

## ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА МАЛЫХ ОЗЕР КОЛЬСКОГО СЕВЕРА В УСЛОВИЯХ АЭРОТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ И КИСЛОТНОЙ НАГРУЗКИ

Геохимические преобразования на водосборе при совместном воздействии природных и антропогенных факторов обуславливают изменения концентраций химических элементов, поступающих в водные объекты. Одно из основных проявлений аэротехногенного загрязнения – закисление вод малых озер. Малые озера Кольского Севера, получающие преимущественно атмосферное питание, служат своего рода индикатором процессов закисления или восстановления вод и, обладая определенным химическим составом и малой минерализацией, наиболее уязвимы.

Ключевые слова: озера, эмиссия серы и металлов, закисление вод, уязвимые породы.

Geochemical watershed transformation occurring as a result of the joint impact of natural and anthropogenic factors causing changes the concentration of chemical elements entering in the water bodies. One of the main manifestations of environmental contamination is acidification of waters of small lakes. The small lakes of the Kola Peninsula, having predominantly atmospheric source, serve as an indicator of acidification processes or restoring water and, with a certain chemical composition and low salinity, the most vulnerable.

Keywords: lakes, emission of sulphur and metals, acidification of water, sensitive rocks.

Богатство природно-сырьевых ресурсов Кольского полуострова объясняет высокую концентрацию предприятий горнорудной и металлургической промышленности на его территории. Антропогенная нагрузка начала сказываться здесь уже в 30-е годы XX в., сегодня по мощности и многофакторности она сравнима с наиболее загрязненными северными регионами мира. К этому прибавляется и активное влияние циклонов, перемещающих воздушные массы из Западной Европы в европейскую часть России. Согласно оценкам ряда наблюдателей [1, 4], трансграничный перенос соединений серы составляет 60%. Общее выпадение металлов за сутки в западной части полуострова в 10 раз превышает минимум для всей территории Кольского Севера. Среднее содержание  $\text{SO}_2$  в атмосферных осадках в сутки 7,2 мг/л [2].

Крупные медно-никелевые предприятия «Североникель» и «Печенганикель» (ОАО «Кольская ГМК») выбрасывают в атмосферу диоксид серы и металлы. До 1960 г. комбинат «Североникель» работал на местных медно-никелевых рудах, но с 1965 г. перешел на руды Талнахского месторождения с более высоким содержанием серы, что значительно увеличило выбросы кислотообразующих веществ в атмосферу. В начале 1980-х годов около 70% территории Кольского полуострова подверглось аэротехногенному загрязнению  $\text{SO}_2$ , в 1985–1988 гг. оно снизилось на 30–50% благодаря совершенствованию технологии выплавки металлов путем обжига никелевого концентрата с использованием кислорода. В 2008–2009 гг. сократилась интенсивность выпадения техногенной серы в 1,8 раз, нитратного азота примерно в 2,2 раза [5]. Но за последние 10 лет выбросы в атмосферу диоксида серы и металлов остались прежними, что непосредственно влияет на качество водных объектов (рис. 1).

Антропогенное закисление вод – сложный процесс, он сопровождается не только снижением pH. Ему предшествуют также геохимические процессы на водосборе, прямое и опосредованное выпадение кислотообразующих веществ и их сухое поглощение подстилающей поверхностью, снижение насыщения почв на водосборе обменными основаниями и их содержания в поверхностных и подземных водах, уменьшение щелочности вод за счет вытеснения гидрокарбонатов более сильными техногенными кислотами [3]. Особенно подвержены закислению малые озера автономных ландшафтов.

Информационной основой работы послужила гидрохимическая база данных по малым озерам Кольского Севера за 2005 г. Исследованные озера располагаются на Восточно-Европейской равнине, средняя высота которой 170 м над уровнем моря, а высота возвышенностей до 300–400 м и более. Малые озера примыкают к районам распространения магматических и метаморфических пород Балтийского щита, которые охватывают тундровый и таежный регионы Кольского полуострова и Карелии.

Отдельно рассмотрим лесотундровую, тундровую и таежную зоны региона.

Большую часть территории лесотундры занимают основные породы (базальты, габбро и др.), чередующиеся с обнажениями гнейсовых пород (возвышенности Чуна, Сальных и Волчьих тундр). На севере встречаются диориты, амфиболиты и гнейсы. Центральная часть сложена гранато-биотитовыми и амфиболовыми гнейсами. Более 60% территории занимают тайга и лесотундра, остальную часть березняки и субальпийское криволесье. Болота располагаются на сравнительно небольшой площади (около 15%), намного меньшей, чем в других выделенных ландшафтных районах. Выпадение антропо-

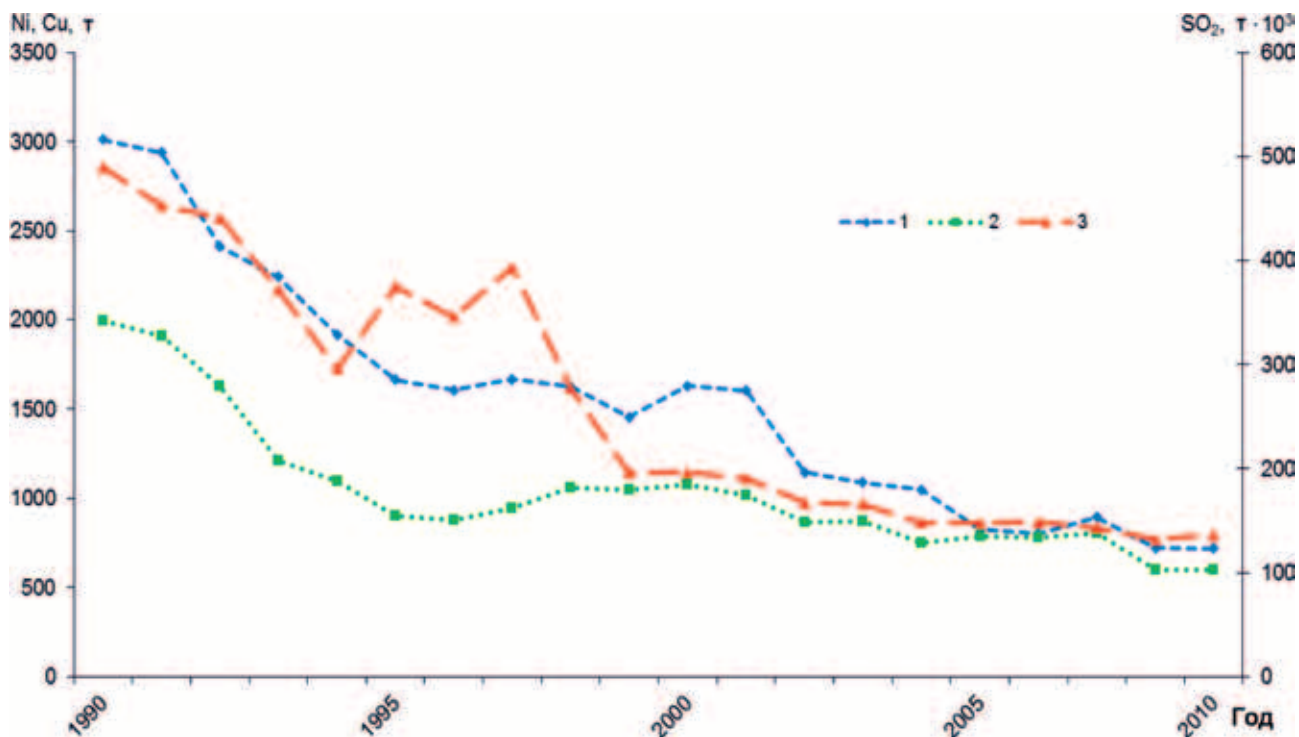


Рис. 1. Выбросы вредных веществ в атмосферу медно-никелевыми комбинатами ОАО «КГМК» в 1990–2010 гг.

1 – Cu и 2 – Ni, т/год, 3 – SO<sub>2</sub>, тыс. т/год

погенной серы в среднем от 0,7 до 1,5 г/м<sup>2</sup> в год, ее поступление связано с аэротехногенным воздействием Ено-Ковдорского промышленного центра [4, 6].

Наиболее уязвима при кислотных выпадениях и последующем изменении химического состава воды зона тундры. Прибрежная полоса сложена микроклиновыми гранитами, южнее они сменяются олигоклазовыми. Именно в этой зоне встречаются «примитивные» почвы, а коренные кристаллические породы часто выходят на поверхность. Здесь расположены самые маленькие озера (средняя площадь акватории 0,83 км<sup>2</sup>) с малой площадью водосборов. Морфометрические характеристики подтверждают основную роль атмосферных осадков в питании этих озер. Близость Баренцева моря обуславливает хлоридно-натриевый состав их вод. Среди прочих зон Кольского полуострова эта зона отличается минимальной залесенностью (поскольку расположена в тундровой зоне) и максимальной заболоченностью. Выпадение антропогенной серы от 0,3 до 1,0 г/м<sup>2</sup> в год [4, 6].

Для таежной зоны характерно большое разнообразие пород. Северная часть сложена породами свиты Имандра-Варзуга основного и среднего состава. Кроме того, здесь прослеживаются сланцевые амфиболиты, в южной части – кварцевые песчаники, в северо-западной – слюдястые гнейсы. К особенностям зоны, существенно отличающимся от особенностей других регионов, можно отнести максимальную залесенность (52,9%) и заболоченность (22%); водосборы малых озер находятся на самой малой высоте над уровнем моря в противоположность озерам северо-восточной тундровой зоны с наибольшими площадями акваторий и водосборов [4, 6].

В зависимости от ландшафтно-геохимических условий выделено пять озер на расстоянии 150–

320 км от комбинатов (рис. 2): нейтральные (1, 2) на основных (базальты) и кислых (граниты) породах; антропогенно-закисленные (3, 4) на кислых породах (граниты и кварцевые пески); природно-подкисленное озеро (5) на кислых породах (граниты). Результаты химического состава вод малых озер и в целом природных вод Кольского Севера представлены в таблице.

Так, для большинства озер Кольского Севера характерны нейтральная среда и невысокое содержание органического вещества 6,6 мгС/л. В озерах, развивающихся в кислых условиях, содержание органического вещества от 2,5 (антропогенное закисление) до 18,1 (природное подкисление).

Нейтральные (рН = 6,68) гидрокарбонатно-кальциевые озера, по классификации О. А. Алекина, приурочены к основным породам. Воды озера отличаются высокой буферной емкостью ввиду высокого содержания катионов и щелочности, а также повышенным содержанием техногенных сульфатов. Несмотря на высокое по сравнению с другими озерами содержание техногенных сульфатов, развиваются процессы, направленные на восстановление водной экосистемы.

Водосбор прибрежного хлоридно-натриевого озера сложен гранитными породами. Уязвимость пород к кислотным выпадениям, сопряженное с «эффектом морских солей», приводит к снижению буферной емкости и кислотно-нейтрализующей способности вод. Отмечается низкое содержание техногенных сульфатов по сравнению с рассмотренными озерами.

Антропогенно-закисленное хлоридно-натриевое озеро северо-восточной тундры более уязвимо при кислотных выпадениях из-за влияния морских аэрозолей и особенностей геологической структуры слагающих пород. Подстилающая поверхность озер представлена обнажениями кислых пород – ми-

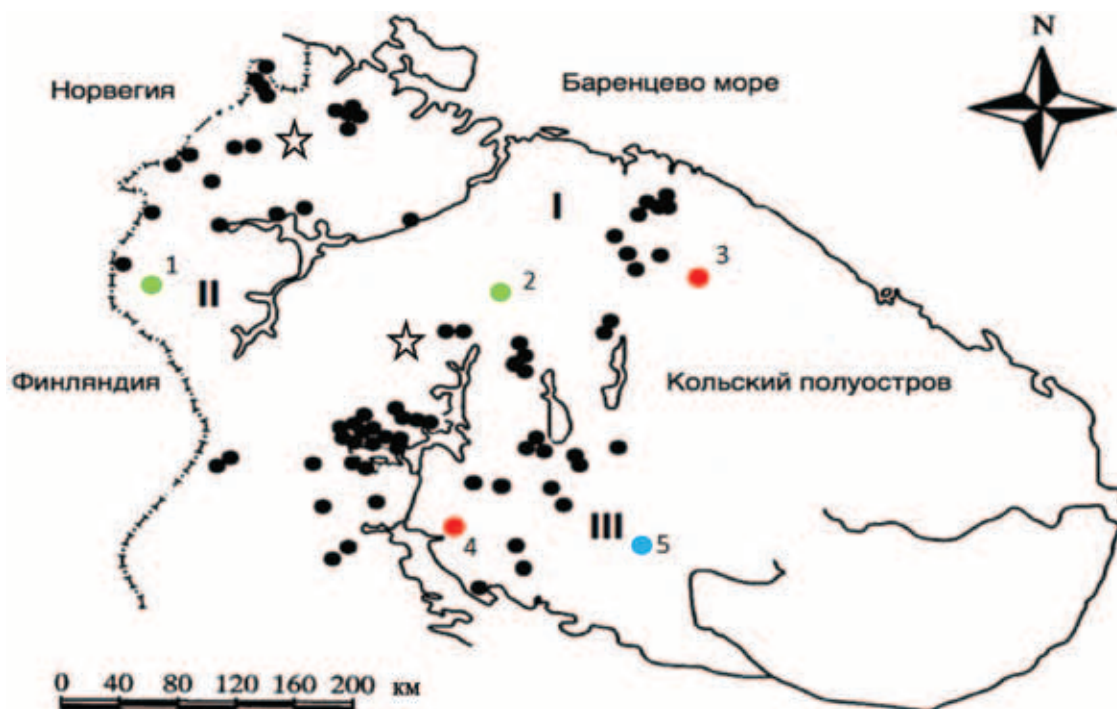


Рис. 2. Схема расположения малых озер Кольского Севера (звездочкой обозначены медно-никелевые комбинаты ОАО «КГМК»)

Зоны: I – тундровая, II – лесотундровая, III – таежная. Озера: 1, 2 – нейтральные, 3, 4 – антропогенно-закисленные, 5 – природно-подкисленное

кроклиновыми гранитами, южнее сменяющимися олигоклазовыми. Озеро характеризуется низкими значениями рН 5,66, Цв.  $5^{\circ}\text{Pt}-\text{Co}$  и органического вещества.

Сульфатно-натриевое озеро таежной зоны, расположенное на кварцевых песках, в большей степени подвержено закислению, оно имеет низкое содержание основных катионов в воде и низкие значения рН, Цв. и органического вещества. Слагающие водосборы озера песчаные и супесчаные почвы препятствуют насыщению вод обменными основаниями и поступлению гумусовых кислот из подстилки и верхних слоев почв в воды озер. Это свидетельствует о том, что закисление вод в таежном озере растет стремительнее, чем в озере тундровой зоны. Ключевую роль в развитии механизмов закисления играет уязвимость кварцевых песков при кислотных выпадениях.

Озера лесных и заболоченных массивов с низким значением рН 5,49, высокой буферной емкостью и содержанием органического вещества 18,7 мгС/л характеризуются развивающимся природным закислением вод. Поэтому там достаточно важно закисление вод из-за увеличения содержания органических природных кислот. Кроме того, отмеченные завышенные значения концентрации алюминия, связанные с низкими значениями рН, подтверждает влияние кислотных осадков на выщелачивание алюминия.

Низкие значения рН и низкое содержание органических кислот свидетельствуют об антропогенном закислении озер, а низкое значение рН, сопровождаемое увеличением содержания органических кислот, приводит к природному закислению вод.

Таким образом, в период снижения аэротехногенных нагрузок на водосборы наблюдаются тен-

#### Показатели химического состава вод малых озер Кольского Севера и в целом по региону

Элемент	Ед. измерения	Кольский Север в целом	Нейтральные озера		Антропогенно-закисленные озера		Природно-подкисленное озеро
			Базальты	Граниты	Граниты	Кварцевые пески	Граниты
рН		6,41	6,68	6,41	5,66	4,84	5,49
$\Sigma_{\text{кат}}$	мкэкв/л	280	383	309	188	56	180
AlK	мкэкв/л	111	236	97	29	0	22
$\text{SO}_4^*$	мкэкв/л	46	66	23	15	28	28
Cl	мкэкв/л	53	51	155	137	20	21
Цв.	$^{\circ}\text{Pt}-\text{Co}$	28	34	44	5	3	123
$\text{C}_{\text{орг}}$	мгС/л	6,9	7,9	7,6	3,1	2,5	18,7
ANC	мкэкв/л	224	260	114	16	-11	126

денции к восстановлению буферных свойств системы. Однако на уязвимых водосборах это происходит медленнее. Несмотря на значительное сокращение выбросов кислотообразующих веществ, прежнее экологическое состояние водной экосистемы не восстанавливается. Особенно заметно обеднение вод обменными основаниями, несмотря на снижение содержания сульфатов и нитратов в воде. Большую роль играет увеличение слабых органических кислот (растворенного органического углерода) на фоне снижения потока сильных кислот. Малые озера тундровой и таежной зон наиболее уязвимы при аэротехногенном воздействии, поэтому степень реакции будет определяться ландшафтными особенностями их водосборов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ, грант № 14-17-00460.

1. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Мурманской области в 2010 году. — Мурманск: ООО «Рекламное агентство XXI век», 2011. — 152 с.
2. Израэль Ю.А., Назаров И.М., Прессман А.Я. и др. Кислотные дожди. — Л.: Гидрометеоздат, 1989. — 269 с.
3. Моисеенко Т.И. Закисление вод: факторы, механизмы и экологические последствия. — М.: Наука, 2003. — 276 с.
4. Моисеенко Т.И., Гашкина Н.А. Формирование химического состава вод озёр в условиях изменения окружающей среды. — М.: Наука, 2010. — 268 с.
5. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2009 г. — М.: Росгидромет, 2010. — 177 с.
6. Ресурсы поверхностных вод СССР // Т.С. Антонова, Ю.Л. Елшин, М.Г. Тушинская и др. — Л: Гидрометеоздат, 1970. — Т. 1. — 316 с.

Базова Мария Михайловна — аспирант, мл. науч. сотрудник, ГЕОХИ РАН. <mm.bazova@yandex.ru>.