

## ПРИНЦИПЫ ОПИСАНИЯ БИОТИЧЕСКОГО КРУГОВОРОТА

А.А. Титлянова

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск,  
[argenta@issa.nsc.ru](mailto:argenta@issa.nsc.ru)

Алексей Андреевич Ляпунов был не просто ученым, он был мыслителем и объектом его интереса был весь мир. Естественно, что биологический (теперь употребляется термин биотический) круговорот – грандиозный процесс, на котором зиждется жизнь, являлся одной из ключевых тем его размышлений.

Разрабатывая системный подход к описанию явлений и процессов, Алексей Андреевич сформулировал основные принципы строгого описания биотического круговорота в пределах экосистемы.

Ученые давно работали с биологическим круговоротом. Генеральная идея о современности и всесущности круговорота была изложена еще в трудах В.И. Вернадского. Биологический круговорот изучался у нас в стране Н.П. Ремезовым, Н.И. Базилевич, Л.Е. Родиным, М.А. Глазовской в пятидесятые-шестидесятые годы прошлого столетия. Уже многое было сделано, очень важные величины, относящиеся к биотическому круговороту, были получены. Однако существовала полная путаница в терминах, в единицах измерения и в правилах построения баланса. Что же сделал с моей помощью А.А. Ляпунов? Прежде всего, нами были выделены основные понятия: субстанция (вещество или энергия), блоки и потоки. Если субстанцией было вещество, то оно характеризовалось запасом, т.е. массой и измерялось в  $г/м^2$  или  $т/га$ . Вещество перетекало из блока в блок. Перемещение называлось потоком, поток характеризовался интенсивностью и измерялся в  $г/м^2 \cdot год$ , или в других единицах массы, площади и времени. Потоки связывали блоки внутри экосистемы (внутренние потоки), а также входили из окружающей среды в экосистему (входной поток) и выходили из нее (выходной поток). Если поток был сложным (так, эмиссия  $CO_2$  из почвы имеет несколько источников), то он разбивался на обменные процессы, каждый из которых также характеризовался интенсивностью. Выделение субстанций, блоков и потоков должно быть взаимно согласовано и подчиняться законам сохранения.

Если в блок входит некоторая субстанция, которая накапливается или расходуется и вытекает из блока, то должны быть учтены все потоки данной субстанции, приводящие к заметному изменению ее запаса в блоке. Кроме того, в пределах блока необходимо учесть суммарный расход или суммарное производство данной субстанции.

Для каждого потока количество любой субстанции, поступающей в него из некоторого блока (или блоков), должно равняться количеству субстанции, выдаваемой этим потоком в какой-то блок (или блоки) в течение заданного промежутка времени. Учитываются как

внутренние потоки внутри экосистемы, так и входные и выходные потоки в экосистему и из экосистемы. Таким образом, полнота описания должна быть такой, которая обеспечивает возможность составления баланса.

Обменные процессы в пределах некоторой экосистемы могут быть описаны посредством ориентированного графа, вершины которого обозначают блоки, а ориентированные ребра – потоки субстанций с учетом их направления.

Из двух основополагающих элементов «запас в блоке» и «интенсивность потока» вытекают коэффициенты, величины которых характеризовали специфику круговорота в данной экосистеме – удельная скорость обменного процесса и время оборота вещества в блоке или во всей системе.

Были разработаны четкие правила построения бюджета (или, как ранее было в текстах, баланса) круговорота в любой экосистеме. Часто именно построение бюджета открывало ошибки измерения или неучтенные процессы. Отсюда родилась поговорка: «Баланс никогда не врет».

Любой круговорот в природе сложен. Однако разработанные А.А. Ляпуновым с моей помощью простые правила: построение граф-схемы биотического круговорота, выделение блоков и потоков, разделение (если необходимо) потоков на отдельные процессы и построение бюджета упрощало не только теоретическую, но и практическую работу в поле. После работы за столом ты уже знаешь, что и в каких единицах ты измеряешь. А вот как измерять – это уже работа полевых экологов.

Кроме основных понятий нами были сформулированы определения различных режимов биотического круговорота и принципы их выделения.

Важно отметить, что теоретическая деятельность А.А. Ляпунова в области биотического круговорота пришлась на время активной работы Международной биологической программы — МБП. С моей точки зрения, МБП была лучшей международной научной программой. Она имела хорошо сформулированные цели и задачи, более или менее согласованные методики полевых работ, сеть стационаров, на которых проводились многолетние наблюдения в разных странах, и, что самое важное, большие коллективы ученых — энтузиастов МБП в Европе, Азии, Южной и Северной Америках.

Те ученые, которые вместе с Алексеем Андреевичем обсуждали и формулировали положения его концепций, работали в коллективах МБП и передавали в разной форме его идеи своим коллегам. Круг экологов, начинавших думать и рассуждать системно, расширялся. Главное же заключалось в том, что мозговой центр МБП избрал процессы обмена веществом и энергией в экосистемах как ключевые процессы, которые должны были изучаться в рамках Программы.

К тому времени, когда был накоплен эмпирический материал, требовавший обобщения, уже была готова та схема, которая обеспечивала любую степень обобщения: от отдельной экосистемы до биосферы. Это удивительное совпадение во времени появления большого массива данных и инструмента его синтеза определило быстрое распространение и включение в экологию системного подхода. Одновременно широкое развитие получило математическое моделирование. Цепочка: полевой сбор материала по адекватным методикам, его анализ и синтез на основах системного подхода, построение модели, описывающей функционирование экосистемы — к началу восьмидесятых была построена. В ее создании огромная заслуга принадлежит А.А. Ляпунову.

К настоящему времени представление о строении биотического круговорота претерпело большие изменения. Часть экологов осознала, что круговорот не круг, не цикл, в котором, выйдя из точки *A*, вернешься в нее же. Круговорот — это сети, вложенные в другие сети. К такому, совершенно правильному понятию еще надо привыкнуть. Надо нагрузить сеть, каждую ее петлю определенными величинами. Оказалось, что мы имеем дело не с круговыми, а с сетевыми процессами. Вероятно, существуют правила или законы сетевых процессов. Мы в экологии этого не знаем. И с нами, к сожалению, нет Алексея Андреевича Ляпунова или другого человека его масштаба, который бы повел с экологами работу в области сетевых процессов такой же интенсивности и четкой направленности, как Алексей Андреевич.

Я вспоминаю один эпизод, который показал мне, как отдельная пионерная теоретическая работа превращается в науку и растворяется в ней. Главным редактором «Ботанического журнала» академиком Е.М. Лавренко, нам с Алексеем Андреевичем была заказана статья «Системный подход к изучению биогеоценоза».

И вот тут началась длительная история, потому что эту статью нам непрерывно заворачивали. Редакцию все что-то не устраивало. Алексей Андреевич очень серьезно отнесся к первому варианту критики. Сказал: «Давайте исправим этот раздел, разъясним это понятие, добавим новый пример, уберем непонятный кусок текста». Мы сделали все что возможно, чтобы удовлетворить требования рецензентов. Но они продолжали заворачивать статью, объясняя, что опять вот это непонятно, и все время, указывая, что нам нужно писать и что не нужно. После второго раза Алексей Андреевич сказал: «Что вы теряете время? Отзовите статью». Я: «Ну, как же, ведь мы должны выйти на широкую аудиторию. Кроме того, эта статья — заказ, и мы обязаны убедить рецензентов». Он: «Ничего не надо! Через 20 лет молодые люди будут все это знать, и им будет казаться, что они это знали всегда. Вот это и есть настоящая наука, и она пробьется другими путями, через другие статьи. А если редакция „Ботанического журнала“ не хочет печатать статью, заберите ее у них».

Самое удивительное заключается в том, что еще не прошло двадцати лет, а системный подход стал общим понятием. И всем кажется, что так было всегда, они на этих понятиях выросли. Всегда были эти схемы, эти концептуальные, а затем и математические модели, а что тут особенного? Алексей Андреевич оказался прав!

С течением времени многие положения науки становятся безымянными, имена тех, кто формулировал понятия и общие концепции, забываются. Сейчас само сочетание слов «системный подход» уже почти не употребляется. Однако то, что сделал А.А. Ляпунов, остается в теоретических науках о Земле и Жизни в виде идей, понятий, схем и становится, как говорил сам автор, общеизвестным — т. е. настоящей наукой.