

# ТРОФИЧЕСКИЙ СТАТУС КАК ВАЖНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ

## TROPHIC STATUS AS AN IMPORTANT INDICATOR OF THE ECOLOGICAL STATE OF WATER ECOSYSTEMS

**Б. В. Адамович**  
**B. V. Adamovich**

*Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь,  
belaqualab@gmail.com  
Belarusian State University, Minsk, Belarus*

Трофический статус является одной из ключевых характеристик водных экосистем, наиболее адекватно отражающий уровень эвтрофирования природных вод. На примере озер Нарочанского региона показана возможность использования индекса трофического состояния Карлсона (TSI) для оценки трофности водных объектов Беларуси.

Trophic status is one of the key characteristics of aquatic ecosystems, which most adequately reflects the level of eutrophication of natural waters. We have shown the possibility of using the Carlson trophic state index (TSI) for assessment of the trophicity of surface waters in Belarus on the example of the lakes of the Naroch region.

*Ключевые слова:* трофический статус, водные экосистемы, озера, индекса трофического состояния.

*Keywords:* trophic status, aquatic ecosystems, lakes, trophic state index.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-7-10>

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-153-155>

Современный трофический статус каждого конкретного водоема определяет исторически сложившаяся совокупность географических и экологических факторов (таких, как характер донных отложений, морфометрия озерной котловины, гидрохимический режим, структура и биогенная нагрузка на водосборную территорию) [1, 2]. Измерение трофического статуса вытекает из концепции Наумана об уровне продуктивности водной экосистемы [3]. Проблема изменения трофического состояния водных объектов особенно обострилась во второй половине 20 века, когда процессы эвтрофирования, т. е. повышения продуктивности водных экосистем преимущественно под действием антропогенных факторов, приобрели глобальный характер. Наиболее объективная оценка экологического состояния и трофического статуса водного объекта возможна только с помощью как можно более полного описания особенностей биологических, химических и физических параметров водоема [4]. Очевидна необходимость численного выражения оценки трофности, что дает возможность сопоставления результатов, полученных разными специалистами на разных объектах. Одним из самых популярных индексов, характеризующих трофическое состояние, является индекс, предложенный Карлсоном [5]. Расчет индекса проводится по трем гидроэкологическим показателям: содержанию в воде хлорофилла а, общего фосфора и прозрачности по диску Секки. В дальнейшем [6] было предложено дополнение индекса в виде оценки трофности по содержанию в воде общего азота. Индекс трофического состояния рассчитывают по каждому из предложенных Карлсоном параметров (прозрачность по диску Секки, концентрации хлорофилла-а и общего фосфора) по формулам (2–4), описывающим логарифмические кривые изменения индекса [7].

$$TSI_{SD} = -14,388 \ln(SD) + 59,909, \quad (1)$$

где  $TSI_{SD}$  – индекс трофности, рассчитанный по прозрачности воды;  
 $SD$  – прозрачность по диску Секки, м.

$$TSI_{TP} = 14,427 \ln(TP) + 4,1504, \quad (2)$$

где  $TSI_{TP}$  – индекс трофности, рассчитанный по общему фосфору;  
 $TP$  – содержание в воде общего фосфора, мг/м<sup>3</sup>.

$$TSI_{Chl.a} = 9,7552 \ln(Chl.a) + 30,913, \quad (3)$$

где  $TSI_{Chl.a}$  – индекс трофности, рассчитанный по хлорофиллу-а;  
 $Chl.a$  – содержание в воде хлорофилла-а, мг/м<sup>3</sup>.

В качестве интегрированного значения взято среднее из трех рассчитанных индексов по формуле (4).

$$TSI = \frac{TSI_{TP} + TSI_{Chl.a} + TSI_{SD}}{3}. \quad (4)$$

Карлсоном были предложены формулы расчета индекса по каждому из показателей, т. е. каждый вариант индекса является фактически самостоятельным и может служить численной мерой выражения трофического статуса водного объекта. Так, были получены хорошие результаты при оценке водохранилищ с использованием индек-

са, рассчитанного только по общему фосфору [8]. Выбор этого показателя был обоснован тем, что именно фосфору принадлежит ключевая роль в процессе эвтрофирования поверхностных вод. Кроме того, не обнаружено связи между ТР и площадью водоема, что также свидетельствует об объективности этого показателя для оценки трофического статуса. Однако отмечено, что наиболее объективным компонентом при определении только по одному индексу, является содержание хлорофилла, затем следует фосфор [8]. Использование в расчете индекса Карлсона концентрации общего фосфора базируется на предположении, что из всех биогенных элементов лимитирующим фактором является именно фосфор [9–12]. Определение концентрации хлорофилла а – главного фотосинтетического пигмента – является одним из ключевых подходов в оценке продуктивности и экологического состояния водных экосистем.

Современный трофический статус озер НП «Нарочанский» был оценен на основании индекса трофического состояния Карлсона (TSI) по данным о содержании общего фосфора и хлорофилла а, полученным за период 2014–2019 гг. Для озер (Нарочь, Мястро, Баторино, Белое, Б. Швакшты, Рудаково, Свирь, Ходосы) использованы данные интегральных проб воды, отобранные в рамках мониторинговых наблюдений. Для остальных озер НП «Нарочанский» использованы данные одного или нескольких отборов проб в летний период (июль, август) в поверхностном слое воды (0,5 м). Использование летних величин, полученных в период максимальных температур, позволяет провести градацию и сравнение всех водоемов Национального парка по ключевым гидроэкологическим показателям столба воды. Выбор этих показателей обусловлен тем, что именно фосфору и азоту принадлежит ключевая роль в процессе эвтрофирования поверхностных вод. Распределение концентраций общего азота, фосфора и хлорофилла свидетельствует о том, что азот не является определяющим в формировании трофического статуса озер Национального парка. Как в большинстве европейских озер в зоне умеренного климата, эта роль принадлежит фосфору.

Из рисунка 1 видно, что озера Нарочанского региона охватывают широкий диапазон трофности. По уровню трофности озера Национального парка находятся в пределах от олиготрофных, до фактически гипертрофных условий. Можно сказать, что экосистемы озер, находящиеся выше и на границе эвтрофной зоны, испытывают сильную и устойчивую биогенную нагрузку, что приводит к уменьшению рекреационной привлекательности и снижению, в традиционном понимании, качества воды.

Трофический статус является одной из ключевых характеристик водного объекта, наиболее адекватно отражающей уровень эвтрофирования природных вод. Из различных вариантов оценки трофического статуса нами использован Индекс трофического состояния Карлсона (TSI). Также в ряде наших работ предложены варианты расчета этого индекса по ряду показателей, таких, как биомасса фитопланктона, концентрация сестона, общего углерода и БПК<sub>5</sub> [9], не используемых Р.Карлсоном в первоначальном варианте расчета индекса. Как показали наши многолетние исследования на озерах Нарочанской группы, адекватным показателем для оценки трофности водоема является численность бактериопланктона [13], причем консервативность сезонной динамики этого показателя позволяет нивелировать вариабельность при сравнении водоемов, трофность которых оценена в разное время вегетационного сезона. Численные оценки при расчете индекса по разным показателям хорошо соотносятся между собой. Целесообразным является введение показателя трофического статуса в структуру мониторинга поверхностных вод, что подтверждается общемировой практикой.

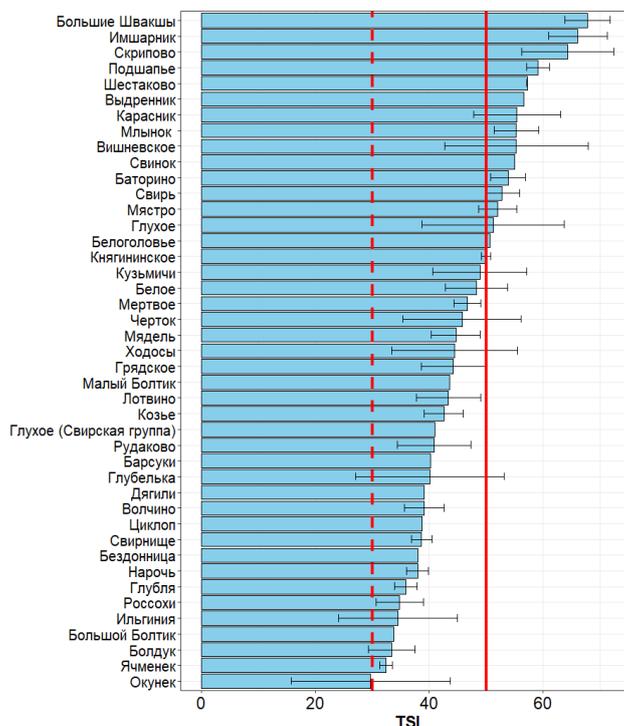


Рис. 1 – Значения индекса трофического состояния Карлсона для озер НП «Нарочанский» (среднее ± стандартное отклонение); пунктирной линией обозначена условная граница олиготрофной и мезотрофной, сплошной линией – мезотрофной и эвтрофной зон

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Dodds, W.K.* Expanding the concept of trophic state in aquatic ecosystems: It's not just the autotrophs / W.K. Dodds, J.J. Cole // *Aquatic Science*. – 2007. – V. 69. – P. 427–439.
2. *Karatayev A. Y.* Community analysis of Belarusian lakes: relationship of species diversity to morphology, hydrology and land use / A. Y. Karatayev, L. E. Burlakova, S. I. Dodson // *Journal of Plankton Research*. – 2005. – V. 27. – P. 1045–1053.
3. *Nauman, E.* Ziel und Hauptprobleme der regionalen Limnologie / E. Nauman, // *Botaniska Notiser*. – 1927. – Lund. – P. 81–103.
4. *Fruh, E. G.* Measurements of eutrophication and trends / E. G. Fruh, K. M. Stewart, G.F. Lee, G. A. Rohlich // *J. Water. Poll. Contr. Fed.* – 1966. – Vol. 38. – P. 1237–1258.
5. *Carlson, R.E.* A trophic state index for lakes // *Limnol. Oceanog.* 1977. – 11. – P. 361–369.
6. *Kratzer, C.R.* A Carlson-type trophic state index for nitrogen in Florida Lakes / C.R. Kratzer, P.L. Brezonik // *Water Res. Bull.* – 1981. – 17. – P. 713–715.
7. Long-term variations of the trophic state index in the Narochanskies lakes and its relation with the major hydroecological parameters / B.V. Adamovich, T.V. Zhukova, T.M. Mikheeva [et al] // *Water Resources*. – 2016. – 43. – 5. – P. 809–817.
8. *Boavida, M.J.* Total phosphorus as an indicator of trophic state of portuguese reservoirs / M.J. Boavida, R.T. Marques // *Limnologia*. – 1996. – 12. – 2. – P. 31–37.
9. *Vollenweider R.A.* Advances in defining critical loading levels for phosphorus in lake eutrophication // *Memorie dell'Istituto Italiano di Idrobiologia*. – 1976. – 33. P. – 53–83.
10. *Matthews, R.* Determining trophic state in lake Whatcom, Washington (USA), a soft water lake exhibiting seasonal nitrogen limitation / R. Matthews, M. Hilles, G. Pelletier // *Hydrobiologia*. – 2002. – 468. – P.107–121.
11. *Rekolainen, S.* Rapid decline of dissolved nitrogen in Finnish lakes / S.Rekolainen, S.Mitikka, J.Vuorenmaa, M. Johansson // *J. Hydrol.* – 2005. – 304. – P. 94–102.
12. *Wetzel R G.* *Limnology. Lake and River Ecosystems.* San Diego, California. Academic Press. – 2001. – 1006 p.
13. Relations between variations in the lake bacterioplankton abundance and the lake trophic state: Evidence from the 20-year monitoring / B.V.Adamovich, A.B.Medvinsky, L.V.Nikitina [et al] // *Ecological Indicators*. – 2019. – V. 97. – P. 120–129.

*Исследования проведены при поддержке БРРФИ (грант № Б20У-003).*

## СОЛНЕЧНЫЕ ВСПЫШКИ И МЕТОДЫ ИХ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ SOLAR FLARES AND THEIR PREDICTION METHODS

**О. М. Бояркин, А.В. Капская**  
**O. Boyarkin, A. Kapskaya**

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ,  
г. Минск, Республика Беларусь  
kapskayaa@mail.ru  
Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

Предсказание солнечных вспышек - важная задача физики Солнца. Возникновение солнечных вспышек сильно зависит от структуры и топологии магнитных полей Солнца. Вызванные солнечными вспышками возмущения влияют на работу наземных средств связи, навигации, оповещения, нарушения в функционировании бортовой электронной аппаратуры на космических объектах и самолетах. В связи с этими факторами стоит вопрос о прогнозировании данного явления. В данной работе мы исследовали процесс возникновения солнечных вспышек, разработку методов их прогнозирования и сложности, которые при этом возникают, а также представили одни из самых распространенных методов предсказания солнечных вспышек.

Predicting solar flares is an important task in solar physics. The occurrence of solar flares is highly dependent on the structure and topology of the Sun's magnetic fields. Disturbances caused by solar flares affect the operation of ground-based communications, navigation, warning systems, disrupt the functioning of on-board electronic equipment on space objects and aircrafts. In connection with these factors, there is an issue of predicting this phenomenon. This work investigates the process of occurrence of solar flares, the development of methods for predicting them and the difficulties that arise in this case. Also it presents one of the most common methods of solar flares.