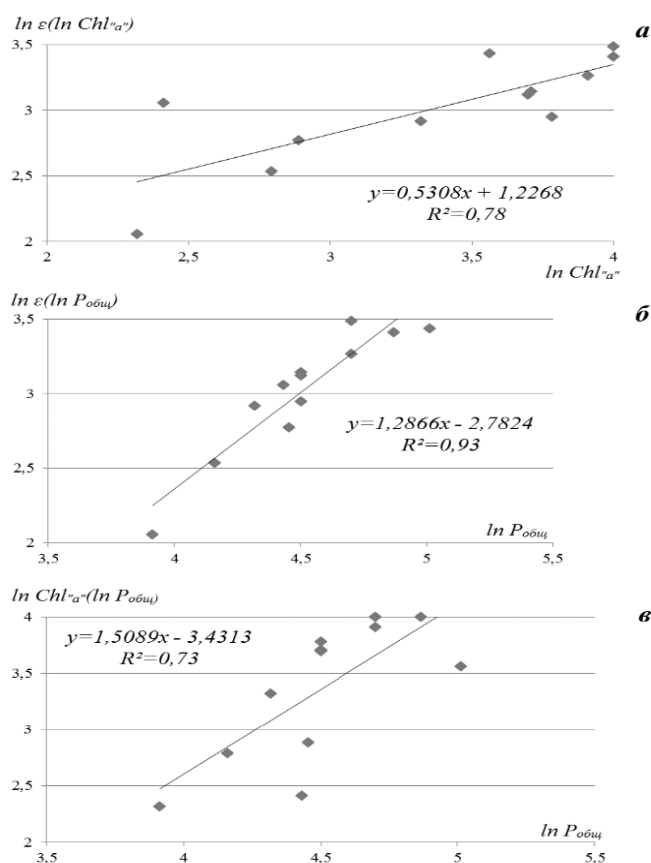


Рис. 3. Зависимости: а — показателя ослабления света от концентрации хлорофилла "а"; б — показателя ослабления света от концентрации общего фосфора; в — концентрации хлорофилла "а" от концентрации общего фосфора в поверхностном слое оз. Большое Островное

По литературным данным большое число разнотипных озёр характеризуется прямой зависимостью количества фитопланктона (содержания хлорофилла "а") от концентрации общего фосфора в воде. Учитывая лимитирующую роль фосфора для развития планктонных водорослей, эти результаты были использованы при математическом моделировании процесса эвтрофикации поверхностных вод, в том числе Великих озёр [19, 20]. Известно, что при наличии связи количества фитопланктона с содержанием биогенов существует зависимость его продуктивности от температуры и оптических свойств воды. Результаты экспериментов при значительных колебаниях содержания общего фосфора (1,4-10 мг/л) и температуры воды (15-25⁰С) показали, что при увеличении количества фосфора и температуры воды количество хлорофилла в клетках зелёных и сине-зелёных водорослей увеличивалось, а размер клеток уменьшался. При этом эффект изменения температуры был более значим

при больших концентрациях фосфора. Многолетние данные полевых исследований на крупном мелководном эвтрофном озере Тайху (находящемся в дельте реки Янцзы на границе провинций Цзянсу и Чжэцзян в Китае) также свидетельствуют о существенной роли температуры. В частности, добавление температуры в математическую модель развития фитопланктона этого озера увеличивает оправдываемость прогноза количества хлорофилла в зависимости от общего фосфора [21]. Исследования на 12 шведских озёрах с небольшим содержанием фосфора (около 30 мкг/л) показали снижение первичной продукции планктонных и бентосных водорослей при повышении концентрации фосфора. Причиной такого явления оказалась недостаточная освещённость водной толщи и дна озёр, обусловленная снижением прозрачности воды вследствие поступления в эти озёра большого количества взвешенного и растворенного органического вещества с водосборного бассейна [22].

Заключение

Исследования, выполненные нами в период с 2013 по 2017 гг. на трёх разнотипных озёрах Алтайского края, позволили установить определённую взаимосвязь между показателями, характеризующими их трофический статус. Проведённый анализ показывает, что с увеличением концентрации хлорофилла "а" возрастают значения показателя ослабления света, что говорит о прямой зависимости между ними. Тесноту их связи, определяемой по шкале Чеддока [23], можно охарактеризовать как заметную и высокую. Аналогичная связь для всех водоёмов обнаружена между основным биогенным элементом – фосфором, являющимся главным индикатором для определения трофического состояния водоёмов, и показателем ослабления света. Для оз. Большое Островное теснота связи оказалась весьма высокой, оз. Лапа – высокой и оз. Красиловское – заметной. Рассчитанные коэффициенты корреляции между концентрациями хлорофилла "а" и общего фосфора показали, что для эвтрофного оз. Лапа и гиперэвтрофного оз. Большое Островное связь является весьма значимой, а для эвтрофно-гиперэвтрофного оз. Красиловское она оказалась весьма слабой.

Библиографический список

1. Гашкина Н.А. Пространственно-временная изменчивость химического состава вод малых озёр в современных условиях изменения окружающей среды: автореф. дис. ... докт. геогр. наук. – СПб., 2014. – 46 с.
2. Moiseenko T.I., Gashkina N.A., Bylinyak Yu.A., Kudryavtseva L.P., Sandimirov S.S. Zonal features of the formation of water chemistry in small lakes in European Russia // *Water Resources*. – 2006. – Т. 33. – № 2. – С. 144-162.
3. Monteith D.T., Stoddard J.L., Evans C.D., et al. Dissolved organic carbon trends resulting from changes in atmospheric deposition chemistry // *Nature*. – 2007. – Vol. 450 (7169). – P. 537-540.
4. Stoddard J.L., Jeffries D.S., Lukewille A., et al. Regional trends in aquatic recovery from acidification in North America

- and Europe // *Nature*. – 1999. – Vol. 401. – P. 575-578.
5. Skjelkvale B.L., Stoddard J.L., Andersen T. Trends in surface water acidification in Europe and North America (1989-1998) // *Water, Air and Soil Pollution*. – 2001. – Vol. 130 (1-4). – P. 787-792.
6. Carlson R.E. A trophic state index for lakes // *Limnology and Oceanography*. – 1977. – Vol. 22 (2). – P. 361-369.
7. Игнатъева Н.В., Сусарева О.М. Особенности гидрохимического режима прибрежной зоны озера // *Литоральная зона Ладожского озера / под ред. Е.А. Курашева*. – СПб.: Нестор-История, 2011. – С. 45-51.
8. Kufel I., Kufel L. Eutrophication processes in a shallow, macrophyte-dominated lake – nutrient loading to and flow through Lake Luknajno (Poland) // *Hydrobiologia*. – 1997. – Vol. 342. – P. 387-394.
9. Китаев С.П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. – 395 с.
10. Оксийок О.П., Жукинский В.Н., Брагинский Л.П., Линник П.Н., Кузьменко М.И., Кленус В.Г. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши // *Гидробиологический журнал*. – 1993. – Т. 29. – № 4. – С. 62-76.
11. Environment Canada. 2004. Canadian guidance framework for the management of phosphorus in freshwater systems. Scientific Supporting Document. National Guidelines and Standards Office, Water Policy and Coordination Directorate, Environment Canada, Ottawa, ON. – P. 1-18.
12. OECD (Organization for Economic Cooperation and Development) Eutrophication of waters. Monitoring assessment and control. Final report. OECD Cooperative Programme on monitoring of Inland Waters (Eutrophication Control), Environment Directorate. – Paris, 1982. – 154 p.
13. ПНД Ф 14.1:2.106-97 Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации фосфора общего в пробах природных и очищенных сточных вод фотометриче-

ским методом после окисления персульфатом. – М.: 1997 (издание 2004 г.). – 18 с.

14. Несбитт Дж.Б. Фосфор в окружающей среде: пер. с англ. / под ред. Э. Гриффита, А. Битона, Дж. Спенсера и Д. Митчелла // Фосфор и обработка сточных вод. – М.: Мир, 1977. – С. 706-727.

15. ГОСТ 17.1.4.02-90. Государственный контроль качества воды. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла а. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – С. 587-600.

16. Хендерсон-Селлерс Б., Маркленд Х.Р. Умирающие озера: причины и контроль антропогенного эвтрофирования: пер. с англ. / под ред. К.Я. Кондратьева, Н.Н. Филатова. – Л., Гидрометеиздат, 1990. – 278 с.

17. Aponasenko A.D., Shchur L.A., Lopatin V.N. Relationship of the chlorophyll content with the biomass and disperse structure of phytoplankton // Doklady Biological Sciences. – 2007. – Т. 412. – № 1. – С. 61-63.

18. Руководство по эксплуатации. Спектрофотометр ПЭ-5400УФ. Паспорт БКРЕ.941412.001-03РЭ. Группа компаний «Экрос». – СПб., 2010. – 35 с.

19. Chapra S.C. Surface Water-Quality Modeling. McGraw-Hill. – New York, 1997. – P. 844.

20. Dobson H.F., Gilbertson M., Sly P.G. A summary and comparison of nutrients and related water quality in Lakes Erie, Ontario, Huron and Superior // J. Fish. Res. Board Can. – 1974. – Vol. 31 (5). – P. 731-738.

21. Chen M., Li J., Dai X., Sun Y., Chen F. Effect of phosphorus and temperature on chlorophyll a contents and cell sizes of *Scenedesmus obliquus* and *Microcystis aeruginosa* // Limnology. – 2011. – Vol. 12 (2). – P. 187-192.

22. Karlsson J., Bystrom P., Ask J., Ask P., Persson L., Jansson M. Light limitation of nutrient-poor lake ecosystems // Nature. – 2009. – Vol. 460. – P. 506-509.

23. Макарова Н.В., Трофимец В.Я. Статистика в Excel. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 368 с.

References

1. Gashkina N.A. Prostranstvenno-vremennaya izmenchivost khimicheskogo sostava

vod malykh ozer v sovremennykh usloviyakh izmeneniya okruzhayushchey sredy: avtoref. dis. ... d-ra geogr. nauk. – SPb., 2014. – 46 s.

2. Moiseenko T.I. Zonal features of the formation of water chemistry in small lakes in European Russia / T.I. Moiseenko, N.A. Gashkina, Yu.A. Bylinyak, L.P. Kudryavtseva, S.S. Sandimirov // Water Resources. – 2006. – Т. 33. – № 2. – С. 144-162.

3. Monteith D.T., Stoddard J.L., Evans C.D., et al. Dissolved organic carbon trends resulting from changes in atmospheric deposition chemistry // Nature. – 2007. – Vol. 450 (7169). – P. 537-540.

4. Stoddard J.L., Jeffries D.S., Lukewille A., et al. Regional trends in aquatic recovery from acidification in North America and Europe // Nature. – 1999. – Vol. 401. – P. 575-578.

5. Skjelkvale B.L., Stoddard J.L., Andersen T. Trends in surface water acidification in Europe and North America (1989-1998) // Water, Air and Soil Pollution. – 2001. – Vol. 130 (1-4). – P. 787-792.

6. Carlson, R.E. A trophic state index for lakes // Limnology and Oceanography. – 1977. – Vol. 22 (2). – P. 361-369.

7. Ignateva N.V., Susareva O.M. Osobnosti gidrokhimicheskogo rezhima pribrezhnoy zony ozera // Litoralnaya zona Ladozhskogo ozera / pod red. E.A. Kurasheva. – SPb.: Nestor-Istoriya, 2011. – S. 45-51.

8. Kufel I., Kufel L. Eutrophication processes in a shallow, macrophyte-dominated lake – nutrient loading to and flow through Lake Luknajno (Poland) // Hydrobiologia. – 1997. – Vol. 342. – P. 387-394.

9. Kitaev S.P. Osnovy limnologii dlya gidrobiologov i ikhtiologov. – Petrozavodsk: Karelskiy nauchnyy tsentr RAN, 2007. – 395 s.

10. Oksiyuk O.P., Zhukinskiy V.N., Braginskiy L.P., Linnik P.N., Kuzmenko M.I., Klenus V.G. Kompleksnaya ekologicheskaya klassifikatsiya kachestva poverkhnostnykh vod sushi // Gidrobiologicheskiy zhurnal. – 1993. – Т. 29. – № 4. – С. 62-76.

11. Environment Canada. 2004. Canadian guidance framework for the management of phosphorus in freshwater systems. Scientific

Supporting Document. National Guidelines and Standards Office, Water Policy and Co-ordination Directorate, Environment Canada, Ottawa, ON. – P. 1-18.

12. OECD (Organization for Economic Co-operation and Development) Eutrophication of waters. Monitoring assessment and control. Final report. OECD Cooperative Programme on monitoring of Inland Waters (Eutrophication Control), Environment Directorate. Paris, 1982. 154 p.

13. PND F 14.1:2.106-97 Kolichestvennyy khimicheskiy analiz vod. Metodika vypolneniya izmereniy massovoy kontsentratsii fosfora obshchego v probakh prirodnykh i ochishchennykh stochnykh vod fotometri-cheskim metodom posle okisleniya persulfatom. – M.: 1997 (izdanie 2004 g.). – 18 s.

14. Nesbitt Dzh.B. Fosfor v okruzhayushchey srede: per. s angl. / pod red. E. Grifita, A. Bitona, Dzh. Spensera i D. Mitchella / Fosfor i obrabotka stochnykh vod. – M.: Mir, 1977. – S. 706-727.

15. GOST 17.1.4.02-90. Gosudarstvennyy kontrol kachestva vody. Metodika spektrofotometricheskogo opredeleniya khlorofilla a. – M.: Izd-vo standartov, 2003. – S. 587-600.

16. Khenderson-Sellers B., Marklend Kh.R. Umirayushchie ozera: prichiny i kontrol antropogennogo evtrofirovaniya: Per. s angl. / pod red. K.Ya. Kondrateva, N.N. Filatova. – L.: Gidrometeoizdat, 1990. – 278 s.

17. Aponasenko A.D. Relationship of the chlorophyll content with the biomass and disperse structure of phytoplankton / A.D. Aponasenko, L.A. Shchur, V.N. Lopatin // Doklady Biological Sciences. – 2007. – T. 412. – № 1. – S. 61-63.

18. Rukovodstvo po ekspluatatsii. Spektrofotometr PE-5400UF. Pasport BKRE. 941412.001-03RE. Gruppa kompaniy «Ekros». – SPb., 2010. – 35 s.

19. Chapra S.C. Surface Water-Quality Modeling. McGraw-Hill, New York, 1997. P. 844.

20. Dobson H.F., Gilbertson M., Sly P.G. A summary and comparison of nutrients and related water quality in Lakes Erie, Ontario, Huron and Superior // J. Fish. Res. Board Can. – 1974. – Vol. 31 (5). – P. 731-738.

21. Chen M., Li J., Dai X., Sun Y., Chen F. Effect of phosphorus and temperature on chlorophyll a contents and cell sizes of *Scenedesmus obliquus* and *Microcystis aeruginosa* // Limnology. – 2011. – Vol. 12 (2). – P. 187-192.

22. Karlsson J., Bystrom P., Ask J., Ask P., Persson L., Jansson M. Light limitation of nutrient-poor lake ecosystems // Nature. – 2009. – Vol. 460. – P. 506-509.

23. Makarova N.V., Trofimets V.Ya. Statistika v Excel. – M.: Finansy i statistika, 2002. – 368 s.

