

**В.В. Зуев**

## **Некоторые приоритеты междисциплинарных климатоэкологических исследований в Сибири**

Климатические изменения в Сибири, особенно в последнее десятилетие, значительно опережают общие глобальные тенденции потепления климата. За этот период средние температуры в Сибири поднялись на 0,7 °С. Отметим, что в предыдущие 90 лет они увеличились только на 0,4 °С. Столь заметное потепление климата Сибири не может не вызвать тревоги и усиления научных изысканий в этой области. При этом таким же актуальным пока остается вопрос о роли антропогенного фактора в этом процессе. Сложившееся отношение к Сибири и в бывшем Советском Союзе, и тем более в современной России как к сырьевому придатку обусловило значительное индустриальное загрязнение гигантских территорий Сибири. Под прессингом техногенного фактора, особенно во второй половине XX в., оказались практически все экосистемы Сибири. Воздействие некоторых факторов, например при выбросах высокотоксичных или интенсивно радиоактивных загрязнений, проявляется почти мгновенно и поэтому легко контролируется. Последствия такого воздействия могут быть весьма разрушительными, но, как правило, не являются необратимыми. Другие факторы провоцируют медленные изменения в окружающей среде и биосфере. При этом влияние антропогенного фактора, значительно уступающего по своим масштабам общей энергетике природных факторов, может стать ключевым и «разгонным» при точечном воздействии на спусковые механизмы экологически опасных необратимых природных процессов.

Контролировать такие процессы и прогнозировать их последствия очень сложно из-за наличия многочисленных переплетений прямых и обратных связей в постоянно взаимодействующей системе «космосфера – атмосфера – гидросфера – литосфера – криосфера – биосфера». Частным примером сложных взаимосвязей в отмеченной выше климатической цепочке может служить проблема загрязнения арктических регионов Сибири техногенным аэрозолем, в первую очередь, поставляемым из индустриальных районов нефте- и газодобычи Самотлора и Уренгоя и норильских медно-никелевых комбинатов. Техногенный аэрозоль, в том числе сажевый, распределяется по большим территориям за счет трансграничных переносов. Он, осаждаясь на снежных и ледяных покровах, снижает их альбедо и тем самым существенно искажает радиационно-температурный режим в системе «атмосфера – подстилающая поверхность». Поверхностное загрязнение и почернение ледяных и снежных покровов провоцируют их таяние. В образовавшихся талых водах активно начинают развиваться микроорганизмы, которые используют для этого те же аэрозоли в качестве биогенного сырья. Продукты жизнедеятельности микроорганизмов дополнительно усиливают таяние снегов и льда. Уменьшение объема и поверхности льдов, в свою очередь, усиливает климатические изменения, в частности, увеличивает интенсивность влагооборота, оказывающего принципиальное воздействие на гидросферу, литосферу и, конечно, биосферу. Как видно, даже только один фактор – техногенный аэрозоль в арктических регионах, способен вызвать сложные взаимосвязи во всех без исключения звеньях длинной климатической цепочки «космосфера – атмосфера – гидросфера – литосфера – криосфера – биосфера». Если при этом упомянуть, что повышение приземных температур провоцирует восстановление парникового газа метана из гидратного состояния при таянии вечной мерзлоты и тем самым дополнительное усиление потепления, то становится ясно, что в развязке этой цепочки имеются все предпосылки для необратимости описанных выше процессов.

При анализе подобных многофакторных явлений нельзя не учитывать приоритетной роли биотического регулирования. Устойчивость экосистем, как известно, обеспечивается принципом Ле Шателье, когда все случайные естественные возмущения окружающей среды компенсируются соответствующими изменениями функционирования естественной биоты. Огромный потенциал естественной биоты в синтезе и разложении органических веществ позволяет ей быстро компенсировать любые геофизические и космические флуктуации, возвращая окружающую среду к первоначальному состоянию за десятки лет. В процессах синтеза и разложения потребляются или выделяются биологически активные химические элементы (биогены) в определенных разных для различных организмов стехиометрических соотношениях. Это позволяет биоте направленно изменять концентрации биогенов в окружающей среде. Хотя, в первом приближении, стехиометрические соотношения

можно считать постоянными, что позволяет получать количественные характеристики действия принципа Ле Шателье по наиболее обильному биогену в биоте – углероду. Любые изменения естественной биоты неизбежно должны приводить к нарушению состояния окружающей среды. Поэтому устойчивость окружающей среды сохраняется при наличии невозмущенной биоты. Под устойчивой биосферой можно понимать такое состояние биоты и окружающей среды, когда антропогенное возмущение не превышает порог нарушения действия принципа Ле Шателье.

Опираясь на вышеизложенное, можно попытаться сформулировать некоторые приоритеты климатологических исследований в Сибири с учетом реальных ограничений финансовых возможностей, которые испытывает российская наука сегодня. Понятно, что эти исследования обязаны иметь междисциплинарный характер. Они должны обобщать палеоклиматические, атмосферно и гидро-сферно физико-химические и биосферные исследования. Отметим, что экологическое состояние и климатические изменения на территории Сибири существенно связаны с пойменными экосистемами великих сибирских рек. Поймы Оби, Енисея и Лены своими притоками, как кровеносная система, пронизывают всю территорию Западной и Восточной Сибири. Низовья этих рек расположены в арктических широтах, а их устья выходят в Северный Ледовитый океан. Это позволяет исследовать гигантские территории Сибири с помощью оснащенного корабля-лаборатории класса «река–море», на котором можно объединить междисциплинарный научный коллектив, решающий практически весь комплекс задач.

Одним из шагов в этом направлении была проведенная летом 1999 г. на базе Института оптики атмосферы СО РАН Международная экспедиция «Пойма-99» на плавучей лаборатории по маршруту Томск – Ханты-Мансийск. В ней принимали участие специалисты разных профилей из 12 организаций, в том числе из восьми институтов СО РАН: Института оптики атмосферы, Института оптического мониторинга, Института химии нефти, Филиала Института леса им. В.Н. Сукачева и Филиала Института геологии нефти и газа (г. Томск), Института водных и экологических проблем (г. Барнаул), Института химической кинетики и горения (г. Новосибирск), Лимнологического института (г. Иркутск), а также Томского политехнического университета, Института физики атмосферы (г. Москва) и Института химии Макса Планка (г. Майнц, ФРГ). Эта экспедиция способствовала рождению I Межрегионального совещания «Экология пойм сибирских рек и Арктики», которое успешно прошло в Томске в Институте оптики атмосферы СО РАН в ноябре 1999 г.

В результате дискуссий на этом совещании выкристаллизовались следующие научные направления. Среди существующих методов палеоклиматических исследований наибольший интерес представляют дендрохронология и палеогляциология. В блоке атмосферных исследований особое внимание следует обратить на аэрозоль, в особенности на его биогенные составляющие. Среди приоритетных газов для газоанализа можно выделить парниковые озон, метан, углекислый и угарный газы. Необходимы измерения потоков УФ-В солнечной радиации. С одной стороны, это определяется ее ролью в фотохимических превращениях, определяющих аэрозольно-газовые связи в тропосфере, с другой – возможным воздействием на водную биосферу при разрушении с ростом температуры растворенных органических веществ, поглощающих УФ-В радиацию. Химический гидро-сферный анализ позволит оценить техногенную нагрузку на водную среду. В биосферных исследованиях как всегда приоритетными остаются проблемы биоразнообразия. При этом следует иметь в виду, что в основе всех сообществ биосферы стоят сообщества растений и одноклеточных микроорганизмов, которые полностью управляют численностью крупных животных так же, как и концентрациями биогенов в окружающей среде. Например, в арктических регионах индикаторами таких сообществ можно считать лишайники и фитопланктон.

В заключение отметим безусловный факт, что в длинной климатической цепочке «космосфера – атмосфера – гидросфера – литосфера – криосфера – биосфера» основным стержневым связующим звеном, конечно же, должна стать ноосфера. Хотелось бы надеяться, что результаты наших климатозоологических исследований в Сибири станут ее необходимыми «кирпичиками».