

# ВОДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ

Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии.  
2021. – Т. 30. – № 1. – С. 60-65.

УДК 556.551+574.55

DOI 10.24412/2073-1035-2021-10377

## ПРИРОДНЫЕ ПАРКИ «АСЛЫ-КУЛЬ» И «КАНДРЫ-КУЛЬ» (РЕСПУБЛИКА БАШКОРТОСТАН, РОССИЯ): ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ВОДЫ ОЗЕР И ИХ ТРОФИЧЕСКИЙ СТАТУС

© 2021 М.В. Уманская, М.Ю. Горбунов, Е.С. Краснова

Самарский федеральный исследовательский центр РАН,  
Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти (Россия)

Поступила 25.10.2020

**Уманская М.В., Горбунов М.Ю., Краснова Е.С. Природные парки «Аслы-Куль» и «Кандры-Куль» (Республика Башкортостан, Россия): химический состав воды озер и их трофический статус.** Крупнейшие карстовые озера Южного Предуралья, оз. Аслы-Куль и Кандры-Куль, являются гидрологическими памятниками природы. Они имеют сильноминерализованную воду с сульфатным типом минерализации. В оз. Аслы-Куль основным катионом является натрий, а в оз. Кандры-Куль – магний. Основной ионный состав озер остается стабильным на протяжении последних 50 лет. В оз. Кандры-Куль наблюдается летняя термическая стратификация, а оз. Аслы-Куль – полностью перемешивается. Практически вся водная масса обоих озер хорошо аэрирована, концентрация растворенного кислорода в поверхностных слоях воды в пелагиали достигала 11,4 мг/л, а в литорали – 18,5 мг/л. Только в середине лета в придонных слоях озера Кандры-Куль концентрация кислорода может снизиться до 2,5 мг/л. По средней концентрации общего фосфора озера являются мезоэвтрофными, а по среднему содержанию хлорофилла *a* – олигомезотрофными. Усиление рекреационной и другой деятельности человека на территориях природных парков может увеличить продуктивность озер, что неизбежно значительно снизит их рекреационную привлекательность, а также повлияет на существующие экосистемы озер и их водосборов.  
*Ключевые слова:* гидрохимия, трофический статус, карстовые озера.

**Umanskaya M.V., Gorbunov M.Yu., Krasnova E.S. Natural parks "Asly-Kul" and "Kandry-Kul" (Republic of Bashkortostan, Russia): water chemical composition and trophic status of protected lakes.** Lakes Asly-Kul and Kandry-Kul are the hydrological natural monuments of Bashkortostan Republic and the largest karst lakes in the Southern Urals. They have highly mineralized water with a sulfate type of mineralization. In the Lake Asly-Kul the main cation is sodium, and in the Lake Kandry-Kul – magnesium. The major ion composition of the lakes has remained stable over the past 50 years. Summer thermal stratification is observed in Lake Kandry-Kul, the Lake Asly-Kul is completely mixed. Almost whole water mass of both lakes is well aerated, the concentration of dissolved oxygen in the surface layers of water in the pelagic zone reached 11,4 mg/L and in the littoral zone – 18,5 mg/L. Only in midsummer, in the bottom layers of the Lake Kandry-Kul oxygen concentration could decrease to 2,5 mg/L. According to the average total phosphorus concentration, the lakes are mesoeutrophic, and judging by the average chlorophyll *a* concentration they are oligomesotrophic. Strengthening the recreational and other human activity on the Natural Parks territories might increase the productivity of lakes, which will inevitably significantly reduce their recreational attractiveness, and severally affect the existing ecosystems of the lakes and there catchments.  
*Key words:* hydrochemistry, trophic status, karst lakes.

Аслы-Куль и Кандры-Куль – два самых крупных карстовых озера в Республике Башкортостан.

Уманская Марина Викторовна, старший научный сотрудник, кандидат биологических наук, mvu@fromgu.com; Горбунов Михаил Юрьевич, старший научный сотрудник, кандидат биологических наук; Краснова Екатерина Сергеевна, младший научный сотрудник, krasnova-eck@mail.ru

В настоящее время оба озера с прилегающими территориями являются природными парками с очень высоким уровнем рекреационной нагрузки на водные экосистемы. Для планирования уровня рекреационной нагрузки, возможностей использования озер в рыбохозяйственных целях без ущерба для состояния водных экосистем и сохранения их эстетической и рекреационной привле-

кательности необходимо проведение систематических и планомерных исследований по гидрологии, гидрохимии и гидробиологии оз. Аслы-Куль и Кандры-Куль. Тем не менее, исследования такого типа немногочисленны, и в настоящей работе мы представляем оценку химического состава воды и трофического состояния озер по результатам экспедиций 2010 и 2012 гг.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Оба озера расположены в западной части Республики Башкортостан, в лесостепном ландшафте (рис. 1) и незначительно различаются по морфометрическим характеристикам (табл. 1).

Отбор проб проводили 23-27.06.2010; 30.08-02.09.2010; 26-30.05.2012; 17-22.07.2012 и 17-21.09.2012. В оз. Кандры-Куль пробы отбирали по всей акватории озера, включая пелагиаль и

литораль; а в оз. Аслы-Куль – в центральной части в области максимальных глубин и в северо-западной литорали. Пробы воды отбирали батометром Руттнера объемом 2,5 л, одновременно измеряли прозрачность воды по диску Секки и физико-химические показатели. Гидрохимический анализ проводили стандартными методами [1, 2], концентрацию хлорофилла *a* (Хл *a*) определяли спектрофотометрически по [3]. Трофическое состояние озер оценивали в соответствии со шкалой Карлсона [4], используя индексы трофического состояния (TSI) по прозрачности воды (SD), концентрациям общего фосфора (TP) и Хл *a* (CHL). Считали, что при TSI<30 водоем относится к олиготрофному типу, от 30 до 50 – мезотрофному, а более 50 – эвтрофному.

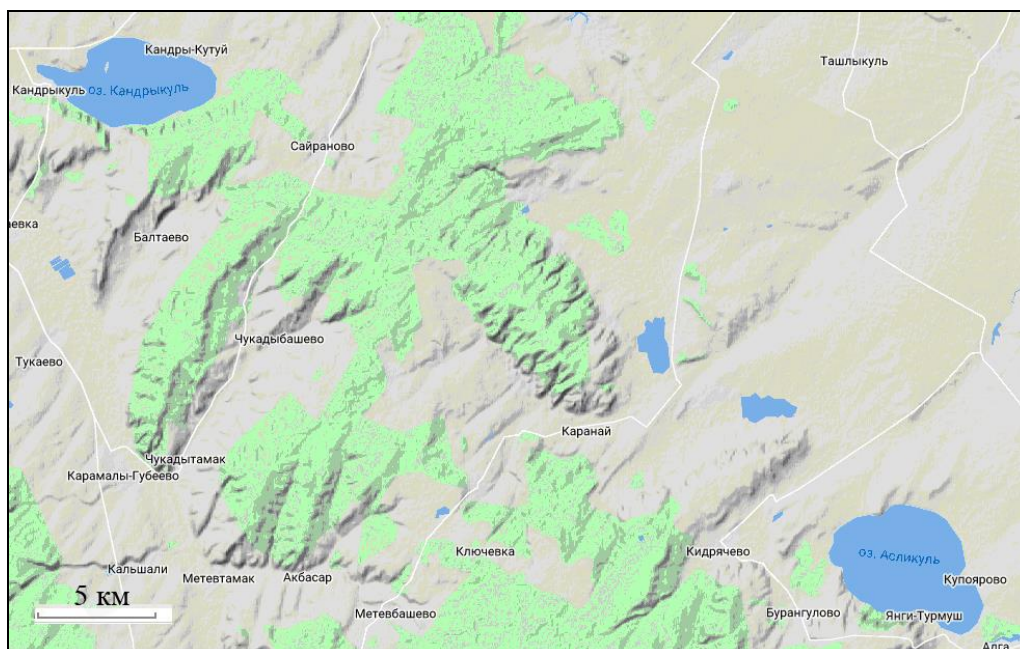


Рис. 1. Карта-схема расположения исследованных озер

Таблица 1

### Морфометрическая характеристика озер

Показатель	Озеро	
	Аслы-Куль	Кандры-Куль
Высота над уровнем моря, м	221	167
Происхождение	Карстово-провальное	Карстово-провальное
Длина × ширина, км	7 × 5	8 × 3,6
Площадь, км <sup>2</sup>	23,5	15,6
Объём, км <sup>3</sup>	0,119	0,1127
Средняя глубина, м	5,1	7,2

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

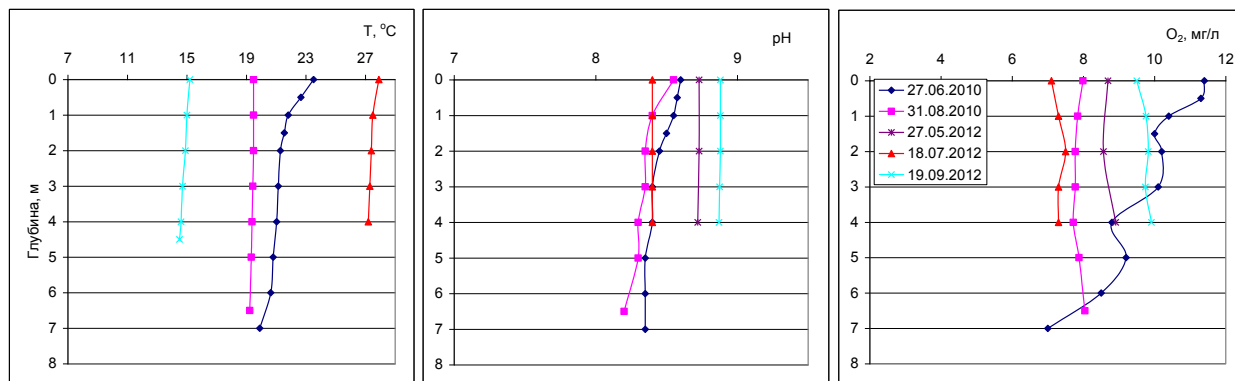
**Физико-химические показатели.** Оз. Кандры-Куль с мая по сентябрь было термически стратифицировано (рис. 2). Зона основного термокли-

на в этот период располагалась в интервале глубин 7-11 м. В конце сентября 2012 г. в озере произошло практически полное выравнивание температур по всему столбу воды. В более мелководном оз. Аслы-Куль термическая стратификация

водной толщи отсутствовала, однако в июне 2010 г. в озере наблюдался небольшой поверхностный термоклин (рис. 2). Вода в литоральной части обоих озер (до глубин 3-3,5 м) прогревалась несколько сильнее, чем в поверхностном слое пелагиали (табл. 2, рис. 2). Температурных различий между поверхностным и придонным слоями воды в литорали не обнаружено.

В оз. Кандры-Куль прозрачность воды изменялась от 3 до 7 м по диску Секки, тогда как в оз. Аслы-Куль – от 1,3 до 3,6 м (табл. 5). Средняя цветность воды в обоих озерах составляла  $\sim 10^{\circ}\text{Pt}$ , следовательно основной вклад в общее поглощение света водной толщей озер вносит биогенное и абиогенное взвешенное вещество.

оз. Аслыкуль



оз. Кандрыкуль

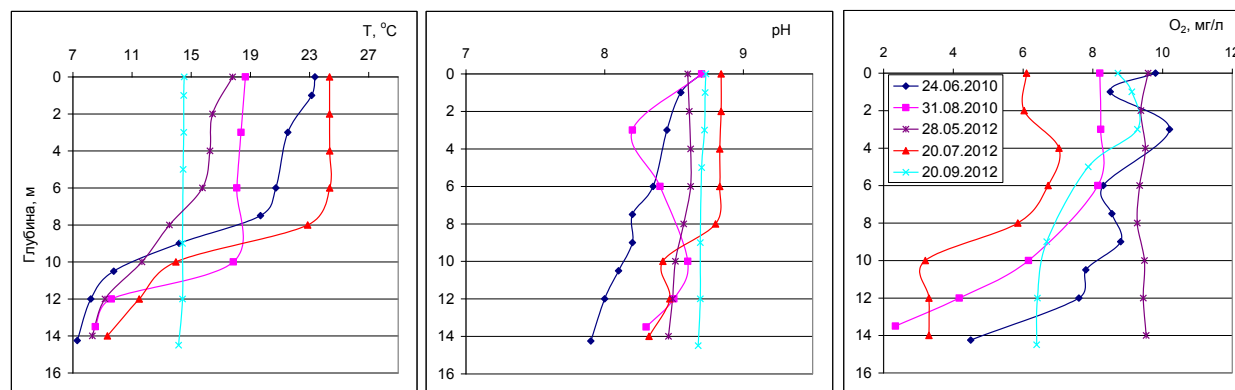


Рис. 2. Вертикальные профили температуры, pH и концентрации растворенного кислорода в пелагиали озер

Таблица 2

Пределы изменения физико-химических показателей в литоральной зоне озер

Период	Озеро					
	Кандры-Куль			Аслы-Куль		
	T, °C	pH	O <sub>2</sub> , мг/л	T, °C	pH	O <sub>2</sub> , мг/л
23-27.06.2010	20,6-29,5	8,4-8,7	8,5-14,0	20,2-21,4	8,5-8,7	11,0-18,5
30.08-02.09.2010	13,7-18,0	8,3-8,9	н/д	18,1-21,0	7,5-8,8	3,3-9,4
26-30.05.2012	12,1-17,1	8,6-8,7	6,2-10,3	16,4-16,6	7,6-8,7	8,5-9,0
17-22.07.2012	15,0-26,4	8,6-9,0	4,0-10,8	н/д	7,0-8,5	н/д
17-21.09.2012	12,7-14,3	8,7-8,8	8,5-11,8	13,2-15,4	8,8-8,9	9,5-9,9

Концентрация растворенного кислорода в поверхностном слое воды обоих озер большую часть периода наблюдений превышала 85% насыщения. Максимальные концентрации кислорода в пелагиали составили 10,2 мг/л (117%) в оз. Кандры-Куль и 11,4 мг/л (135%) – в оз. Аслы-Куль. В литорали содержание растворенного кислорода было несколько выше и достигало 14 мг/л (166%) в оз. Кандры-Куль и 18,5 мг/л в оз.

Аслы-Куль. В придонных слоях воды оз. Кандры-Куль концентрация кислорода снижалась до 2,5-6,0 мг/л и в минимуме составляла всего 20% насыщения (рис. 2). В пелагиали оз. Аслы-Куль, за исключением июня 2010 г., концентрация кислорода во всей водной толще изменялась от 7 до 11,4 мг/л и практически не зависела от горизонта отбора проб (рис. 2). Таким образом, в оз. Аслы-Куль кислородный режим всей водной толщи

является благоприятным для развития рыб и других гидробионтов с высокой потребностью в кислороде. В оз. Кандры-Куль в слоях ниже 8 м, в зоне летнего термоклина и в гипolimнионе, в середине и конце лета могут складываться неблагоприятные кислородные условия.

pH воды во всей водной толще озер в периода наблюдений находился в пределах 7,5-9,5 (рис. 2, табл. 2). Высокие величины Eh, +345 – +410 мВ в оз. Кандры-Куль и +280 – +420 мВ в оз. Аслы-Куль, свидетельствуют о том, что вся водная толща озер находится в окислительных условиях.

**Химический состав воды.** Основной ионный состав воды удобно представлять в виде формул Курлова, показывающих уровень общей минерализации (в г/л) и процентные доли эквивалент-

ных концентраций главных катионов (в числителе) и анионов (в знаменателе). В табл. 3 представлены средние формулы Курлова, рассчитанные по нашим результатам 2010-2012 гг., а также по данным за август-октябрь 1969 г. в оз. Кандры-Куль и марте-октябре 1968 г. в оз. Аслы-Куль из работы Л.Е. Черняевой с соавторами [5]. "HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>" в них обозначает сумму ионов гидрокарбоната и карбоната, соотношение которых в исследованных озерах может варьировать из-за изменения pH даже в течение суток. Как в 1968-1969 гг., так и во время наших исследований сезонные изменения состава воды были очень невелики, а пространственные неоднородности в 2010-2012 гг. – еще менее выраженными.

Таблица 3

Основной ионный состав воды и общая минерализация воды озер

Озеро	1968-1969 гг.	2010-2012 гг.
Кандры-Куль	$M1,122 \frac{Mg53,5Na + K31,7Ca14,8}{SO_4 62,3HCO_3 35,6Cl2,1}$	$M0,989 \frac{Mg55,4Na + K32,3Ca12,4}{SO_4 59,2HCO_3 37,5Cl3,3}$
Аслы-Куль	$M1,956 \frac{Na + K60,3Mg33,7Ca6,0}{SO_4 64,2HCO_3 30,0Cl5,9}$	$M1,835 \frac{Na + K58,1Mg35,8Ca6,0}{SO_4 62,7HCO_3 31,4Cl5,9}$

Как видно из представленных данных, за прошедшие 50 лет в обоих озерах произошло небольшое опреснение воды, причем соотношение основных ионов осталось практически прежним. В обоих озерах в составе анионов преобладают сульфаты, а среди катионов – магний в оз. Кандры-Куль и натрий в оз. Аслы-Куль.

Концентрации сульфатов и магния в обоих водоемах превышают водохозяйственные ПДК, и эти ионы рассматриваются природоохранными органами как основные загрязнители воды озер. Поэтому необходимо подчеркнуть, что существующий основной состав воды озер, по всей видимости, является естественным, и современные экосистемы озер формировались именно при таком соотношении ионов. То же самое относится и к величине pH. Попытки приведения величины pH «в соответствие с ПДК», без сомнения, будут являться сильным стрессорным воздействием для экосистем оз. Кандры-Куль и Аслы-Куль, и могут привести к непредсказуемым последствиям.

**Трофической статус озер** – это обобщенная характеристика продуктивности водоемов, т.е., их удельной первичной продукции. Индекс трофического статуса Карлсона рассчитывается по трем показателям, прозрачности воды, концентрации общего фосфора и концентрации Хл *a*. В целом, на большой выборке озер, результаты, получаемые по этим трем параметрам, хорошо коррелируют, поскольку прозрачность определяется в основном развитием фитопланктона, а оно, в

свою очередь, лимитируется доступностью фосфора. Однако в отдельных водоемах могут наблюдаться значительные отклонения, поскольку прозрачность определяется не только развитием фитопланктона, но и, например, взвешенными веществами различного происхождения, а также окрашенными органическими соединениями. Фосфор может недоиспользоваться из-за лимитирования другими факторами (например, светом или азотом), конкуренции фитопланктона с высшей водной растительностью или токсическим факторами [4, 6].

В исследованных озерах из-за пространственно-временных колебаний, TSI на разных станциях и в разные даты могут сильно различаться, попадая в различные градации трофической шкалы (табл. 4, рис. 3), причем индексы трофического состояния, рассчитанные по отдельным показателям, довольно слабо согласуются между собой. При этом TSI, рассчитанные по концентрации Хл *a* ("реализованная продуктивность"), существенно ниже, чем показатели, рассчитанные по двум остальным параметрам. Т.о., "потенциальная" продуктивность, оцениваемая по TSI<sub>p</sub>, используется в них не полностью, и планктон развивается в условиях заметного избытка фосфора. Содержание общего фосфора в обоих озерах изменяется в широких пределах, от 3,9 до 81 мкг P/л (табл. 5), однако средние величины выше в оз. Кандры-Куль.

Различия между уровнем продуктивности в пелагиали и литорали в оз. Аслы-Куль отсут-

ствуют, а в оз. Кандры-Куль выражены слабо. Концентрация Хл *a* (средняя и максимальная) была выше в оз. Кандры-Куль, однако и диапазон изменений концентрации Хл *a* в нем был шире (табл. 5). В оз. Аслы-Куль различия между концентрациями Хл *a* на разных станциях были

относительно невелики (КВ = 32%), что может быть связано с меньшим числом проб, чем в оз. Кандры-Куль, либо отражает более сильное перемешивание водной массы оз. Аслы-Куль, по сравнению с оз. Кандры-Куль.

Таблица 4

Средние и медианные индексы трофического состояния литоральной и пелагической частей исследованных озер

Часть озера	Озеро					
	Аслы-Куль			Кандры-Куль		
	Индекс					
	TSI(TP)	TSI(CHL)	TSI(SD)	TSI(TP)	TSI(CHL)	TSI(SD)
литораль	52 (45)*	28 (27)	50 (53)	55 (55)	40 (35)	47
пелагиаль	49 (46)	28 (28)	50 (53)	53 (48)	36 (35)	39
все озеро	51 (45)	28 (28)	50 (53)	54 (50)	38 (35)	43
статус	Э	О	Э	Э	М	М

Примечание: \* – в скобках указана медианная величина индекса.

Таблица 5

Основные показатели трофического состояния озер

Озеро	Показатель	Мин	Макс	Медиана	Среднее	Кв,%
Аслы-Куль	общий фосфор, мкг р/л	3,96	72,75	17,36	25,36	73
	хл <i>a</i> , мкг/л	0,36	1,49	0,75	0,77	32
	прозрачность, м	1,3	3,6	1,6	2,0	46
Кандры-Куль	общий фосфор, мкг р/л	3,93	80,61	23,59	31,64	62
	хл <i>a</i> , мкг/л	0,17	22,74	1,56	2,05	113
	прозрачность, м	3,0	7,0	3,8	4,0	34

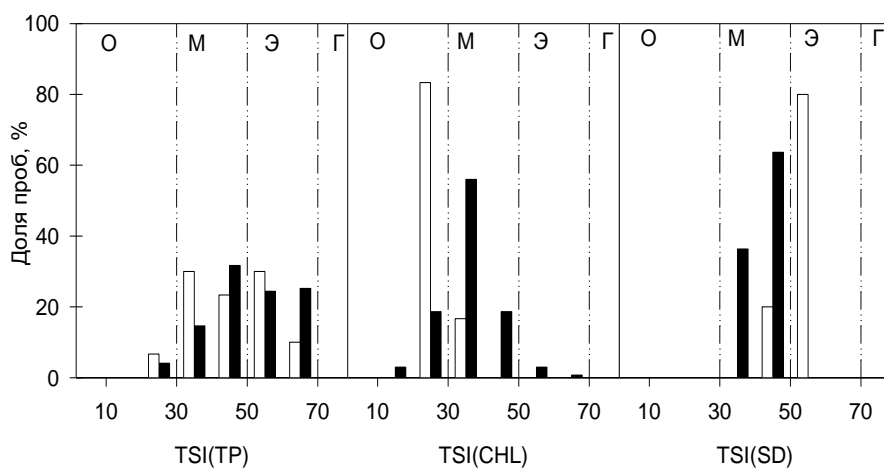


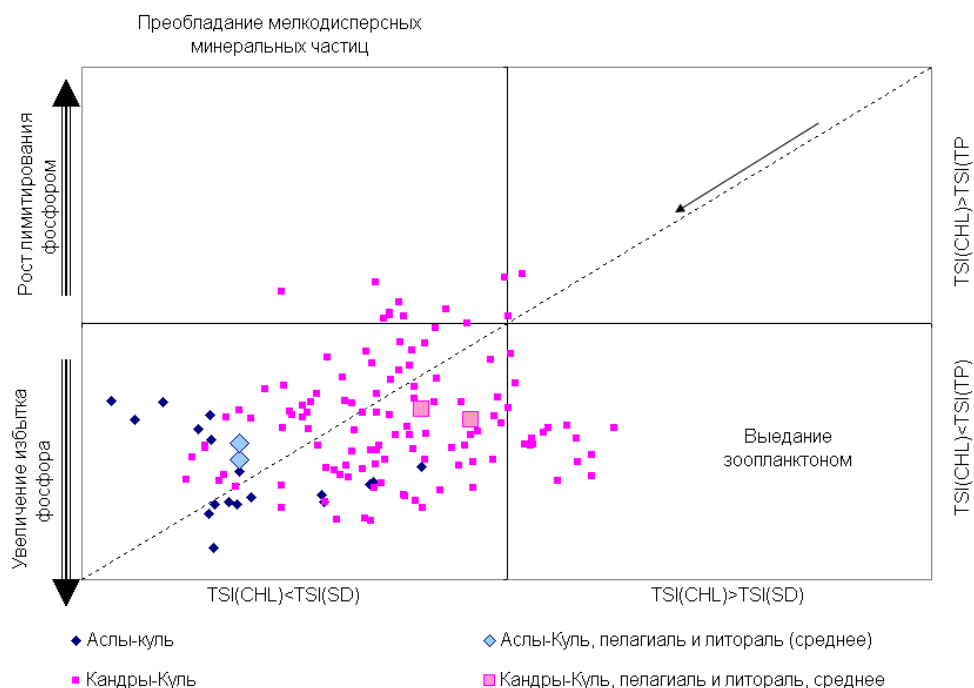
Рис. 3. Распределение числа проб по грациям трофности в озерах (черный столбик – оз. Кандры-Куль, белый столбик – оз. Аслы-Куль; О – олиготрофный, М – мезотрофный, Э – эвтрофный, Г – гипертрофный)

Анализ соотношения индексов между собой (по [6]) показал, причиной низкой реализованной прозрачности в обоих озерах является существенный вклад неводородоселевого светорассеяния мелкодисперсными взвешенными частицами. Оно особенно значимо в оз. Аслы-Куль (рис. 4), видимо, из-за интенсивной волновой эрозии мелководий и береговой зоны. В оз. Кандры-Куль это явление менее выражено, но в состав минеральной

взвеси, вероятно, вносит вклад осаждение кальцита в пелагической зоне. Дополнительным фактором, снижающим концентрацию Хл *a* в нем служит выедание водорослей зоопланктоном. Кроме того, в некоторых условиях, особенно в прибрежье, в оз. Кандры-Куль наблюдаются локальные вспышки развития фитопланктона, которые лимитируются только концентрацией общего фосфора. В оз. Аслы-Куль все эти факторы незначимы, ве-

роятно, из-за того, что минеральная взвесь препятствует значительному развитию фильтраторов,

а застойные явления в литоральной зоне редки из-за слабого развития макрофитного пояса.



**Рис. 4. Распределение проб по соотношению TSI(CHL) к TSI(SD) и TSI(TP). Направление диагональной стрелки на диаграмме указывает на возрастание доли неводорослевого рассеяния в общем светорассеянии в озерах.**

Таким образом, концентрация фосфора в озере (указывающая на потенциальную продуктивность) в обоих озера соответствует мезотрофно-эвтрофным условиям. Однако, содержание Хл *a* (реализованная продуктивность) в оз. Аслы-Куль соответствует олиготрофным условиям, а в оз. Кандры-Куль – олигомезотрофным (табл. 4, 5, рис. 3). Изменения, происходившие в экосистемах озер с 2010 по 2012 гг. показали, что в них существует слабовыраженная тенденция роста реализованной продуктивности. Исходя из этого, можно считать, что при любых внезапных изменениях существующих условий в обоих озерах можно ожидать взрывного увеличения фитопланктона, вплоть до локальных «цветений».

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Стабильное состояние озерных экосистем, вместе с сохранением их рекреационной привлекательности, может быть обеспечено только при условии максимального снижения внешней фосфорной нагрузки и поддержания оптимального уровня развития макрофитов. Необходимо помнить, что предлагая и проводя любые мероприятия в границах Природных парков «Кандры-Куль» и «Аслы-Куль», следует исходить из того, что задача сохранения экосистемы озера в его современном виде принципиально несовместима с задачей увеличения степени его рекреационной эксплуатации. Увеличение же хозяйственной

эксплуатации территорий Природных Парков, не связанной непосредственно с рекреационной деятельностью, создает угрозу сложившимся экосистемам водосборных территорий и самих озер.

Дальнейшее увеличение трофического статуса, независимо от вызвавших его причин, однозначно приведет, с одной стороны, к увеличению продуктивности озера (в т. ч. рыбохозяйственной), а с другой – к существенному снижению его рекреационной привлекательности, которая связана, в первую очередь, именно с чистотой и прозрачностью его воды.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новиков Ю.В., Ласточкина К.О., Болдина З.Н. Методы исследования качества воды водоемов. М.: Медицина, 1990. 400 с.
2. Унифицированные методы анализа вод / Под ред. Ю.Ю. Лурье. М.: Химия, 1973. 376 с.
3. Jeffrey S.W., Humfrey G.F. New spectrophotometric equations for determining chlorophylls *a*, *b*, *c*<sub>1</sub>, and *c*<sub>2</sub> in higher plants, algae and natural phytoplankton // Biochimie Physiologie der Pflanzen. 1975. V. 167. P. 191-194.
4. Carlson R.E. A trophic state index for lakes // Limnology and Oceanography. 1977. V. 22, Issue 2. P. 361-369.
5. Черняева Л.Е., Черняев А.М., Еремеева М.Н. Гидрохимия озер (Урал и Приуралье). Л.: Гидрометеоиздат, 1977. 336 с.
6. Carlson R.E., Simpson J. A Coordinator's Guide to Volunteer Lake Monitoring Methods. North American Lake Management Society, 1996. 96 p.