

## ТРОФИЧЕСКИЙ СТАТУС ОЗЕР КАЗАХСТАНА

*Разработана методика предсказания трофического статуса озер Казахстана в вегетационный период по данным мониторинга в зимний период. Выявлена статистически значимая однопараметрическая линейная зависимость между средними за год концентрациями фосфора общего (ТР) и значениями содержания фосфора минерального (IP) в феврале. Разработана классификация трофического статуса озер Казахстана.*

**Ключевые слова:**

*озера Казахстана, прогнозирование, фосфор минеральный, фосфор общий, эвтрофирование.*

Среди современных проблем водной экологии центральное место занимает проблема эвтрофирования [6] (синонимы: эвтрофикация, эвтрофирование, эвтрофикация). Согласно ГОСТу 17.1.1.01-77, «эвтрофированием называется повышение биологической продуктивности водных объектов в результате накопления биогенных элементов под действием антропогенных или естественных факторов». Международная организация по стандартизации предлагает иное определение: обогащение воды биогенными веществами, особенно азотом и фосфором, что ускоряет рост водорослей и высших форм растительной жизни.

Поскольку эвтрофирование водоемов стало серьезной глобальной экологической проблемой, по линии ЮНЕСКО проводятся работы по мониторингу внутренних вод, контролю за эвтрофированием водоемов Земного шара.

На территории Казахстана расположено 48262 озера, из которых 45248 относятся к малым (площадь менее 1 км<sup>2</sup>). Крупных озер (площадь более 10 км<sup>2</sup>) – 296, размером более 100 км<sup>2</sup> – 21. Последние составляют 60% водной поверхности всех озер Казахстана. Разнообразие рельефа и климатических условий Казахстана обуславливает неравномерность распределения поверхностных вод на его площади. Очень мало озер в пустынных районах, гораздо больше – на севере страны и в горах. Они удалены одно от другого на сотни километров или расположены настолько густо, что образуют озерные области, например в северной части Казахстана [3]. Наибольшее число озер расположено на высоте 1400–2800 м. Ниже и выше этого уровня количество озер резко уменьшается. В местах ниже 1400 м сильно проявляющаяся водная эрозия препятствует образованию озер. В увлажненных районах находится большое количество озер, но преобладают пресные. В районах с сухим климатом озер мало, и они, как правило, мелководные, непроточные, соленые, летом

чаще всего высыхают. Например, в лесостепной зоне находится 740 озер площадью менее 1 км<sup>2</sup>, из них пресных и солоноватых в 6 раз больше, чем озер с соленой водой. К югу количество пресноводных озер уменьшается, а соленых увеличивается.

Мелководные озера подвержены интенсивным процессам антропогенного эвтрофирования. Эвтрофирование представляет собой естественный процесс эволюции водоема. С момента «рождения» водоема в естественных условиях проходит несколько стадий в своем развитии: на ранних стадиях – от ультраолиготрофного до олиготрофного, далее становится мезотрофным и, в конце концов, водоем превращается в эвтрофный и гиперэвтрофный – происходит «старение» и гибель водоема с образованием болота. Однако под воздействием хозяйственной деятельности этот естественный процесс приобретает специфические черты, становится антропогенным. Резко возрастают скорость и интенсивность повышения продуктивности экосистем. Так, если в естественных условиях эвтрофирование какого-либо озера протекает за время 1000 лет и более, то в результате антропогенного воздействия это может произойти в сто и даже тысячу раз быстрее. Быстро растущая популяция водорослей вызывает так называемое «цветение воды».

Особого рассмотрения в эвтрофировании водных объектов заслуживает роль фосфора (в форме фосфатов), так как он не содержится в атмосфере, а резервный фонд его находится в земной коре. Длительное время именно фосфор как труднодоступный элемент лимитировал процесс эвтрофирования. В настоящее время концентрация растворенных фосфатов в бытовых стоках возрастает вследствие применения фосфорсодержащих моющих средств. Много фосфатов содержат бытовые сточные воды; половина их поступает в виде конечных продуктов обмена человеческого организма и 20–30% – от моющих средств.

**Распределение концентраций  
минерального и общего фосфора  
в некоторых озерах Казахстана**

Озеро	Год	IP, мкг/дм <sup>3</sup>	TP, мкг/дм <sup>3</sup>
Копа	2012	12	69,5
Бурабай	2012	5	25,0
Улькен Шабакты	2012	6	21,5
Шортан	2012	8	25,3
Зеренда	2012	7	38,5
Карасу	2012	10	32,6
Майбалык	2012	61	169,0
Султанкельды	2012	10	49,7
Копа	2011	25	77,0
Улькен Шабакты	2011	7	20,0
Майбалык	2011	83	184,0
Султанкельды	2011	42	113,0
Зеренда	2011	12	33,0
Киши Шабакты	2011	10	62,0
Боровое	2010	6	24,0
Улькен Шабакты	2010	9	21,0
Шортан	2010	14	30,0
Копа	2009	8	36,0
Боровое	2009	7	12,0
Улькен Шабакты	2009	4	10,0
Шортан	2009	4	13,0
Малое Чебачье	2009	11	23,0
Копа	2008	5	26,0
Копа	2006	9	34,0
Боровое	2006	10	12,0
Улькен Шабакты	2006	6	12,0
Копа	2005	10	44,0
Боровое	2005	9	19,0
Шортан	2005	11	23,0

Большое количество фосфатов дает смыв удобрений с полей и других сельскохозяйственных угодий. По имеющимся данным, сточные воды после биологической очистки обогащаются минеральными формами азота и фосфора. Принято считать, что «цветение воды» становится вероятным, когда содержание минерального азота превышает 0,3–0,5 мг/дм<sup>3</sup>, а минерального фосфора – 0,01–0,03 мг/дм<sup>3</sup> [7].

В связи с изложенным, цель данного исследования заключалась в разработке методики предсказания (прогнозирования) трофического статуса озер в вегетационный период по данным мониторинга в зимний период. Прогнозирование экологическое – научное предвидение возможного состояния природных экосистем и окружающей среды, определяемого естественными процессами и антропогенными факторами. По заблаговременности в соответствии с темпами развития прогнозируемых явлений научно-технические прогнозы подразделяются на оперативные (до 3 месяцев), краткосрочные (до 1 года), среднесрочные (на 1–5 лет), долгосрочные (на 5–20 лет), сверхдолгосрочные (более чем на 20 лет) [4].

#### Материалы и методы исследования

Исследование базируется на краткосрочном прогнозе (на несколько месяцев), то есть на прогнозе трофического статуса озер Казахстана в вегетационный период.

Для оценки трофического статуса озер была использована классификация, разработанная OECD [8] (табл. 1).

Таблица 1

#### Классификация трофического статуса озер по среднему за год содержанию фосфора общего (TP)

Трофический статус	Концентрация фосфора общего, мкг/дм <sup>3</sup>
Олиготрофный	<10
Мезотрофный	10–35
Эвтрофный	35–100
Гипертрофный	>100

Первичные данные для анализа были заимствованы из ежегодников химической лаборатории государственного предприятия «Центр гидрометеорологического мониторинга» РГП Казгидромет, входящего в состав Министерства экологии и охраны окружающей среды Республики Казахстан (табл. 2).

Для последующего анализа были использованы концентрации минерального фосфора (IP) в феврале и средние за год концентрации общего фосфора (TP).

#### Результаты и их обсуждение

По данным из таблицы 2 была выявлена статистически значимая однопараметрическая линейная зависимость между средними за год концентрациями фосфора общего (TP) и значениями содержания фосфора минерального в феврале (см. также рис. 1):

$$TP = 9,7 + 2,3 \cdot IP \quad (1)$$

$$n = 29; r = 0,95; r^2 = 0,91; \sigma_{y(x)} = 13,5;$$

$$F_p = 260; F_T = 4,2; F_p/F_T = 61,9$$

Здесь  $n$  – количество наблюдений,  $r$  – коэффициент корреляции, характеризующий тесноту связи между переменными,  $r^2$  – коэффициент детерминации, характеризующий объяснимую долю разброса,  $\sigma_{y(x)}$  – стандартная ошибка,  $F_p$  и  $F_T$  – расчетное и табличное (при уровне значимости 95%) значения критерия Фишера.

Согласно шкале Чеддока [2], приведенное значение коэффициента корреляции свидетельствует о весьма высокой тесноте связи между ТР и ИР. Кроме того, как следует из приведенных статистических характеристик, аналитическое уравнение (1) адекватно ( $F_p > F_T$ ) и может быть использовано для предсказания средних за год концентраций фосфора общего, так как  $F_p/F_T > 4$  [1].

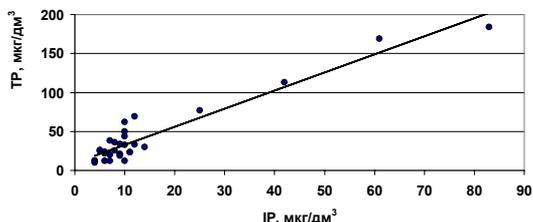


Рис. 1. Зависимость средних за год концентраций фосфора общего от величин содержания фосфора минерального в феврале.

На основе табл. 1 и формулы (1) была разработана классификация трофического статуса озер Казахстана в зависимости от значений фосфора минерального в феврале (табл. 3).

Таблица 3

#### Классификация трофического статуса озер Казахстана

ИР, мкг·дм <sup>-3</sup> (в феврале)	ТР, мкг·дм <sup>-3</sup> (в вегетационный период)	Трофический статус
<0,13	<10	олиготрофный
0,13–11	10–35	мезотрофный
11–39,3	35–100	эвтрофный
>39,3	>100	гипертрофный

Из данных, приведенных в табл. 3, следует, что если в феврале концентрации фосфора минерального меньше 0,13 мкг·дм<sup>-3</sup>, то прогнозируемый трофический статус озера будет олиготрофным. Если в феврале концентрации фосфора минераль-

ного будут варьировать от 0,13 мкг·дм<sup>-3</sup> до 11 мкг·дм<sup>-3</sup>, то прогнозируемый трофический статус озера будет мезотрофным. Если в феврале концентрации фосфора минерального будут варьировать от 11 мкг·дм<sup>-3</sup> до 39,3 мкг·дм<sup>-3</sup>, то прогнозируемый трофический статус озера будет эвтрофным. В том случае, если содержание фосфора минерального в феврале будет превышать 39,3 мкг·дм<sup>-3</sup>, то прогнозируемый статус озера в вегетационный период характеризуется как гипертрофный.

Прогнозирование трофического статуса озер Казахстана проводится на основе алгоритма, приведенного на рис. 2.

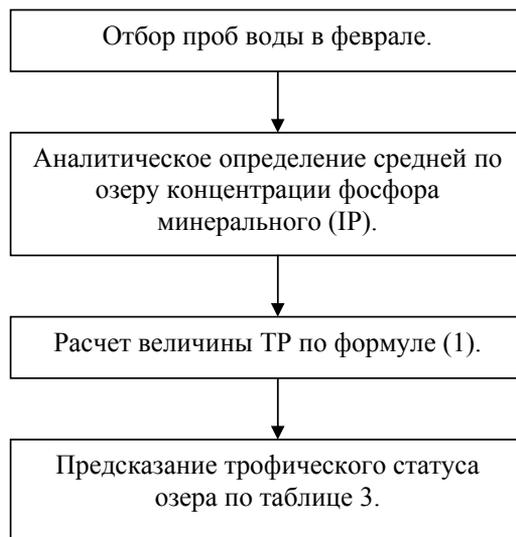


Рис. 2. Алгоритм прогнозирования трофического статуса озер Казахстана.

**Вывод.** Линейная зависимость между средними за год концентрациями фосфора общего (ТР) и значениями содержания фосфора минерального в феврале (ИР), может быть использована для краткосрочного прогнозирования трофического статуса озер Казахстана.

#### Список литературы:

- [1] Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. – М.: Статистика, 1973. – 392 с.
- [2] Макарова Н.В., Трофимец В.Я. Статистика в Excel. – М.: Финансы и статистика, 2002. – С.252.
- [3] Мякишева Н.В., Жуманглиева З.М. Особенности морфометрии и пространственного распределения озер Казахстана // Ученые записки РГГМУ. – 2013, № 29. – С. 17–28.
- [4] Справочник по гидрохимии / Под ред. А.М. Никанорова. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 391 с.
- [5] Фрумин Г.Т., Хуан Жэнь-Жэнь. Термодинамическая оценка состояния водных объектов // Общество. Среда. Развитие. – 2013, № 1. – С. 232–235.
- [6] Хендерсон-Селлерс Б., Маркленд Х.Р. Умирающие озера. Причины и контроль антропогенного эвтрофирования. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 279 с.
- [7] Цветкова Л.И., Алексеев М.И., Кармазинов Ф.В., Неверова-Дзиопик Е.В., Усанов Б.П., Жукова Л.И. Экология / Учебник для техн. вузов. – М.: Изд-во АСВ, СПб.: Химиздат, 2001. – 552 с.
- [8] Galvez-Cloutier R., Sanchez M. Trophic Status Evaluation for 154 Lakes in Quebec, Canada. Monitoring and Recommendations // Water Qual. Res. J. Canada. Vol. 42. – 2007, № 4. – P. 252–268.