

# НЕКОТОРЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ОТКЛИКА ПРЕСНОВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ ТОКСИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Трофимчук М.М.<sup>1</sup>, Никаноров А.М.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт водных проблем ЮО РАН, <sup>2</sup>ФГБУ «ГХИ», Россия

Для определения меры возможности дальнейшей эксплуатации гидросферы, не влекущей необратимых изменений в ее функционировании, как минимум необходимы новые способы оценки состояния водных экосистем как целостных биогеохимических структур и надежные, научно обоснованные критерии их эволюции. Такая задача, как показала многолетняя практика, не может быть решена на основе существующих подходов, базирующихся на частных оценках качества воды по гидрохимическим показателям и оценках состояния отдельных биотических структур экосистем – организмов, популяций, сообществ, многообразие которых определяется специфическими условиями окружающей среды. Необходимо использование общих для всех водных экосистем характеристик их функционирования.

Все многообразие процессов, происходящих в водных экосистемах, замыкается на преобразовании солнечной энергии. Поэтому для исследования в качестве приоритетных нами были выбраны внутриводоемные процессы, непосредственно связанные с преобразованиями солнечной энергии. В качестве обобщенных параметров, характеризующих процесс трансформации солнечной энергии в водных экосистемах, были определены первичная фотосинтетическая продукция и деструкция органического вещества, отражающие все многообразие биотических связей и абиотических компонентов водных экосистем. Отношение деструкции к первичной продукции ( $R/P$ ) может служить в качестве меры термодинамической упорядоченности экосистемы, а скорость изменения этого отношения ( $\Delta(R/P)\Delta t^{-1}$ ) – в качестве одного из термодинамических критериев эволюции состояния экосистем.

В период с 1987 по 2010 гг. в Гидрохимическом институте было выполнено более 20 серий натуральных экспериментов, в которых были исследованы более 100 вариантов модельных экосистем. Анализ данных по динамике продукционно-деструкционных процессов проводили в трехмерном фазовом пространстве  $\{\Delta(R/P)\Delta t^{-1} - R/P - |V|\}$ , где  $P$  – валовая первичная продукция,  $R$  – деструкция,  $|V|$  – модуль вектора,  $\Delta t$  – время. Вектор  $V$  определялся в параметрическом  $R$ - $P$  пространстве как вектор, выходящий из начала координат в центр стационарной области (центр аттрактора). Модуль вектора рассчитывали как векторную сумму среднеарифметических значений  $P$  и  $R$ , принадлежащих стационарному состоянию экосистемы.

Анализ фазовых портретов модельных и материнских экосистем позволил установить ряд закономерностей функционирования водных экосистем неизвестных ранее.

В частности, выявлено, что водным экосистемам внутренне присуще функционирование с регулярной сменой режимов: стационарные состояния, характеризуемые минимальными значениями скорости изменения отношения деструкции к продукции, перемежаются нестационарными режимами с резким возрастанием величины  $\Delta(R/P)\Delta t^{-1}$ .

Установлено, что стационарные состояния водных экосистем вероятны в довольно узких пределах значений отношения деструкции к продукции. Области фазового пространства, лежащие в этих пределах, выступают в качестве аттракторов оптимального состояния экосистем в данных условиях. Результаты нескольких экспериментов показали, что таких аттракторов в фазовом пространстве может быть как минимум два.

Возврат экосистем в «исходное» состояние выглядит таковым только в проекции фазового пространства –  $\{\Delta(R/P)\Delta t^{-1} - R/P\}$ . В проекции  $\{\Delta(R/P)\Delta t^{-1} - |V|\}$  происходит смещение стационарной области по оси  $|V|$ .

Установлена немонотонная зависимость между изменением фазового объема импактных экосистем и величиной токсического воздействия. Это проявляется в чередовании сжатия-расширения фазового объема модельных экосистем при монотонном увеличении токсических нагрузок в импактных мезокосмах.

Переход экосистем из одного состояния в другое происходит не плавно, а скачкообразно в моменты бифуркации при резком изменении направления фазовой траектории и при нулевых значениях величины  $\Delta(R/P)\Delta t^{-1}$ , что позволяет отчетливо регистрировать момент перехода экосистемы из одного состояния в другое.

Выявлена различная реакция экосистем на воздействие одних и тех же токсикантов в сравнимых дозах в зависимости от режима функционирования экосистем в момент воздействия. Режим функционирования количественно характеризуется величиной  $\Delta(R/P)\Delta t^{-1}$ , которую можно интерпретировать как удельную метаболическую мощность экосистемы. Чем меньше эта величина, тем чувствительней экосистема к токсическим воздействиям. Таким образом, удельная метаболическая мощность экосистемы может рассматриваться в качестве меры устойчивости экосистем к внешним воздействиям.