



Работы в рамках проекта «Арктика» были нацелены на фундаментальную проблему - оценку изменений окружающей среды и эволюции озер в арктических регионах под влиянием антропогенной нагрузки регионального и глобального масштабов, а также потепления климата.

В основу анализа легли данные по химическому составу 75 малых озер Кольской Арктики и Субарктики, которые проводились Татьяной Ивановной и ее коллегами с 1990 года с интервалом в 4-5 лет. Последняя съемка была выполнена четыре года назад тоже при поддержке РФФИ. На основании архивов мониторинга погоды ученые выявили устойчивые тренды роста температуры и осадков за 28-летний период исследований. Впервые для Арктической зоны выяснили, что снижения потока кислот на водосборы в условиях потепления климата запускают цепь биогеохимических процессов. Например, считает Т.Моисеенко, в ответ на уменьшение эмиссии металлов и диоксида серы от кольских медно-никелевых плавлен наметились позитивные тенденции улучшения качества вод (снижение содержания в них техногенных сульфатов и металлов - Ni, Cu).

- Перемены химического состава вод не всегда пропорциональны снижению потока сульфатов, - поясняет Татьяна Ивановна. - Хотя в целом за последние тридцать лет заметно уменьшилась концентрация техногенных сульфатов и металлов в водах озер, однако в ряде озер сохраняется неблагоприятная ситуация. Особенно это заметно в кислот-уязвимых субрегионах, что свидетельствует о продолжающемся закислении вод.

- А что это за субрегионы?

- Мы выделяем их по геологическим формациям и способности к нейтрализации кислотных выпадений. Для Кольского Севера, как и других кислот-уязвимых регионов Европы и Северной Америки, доказано увеличение содержания в водах озер растворенного органического вещества (РОВ). Оно особенно нарастало в регионе до 2010 года, потом процесс стабилизировался или показатели РОВ

Грани гранта

Подготовил Андрей СУББОТИН

В зеркале озер

Водоемы Арктики отражают экологические проблемы региона



Татьяна МОИСЕЕНКО, член-корреспондент РАН, глава отдела биогеохимии и геоэкологии Института геохимии и аналитической химии им. В.И.Вернадского Российской академии наук

Дело в том, что с 1930-х годов там, на берегах озера Имандра, были построены крупные горнодобывающий и металлургическое производство и начался в огромных масштабах сброс токсичных веществ. Изучать последствия этого загрязнения Татьяна Ивановна начала лет через сорок после его начала, в 1970-х годах прошлого века. А сегодня она известна в России и за рубежом как создатель теории критических нагрузок на поверхность воды суши.

- Работы в рамках проекта «Арктика» были нацелены на фундаментальную проблему - оценку изменений окружающей среды и эволюции озер в арктических регионах под влиянием антропогенной нагрузки регионального и глобального масштабов, а также потепления климата, - рассказала Татьяна Ивановна. - Мы рассматривали как влияние локального воздушного загрязнения, так и трансграничного переноса воздушных загрязнений на воды суши в арктических регионах, получили данные о насыщении вод суши металлами, особенно ртутью. Смогли рассчитать критические нагрузки выпадения кислот и их превы-

▶ Палеоэкология - это наука, впитавшая в себя представления о состоянии природы нашей планеты на протяжении долгих-долгих веков и тысячелетий. Одним из ее основателей по праву считается американский ученый Дж.Г.Симпсон. Его труд под названием *Tempo and Mode in Evolution*, изданный в 1944 году, вошел в теорию эволюции и выполнил роль своеобразного фундамента новой науки. Широко известны имена и российский исследователей, сделавших существенный вклад в развитие палеоэкологии: В.О.Ковалевский, Н.И.Андрусов, А.П.Карпинский, Н.Н.Яковлев... Сегодня реконструкция прошлого Земли и прогноз будущих ее изменений - на повестке дня во всем мире - меняется климат, растет антропогенная нагрузка на природу. Для арктических регионов России это крайне актуально.

Российский фонд научных исследований поддержал проект по реконструкции прошлого и прогнозу будущих изменений качества вод и арктических экосистем на основе нео- и палеоэкологических методов (грант №18-05-60012). Руководила работой член-корреспондент РАН глава отдела биогеохимии и геоэкологии Института геохимии и аналитической химии им. В.И.Вернадского Российской академии наук Татьяна МОИСЕЕНКО.

По окончании биологического факультета Ростовского государственного университета она была направлена в аспирантуру при Кольском научном центре АН СССР, где прошла путь от младшего научного сотрудника до руководителя группы водных проблем. Начало трудовой деятельности на Крайнем Севере оказалось сложным и... очень продуктивным.

даже стали несколько снижаться, однако остаются выше природных. Два фактора могут влиять на этот процесс: снижение поступления сильных кислот и потепление климата.

- Это восстановление природных свойств озер?

- Термин «восстановление» не характеризует процессы, которые развиваются в водах суши Кольского Севера последние 28 лет. Анализ наших данных, как и научной литературы, показывает эволюцию озер, которая проявляется с разной степенью интенсивности в изменениях катионо-анионного состава, потоков и структуры гумусовых кислот, круговорота соединений биогенных элементов.

- Так возможно возвращение состояния озер до уровня здоровой природы?

- Думаю, что в дальнейшем биогеохимические циклы могут трансформироваться в ту или иную сторону, но возврата к природным показателям в условиях продолжающегося потепления климата и антропогенных нагрузок не будет. Гипотезу о необратимой эволюции озер подтверждают исследования на самом крупном из озер Кольского Севера - Имандра. Это уникальная модель для изучения физиологических реадaptаций рыб к улучшению условий обитания после уменьшения поступления в воду токсичных металлов. Продолжительное их воздействие на популяцию обитающих в озере сигов сформировало у этих рыб механизмы контроля гомеостаза металлов в организме, а также компенсаторные реакции на нарушенные функции. Доказано, что рыбы научились выдерживать и даже выводить из организма за счет повышения эффективности работы антиоксидантных систем как основного эволюционного механизма защиты.

Выяснили ученые и то, что в период снижения поступления токсичных веществ и потепления климата в озере формируется новая видовая структура сообществ, которая отлична от природной. Восстановление экосистемы зависит не только от улучшения состояния мест обитания, но управляется сложными экологическими механизмами. Одним из них является поддержание стабильности биогеохимических циклов и потоков энергии во вновь сформированной экосистеме. Это и обуславливает сложность возврата экосистемы к ранним условиям.

- Наши исследования показали, что после снижения продолжительного токсичного загрязнения экосистемы начинается формирование зрелой, более стабильной ее модификации, но... отличной от природной, - говорит Т.Моисеенко. - В целом на озерах субарктической зоны мы выявили более высокую опасность загрязнения вод металлами вследствие их низкой минерализации и высокой биодоступности (проникающей способности тяжелых металлов) водных организмов. Поэтому для низко минерализованных вод Севера требуется корректировка в сторону ужесточения принятых в России ПДК по кадмию, свинцу, алюминию и никелю.

- Татьяна Ивановна, а что важнее для анализа, специальное



оборудование, многолетние базы данных или, может, профессиональная увлеченность?

- Для того чтобы изучить распределение ртути в разных почвах и донных отложениях озер Кольского Севера и Норильского региона на разных расстояниях от источника выбросов, нужны трудоемкие экспедиционные работы, сложное оборудование для отбора проб, но самое главное - высокоточная измерительная техника для анализа химического состава вод и донных отложений. А для реконструкции климатических изменений в Арктике я считаю пер-

- Вшестером. Кроме вашей покорной слуги это три кандидата (Юрий Григорьевич Таций, Марина Ивановна Дину, Мария Михайловна Базова) и два доктора наук (Лев Владимирович Разумовский и Наталья Анатольевна Гашкина).

- Санкции скажутся на вашей работе? Я знаю, что палеолимнологические исследования Арктических пресноводных экосистем входили и входят в крупнейшие международные научные программы...

- Исследования состояния окружающей среды арктических регионов привлекают многих ученых

и экосистем после прекращения влияния загрязнения позволяет направить практические усилия на процессы их оживления. Мы видим три сценария развития. Первый - продолжающееся негативное воздействие (что недопустимо). Второй - это попытки восстановления до природных показателей. Понимаем, что это потребует огромных экономических ресурсов и цель не будет достигнута. Третий сценарий заключается в поддержании ключевых функций и сохранении чистой воды и продуктивности озер.

Учитывая высокую значимость пресных вод в жизнеобеспечении

вод надо подходить через оценку биодоступности экотоксикантов, которые зависят от условий окружающей, в частности, водной среды. Поэтому мы предлагаем корректировки именно для северных регионов в сторону их ужесточения. Эта часть исследований должна заинтересовать органы власти и менеджмент по принятию решений. К сожалению, у нас не развито направление, которое бы отвечало за реализацию научных разработок. Это относится и к технологическим достижениям. Потому-то раньше была более легкой «покупка технологий под ключ». Новые реалии будут стимулировать создание менеджмента и развитие внедрений научных разработок русских ученых.

- Вы в этом уверены?

- Говоря о новых реалиях, я не думаю, что они повлияют на нашу исследовательскую деятельность. Да, меньше будет зарубежных командировок и участия в крупных научных форумах. Да, более сложными будут доступ к научной литературе и размещение наших публикаций в зарубежных изданиях. Мои западные коллеги - а я представляю Россию в международной кооперативной программе по водам суши (ICP-Water), где участвуют 22 страны, - пока подтверждают наше взаимодействие. Но у них тоже есть начальники из Евросоюза. В то же время китайская сторона заинтересована в сотрудничестве: мы подали на конкурс совместный проект. Одним словом, поживем - увидим, прогнозировать сложно. Главное, что есть научная школа молодых исследователей, которые продолжают развивать наше направление. ■

“ Выяснили ученые и то, что в период снижения поступления токсичных веществ и потепления климата в озере формируется новая видовая структура сообществ, которая отлична от природной.

спективными биоиндикационные методы на основе анализа останков диатомовой флоры (там имеется кремниевый скелет и все хранится в донных отложениях слой за слоем). Ну, и надо учитывать изменения значений палеотемператур. Мы выяснили, что возрастает степень прогрева водных толщ в периоды «открытой воды» и деградации ледяного покрова. По результатам исследований нами опубликованы статьи в журнале «Геохимия» и в «Докладах Академии наук».

- А «мы» - это кто? Большим коллективом выполняли проект?

и активно проводятся множеством зарубежных институтов. Большие перспективы для международного сотрудничества открывают и новые работы, проведенные в рамках нашего проекта. Каждое из взаимосвязанных междисциплинарных исследований вносит существенный вклад в понимание антропогенно-индуцированных процессов в Арктике, механизмов деградации в период загрязнения и эволюции экосистем при снижении уровня загрязнения.

Напомню, что 2021-2031 годы объявлены «Десятилетием ООН по восстановлению экосистем», поэтому знание траектории разви-

населения планеты и ее видового разнообразия, очевидна высокая актуальность исследований восстановления качества вод и водных экосистем после длительного загрязнения. Планируемые исследования - пионерные в области наук о водах суши. Если вернуться к проблемам арктических регионов, то отмечу: здесь нужно кардинально пересмотреть нормативы качества вод и ужесточить существующий подход по предельно допустимым концентрациям. Одни и те же пресловутые ПДК применяют от арктических до степной зон. Это неправомерно. Концептуально к оценке качества