

## УСТОЙЧИВОСТЬ ОЗЕРА ПРЯЖИНСКОЕ К ЗАКИСЛЕНИЮ

Н.А. Дворак, И.Ю. Потапова, П.А. Лозовик

*Карельский государственный педагогический университет  
Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН*

### Введение

Одним из факторов антропогенного воздействия на водные экосистемы Севера является их закисление в результате выпадения сильных кислот с атмосферными осадками. В соответствии с разработанной П.А. Лозовиком гидрогеохимической моделью [Лозовик, 2006] устойчивость водных объектов к закислению определяется гидрологическими и геохимическими факторами. Первый показывает, какое количество сильных кислот может поступить в водный объект в зависимости от их концентрации в зимних атмосферных осадках ( $C_{\text{сильн. к-т}}$ ) и доли закисляющих вод весеннего половодья и осадков, выпадающих на поверхность озера ( $\rho$ ):

$$b = C_{\text{сильн. к-т}} * \rho. \quad (1)$$

Непосредственно  $\rho$  связано с удельным водосбором озера ( $\Delta F_{\text{уд.}}$ ):

$$\rho = 0,0124 * \Delta F_{\text{уд.}}^{1,34} + 2 \Delta F_{\text{уд.}}^{-1}, \quad (2)$$

где первое слагаемое отражает вклад вод весеннего половодья в закисление водного объекта, а второе – осадков, выпадающих на поверхность озера. Из указанных формул следует, чем больше концентрация сильных кислот в атмосферных осадках, тем выше их поступление в водный объект; чем значительнее удельный водосбор озера, тем больше роль весеннего половодья; чем меньше  $\Delta F_{\text{уд.}}$ , тем наиболее значимо в закислении водного объекта выпадение осадков на поверхность озера.

С геохимических позиций устойчивость водного объекта к закислению определяется буферной емкостью воды, которая зависит от компонентов кислотноосновного равновесия. Фактически буферная емкость показывает, как будет изменяться pH воды при добавлении сильных кислот. В данном случае имеет значение, среди каких пород расположены озеро и его водосборный бассейн. Наибольшему закислению подвергаются озера, находящиеся среди гранитных скал, песчаных отложений, болот и характеризующиеся наименьшей буферной емкостью воды.

В качестве критической (допустимой) величины поступления сильных кислот в водный объект ( $b_{\text{крит}}$ ) принято произведение  $\Delta \text{pH}_{\text{крит.}} * \beta = b_{\text{крит}}$ , а  $\Delta \text{pH}_{\text{крит.}} = 0,3$  ед. Последняя соответствует межсезонной изменчивости pH, существующей в водных объектах Севера и обусловленной разной растворимостью  $\text{CO}_2$  при изменении температуры.

### Материалы и методы исследования

Согласно данным по многолетнему водному балансу озера Пряжинское, полученного Ю.В. Голомах, Ю.А. Сало [2006], количество осадков, выпадающих на поверхность озера, составляет 2,4 млн.  $\text{м}^3 * \text{год}^{-1}$ , весенний сток (апрель – май) – 5,2 млн.  $\text{м}^3 * \text{год}^{-1}$ , а годовой – 17,7 млн.  $\text{м}^3 * \text{год}^{-1}$ . Следовательно, доля закисляющих вод для этого озера будет равняться:  $\rho = \frac{2,4 + 5,2}{17,7} = 0,43$ .

Расчетное значение по формуле (2) равно 0,53. Оба коэффициента близки между собой, но для дальнейших расчетов будем использовать первый коэффициент, полученный по натуральным данным.

В качестве концентрации сильных кислот в атмосферных осадках примем значение 0,03 ммоль-экв/л, установленное для зимних осадков Южной Карелии [Лозовик, Потапова, 2006], поскольку непосредственного отбора снеговых проб на озере Пряжинское не проводилось. Следует отметить, что указанное значение является наибольшим по сравнению с другими районами Карелии, что обусловлено влиянием трансграничного переноса воздушных масс Западной Европы на осадки в Южной Карелии.

Буферная емкость воды оз. Пряжинское определялась экспериментальным методом по потенциометрическим кривым титрования проб воды сильной кислотой [Лозовик, Потапова, 2006] с использованием линейного уравнения

$$\frac{[H^+]}{m} = \frac{k}{C_{общ}} + \frac{[H^+]}{C_{общ}}, \quad (3)$$

где  $[H^+]$ ,  $m$  – равновесная концентрация ионов водорода и слабых кислот соответственно после добавления сильной кислоты,  $C_{общ}$  – общая концентрация слабых кислот и их анионов в исходном растворе,  $k$  – константа диссоциации слабой кислоты. Тангенс угла наклона дает величину

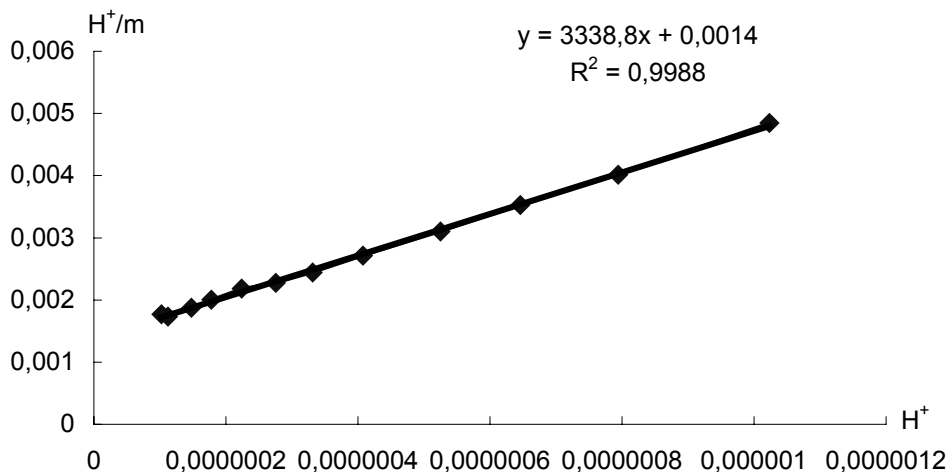
$\frac{1}{C_{общ}}$ , а точка пересечения с осью ординат – свободный член  $\left(\frac{k}{C_{общ}}\right)$ , из которых легко найти  $C_{общ}$  и  $k$ . Далее, используя классическое уравнение Ван-Слайка [Бейтс, 1986]

$$\beta = 2.3 \frac{C_{общ} \cdot 10^{pk-pH}}{(1 + 10^{pk-pH})^2},$$

без труда можно вычислить буферную емкость воды. Все потенциометрические измерения были выполнены на рНметре, иономере И-120.1, а титрование проб воды сильной кислотой проводили с использованием автоматического титратора Dosimat 715. Определение щелочности воды осуществляли методом двухточечного титрования до рН 4.5, 4.2 [РД 33-5.3.07-96], а суммы слабых кислот титрованием раствором соды до рН 8.3.

### Результаты и обсуждение

На основании обработки потенциометрических кривых титрования и соответствующих расчетов (см. рис., табл. 1) установлено, что среднее значение буферной емкости воды озера Пряжинское составляет 0,10 ммоль-экв/л и изменяется в пределах 0,085– 0,109 ммоль-экв/л. Наибольшая величина  $\beta$  отмечена в воде руч. Дегенс в связи с высоким значением  $C_{общ}$ . Сумма кислотности и щелочности воды близка к общей концентрации слабых кислот и их анионов в исходном растворе,  $pk$  – к аналогичному показателю для угольной кислоты. Последнее указывает на то, что кислотноосновное равновесие в воде оз. Пряжинское обусловлено карбонатной системой ( $HCO_3^- - CO_2$ ). В конечном итоге мы имеем все параметры для оценки степени закисления оз. Пряжинское (табл.2).



Зависимость  $H^+/m$  от  $H^+$  для воды оз. Пряжинское

Таблица 1

## Показатели кислотноосновного равновесия воды оз. Пряжинское

Дата отбора	№ станции	рН	Acid	Alk	C <sub>общ</sub>	β	рк
			ммоль-экв/л				
11.10.05	2 (поверхность)	6,99	0,058	0,241	0,300	0,109	6,38
	2 (дно)	6,94	0,050	0,246	0,309	0,101	6,25
	руч. Дегенс	6,41	0,278	0,222	0,490	0,276	6,53
	исток из озера	6,97	0,040	0,232	0,290	0,085	6,22

Таблица 2

## Буферная емкость воды и поступление сильных кислот в оз. Пряжинское при различной кислотной нагрузке

ρ	рН осадков	C <sub>сильн.к-т</sub>	β	b	b <sub>крит</sub>	ΔрН	ΔHCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/л
		ммоль-экв/л					
0,43	4,5	0,03	0,10	0,013	0,030	0,11	0,80
0,43	4,0	0,08	0,10	0,036	0,030	0,30	2,20

В результате поступления сильных кислот в оз. Пряжинское как с атмосферными осадками, выпадающими на поверхность озера в течение года, так и за счет талых снеговых вод в период весеннего половодья, изменение рН воды озера составит около 0,1 ед., а щелочности – 0,8 мг HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>/л. Полученные показатели являются достаточно низкими (почти в 2,3 раза меньше, чем критические), поэтому закисление вод озера Пряжинское небольшое и маловероятно, что оно имеет какие-либо экологические последствия. Связано это с тем, что озеро Пряжинское достаточно устойчиво к закислению как с гидрологических, так и с геохимических позиций. Достижение критического уровня закисления вод будет наблюдаться при снижении величины рН атмосферных осадков в районе озера Пряжинское до 4,0. Это произойдет в том случае, если существенно будет увеличена эмиссия диоксида серы и окислов азота в странах Европы и в России. В связи с тем что многими странами, в том числе и Россией, принята Международная Конвенция по снижению выбросов в атмосферу SO<sub>2</sub> и окислов азота и она выполняется, опасаться закисления вод озера Пряжинское нет оснований.

### Заключение

Таким образом, проведенный анализ закисления оз. Пряжинское по гидрогеохимической модели показал, что при современном уровне выпадения сильных кислот данный объект достаточно устойчив к закислению. Изменение показателей кислотноосновного равновесия в озере незначительно, и оно намного ниже критического. В дальнейшем представляет определенный интерес сравнивать оценку закисления озера с использованием модели А. Хенриксена [1992], которая принципиально отличается от гидрогеохимической.

### Литература

- Бейтс Р. Определение рН. Теория и практика. Л., 1968. 398 с.
- Голомах Ю.В., Сало Ю.А. Структура многолетнего водного баланса озера Пряжинское // Петрозаводск, 2006. Настоящий сб., с. 45.
- Лозовик П. А. Устойчивость водных объектов к закислению в зависимости от их удельного водосбора на примере озер и рек бассейна р. Шуи (Онежской) // Водные ресурсы. 2006. Т. 33. № 2.
- Лозовик П. А., Потапова И. Ю. Поступление химических веществ с атмосферными осадками на территории Карелии // Водные ресурсы. 2006. Т. 33. № 1. С. 111–118.
- РД 33-5.3.07-96. Качество вод. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации гидрокарбонатов в природных водах титриметрическим методом. М., 1996. 15 с.
- Henriksen A., Kamari L., Posch M., Wilander A. Critical loads of acidity: Nordic surface waters // AMBIO. 1992. Vol. 21. P. 356-363.