

## МЕТОД ГРАФИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ВОЗМОЖНЫХ ТРАНСФОРМАЦИЙ ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ БИОФОНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИРОДНОГО И АНТРОПОГЕННОГО ГЕНЕЗИСА

© 2014 Л.В. Разумовский, Е.М. Шумакова

Институт водных проблем РАН, г. Москва

Поступила 07.06.2014

В работе описывается метод графического анализа, разработанный для озерных экосистем. В дальнейшем аналогичные закономерности были установлены для проточных водоемов. При анализе таксономической структуры пресноводных диатомовых комплексов было выделено три сценария их трансформации. Два сценария развиваются при воздействии на экосистему извне. Третий сценарий может развиваться в экосистеме, если меняются физико-химические свойства самой водной среды или морфометрические параметры водоема. Позднее, сходные закономерности были установлены по другим структурообразующим группам в пресноводных экосистемах (бактериопланктон и др.). По аналогичной методике были проанализированы негативные трансформации, зафиксированные в природно-техногенной системе (Жигулевской ГЭС). Воздействия были связаны с динамическими нагрузками при работе гидросооружений, а «отклик» системы выразился в росте интенсивности вибраций грунтов. Графический анализ позволил сделать вывод о необратимости произошедших трансформаций. Общность сценариев, наблюдаемых во всех рассмотренных случаях, позволяет отнести все рассмотренные системы к биофоническим.

**Ключевые слова:** метод графического анализа, антропогенная трансформация, природно-техногенные системы

Метод графического анализа первоначально был разработан при пространственном анализе донных комплексов диатомовых водорослей из современных озерных осадков [7, 8]. Были исследованы более 100 озер из различных регионов Европейской части России [9, 13]. Анализ трансформации структуры диатомовых комплексов во времени был изучен по колонкам донных отложений из 10 озер, расположенных в различных ландшафтно-климатических областях [7–13]. При применении разработанной методики анализа, озера были разделены по двум категориям размерности: с площадью водного зеркала менее 1 км<sup>2</sup> (малые) и с площадью водного зеркала от 1 до 4 км<sup>2</sup> (средние).

Закономерности трансформации, которые были выявлены для диатомовых комплексов из не-проточных экосистем (озер), имеют аналоги, которые наблюдаются в проточных экосистемах [9].

Метод графического анализа состоит в следующем: при построении графиков по оси абсцисс откладывается число идентифицированных таксонов видового и более низкого рангов (далее в тексте – таксонов), а по оси ординат – их относительная численность. Таксоны ранжируются по показателю относительной численности в сторону его уменьшения. По относительной численности таксоны разделяют на группы: доминирующие (обычно не менее 8-10% от комплекса), сопут-

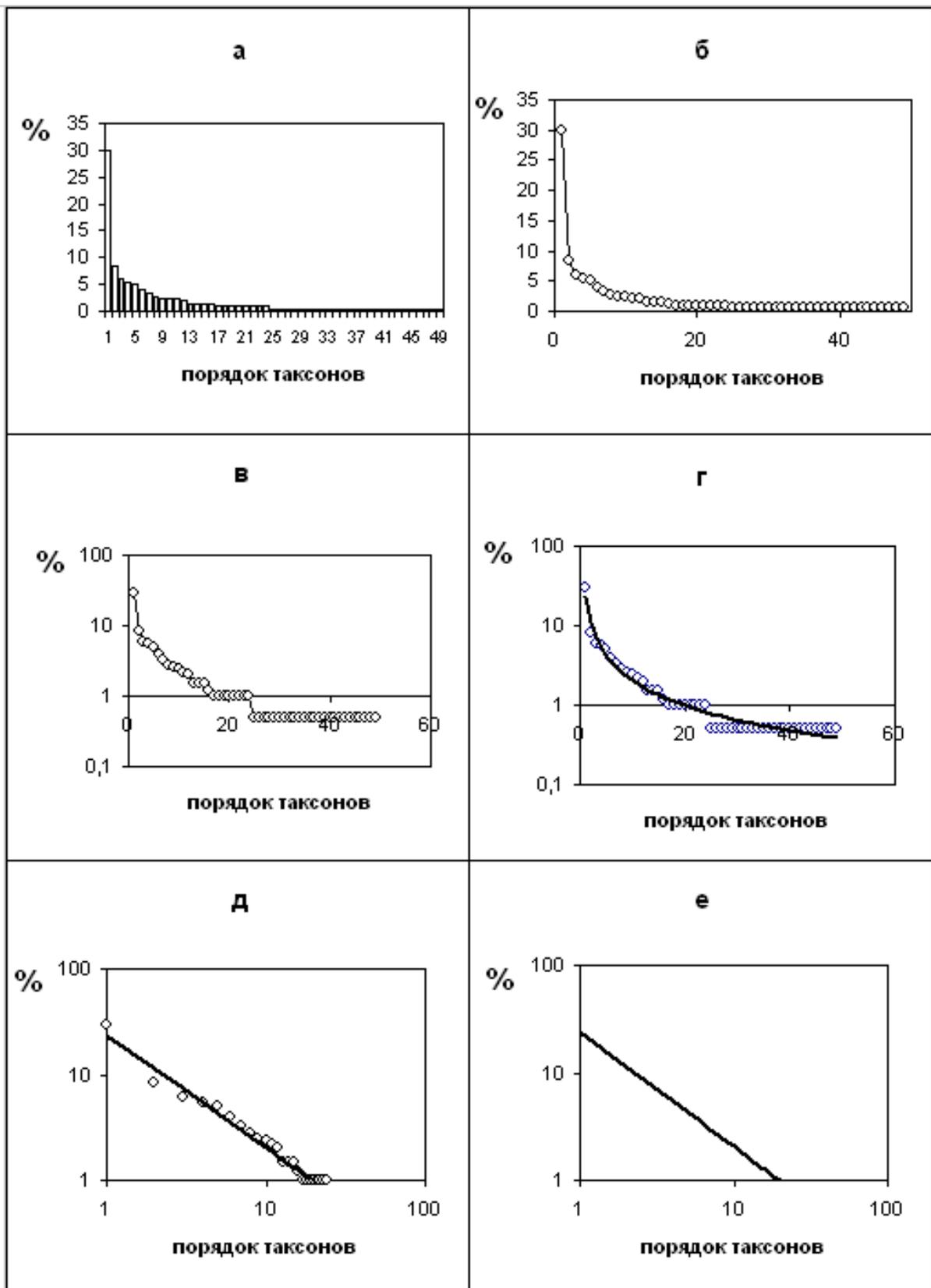
ствующие (более 1-2%) и редкие (обычно менее 1%). В результате, в линейной системе координат строится исходный график или гистограмма.

Анализ полученных графиков (гистограмм) проводится в линейной и логарифмической системе координат. В логарифмической системе координат анализируются не сами графики, а их тренды, представленные результирующими прямыми линиями.

Графический анализ проводится последовательно и состоит из нескольких этапов (рис. 1). На рисунке 1а представлена исходная диаграмма, построенная для малого озера (< 1 км<sup>2</sup>) при отсутствии негативной нагрузки на его экосистему. Этот же график в линейной системе координат можно представить в виде графика или в виде точечной диаграммы (рис. 1б). Если придать шкале измерений по оси Y логарифмическую форму, то очертания графика изменятся (рис. 1в). Значения относительной численности таксонов будут преобразованы (изображены в логарифмической системе координат). Линия тренда (усредненных значений) будет представлена в виде вогнутой кривой (рис. 1г). Если придать логарифмическую форму обеим шкалам, то линия усредненных значений (результатирующая линия) приобретет очертания прямой (рис. 1д). В этом случае анализируются только результирующие линии (рис. 1е).

Кроме того, в линейной системе координат у полученных графиков или гистограмм всегда образовывался «хвост», состоящий из редких и случайных таксонов, имеющих незначительную относительную численность в комплексе (рис. 1а, б).

*Разумовский Лев Владимирович*, доктор географических наук, ведущий научный сотрудник, razum@aquas.laser.ru;  
*Шумакова Елена Михайловна*, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, spectr46@gmail.ru



**Рис. 1.** Методика графического анализа таксономической структуры диатомовых комплексов

В отличие от доминирующих и сопутствующих таксонов, представляющих собой, некую устойчивую, экологически адаптированную совокупность, в хвостовой части гистограммы располагается «хаотизированная» часть диатомового

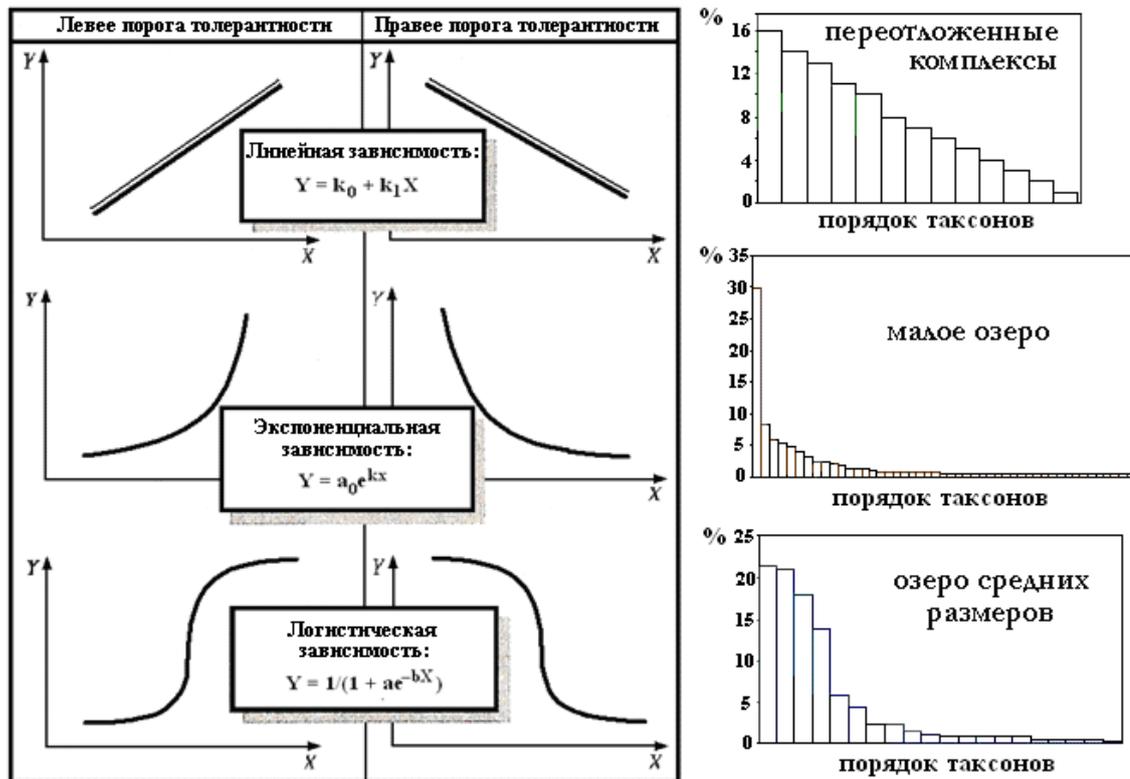
комплекса. Это представители таксонов, присутствие или отсутствие которых в каждом биотопе имеет спорадический или случайный характер. Общая совокупность этих таксонов полностью попадает под определение «статистический шум».

Доминирующие и сопутствующие таксоны составляют около 2/3 от общей относительной численности в комплексе [3]. Это приблизительно соответствует  $2\sigma$  (где  $\sigma$  – стандартное отклонение при нормальном распределении).

Поэтому, в логарифмической системе координат результирующие линии строились двумя способами: с учетом всего спектра таксонов (чтобы не потерять часть информации) и только с учетом доминирующих и сопутствующих таксонов. В последнем случае 1/3 от общей относительной численности, т.е. «хвост» гистограммы, не учитывалась.

Во всех случаях, в логарифмической системе координат, для результирующих линий рассчитывался коэффициент детерминации ( $R^2$ ), позволяющий оценить статистическую достоверность проводимых графических построений. Достоверность оценивается по коэффициенту корреляции ( $r$ ), который должен быть более 0,75 (соответственно  $R^2 > 0,57$ ).

В линейной системе координат были выделены два типа графиков естественной, ненарушенной структуры таксономических пропорций в диатомовых комплексах [7, 8] (рис. 2).



**Рис. 2.** Три основные формы нециклических «отликов» экосистемы  $Y$  на воздействующие факторы среды  $X$  (по [15] с сокращениями) и три основных формы распределения таксономических пропорций в диатомовых комплексах

Один из них своим очертанием близок к экспоненциальной зависимости и характерен для малых озер. Для озер среднего размера форма полученных графиков имеет определенное подобие с логистической зависимостью [17]. Оба типа графиков отражают, в той или иной степени, исходные, прижизненные таксономические пропорции в диатомовых комплексах. Они соответствуют двум из трех основных нециклических форм зависимостей [17], которые возникают в экосистемах при их ответных реакциях на внешнее воздействие (рис. 2).

При анализе переотложенных комплексов был выделен (идентифицирован) третий тип графиков, имеющий линейные очертания (рис. 2). Такой тип распределения характерен для переотложенных комплексов.

При анализе в логарифмической системе координат для озер малого и среднего размера был получен ряд основополагающих закономерностей, объяснимых с позиций теории самоорганизации [16]. Были выделены три основных сценария пространственно-временной трансформации.

Для озер малого размера характерен первый из выявленных сценариев трансформации диатомовых комплексов. При увеличении негативной нагрузки происходит «вращение» результирующих линий вокруг некой точки или локальной области (рис. 3). Этот процесс происходит до определенного предела, после чего результирующие линии перемещаются из области гипотетического «вращения», что соответствует стадии деградации биоценоза в озере.

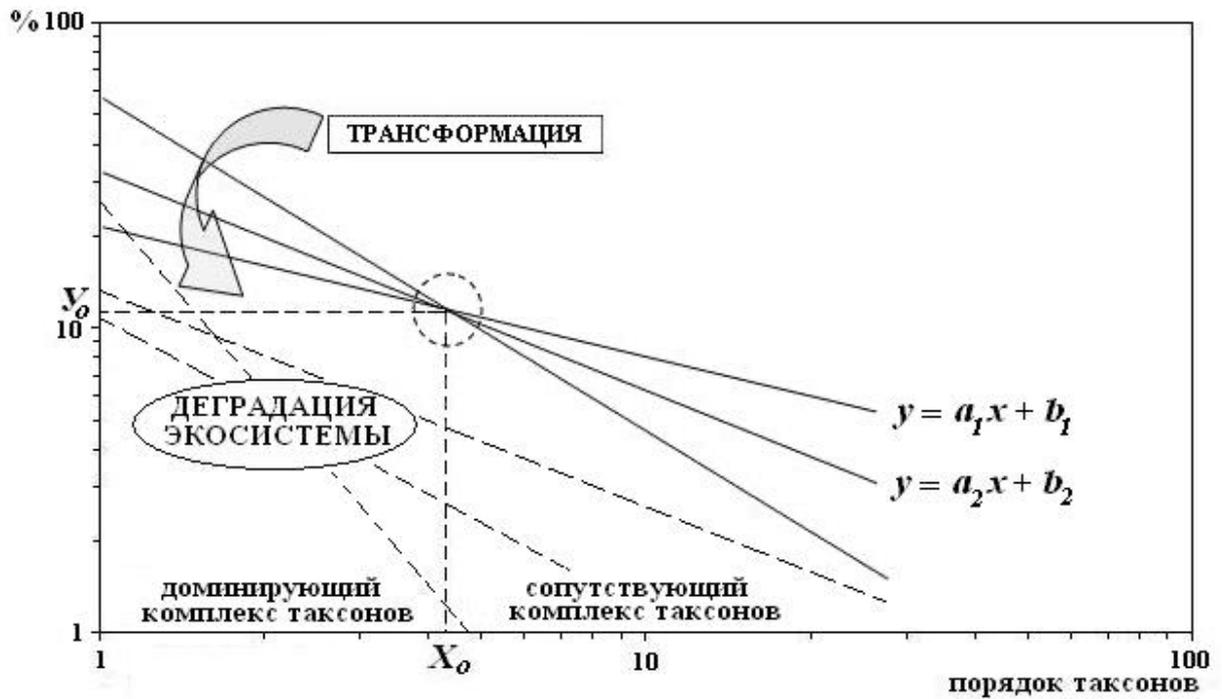


Рис. 3. Обобщенная модель трансформации диатомовых комплексов из озер малого размера

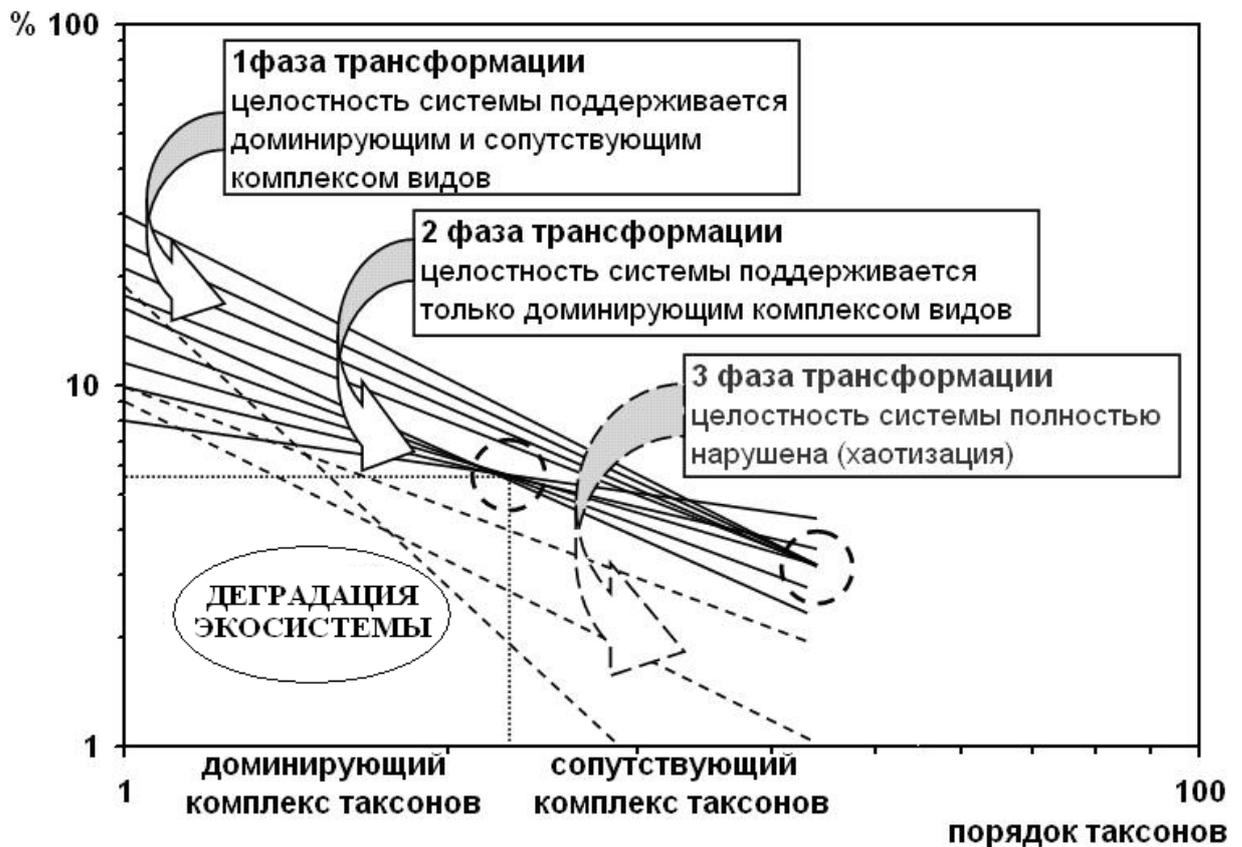


Рис. 4. Обобщенная модель трансформации диатомовых комплексов из озер среднего размера

В логарифмической системе координат была получена зависимость между значениями  $X$  (порядком каждого таксона) и  $Y$  (его относительной численностью) через два коэффициента:  $Y = k_i X^{a_i}$ .

Первый из них,  $a_1$  определяется линейным параметром: расстоянием до источника генерации негативного воздействия. Зависимость имеет степенной характер, т.к. при продвижении к источнику генерации, сила негативного воздействия будет расти нелинейно.

Второй коэффициент  $k_1$  имеет композиционную структуру. Его линейный компонент содержит численные значения  $X_o$  и  $Y_o$ , которые соответствуют координатам точки «вращения» результирующих линий в логарифмической системе координат (рис. 3). В обобщенном понимании, это необходимое число доминирующих таксонов ( $X_o$ ) и допустимый нижний порог их относительной численности ( $Y_o$ ), который может обеспечить трофо-метаболическую целостность малого озера (рис. 3). При отсутствии негативных нагрузок эти значения отражают минимальный размер озера, как элементарной, дискретной единицы в структуре изучаемой водной экосистемы.

В этом случае понятие «малое озеро» сопоставимо с понятием «биотоп». Все остальные озера: средней и большой размерности, простой или сложной структуры, можно всегда «разложить» на эти элементарные экологические единицы – «малые озера» (биотопы) [9, 13].

Для озер среднего размера характерен второй из выделенных сценариев трансформации, который на начальном этапе выражен в форме веерообразного «разворота» вокруг некоей области. В обобщенном варианте, этот этап трансформации ограничен результирующими линиями, которые образуют в логарифмической системе координат некий сектор. В этом случае, трофо-метаболическая целостность озер среднего размера поддерживается не только доминирующим комплексом («вращение» вокруг локальной области), но и группой сопутствующих видов (веерообразный «разворот»). Внутри этого сектора расположены графики характеризующие биотопы, в которых деградация не приобрела необратимый характер (рис. 4).

При увеличении негативной нагрузки в озере среднего размера происходит фазовый переход, и дальнейшая трансформация происходит по сценарию, характерному для озера малой размерности (рис. 3, 4).

Озеро среднего размера состоит из нескольких биотопов. Каждый из них, по типу отклика на внешнее негативное воздействие сопоставим с озером малого размера. На каком-то этапе все, кроме одного (последнего) биотопа будут испытывать ощутимое давление антропогенного пресса. Вследствие большей удаленности от источников негативного воздействия, этот биотоп будет еще некоторое время содержать ненарушенный спектр диатомовых водорослей. Поэтому, трансформация в этой фазе будет проходить по первому сценарию («вращение» вокруг локальной области). Большая часть трансформаций в малых и средних озерах соответствует одному из двух описанных сценариев.

Существует третья модель (сценарий) трансформации, которую нельзя свести к двум первым – параллельное расположение линий. Такое расположение результирующих линий было впервые

выявлено вдоль температурного градиента подогретых вод поступающих из сбросового канала Кольской атомной электростанции (оз. Имандра) [7–9]. Аналогичное явление было отмечено для группы озер с разным показателем pH [2]. Кроме того, параллельное расположение результирующих линий характерно для озер, в которых протекают процессы быстрого изменения глубин: обмеления в оз. Галичском (Костромская обл.) и оз. Хмелевском (Краснодарский край), или повышения уровня воды в оз. Глубоком (Московская обл.) [12]. Во всех перечисленных случаях речь не идет о внешних факторах воздействия – меняются свойства самой среды обитания ( $t^{\circ}\text{C}$ , pH, глубина водоема).

Далее необходимо было выяснить, насколько существующая классификационная система трансформаций соответствует, и может быть описана предложенной моделью этих трансформаций. Поясним последнюю фразу. В силу специфики исходных задач рассматривалось только два классификационных типа:

- экологические модуляции (когда система не деградирует)
- экологический регресс, когда происходит упрощение структуры.

Эти два классификационных типа являются вариациями состояний экосистемы в рамках парадигмальной теории экологических модификаций, которая была разработана В.А. Абакумовым [1, 15].

Однако в классификационной системе существует третий вариант трансформаций – экологический прогресс. Это означает, что экосистема с более низкого уровня переходит на более высокий уровень – происходит ее усложнение. К сожалению, подобных рядов наблюдений в исходном материале не было.

При анализе в логарифмической системе координат это должно выглядеть как переход из состояния «вращения» вокруг некоей области в состояние веерообразного «разворота». Изобразим графически эту картину. Для этого необходимо взять исходную схему и нарисовать ее «наоборот». Тогда момент фазового перехода будет выглядеть следующим образом (рис. 5). Если закономерности, описываемые этой моделью, действительно имеют общедисциплинарный характер, то будет не трудно найти пример на другой биологической группе.

Аналог подобного «обратного» перехода был достаточно быстро найден. В 2006 г. вышла работа, посвященная анализу бактериологических показателей качества воды [4].

В работе был проанализирован многолетний ряд наблюдений (с 2001 по 2005 гг.) по нескольким группам микроорганизмов. Их присутствие в воде связано с антропогенным загрязнением. Наблюдения проводились в районе Москворецкого водосточника, на створе р. Москва.

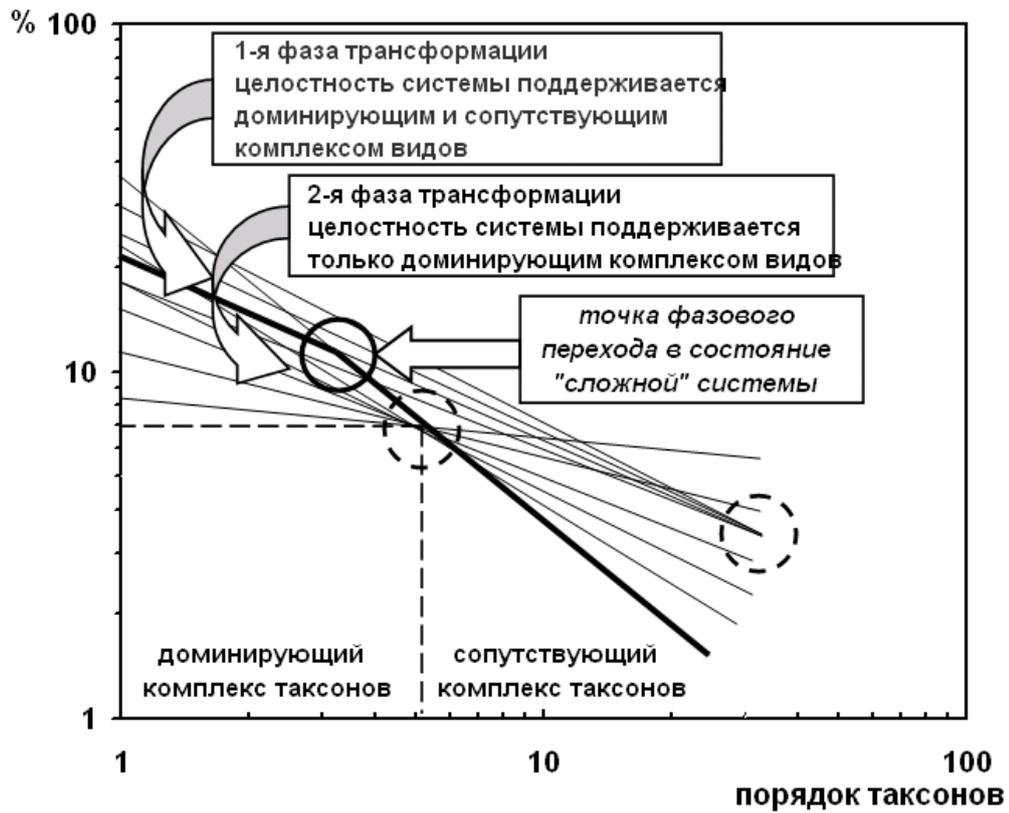


Рис. 5. Фазовый переход из вращательного перемещения результирующих линий (имитация «малой» экосистемы) в состояние веерообразного разворота

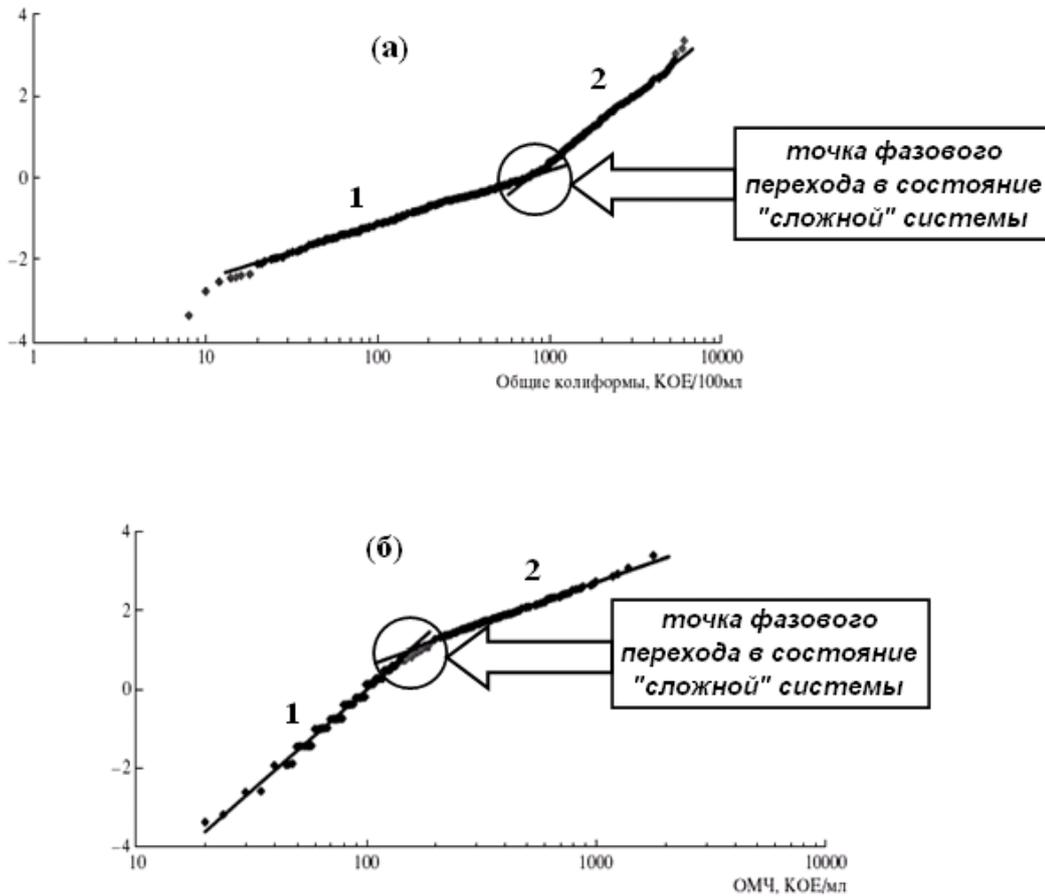


Рис. 6. Распределение вероятностей численности организмов (Долгоносов и др., 2006). По оси ординат отложено обратное нормальное распределение. 1–распределение в области низких и 2–высоких значений (остальные обозначения см. на рис. 9.9)

На основе полученных результатов была предложена модель флуктуаций численности микроорганизмов в воде. Не вдаваясь в математические подробности этой работы, остановимся (выборочно) на иллюстрациях. В упомянутой работе были построены временные ряды изменения абсолютной численности двух групп загрязняющих организмов: коллиформ (рис. 6 а) и общего микробного числа (рис. 6 б). На рисунках хорошо видно, что численность по этим показателям меняется в течение года на несколько порядков.

Было предложено выяснить вероятность той или иной численности в разные сезоны. Для этого были построены графики, где по оси абсцисс отложены численные значения в логарифмическом масштабе, а по оси ординат – обратное, нормальное распределение  $x = \Phi^{-1}(y)$ . Такая система координат удобна для построения логнормальных распределений, которые изображаются прямыми. В результате распределение вероятностей численности образовали на каждом графике две прямых линии (рис. 6 а, б). Одна из прямых соответствует распределению в области низких значений (1), а другая в области высоких значений (2). Между этими частями графика существует фазовый переход, обозначающий скачкообразное изменение численности организмов. Градуировка оси ординат отражает отклонение вероятности событий (а не их отрицательную или положительную возможность).

Иначе говоря, всякий раз, когда возникают подходящие условия, происходит фазовый переход данного экосистемного блока на новый уровень, в следующую категорию. Кроме того, рисунки 6 а и 6 б наглядно демонстрируют, что этот фазовый переход в другое состояние экосистемы может произойти в любой точке (области), где протекает устойчивая модуляция экосистемы.

В рассматриваемых случаях это является полной аналогией перехода «простой» экосистемы в «сложную» экосистему, который был сформулирован на основе диатомового анализа. Сходство полученных графиков настолько очевидно, что остается обсудить только один аспект: при каких условиях происходит скачкообразный переход численных значений бактериопланктона. Возможны два варианта. В первом случае меняются условия окружающей среды. При преобладании позитивных факторов (для данной группы организмов), этот экосистемный блок переходит в другую категорию. Для колиформных бактерий это соответствует зимнему периоду.

Существует второй вариант, когда условия окружающей среды не меняются принципиальным образом, но меняется категория самой экосистемы. Это происходит в паводковый период, когда река сама «переходит» в другую, более высокую категорию, в силу увеличения своей полноводности. В этом случае происходит скачкообразное

увеличение численности и колиформных бактерий, и общего микробного числа (ОМЧ).

Хотя проанализированные численные показатели бактериопланктона относятся к категории загрязняющих компонентов, но, попав в экосистему реки, они начинают функционировать, как самостоятельные экосистемные блоки.

Если бы численность этих групп увеличивалась только весной, то этот процесс можно было бы объяснить механическим сносом загрязняющих веществ. Однако их стабильное увеличение в зимний период говорит о том, что такого объяснения недостаточно.

Следовательно, любая целостная экосистема обладает еще одним основополагающим свойством – способностью к самоорганизации на более высоком уровне. Этот процесс может происходить посредством фазового перехода на более высокий уровень отдельных экосистемных блоков. Если в этих блоках содержатся основополагающие структуры, как в случае с диатомовыми комплексами, то на следующий уровень перейдет и вся экосистема. Если экосистемные блоки привносные, как в случае с загрязняющими формами бактериопланктона, то система останется на том же уровне и все ограничится экологическими модуляциями.

Перспективность разработанного метода графического анализа и возможность его междисциплинарного применения была наглядно продемонстрирована при изучении совершенно иных «сложных» систем. Если до этого анализировались «живые» системы, то в нижеописанном случае система была «сложная», но «неживая».

При этом все исходные «правила игры», необходимые для графического анализа, были соблюдены: источник воздействия, сама система, правильный выбор параметров трансформации системы в результате воздействия на неё.

Первопричиной исследований стали динамические воздействия работающих гидросооружений Жигулевской ГЭС на акваторию водохранилища, береговую линию [6,18], грунты обрамляющих территорий и расположенные там строительные объекты. Наблюдения продолжались с 1999 по 2013 гг. Была экспериментально установлена прямая зависимость между интенсивностью вибраций грунтов приплотинной территории и объемами попусков через водосливную плотину. Зависимость имеет линейный характер, а коэффициент корреляции в среднем составляет 0,95.

За характеристику интенсивности динамических нагрузок принималась амплитуда вертикальной скорости вибраций грунтов  $V_z$ , мкм/с. За характеристику режима попусков через водосливную плотину принимались расходы воды  $Q$ , тыс. куб. м\с.

Было констатировано, что интенсивность вибраций грунтов, при прочих равных условиях, возрастает от года к году. Это явление до сих пор не

имеет однозначного объяснения, хотя высказывались и проверялись разнообразные гипотезы. Было констатировано, что угол наклона построенных графиков (зависимости вертикальных скоростей колебаний грунтов  $V_z$  от холостых расходов воды  $Q$ ) образует две генерации (рис. 7). Одна генерация (с меньшим углом наклона) наблюдалась в 1999-2003 гг. Однако, в 2004-2013 гг. по-

строенные графики приобретают принципиально иной угол наклона, соответствующий увеличению интенсивности колебаний приблизительно в 2,5-3 раза (рис. 7). В результате образуется вторая генерация. Соответственно в 2003 г. произошло скачкообразное изменение (увеличение) показателя колебаний грунтов, или фазовый переход.

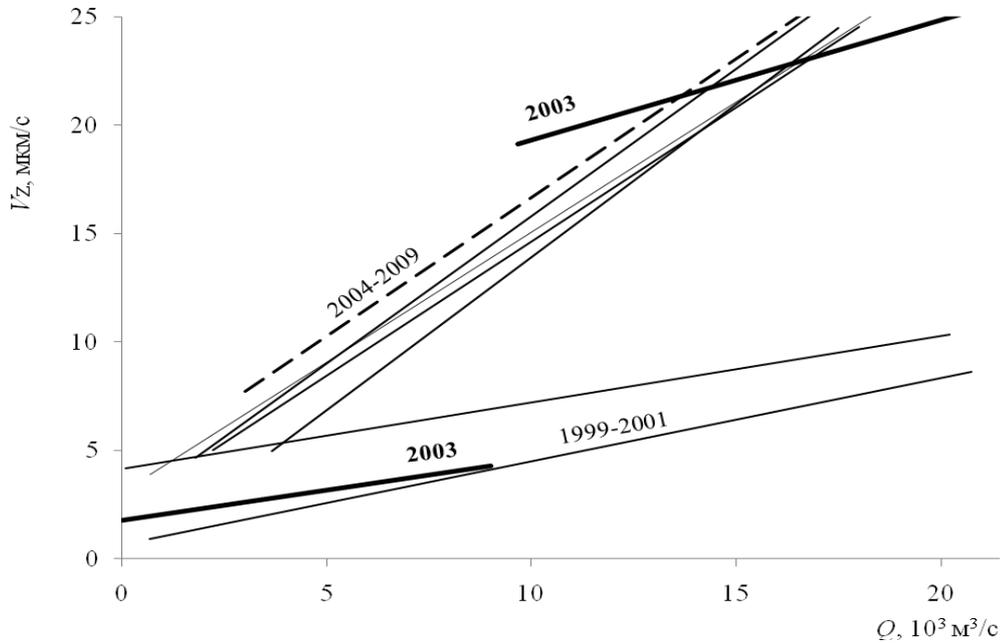


Рис. 7. Зависимость вертикальных скоростей вибраций грунтов ( $V_z$ , мкм/с) от расходов воды через водосливную плотину ( $Q$ ,  $10^3 \text{ м}^3/\text{с}$ )

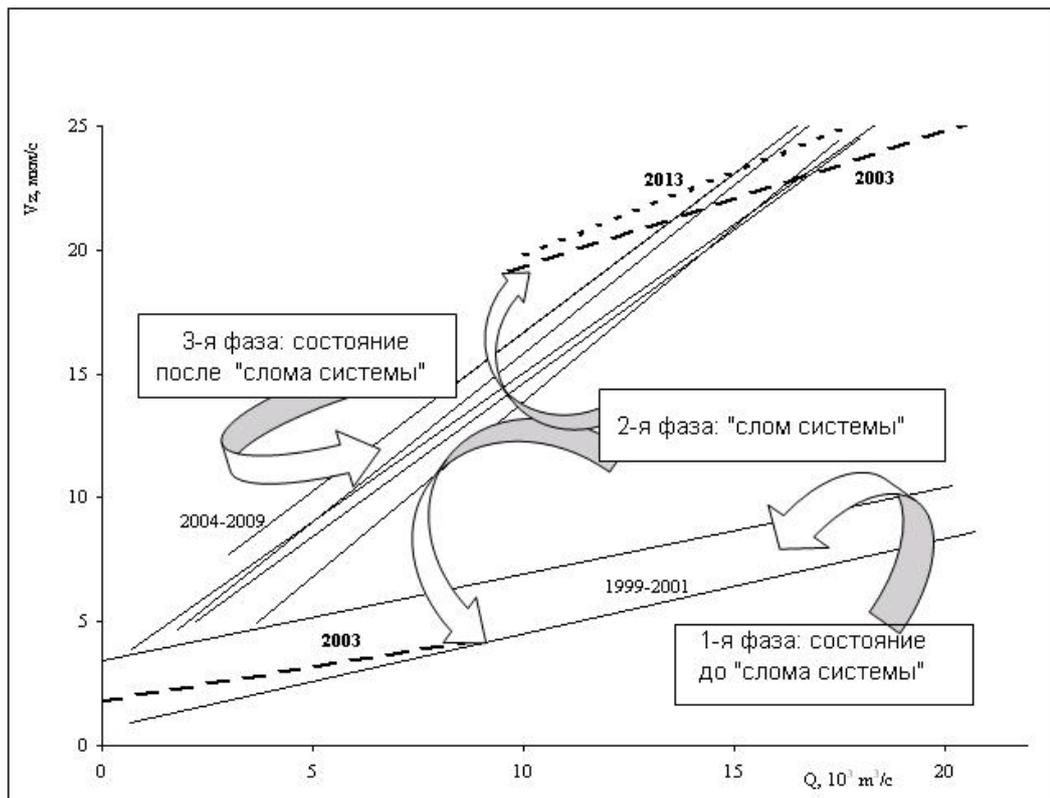


Рис. 8. Фазы трансформации в природно-техногенной системе (Жигулевской ГЭС)

Главный вопрос, который стоял перед исследователями – будут ли колебания усиливаться далее, останутся на современном уровне или возвратятся к состоянию, характерному для начала наблюдений в 1999 г.? Продолжительность наблюдений за вибрациями грунтов в районе Жигулевской ГЭС была недостаточна, чтобы однозначно ответить на этот вопрос. В связи с этим была предпринята попытка оценить последующие изменения, исходя из аналогий [5].

За базовую концепцию была принята типизация нециклических трансформаций пресноводных экосистем [9,13]. Аналогичный методологический подход при построении графиков зависимости выделенных параметров ( $Vz$  и  $Q$ ) позволил сделать однозначный вывод: в 2003 г. произошел «слом» системы и ее возврат в исходное состояние вряд ли возможен (рис. 8).

Этот слом произошел не неожиданно – происходящие изменения в системе проявлялись в виде постепенного смещения графиков зависимости 1999-2001 гг. Графики зависимости последующих лет, как уже упоминалось, имеют принципиально иной угол наклона. Результаты динамического мониторинга подтвердили эту закономерность – интенсивность вибраций в 2009-2013 гг. продолжает расти, графики продолжают смещаться вверх, при этом наблюдаются элементы разворота, аналогично иным графически-зафиксированным процессам, происходящим в сложных самоорганизующихся системах.

Необходимо оговорить, почему в данном случае трансформацию, описанную для пресноводных экосистем и трансформацию системы «водохранилище-берег-суша» корректно сравнивать и проводить аналогии (трансформация, слом системы и т.д.), хотя в первом случае графический анализ проводится в логарифмической системе координат, а во втором – в линейной системе координат. Дело в том, что в первом случае в нелинейной системе координат анализируются «простые» величины: проценты и число таксонов. Во втором случае исходные параметры не линейны. Объем воды – это очевидный нелинейный параметр (линейным, или «простым» параметром было бы число молекул воды). Скорости вибраций грунтов описываются во времени нелинейной функцией. Соответственно зависимость одного нелинейного параметра, от другого нелинейного параметра были описаны в линейной системе координат. Впрочем, если рассмотреть упомянутые процессы в логарифмической системе координат, то результаты и выводы получаются приблизительно те же – подобное сопоставление проделывалось в 2007 г., точность интерпретации зависимости была вполне сопоставима, линейный вариант был выбран из-за простоты, удобства использования уравнения регрессии.

В любом случае необходимо отдавать отчет, что те или иные принципы графического по-

строения – это только методологические приемы, преследующие одну цель – наибольшую наглядность протекающих процессов трансформации системы.

Несомненно, информативность проведенного анализа определяется в последнем случае тем, что проанализированная совокупность, образует «сложную» систему, которую, с теми или иными оговорками можно отнести к биофоническим системам [14]. Иначе говоря, к системам, которые в силу своей многокомпонентности и сложности в значительной степени имитируют «отклик» на внешнее воздействие характерный для экосистем и для сложных самоорганизующихся систем любой природы в целом.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абакумов В.А., Максимов В.Н. Экологические модуляции как показатель фонового состояния водной среды // Тр. Советско-французского симпозиума. Астрахань, 9–12 сентября, 1985. Л.: Гидрометеоздат, 1988. С. 104–117.
2. Ашимов А.Ф. Элементы теории функционирования водных экосистем. СПб.: Наука, 2000. 147 с.
3. Джонсман Р.Г.Г., Тер Браак С.Дж.Ф., Ван Тонгерен О.Ф.Р. Анализ данных в экологии сообществ и ландшафтов. / Под ред. Гельфанда А.Н., Новиковой Н.М., Шадриной М.Б. М.: РАСХН, 1999. 306 с.
4. Долгонос Б.М., Корчагин К.А., Мессинева Е.М. Модель флуктуация бактериологических показателей качества речной воды // Водн. Ресурсы. 2006. Т. 33. № 6. С. 686–700.
5. Котляков А.В., Шумакова Е.М., Артемьев С.А. Воздействие крупного гидротехнического сооружения на склоновые процессы на урбанизированных территориях (на примере склона микрорайона «Прибрежный» Комсомольского района г. Тольятти) // Инженерная экология. 2008. № 3. С. 3-15.
6. Котляков А.В., Шумакова Е.М., Шумаков Г.В. Пространственно-временные геодинамические особенности попусков Жигулевской ГЭС // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2010. № 3. С. 14-19.
7. Разумовский Л.В. Биоиндикация уровня антропогенной нагрузки на тундровые и лесотундровые ландшафты по диатомовым комплексам озер Кольского полуострова. М.: ИРЦ Газпром. 1997. 92 с.
8. Разумовский Л.В. Оценка качества вод на основе анализа структуры диатомовых комплексов // Вод. ресурсы. 2004. Т. 31. № 6. С. 742–750.
9. Разумовский Л.В. Оценка трансформации озерных экосистем методом диатомового анализа. М.: Геос, 2012. 200 с.
10. Разумовский Л.В. Новейшая история озера Борое по результатам диатомового анализа // Вод. ресурсы. 2008. Т. 35. № 1. С. 98-109.
11. Разумовский Л.В. Реконструкция температурных циклов и сукцессионных изменений по диатомовым комплексам из донных осадков на примере Галицкого озера // Вод. ресурсы. 2008. Т. 35. № 6. С. 595-608.
12. Разумовский Л.В., Гололобова М.А. Трансформация диатомовых комплексов озер Борое и Глубокое в конце позднего голоцена. / Труды Гидробиологической станции на Глубоком озере. КМК, 2009. Т. 10. С. 195-207.
13. Разумовский Л.В., Моисеенко Т.И. Оценка пространственно-временных трансформаций озерных экосистем методом диатомового анализа // Докл. РАН. 2009. Т. 429. № 2. С. 274-277.

14. Ретеюм А.Ю. Земные миры. М.: Мысль, 1988. 266 с.
15. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. / Под ред. В.А. Абакумова. СПб.: Гидрометеоздат, 1992. 320 с.
16. Рянский Ф.Н. Фрактальная теория пространственно-временных размерностей: естественные предпосылки и общественные последствия. Биробиджан: Ин-т компл. анализа регион. проблем ДВО РАН. 1992. 28 с.
17. Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. Количественная гидроэкология: методы, критерии, решения. М.: Наука. 2005. Кн.1. 281 с.
18. Шумакова Е.М., Петрашко С.Б., Шумаков Г.В. Геоэкологическая ситуация в зоне динамического воздействия гидротехнического сооружения федерального значения. III Международный конгресс «Экология и безопасность жизнедеятельности промышленно-транспортных комплексов» / Сб. тр., Т. 7. Сам. Научный центр РАН, ТГУ, 2011. С. 182-186.

**THE METHOD OF GRAPHIC ANALYSIS OF THE EVENTUAL TRANSFORMATIONS  
OF THE TERRITORIAL BIOPHONIC SYSTEMS OF NATURAL  
OR ANTHROPOGENIC GENESIS**

© 2014 L. Razumovski, E. Shumakova

The Institute of Water Problems of the Russian Academy of Science

The method of graphic analysis elaborated for the lake ecosystems is described. Subsequently the similar regularities were established to the flowing water bodies. When analysing the taxonomic structure three scenarios of the transformation of freshwater diatom assemblages were allocated. Two scenarios develop in reply to the impact on the ecosystem from without. The third scenario could develop in the ecosystem, if changing the physicochemical properties of the aqueous medium or morphometric parameters of the reservoir. Later, similar patterns have been established for other structure-forming groups in freshwater ecosystems (bacterioplankton et al.).

The negative transformations recorded in an anthropogenic system (Zhigulevskaya HPP) were analysed in the same manner. The impacts were associated with dynamic loads due to the operation of hydraulic structures, and the "response" of the system manifested in the greater intensity of ground vibration. Graphical analysis led to conclude the irreversibility of occurred transformations. The similarity of the scenarios observed in all cases makes possible to rate all the system.

**Key words:** method of graphical analysis, anthropogenic transformation, natural and man-made system