

# МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ЭКОЛОГИЯ ?

К. ЛЕВИТИН,  
Т. ЧЕХОВСКАЯ

## ее еще нет ...

В феврале этого года в Пущино-на-Оке проходила III Всесоюзная школа по математическому моделированию в экологии. Более полутора сот ученых из разных городов страны приехали в Центр биологических исследований, чтобы обсудить «состояние дел» в своей науке.

Сейчас ко многим наукам прибавляют определение «математическая». Что же такое математическая экология?

Еще нельзя сказать, что такая наука уже сложилась окончательно, зато уверенно определяется острая потребность в ней. Человечеству понадобились надежные и не только качественные, но и количественные оценки состояния земной биосферы. А такие оценки невозможны без участия математиков. В свою очередь математика потребовала от биологов надежных постулатов: ей понадобилось твердо знать, что, отчего и как зависит в мире живого, другими словами, потребовались данные, поддающиеся формализации.

Так начался трудный процесс вживания математики в экологию.

На этом пути пока нет крупных побед. Перед исследователями лишь громоздятся горы проблем. Слишком сложным оказался орешек — биосфера — для точной науки математики. Но есть надежда, что «критическая масса» проблем будет освоена, и тогда родится новая наука.

Корреспонденты нашего журнала Т. Чеховская и К. Левитин привезли в редакцию записи докладов и дискуссий. Но эти кассеты, прослушиваемые порознь, вне атмосферы спора, столкновения позиций, взглядов, точек зрения, контрвыступлений, реплик — словом, вне обстановки, царившей в Пущино, оказались лишь собранием более или менее любопытных идей.

Предстояло еще понять, почему высказываются и обсуждаются все эти разрозненные проблемы, относящиеся даже к разным разделам биологии, как помогут они математикам в их работе по моделированию биосферы.

Истолковать смысл происшедшего на школе помог Альберт Макарьевич Молчанов, председатель ее оргкомитета, один из тех людей, что своей работой и энтузиазмом пытаются внедрить математические методы в биологическую науку.

Итак...

(Беседа, сопровождаемая прослушиванием магнитофонных записей и цитатами из опубликованного, а также и неопубликованного.)

— В Пущино нам не раз приходилось слышать, что математическая экология — не одно направление, а как минимум два. В том, что это так, нас, в частности, убедило, Альберт Макарьевич, выступление, которым вы открыли школу. В нем прозвучали некоторые мысли о противоборствующих точках зрения на пути развития этой науки...

А. М. МОЛЧАНОВ: — Так, быть может, мы и вернемся к нему? Мне хотелось бы воспроизвести в себе, так сказать, пущинскую ситуацию, тогдашнее настроение. Вы ведь принесли магнитофон, так пусть он не стоит без дела, а заодно послужит «пусковым моментом» нашему разговору.

ИЗ ВЫСТУПЛЕНИЯ А. М. МОЛЧАНОВА:

—...Несколько слов о том, каково положение с исследованиями в мире на этот счет. За последние десять — двадцать лет мощь методов исследования возросла фантастически, на несколько порядков. Я имел в виду два основных аспекта: во-первых, вычислительная техника, за двадцать лет выросшая, вероятно, в тысячу раз, во-вторых, то, что получило сейчас название мониторинга, то есть многосторонность, глобальность, объемность исследования, фиксирования разных состояний чего угодно. Спутники летают, корабли ходят, а в кашалотовы выстреливают радиопилюлями. И вот вы имеете, с одной стороны, колоссальный объем сведений о чем угодно и, с другой — колоссальные возможности анализа собранных сведений... А результатов что-то не видно.

У Жюль Верна рассказывается о соревновании брони и снаряда: сначала увеличивается мощь снаряда, он одолевает, потом побеждает броня и так далее. Так вот, создается впечатление, что сейчас предмет исследования самым странным, самым неожиданным образом победил, и надолго победил, снаряд исследования. Победил ватой, даже не броней. Вся наша мозучая техника увязла в вате необозримости проблемы.

Недавно состоялся международный семинар по проблемам окружающей среды, на котором американцы положили на стол талмуд, содержащий обзор моделей по экологическим вопросам. Не сами модели, а их обзор! Там их около семисот. Было предложено заняться изучением моделей. Не действительности, которая должна была быть предметом изучения этих моделей, а ее моделей. Так вскоре мы будем изучать обзоры этих обзоров и так далее. Это «абстрактновато» даже для математика.

Отсюда мысль: не вернуться ли к нашим баранам, к той действительности, к тем проблемам, которые на самом деле должны интересовать нас, если мы хотим что-нибудь понять? Не помочь — это мы пока не умеем, а хотя бы понять, что же происходит.

Значит, центральная проблема нашей еще не существующей науки — это правильная постановка вопроса...

А. М. МОЛЧАНОВ: — Разрешите я сразу же продолжу... На сегодня сложились две полярные концепции. Один подход характерен для людей, богатых техникой. Он называется обычно имитационным моделированием. Суть его нехитра: возьмем могучую вычислительную машину, запишем уравнения всех элементарных процессов, протекающих в какой-нибудь относительно замкнутой системе, например в биогеоценозе (сообществе растений и животных), заложим их в машину — и она все нам прочтает. Поскольку быстродействие ее огромно, память почти безгранична и все остальные характеристики выше всяческих похвал, то уравнения наши будут крайне простыми, но мы их напишем зато превеликое множество — все равно машина быстро разберется, что к чему.

Я придерживаюсь прямо противоположной позиции. Если мы хотим моделировать сколько-нибудь сложные системы, то нам никогда не удастся переложить на машины печальную необходимость хоть изредка, но думать. Просто и бездумно писать уравнения для каждого отдельного простейшего процесса, а потом «сшить» их, увы, не получается. В том-то и сложность больших систем, что в них часто незначительное изменение третьестепенного показателя приводит к совершенно катастрофическим последствиям. Реальная система может попросту разваливаться, а машина будет как ни в чем не бывало перемалывать свои миллиарды бит. Нет, я думаю, что бездумный ма-

шинный рай, лобовой, чисто «электронный» подход не приведет к успеху. Надо изучать отдельные достаточно крупные и самостоятельные части моделируемой системы, описывать их пусть сложными, но зато отражающими истинную суть дела уравнениями, а уж только тогда вводить в машину модели этих блоков. В идеальном случае математик должен настолько проникнуться биологическими, химическими, биофизическими и прочими представлениями, чтобы суметь увидеть свой «объект» во всей его сложности, и только тогда браться за ручку, чтобы писать уравнения.

Естественно, это тоже крайняя точка зрения. Истина, как всегда бывает, находится — нет, не посередине, тогда бы ее легко было отыскать. — чаще всего где-то сбоку. Скажем, работы, которые ведет в Северо-Кавказском научном центре А. Б. Горстко — он моделирует такую сложную экологическую систему, как Азовское море, — именуются «имитационным моделированием». Но у Александра Борисовича нет пока в Ростове-на-Дону большой вычислительной машины, и у него — и это счастье! — даже не может возникнуть соблазна «перевалить» все на ЭВМ, приходится постигать сложности реальной системы, разбивать ее на блоки, осмысливать каждый в отдельности и ужимать каждый блок, чтобы он мог «влезть» в машину. Да он сам писал об этом в вашем журнале\*. Как видите, «это очень хорошо, что нам очень плохо». Такой парадоксально звучащий лозунг я бы поставил эпиграфом к любой сегодняшней хорошей модели природных объектов, где решение достигается не «в лоб», а с помощью того, что скрыто за лбом. Так вот, состоит ли такая наука — математическая экология, во многом зависит от того, сумеют ли математики освоить понятийный подход к биологическим проблемам, в особенности к экологии.

— Значение этого слова изменилось за последнее время... Ведь недавно под экологией понималась наука, изучающая связь живого организма со средой. Ныне же экологи занимаются и сообществами растений и животных, и взаимосвязями в биосфере и ее отдельных комплексах. Сфера деятельности их расширяется стремительно.

А. М. МОЛЧАНОВ: — Сформулировать точно и однозначно, что такое та или иная наука, — это конец пути, а не его начало, как принято думать. Математика, древнейшая из наук, многократно проигрывала внутри себя подобные ситуации — она поэтому может служить тут моделью для других, более молодых наук. Мы, математики, знаем теперь, что аксиоматика — это финал, а вовсе не начало нашей науки. Евклидом классическая геометрия кончается, а не начинается. Две тысячи лет от Евклида до Лобачевского и Римана — это развитие неевклидовой геометрии, и Риманом она, в свою очередь, не начинается, а, по существу, кончается. Мы же теперь в математической экологии находимся в самом начале пути и можем, конечно, пытаться угадать, какой должна стать эта наука. Это и все, что в наших силах. Я бы сказал, что нынешнее состояние нашей науки соответствует предпланковскому состоянию умов в физике. Вот-вот должен родиться некий постулат. Помочь этим родам, на мой взгляд, можно лишь одним способом: собирать представительные сообщества разного рода ученых. В этом году в Мозжинке была десятая, юбилейная школа по молекулярной биологии. Началась эта наука с открытия — с кода наследственности. Но еще десять лет назад представляла собою нечто неясное, что сегодня сформировалось в четкую научную дисциплину. Вот и нам следует идти таким же путем.

— Простите, Альберт Макарьевич, но вы как-то слишком уж вскользь, сравнили нынешнее положение в математической экологии с ситуацией в физике перед тем, как Планк высказал свой знаменитый постулат, и ушли от этой крайне любопытной темы...

А. М. МОЛЧАНОВ: — Мне кажется, наука эта сейчас подысчерпала концептуальный запас в той области, которая принадлежала ей по традиции: на определенных уровнях энергий, времен, расстояний. Мы далеки от такого периода, потому-то так интересно заниматься математической экологией. У нас пока еще высказываются новые, неожиданные идеи по самой сути еще не сложившейся науки...

— Сейчас самое время некоторые из них представить вашему вниманию. Хотелось бы узнать, Альберт Макарьевич, реакцию математика на те заявления, что привлекали внимание пушинской аудитории. А именно такие мы и старались записать.

ИЗ ВЫСТУПЛЕНИЯ Б. Я. ВИЛЕНКИНА, кандидата биологических наук (Москва):

— ...То, что мы до сих пор знаем о биологии, объединяется (вернее, мы пытаемся объединить) эволюционной теорией в ее современном виде. Вероятно, это единственно возможный путь к осмыслению всех наших знаний. Теория эволюции, которую начал Дарвин, вкуче с современными генетическими исследованиями — вот такая синтетическая теория говорит о том, что все биологические объекты устроены целесообразно. При любом исследовании популяции, организма или отдельных его органов и систем мы можем быть заранее уверены, что они созданы для наилучшего выполнения своей функции. Это помогает нам очень четко ограничить поиск и перебор каких-то вариантов исследования.

\* См. «Знание—сила» № 4 за этот год, статью «Азов глазами математика».

Иное дело — в экологии. Существенно помнить о том, что, как мне кажется, теория естественного отбора не дает оснований нам считать такими же целесообразными группировки животных и растительных организмов, которые являются объектом изучения экологии. Поэтому задача построения экологической теории — если такая теория вообще может быть создана! — представляется намного более сложной, чем исследования во многих, вероятно, даже в любых других областях биологии: изыскивая возможности как-то упростить эту сложную ситуацию, выделить из нее какие-то ведущие взаимодействия, приходится сознательно избегать любых соображений о целесообразности...

...Всякая работа начинается с того, что выбирается какая-то конкретная ситуация: южнорусская степь или какой-нибудь остров в Антарктике. В ней надо разобраться. И вот мы эту реальную ситуацию — комплекс существующих сообществ — делим на условные, но тоже реально существующие блоки, с тем чтобы изучить сначала каждый из них в отдельности, а потом, «слепив» вместе, попытаться понять, как устроена вся эта штука. По какому принципу делим? Вот по какой-то объединяются те группы популяций, которые с одинаковой скоростью реагируют на любые внешние возмущения. Как утверждают специалисты, с системой, подразделенной таким образом, легко можно обращаться, для нее существует разработанный математический аппарат.

Кроме того, некоторые данные по биологии популяций позволяют надеяться, что есть некая довольно однозначная связь между размерами индивидуальных организмов в популяции — речь идет только о животных, в этом я должен оговориться сразу, — скоростью их размножения, временем релаксации, иначе говоря, временем, за которое популяция восстанавливает прежний облик после происшедших в ней изменений, вызванных влиянием среды. — так вот, существует связь между всеми перечисленными величинами и пространством, на котором данная популяция может выжить. Если, например, мы хотим изучать жизнедеятельность фитопланктона в море, нам достаточно взять маленькую призму воды. Проводя же исследование того, как обеспечены пищей рыбы, мы должны были бы его развернуть на площади в несколько квадратных километров. Кита же изучать можно лишь вместе со всем океаном целиком.

— Нам кажется, здесь высказана вполне конкретная идея, которую уже сегодня можно использовать при моделировании экосистем.

А. М. МОЛЧАНОВ: — Совершенно верно... Мне приятно услышать Бориса Яковлевича — он копает с другой стороны туннеля. Его идея, как я ее понял, состоит в том, чтобы подойти к нашему общему объекту — биосфере — не с той точки зрения, как он устроен, а с той, как он будет меняться.

Кроме того, он, биолог, понимая трудности математика, имеющего дело с экологическими системами, ищет для нас «точки опоры» конструктивные, легко «подсчитываемые» зависимости, наблюдаемые в природе. Одну из них он и предложил вниманию аудитории.

Чрезвычайно близкие мне слова прозвучали из уст геолога Александра Ильича Перельмана. Его позиция состоит в том, что огромную роль в природных системах, в их развитии играют так называемые поляризационные барьеры — столкновение противоположных «по знаку» явлений. Скажем, кислые воды натываются на щелочной барьер, и... рождается будущий объект биологии.

Неожиданно для меня прозвучал доклад, в котором автор его подметил любопытную закономерность при переходе от горной растительности к равнинной. Оказывается, роскошество жизни, ее разнообразие не нарастает по плавной кривой, а имеет некий максимум — где-то в преддолинной области; в долине же оно вновь уменьшается, достигая равновесия. Как говорят специалисты, система приходит в климаксное состояние. Так вот это — наиболее устойчивое состояние животных и растительных сообществ — уже итог деятельности природы. А «мастерская» ее находится там, в предгорье. Видимо, тут есть над чем задуматься специалистам по моделированию биосферы. Ведь предравнинный максимум можно обнаружить — это чистое предположение пока — и при временном рассмотрении ее.

Мы еще поговорим о том, как важны математической экологии подобные «поляризационные барьеры» вроде этих выступлений. А сначала послушаем дальше.

ИЗ ВЫСТУПЛЕНИЯ И. И. ГИТЕЛЬЗОНА, доктори медицинских наук (Красноярск):

— ...Нынешний уровень развития цивилизации ставит вопрос о структурной единице жизни. Обычно такими единицами считают клетки или организмы, но, на мой взгляд, это неверно. Их можно считать единицами живого, но жизнь как устойчивый замкнутый процесс свойственна только планете в целом. Единственная известная нам единица жизни — биосфера Земли. Как самоподдерживающийся процесс жизнь еще никогда не выходила за ее пределы.

Для того чтобы такой выход состоялся, необходимо вычленив из земной биосферы все связи, относящиеся к жизнедеятельности человека.

Но осуществим ли в принципе такой малый замкнутый круговорот, то есть будет ли он устойчивым в течение длительного времени? Вот этот вопрос и приводит к проблеме о том пределе малости, начиная с которого возможно автономное, без обмена веществом со средой, существование биологических систем.

Проведенные нами в Красноярском институте физики имени академика Киренского исследования показывают, что все основные механизмы, обеспечивающие устойчивость земной биосферы, теряют эффективность в малых системах. Ведь все они основаны на избыточности — огромном количестве видов, способных замещать друг друга, разнонаправленности действия различных процессов в огромной, протяженной во времени и пространстве системе, наконец, на том, что в биосфере всегда есть большие «косные», по выражению Вернадского, массы, иг-



рающие роль буфера в круговороте веществ, без которых процесс мог бы застопориться при первой же нехватке нужных продуктов. Всего этого нет и не может быть в малых замкнутых системах.

Где же выход?

Очевидно, что природа за всю эволюцию не выработала малых замкнутых систем. Но она и тут дает нам намек. Организм, эта малая биологическая система, хоть и незамкнутая и неавтономная, управляет размножением и дифференцировкой клеточных популяций внутри себя самого. Этот вид управления представляется нам ключом к решению проблемы. Возникает экспериментальная задача: сочетать в одном биологическом объекте свойства двух биологических уровней — организма и биоценоза. Сверх того надо придать этому и без того удивительному объекту новое, не свойственное никаким биологическим системам качество — замкнутость материального обмена. Иными словами, если речь идет о системе, в состав которой входит человек, то надо создать «зеркального человека» — биосистему, потребляющую все метаболиты человека и выделяющую в качестве своих метаболитов все необходимые для его существования вещества.

Мы у себя в институте изучаем различного рода замкнутые системы подобного вида.

А. М. МОЛЧАНОВ: — Исходная позиция Гиттельсона привлекательна тем, что он свои модели систем с замкнутым обменом не уподобляет биосфере, что невозможно, а идет доступным человеку путем. Его детища, будучи подобными биосфере, — готовый продукт, а не полуфабрикат, вместе с тем это замечательный объект для дальнейших, уже математических изысканий.

Мне кажется, полезно познакомить читателя и с одним из моих коллег — я говорю о докторе физико-математических наук В. А. Егорове. Дело в том, что он привез в Пушино в некотором роде сенсацию. Вы знаете, что вот уже несколько лет действует так называемый Римский клуб, собравший людей, исповедующих пессимистические представления о будущем биосферы, в случае, если сохранится нынешний уровень развития производства. Так вот с пессимистическими выводами римских клубменов спорит Егоров, спорит весьма аргументированно.

ИЗ ТЕЗИСОВ К ДОКЛАДУ В. А. ЕГОРОВА, доктора физико-математических наук:

...Математическая модель глобального взаимодействия человека с окружающей средой была предложена профессором Форрестером, а затем ее развили и детализировали в Массачусетском технологическом институте. Она учитывает взаимное влияние таких факторов, как плотность населения, загрязнение окружающей среды, рост фондов промышленного и сельскохозяйственного производства, ограниченность невозобновляемых минеральных и пищевых ресурсов и некоторые другие обстоятельства. Анализ ее, проведенный группой системной динамики МТИ, показала, что при сохранении современных тенденций в развитии мировой системы вслед за периодом роста населения, капитала, материального и пищевого благополучия должна последовать — во второй половине следующего века — катастрофа, выражающаяся в чрезмерном загрязнении Земли, истощении природных ресурсов, быстром уменьшении населения, упадке промышленного и сельскохозяйственного производства. Отсюда, в духе идеологии Римского клуба, делается вывод о необходимости стабилизировать экономику на нынешнем уровне, сбалансировать рождаемость со смертью, и загрязнение Земли — с абсорбцией этих вредных продуктов.

...Советские специалисты в большинстве своем пришли к выводу, что хотя опасность подобной катастрофы реальна, но ее можно предотвратить регулируемыми воздействиями со стороны человека.

...Однако никак до сих пор не рассматривался вопрос о том, как осуществлять воздействия такого рода. Мы в Институте прикладной математики предприняли попытку проанализировать модель Форрестера с этих именно позиций. Нам удалось показать на ней, что кризиса действительно возможно избежать, если определенным образом управлять распределением капиталовложений между секторами модели. При этом мы обходимся без прямого управления демографическими параметрами.

...Модель продемонстрировала нам, что затраты на восстановление природных ресурсов и уничтожение загрязнений не могут быть столь ничтожными, как в настоящее время, а должны составлять десятки процентов от всех затрат общества.

А. М. МОЛЧАНОВ: — Ну, а в целом и все эти, и многие другие доклады, выступления, беседы в Пушино свидетельствуют в пользу принятого нами способа отыскания «краеугольных камней» для новой науки. Необходимые ей идеи должны проявиться, когда собирается достаточно много людей, думающих в определенном направлении. Сфера биосферы многогранна! Таков мой лозунг. Вот эти грани мы и стремимся увидеть. По сути своей, наши школы — это настороженные капканы, в которые мы рассчитываем уловить все стоящие идеи.

Молнии мысли сверкают между противоположными полюсами. Мое глубоко личное, глубоко выстраданное убеждение: любую серьезную задачу должны решать обязательно два человека, два профессионала, два специалиста разных наук. «Диполь» — это кодовое название такой конструкции, которое я обычно применяю в разговорах с единомышленниками. В биологии вторым компонентом ее мне непременно видится математик

— Что же может внести в подобный союз математик, что позволит ускорить исследования биолога?

А. М. МОЛЧАНОВ: — В первую очередь — культуру мышления, завоеванную тысячелетним развитием точных наук. Умение четко ставить задачу. Константин Иванович Бабенко, у которого я много лет учился работать, говорил мне, что главное качество настоящего математика — сразу видеть, где математика не нужна.

Вот возьмем всего лишь один вопрос — правда, очень важный — о масштабах при изучении того или иного объекта природы. Математик

может внести здесь ясность в далеко не очевидные для представителей ряда наук вещи.

Пусть, для примера, объект нашего изучения — река. Математик сразу спросит вас, на каких временах и пространствах вы собираетесь его рассматривать.

Если масштаб времени год — десятилетие, а река интересует вас на расстояниях сто — двести километров, то она — поток воды. Морфологическая структура — извилистое русло.

Теперь возьмем отрезок времени в тысячу лет. Сразу же приходится заменять и другую цифру — для Волги, например, надо рассматривать ее на протяжении уже, скажем, двух тысяч километров. Вместо русла мы увидим куда более прямую долину. Вместо воды мы увидим поток осадочных пород, а вода станет на этих временах просто рабочим телом, перемещающим к морю эти породы. Река движется, так сказать, поперек себя — поток осадочных пород перпендикулярен течению воды. Если в предыдущем случае река была объектом изучения гидрологии, гидрогеологии и других подобных наук, то теперь в игру вступает, как минимум, геология, с интересом исследующая поток осадочных пород, сползающих в Каспийское море.

А недавно я где-то прочитал еще об одном чудесном преображении вроде бы знакомого лица. Речь идет уже о миллионах лет. Ожило, задышало Каспийское море. Волга в него впадает, но то в Казани, а то и южнее Баку. В этом случае морфологическая структура такой системы — дельта, создающая биогенные нефтеносные слои. Дельта Волги прочертила полосу от Баку до Казани, которая теперь отмечена нефтяными вышками.

Так математик может посмотреть непривычно на различные науки, базирываясь на их собственных результатах.

— Наблюдался ли подобный процесс в вашей школе в Пушино?

А. М. МОЛЧАНОВ: — Кое о чем вы уже могли судить сами, когда мы с вами прослушивали пленки. А вот вам новый пример: Георгий Георгиевич Винберг делал доклад: «Трофические уровни и физиология». Как само собой разумеющееся, он говорит, что есть водоемы, в которых за неделю фильтруется весь объем воды через каких-то рачков, жучков или паучков. Вот тебе и цена нашим моделям! Ведь «шаг времени» в них берется большой. Мы тщательно и педантично учитываем гидродинамику, ветровое воздействие, перемешивание и т. д., а надо, может быть, обо всем этом забыть и обращать внимание лишь на существ, подобных этим рачкам. Может быть, именно они определяют все изменения в системе, нас интересующей. А откуда известно, что подобных сюрпризов, которые могут преподнести нам профессионалы-биологи, больше нет?

Быть может, теперь вам яснее будет мой протест против подходов типа имитационного моделирования в его классическом варианте. Мы не знаем даже, какие процессы в каком случае играют главную роль, а уж бежим к машине со своими уравнениями...

Естественно, я резонирую на новые идеи, ищу встречи. И то же самое происходит с другими людьми. В том и смысл...

— Кстати, во вступительном слове, помните, вы приводили и еще некоторые аргументы в обоснование этой своей точки зрения. Позвольте, Альберт Макарьевич, еще раз включить эту пленку.

ИЗ ВЫСТУПЛЕНИЯ А. М. МОЛЧАНОВА:

...В самом деле, мы как человечество в целом доигрались до критических ситуаций, критических режимов по многим биологическим системам. И это просто стало на повестку дня, независимо от того, хотим мы этого или не хотим. Многие системы выведены на критический режим: на такой, на котором они начинают рассыпаться, распдаться или, наоборот, бурно расти.

Я не хочу предаваться апокалиптическим настроениям. Сейчас появился термин «экоистерика». Так вот, не впадая в экоистерику, надо разобраться в том, что происходит...

Есть и другая причина активности математической экологии — внутренняя, математическая: когда какая-нибудь система оказывается в ситуации критической, ведущим в ней всегда остается наибольшее число связей, переменных, говоря языком математики. А это позволяет надеяться на адекватную — только в такой критической ситуации — модель системы.

Есть еще одна сторона вопроса, которая, может быть, еще важнее, но мы к ней в этом составе абсолютно не готовы. Это проблема технологическая.

Еще раз повторю, я лично не верю в то, что развитие промышленности можно не то что остановить, но даже сколько-нибудь затормозить. Она будет развиваться. Сие от нас не зависит. Есть сложная, трудная, пока нами не постигнутая логика развития больших систем, которая позволяет нам с уверенностью сказать, что вот нынешний темп развития промышленности будет оставаться таким довольно долго.

И вот тут есть еще одна, на мой взгляд, существенная возможность приложения нашей будущей науки — вмешательство в технологические процессы. Быть может, такие направления, как биологизация промышленности, помогут решению и трудных экологических вопросов.

Я думаю, что здеиная обстановка — климатическая и топографическая: холм, на котором мы находимся и с которого открывается прекрасный вид на Заокский заповедник, где бродят зубры, — поможет нам избавиться себя от многих типичных заблуждений и сделать кое-что в избранной нами области...