

DESCRIPTION, ORIGIN AND USING OF RANK DISTRIBUTION IN ECOLOGY OF COMMUNITIES

N.G. Bulgakov, A.P. Levich

Distributions by ranks of abundance or biomass for organism groups in communities can be described by wide circle of quantitative models, however, existing accuracy of ecological data seldom allows to prefer any of them. Therefore it is offered to apply to the description of rank distributions in ecology the simplest models, containing the least amount of free parameters, or to use models, which grounds contains substantial reasons, additional to acceptable concurrence of model with experimental data.

Much more interestingly, than selection of approximating models, use of rank distributions for indication of ecological condition in communities on the scale "norm-pathology". It is revealed, that in normal (not disturbed, background etc.) community condition parameters of rank distributions are in quite certain range of meanings, therefore deviations of parameters from meanings from "normal" range can serve criterion and measure of condition pathology. The deviations register stressful influences of abiotic environmental factors on biota. The practice of condition indication by diversity indices, which has taken roots in applied ecology, has the justification that practically all existing diversity indices are unequivocally connected to parameters of different models of rank distributions.

УДК 377.472:574.6:574.64:577.472:628.394

ПОИСК ПОДХОДОВ К РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМЫ ГЛОБАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ: ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ БИОТИЧЕСКО-ЭКОСИСТЕМНОГО МЕХАНИЗМА РЕГУЛЯЦИИ И СТАБИЛИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ БИОСФЕРЫ, ГЕОХИМИЧЕСКОЙ И ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

С.А. Остроумов

(кафедра гидробиологии)

Истина что свет: ее самое не видно, но все предметы видны и понятны, лишь насколько обладают ее светом.

В.О. Ключевский

В.И. Вернадский отмечал, что "живое вещество... геологически... является самой большой силой в биосфере и определяет... все идущие в ней процессы..." (Вернадский, 1991), подчеркивал роль биоты (живого вещества) как фактора создания и поддержания деятельности "химического аппарата" биосферы. Этот аппарат можно рассматривать как биогеохимический и биофизический аппарат регуляции и стабилизации глобальной окружающей среды. Некоторые стороны вопроса о роли биоты в регуляции геохимических процессов проанализированы в работах Заварзина (1984), Виноградова и Шушкиной (1987), Lovelock (1988),

Andrews et al. (1996), Wetzel (2001), Ostroumov (2003b); и др.

Цель статьи — детализировать и развить положение о том, что биота вносит существенный "вклад в регуляцию и стабилизацию параметров окружающей среды и тем самым способствует предотвращению и торможению глобальных и климатических изменений" (Остроумов, 2003а). Данная работа не является обзором, ограничиваясь изложением лишь концепций и некоторых примеров. Поэтому многие важные работы остались не упомянутыми. Статья основана на предыдущих публикациях автора в этом направлении (Остроумов,

2003а, г). Поставленная цель соответствует списку недавно опубликованных приоритетов современной экологии (Ostroumov et al., 2003).

1. Глобальные изменения как реальный фактор опасности для биосферы

Многие факты указывают на опасную тенденцию глобальных изменений в окружающей среде (Яблоков, Остроумов, 1983, 1985; Заварзин, 1984; Остроумов, 1986; Yablokov, Ostroumov, 1991; Браун, 2003; Состояние мира, 2003). По оценкам, за 140 лет (с 1860 по 1999 г.) глобальная средняя температура Земли увеличилась на $0,6^\circ$. Основная часть этого увеличения произошла за последние десятилетия, когда глобальная средняя температура росла в среднем на $0,2^\circ$ за десятилетие (Wigley, 1999, цит. по: Vellinga, van Verseveld, 2000). Наиболее теплые 10 лет за 120-летний период измерений температуры наблюдались после 1981 г. (Vellinga, van Verseveld, 2000). Изменение температуры происходило неравномерно. Наибольшее потепление происходило между 40° с.ш. и 70° с.ш. В целом суша нагревается быстрее, чем океан. В некоторых районах, например в Атлантическом океане к северу от 30° с.ш., температура даже понизилась за последние десятилетия (Houghton et al., 1996, цит. по: Vellinga, van Verseveld, 2000). Увеличение температуры способствует увеличению испарения влаги и выпадения осадков, точнее, перераспределению выпадения осадков. Увеличение выпадения осадков наблюдалось между 30° с.ш. и 70° с.ш., а уменьшение — между 0° и 30° с.ш. (Vellinga, van Verseveld, 2000). Зафиксировано увеличение выпадения осадков в условиях штормовой погоды (rainstorms). Так, в США 10% годовых осадков выпадает во время выраженной штормовой погоды (не менее 50 мм в день), что больше соответствующего показателя в начале XX столетия, когда он составлял менее 8% (Karl et al., 1997, цит. по: Vellinga, van Verseveld, 2000). В публикациях за 1998—1999 гг. установлено увеличение частоты сильных штормов на территории США, быв. СССР, Южной Африки, Китая и Индии (Vellinga, van Verseveld, 2000). Уровень моря поднялся за последние 100 лет на 10—25 см. За этот же период (100 лет) уменьшился объем ледников. Так, в Африке ледник на горе Кения потерял 92% своей массы, на горе Килиманджаро — 73%. В Европе ледники Альп потеряли около 50% своей массы, на Кавказе — также около 50%. По некоторым оценкам, за период с 1958 года до конца XX столетия толщина арктического льда уменьшилась в некоторых районах на 1,3 м, наиболее значительно — в центральной и восточной Арктике. Неравномерное изменение температуры поверхности приводит к изменению атмосферной циркуляции, частоты ветров с различной скоростью, силы и

траекторий полей с высоким и низким давлением. Повышение частоты экстремальных погодных явлений привело к росту экономического ущерба, вызванного ими. По данным страховых компаний, экономический ущерб, вызванный экстремальными погодными явлениями, за десять лет в период с 1990 по 1999 г. составил 399 млрд дол., что в 10 раз превышало аналогичную цифру за десятилетие с 1950 по 1959 г. (38,7 млрд дол.). В течение периода времени между 1950 и 1999 г. каждое десятилетие наблюдался рост экономических потерь от погодных явлений. Одной из причин изменений климатической системы Земли является антропогенный рост концентрации в атмосфере парниковых газов (greenhouse gases), в том числе CO_2 и метана. По сравнению с пре-индустриальной эпохой концентрация CO_2 выросла от 290 до 360 ppmv (частей на миллион по объему), концентрация метана — с 700 до 1720 ppmv (Vellinga, van Verseveld, 2000). Одной из причин повышения концентрации CO_2 является эмиссия в атмосферу этого газа за счет сжигания ископаемого топлива. Такое поступление CO_2 в атмосферу увеличилось за период с 1860 г. до конца XX столетия с $0,1$ до $6,5 \text{ Гт С год}^{-1}$ (Marland et al., 2000, цит. по: Замолодчиков 2003; $1 \text{ Гт} = 10^9 \text{ т}$).

2. Проблема стабильности параметров биосферы, геохимической и геологической среды

Проблема стабильности параметров биосферы воспринимается не всегда адекватно. С одной стороны, существует недооценка масштаба и важности этой проблемы (ибо белковая жизнь на поверхности земли может существовать лишь в пределах узкого диапазона физико-химических условий), — хотя то, что в течение миллиардов лет значения температуры, влажности, освещенности, радиации на поверхности земли удерживались в таких узких пределах, — явление глубоко неординарное.

С другой стороны, существует недооценка вариативности условий в рамках этого диапазона — строгого постоянства температуры и других параметров среды в течение геологического времени не было.

Анализ льда со станции “Восток” (СССР) в Антарктике дал ценную информацию о концентрации CO_2 в атмосфере в течение 160 тыс. лет. По этим данным, среднегодовая температура у поверхности земли варьировала в диапазоне около 12° . Наиболее резкое выявленное изменение среднегодовой температуры обнаружено за период в 10 тыс. лет, когда температура выросла на 12° (Andrews et al., 1996).

Вместе с тем поразительно то, что при существовании вполне ощутимых колебаний температу-

ры в течение геологического времени эти колебания все-таки не выходили за пределы узкого диапазона температур, приемлемых для сложноорганизованных организмов, эволюционировавших на поверхности земли и в ее поверхностных водах.

Другой пример поразительного относительного постоянства физико-химических параметров биосферы и геохимической среды — химизм морской воды. Информация о химическом составе воды в течение последних 900 млн лет получена при анализе солей, отлагавшихся из паров морской воды (evaporite deposits) в местах, изолированных от открытого океана (Andrews et al., 1996). Есть данные, позволяющие предполагать, что за последние 570 млн лет соленость морской воды снизилась с 45 до 35 г/л. В перми (280—230 млн лет назад) могло иметь место 10%-е снижение солености, что могло способствовать вымиранию многих морских организмов в конце этого периода (Andrews et al., 1996).

Как и при рассмотрении температуры, мы здесь наблюдаем факт определенной варибельности условий. Строгого постоянства физико-химических условий не было, но вместе с тем, учитывая масштабы геологического времени, диапазон колебаний и их скорость были неординарным образом сдержанными и по амплитуде, и по скорости.

Подчеркнем, что кроме температуры и ионного состава воды имеются и многие другие параметры биосферы и геологической среды, изменения которых могут поставить под угрозу существование жизни в известных нам формах.

Так, огромное значение для существования жизни имеет определенный уровень облачности и концентрации аэрозолей в атмосфере.

Еще один жизненно важный параметр — режим выпадения осадков. Существующий и благоприятный для жизни режим осадков является, в сущности, высоко неравновесным режимом функционирования гидросферы: за год из атмосферы выпадает более чем на порядок больше осадков (577 тыс. км³), чем одновременное содержание влаги в атмосфере (12—14 тыс. км³), т.е. молекула воды удерживается в атмосфере в среднем всего лишь около 9—10 дней (Клиге и др., 1998). Поддержание этого неравновесного режима зависит от теплового баланса на поверхности земли, облачности, испарения влаги поверхностью земли, включая транспирацию (испарение воды растительностью, 8,4 тыс. км³ в год), от концентрации центров конденсации влаги в атмосфере и многих других факторов. Поэтому так велика роль суммы всех регуляторных механизмов, воздействующих на физико-химические процессы и параметры биосферы, геологической и геохимической среды.

Одни только абиотические факторы не способны обеспечить высокую стабильность парамет-

ров биосферы (явление Эль-Ниньо, вносящее существенную дестабилизацию в глобальную среду, вызвано этими факторами), что подчеркивает незаменимость биотического механизма стабилизации параметров геологической среды. Ниже обсуждаются элементы такого механизма, строго говоря, его следует назвать биотическо-экосистемным механизмом.

3. Некоторые геохимические и геофизические процессы, которые регулируются и формируются при участии биоты

В последние десятилетия имеет место повышение частоты экстремальных погодных явлений (Vellinga, van Verseveld, 2000). Поэтому растет интерес к вопросам формирования параметров биосферы, климатической системы и географической оболочки. Формирование глобальной среды обитания, свойств географической оболочки и геохимической среды — результат суммирования большого числа природных и антропогенных процессов (Вернадский, 1965, 2001; Галимов, Кодина, 1982; Заварзин, 1984; Израэль, Цыбань, 1989; Varney, 1996; Лисицын, 2001; Park, 2001). Признан тот факт, что среди них присутствуют и значимы биологические процессы. Однако при реальном изучении, описании и прогнозировании геофизической и геохимической среды биологическим процессам нередко отводится подчиненная, второстепенная роль. Это привело к недостаточной и поверхностной изученности роли биоты, что видно при изложении количественных характеристик вклада биоты в глобальные процессы: эти характеристики обычно приводятся в округленном виде, оценка неточности или варибельности этих характеристик дается редко. В тех случаях, когда все-таки приводится диапазон возможных значений количественных оценок того или иного глобального биологического параметра или геохимической величины, зависящей от биоты, размах этого диапазона нередко бывает огромен. Такая неопределенность порождает сомнения в том, что, базируясь на этих данных, можно получить достоверную количественную оценку дальнейших причинно-следственных связей в геохимической или геофизической среде. Таковы, например, расплывчатые или приближенные оценки растворенного неорганического углерода, глобального содержания углерода в составе растворенного органического вещества (РОВ), взвешенного органического вещества (ВОВ), особенно в донных отложениях (Varney, 1996). Трудно считать достоверными иногда публикуемые глобальные оценки скоростей оседания органического вещества на дно водоемов и накопления (захоронения) углерода в донных осадках. В некоторых обобщающих работах их ста-

Некоторые биотические факторы и процессы, влияющие на геохимические параметры и процессы. 1 МтС = 10⁶ т С

№	Примеры биотических процессов	Комментарии	Ссылки
1	Поглощение атмосферного углерода наземной биотой, в том числе лесами	Депонирование углерода в фитомассе лесов России составляет 255 МтС год ⁻¹ . Дополнительный вклад не покрытых лесом и нелесных земель лесного фонда России добавляет в депонирование углерода 15 МтС год ⁻¹	Замолодчиков, 2003
2	Изъятие взвешенного органического вещества (ВОВ) из воды фильтраторами с образованием быстро оседающих пеллет	Процесс чувствителен к некоторым поверхностно-активным веществам (ПАВ)	Остроумов, 2000, 2001, 2002а, б, в; Ostroumov, 2002а, 2003
		Процесс чувствителен к углеводородам нефти	новые данные автора
3	Перенос органического вещества из верхних слоев океана в более глубокие слои (biological pump)	Процесс включает в себя сумму многих биологических процессов	Varney, 1996; Израэль, Цыбань, 1989
4	Легочные моллюски-фитофаги и другие организмы со сходным типом питания (нефильтраторы) образуют большую массу пеллет; биокатализ переноса С и других элементов	Процесс чувствителен к некоторым химическим веществам (ПАВ, СМС)	Остроумов, Колесников, 2001, 2003
5	Поглощение Са и С планктоном. Накопление СаСО ₃ в структурах фитопланктона (кокколитофориды) и зоопланктона (фораминиферы). Дальнейшая миграция (седиментация) кальция и углерода в форме СаСО ₃ .	Слои карбонатов в среднем около 0,5 км толщиной покрывают около половины площади глубоководной части океана; здесь за последние около 150 млн лет накоплено около 60–80% всего глобального фонда карбонатов	Andrews et al., 1996
6	Поглощение Са и С бентосом. Участие бентоса в миграции и удержании кальция и углерода. Накопление С в раковинах, известковых трубках, скелетах кораллов и других структурах бентосных беспозвоночных	Участвуют многие таксоны бентосных организмов	Varney, 1996; Wetzel, 2001
7	Активное удаление из воды растворенного органического вещества (РОВ) и ВОВ в приустьевых районах морей и океанов	“Маргинальные фильтры”, явление лавинной седиментации	Лисицын, 2001
8	Образование фитопланктоном диметилсульфида (dimethyl sulphide, DMS)	DMS поступает в атмосферу (около 43 × 10 ¹² г S за 1 год). После окисления DMS образуются центры конденсации воды, что важно для выпадения осадков и образования облаков	Andrews et al., 1996
9	Азотфиксация микроорганизмами; осуществляемые микроорганизмами другие стадии цикла азота	Численность и жизнедеятельность азотфиксаторов чувствительны к загрязняющим веществам, например поверхностно-активным веществам (ПАВ)	Остроумов, Третьякова, 1990; Уотербери, Остроумов, 1994.
10	Биота участвует в очищении воды в водоемах и водотоках, формировании и регуляции оптических свойств водной среды (мутность, прозрачность)	Процессы очищения и формирования свойств водной среды чувствительны к ПАВ	Остроумов, 2000, 2001, 2004а, б

раются вообще не приводить (Varney, 1996; Wetzel, 2001).

Следует осторожно подходить к вопросу о том, какие факторы — физические, химические или биологические — преобладают при формировании и регуляции геохимических и геофизических процессов. С одной стороны, нельзя согласиться с наблюдающейся порой тенденцией рассматривать в качестве доминирующих факторов физические и химические. С другой стороны, автор стремится избежать и другой крайности и ни в коем случае не пытается постулировать примат биологических факторов. По-видимому, всегда имеется сложная мозаика, сплав и динамика взаимодейст-

вующих факторов всех трех групп. Сбалансированный осторожный подход был использован в нашей попытке рассмотреть вопрос о регуляции геохимических процессов с участием биоты (Остроумов, 2002в). Это рассмотрение привело нас к выдвиганию концепции биокосной регуляции перемещений элементов, причем прилагательное “биокосный” было использовано с целью акцентировки важности и абиотических, и биотических регуляторных воздействий на миграции элементов (Остроумов, 2002в). Вместе с тем, помня о сказанном выше, представляется целесообразным более тщательно осветить роль именно биологических факторов. Такой подход согласуется с мыслями

Вернадского, отмечавшего, что “явления жизни должны быть рассматриваемы как части механизма биосферы”; “живое вещество меняет биосферу и *земную кору*” (курсив Вернадского. — С.А.); “...ясно выявляется роль... всех организмов в геохимических процессах...”; “...неизменно в течение всего геологического времени... в биосфере действовал... химический аппарат, созданный и поддерживаемый в своей деятельности живым веществом” (Вернадский, 2001). Накопление новых фактов заставляет возвращаться к попыткам заново проанализировать данный вопрос.

Некоторые примеры существенной роли биоты как фактора, регулирующего те или иные геохимические процессы или параметры геохимической среды, приведены в таблице.

Попытка систематизировать биотические факторы, важные для формирования параметров геологической среды, уже начата нами (Остроумов, 2003а, г, д). Проведенный на основе этих работ анализ вопросов формирования параметров биосферы, географической оболочки и геохимической среды ведет к тезису:

Следующие семь базисных геохимических и геофизических функций выполняются в биосфере Земли с участием биоты (живых организмов); тем самым биота вносит существенный вклад в регуляцию и стабилизацию параметров окружающей среды и благодаря этому способствует предотвращению и торможению глобальных и локальных изменений (в том числе таких изменений, как повышение частоты экстремальных погодных явлений, глобальное и локальное потепление или нарушение нормальной периодичности погодных и климатических явлений).

1. Регуляция образования облаков, регуляция и формирование состава взвесей в атмосфере и оптических свойств атмосферы в целом; в конечном счете регуляция потоков энергии в атмосфере и через нее (Lovelock, 1988; Клиге и др., 1998).

2. Регуляция и формирование оптических свойств воды морских и пресноводных поверхностных водоемов и водотоков (Остроумов, 2001; Wetzel, 2001; Ostroumov, 2002a, b), способности водных масс поглощать и отражать солнечную и тепловую радиацию и в конечном счете регуляция потоков энергии через гидросферу и на границе водных масс и атмосферы.

3. Регуляция и формирование центров конденсации воды в атмосфере (Lovelock, 1988).

4. Регуляция и формирование водного режима на поверхности континентов Земли. Важным процессом является транспирация растениями (Клиге и др., 1998; Wetzel, 2001); имеет значение также то, что накопление влаги в атмосфере и выпадение осадков зависит от вышеупомянутых факторов 1—3.

5. Формирование и регуляция потоков углерода и других элементов через поверхности раздела водные массы—атмосфера и почва—атмосфера, а также через толщу водных масс (например, см.: Заварзин, 1984; Израэль, Цыбань, 1989; Vagneu, 1996; Лисицын, 2001; Остроумов, 2001, 2003б; Остроумов, Колесников, 2001, 2003; Wetzel, 2001).

6. Формирование и регуляция потоков метана и других тепличных газов (greenhouse gases) через поверхности раздела водные массы—атмосфера и почва—атмосфера, а также через толщу водных масс (Заварзин, 1984; Wetzel, 2001).

7. Формирование и регуляция потоков углерода на границе раздела вода—донные осадки.

Вышеназванные функции биоты раскрывают и характеризуют некоторые из сторон того, каким образом биота (совокупность живых организмов) вносит вклад в регуляцию и стабилизацию параметров окружающей среды, от которых зависит протекание или торможение и предотвращение глобальных и климатических изменений, включая повышение частоты экстремальных погодных явлений и глобальное или региональное потепление.

Сказанное выше согласуется с работами многих авторов (Вернадский, 1965; Заварзин, 1984; Lovelock, 1988; Израэль, Цыбань, 1989; Andrews et al., 1996; Алимов, 2000; Романкевич и др., 2000; Вернадский, 2001; Романкевич, Ветров, 2001; Park, 2001; Остроумов, 2002в). Факты, обосновывающие постулируемый тезис (или конкретные составные части этого тезиса, т.е. положения 1—7), изложены в работах (Галимов, Кодина, 1982; Заварзин, 1984; Виноградов, Шушкина, 1987; Израэль, Цыбань, 1989; Клиге и др., 1998; Алимов, 2000; Лисицын, 2001; Ecological..., 2002) и в работах авторов, цитируемых в этих публикациях.

4. Детализация вышеприведенных факторов, некоторые конкретные примеры их проявления

Представляется целесообразным подробнее осветить роль биотических факторов. Не претендуя на полноту изложения, прокомментируем отдельные детали в содержании вышеприведенных пунктов (1—6).

Пункты 1 и 3. Формирование облаков. Для формирования центров конденсации влаги (cloud condensation nuclei, CCN) в атмосфере имеют значение некоторые химические вещества, в том числе серосодержащие компоненты — например, продукты окисления диметилсульфида (dimethyl sulphide, DMS) (Lovelock, 1988; Andrews et al., 1996) — сульфат-анионы и метансульфонокислота (methanesulphonic acid, $\text{CH}_3\text{SO}_3\text{H}$). Морские организмы (фитопланктон), выделяя DMS, могут вносить существенный вклад в поступление этих веществ в атмосферу (Lovelock, 1988; Andrews et al., 1996).

Пункт 2. Регуляция и вклад в формирование оптических свойств воды. Во-первых, размножение фитопланктона и увеличение числа его клеток уменьшает прозрачность воды, увеличивает мутность воды, формирует определенные коэффициенты отражения света от поверхности воды.

Во-вторых, гидробионты-фильтраторы уменьшают содержание взвесей в воде, увеличивая прозрачность воды. Подробнее конкретные данные изложены в наших экспериментальных работах по изучению фильтрационной активности *Mytilus edulis*, *M. galloprovincialis*, *Crassostrea gigas*, *Unio* sp. и других водных организмов (Остроумов, 2000, 2001, 2002а, б, в; Ostroumov, 2002а, b), включая планктонных (Остроумов и др., 2003). Активность фильтраторов высокочувствительна к действию некоторых ксенобиотиков (Остроумов, 2001; Брагинский, Сиренко, 2003; Ostroumov, 2003), в том числе Тритона X100 (Остроумов, 2000, Ostroumov, 2003с), тетрадецилтриметиламмонийбромид (Остроумов, 2000, 2001) и других веществ. Это было показано для ряда видов моллюсков (Остроумов, 2000, 2001, 2004а, б) и коловраток (например, *Brachionus calyciflorus* — см. Остроумов и др., 2003).

Пункт 4. Водный режим и транспирация. По оценкам, годовая транспирация воды растениями глобально составляет около 8,4 тыс. км³. Эта цифра почти равна общему содержанию воды в атмосфере — около 12—14 км³ (Клиге и др. 1998). Транспирация в фитоценозе *Phragmites communis* превышает эвапорацию (испарение) с открытого зеркала воды в 1,6—7 раз (Берлин, Германия, в период с 25 мая по 17 октября) (Wetzel, 2001).

Пункт 5. Потоки углерода и других биогенных элементов. Характеризуются большой неопределенностью. Оценки специалистов расходятся. Так, общий поток органического углерода из рек в океан суммарно в растворенной форме и в составе взвешенных частиц оценивается как 37—41 × 10¹³ г С в год (Wetzel, 2001). Таким образом, неопределенность составляет не менее 4 × 10¹³ г С в год.

Геохимические потоки углерода зависят от суммарной массы углерода в тех или иных блоках биосферы (фондах, компартментах, пулах биосферы). Оценка суммарной массы углерода в составе наземной биоты варьирует от 420 до 830 × 10¹⁵ г (Varney, 1996), т.е. неопределенность составляет 410 × 10¹⁵ г. Еще выше неопределенность в оценке содержания углерода в составе фонда, именуемого DIC (Dissolved Inorganic Carbon — растворенный неорганический углерод) в промежуточных и глубоких водах океана, где содержание углерода оценивается как 33 000—37 000 × 10¹⁵ г (Varney, 1996). Отсюда следует, что неопределенность составляет 4000 × 10¹⁵ г С. Для сравнения напомним, что все содержание углерода в атмосфере составляет около 748 × 10¹⁵ г, т.е. примерно в 5 раз меньше, чем одна лишь неопределен-

ность в величине этого фонда растворенного углерода. Формирование данного фонда углерода в воде происходит за счет окисления оседающих в воде органических частиц биологического происхождения. Таким образом, неопределенность в оценке величины этого фонда углерода связана с неопределенностью в оценке одного из потоков углерода в составе частиц биологического происхождения.

Нельзя не отметить также очень значительную неопределенность в содержании углерода в донных осадках и осадочных породах на дне океана. Под действием микроорганизмов и в ходе некоторых абиотических процессов часть этого углерода может возвращаться в воду океана. Тем самым, неопределенность в оценках общего содержания углерода в этом пуле ведет к дополнительной неопределенности в оценках потоков углерода через водные толщи океана.

Ввиду недостаточной изученности глобальных потоков большую ценность представляют результаты исследований в арктических морях (Lovelock, 1988; Andrews et al., 1996) и зонах маргинальных фильтров (Лисицын, 2001). Для детализации представлений о роли биоты в формировании путей перемещения углерода — включая и автохтонное, и аллохтонное органическое вещество в водных экосистемах — существенна развиваемая в последних работах теория биотического самоочищения водных экосистем (Остроумов, 2003б, в).

Считается, что биота суши и океана является стоком (sink) атмосферного CO₂, компенсируя около 50% от его антропогенных эмиссий (Prentice et al., 2001, цит. по: Замолодчиков, 2003). На суше ведущую роль принадлежит зоне севернее 30° с.ш., в особенности лесам умеренного пояса (Замолодчиков, 2003).

Геохимические потоки углерода и биогенов через водную толщу взаимосвязаны с самоочищением воды и формированием ее качества (сидиментация ВОВ, фильтрация воды гидробионтами-фильтраторами и выделение пеллет, питание гидробионтов-фитофагов и др.) (Остроумов, 2003б; Остроумов, Колесников, 2001, 2003), т.е. имеет место сопряжение геохимических и гидробиологических процессов.

Пункт 6. Метан. Этот газ является одним из парниковых газов, влияющих на климат (Заварзин, 1984; Andrews et al., 1996). Скорость биологической продукции метана бактериями варьирует в зависимости от многих факторов (температура, рН, концентрации органических веществ, доступность элементов минерального питания и др.). В водных экосистемах (ветланды, рисовые поля) скорость биологического образования и эмиссии метана может составлять около 10⁻²—10⁻³ микромолей на м² за 1 секунду (Wetzel, 2001).

Пункт 7. Потоки углерода и других элементов на границе раздела вода—донные осадки. В этом сложном сочетании многих процессов значительную роль играет биота (Заварзин, 1984; Израэль, Цыбань, 1989; Wetzel, 2001).

7.1. Осаждение из воды на дно взвеси (сес-тон, частицы ВОВ), содержащей С, N, P; велика роль беспозвоночных, в том числе бентосных фильтраторов. Наши опыты показали, что эта важная функция фильтраторов по изъятию и осаждению ВОВ может нарушаться при воздействии ксенобиотиков (например, Ostroumov, 2003c). Поток углерода и других элементов из верхних слоев водной экосистемы по направлению ко дну водоема стимулируется и другими водными организмами (не только фильтраторами) (Остроумов, Колесников, 2001, 2003). Ксенобиотики могут нарушать и эти потоки элементов (Остроумов, Колесников, 2003).

7.2. Воздействие на процессы выхода из донных осадков в воду ряда элементов (С, N, P); велика роль бентоса в удержании элементов и предотвращении выхода назад соединений, содержащих С, N, P.

7.3. Биотурбация с участием зообентоса; в результате часть поверхностных донных осадков, богатых детритом, оказывается захороненной в более глубоких слоях донных отложений. Часть более глубоких анаэробных слоев донных осадков, наоборот, перемещается на поверхность, в аэробную зону.

7.4. Вся геохимия донных осадков и переходы элементов из воды в осадки и обратно находятся под сильным влиянием или контролем бактерий — как аэробных, так и анаэробных.

При анализе химизма атмосферы выявляется, что концентрации не только диоксида углерода и метана (о них сказано выше), но многих других компонентов напрямую определяются биологическими процессами. Так, биологические процессы служат источником поступления в атмосферу следующих веществ: кислород, метан, двуокись углерода, азот, закись азота, окись азота, аммоний, водород молекулярный, сероводород, диметилсульфид, диметилдисульфид. Кроме того, биологические процессы служат стоком (фактором изъятия из атмосферы) следующих веществ: кислород, окись углерода, двуокись углерода, азот, сероводород (Stewart et al., 1978, цит. по: Заварзин, 1984). Практически каждый из этих компонентов влияет на процессы, в которых участвуют и другие компоненты атмосферы. Учитывая множественность зависящих от биоты компонентов и их важность для химии атмосферы в целом, можно сделать следующий вывод: не только химия отдельных компонентов атмосферы, но и химизм атмосферы в целом зависит от биоты.

В проявлении биотического фактора, воздействующего на геохимические процессы, связанные с перемещением вещества, наблюдаются следующие характерные особенности (Остроумов, 2002b).

Во-первых, в экосистемах имеет место **конкурентное единство и биокосная регуляция процессов векторного и стохастического перемещения химических элементов**.

Во-вторых, в экосистемах имеет место **конкурентное единство и биокосная регуляция циклических и нециклических путей химических элементов, представляющих собой цепи последовательных переходов химических элементов из одной фазы в другую (межфазовые переходы) и из одного организма в другой (межорганизменные переходы)**.

В этих формулировках используется выражение “биокосная регуляция”, которое содержит прилагательное “биокосная”; ранее прилагательное “биокосный” широко использовал Вернадский (2001). Применение этого прилагательного в контексте данной статьи подчеркивает, что регуляторная роль биоты проявляется в ее тесном взаимодействии с абиотическими факторами (физическими и химическим параметрами среды), причем оба компонента — биотический и абиотический — тесно переплетаются.

5. Лабильность и вариабельность биоты как фактора воздействия на геохимическую и геофизическую среду: некоторые последствия

Одна из особенностей биологических факторов, ведущих к формированию параметров геохимической и геофизической среды, заключается в лабильности биоты. Лабильность биоты обусловлена динамизмом, вариабельностью свойств организмов и тем, что организмы подвержены воздействию со стороны физических и химических условий. С лабильностью и изменчивостью биологических факторов связана опасность нарушения устойчивой регуляции процессов в геохимической и геологической среде.

Необходимо отметить, что недооценка роли биоты в формировании параметров геологической среды и в регуляции идущих в ней процессов может произойти легко, но последствия такой недооценки нельзя считать легкими и малозначительными.

Во-первых, недостаточный учет и недооценка биологического фактора может возникнуть очень легко, если ранее за основу анализа была взята та конкретная ситуация, когда этот биологический фактор находился в минимуме своего проявления или влияния. Однако в другой ситуации (при изменении погодных или климатических условий, сезона и т.д.) ранее незначительный фактор может легко усилиться до роли влиятельного доминанта.

Во-вторых, недостаточный учет биологического фактора может привести к резкому недоучету других, уже чисто физических или химических факторов.

Так, опасно недоучитывать такой биотический фактор, как возможность быстрых колебаний численности планктона в водоемах. Повышение концентрации водорослей может быть вызвано не только улучшением условий их питания, но и снижением фильтрационной активности моллюсков или зоопланктона (Остроумов, 2001; Park, 2001; Ostroumov, 2002b). Повышение численности водорослей в водоеме может привести к резкому уменьшению освещенности подповерхностных слоев воды, а следовательно, уменьшить проникновение в глубь водоема УФ радиации, вызвать снижение фотохимического гидролиза веществ и т.д.

В-третьих, недостаточный учет значительной роли биологического фактора опасен недооценкой важных для экосистем последствий антропогенных воздействий на те или иные организмы. Например, опасно недоучитывать сравнительно небольшое повышение концентрации некоторых форм фосфора или азота, которое может вызвать бурную реакцию биоты (цветение фитопланктона) и дальнейшую цепную реакцию последствий в физических и химических параметрах экосистем и геосистем. Равным образом опасно недоучитывать риск повышения концентрации в воде детергентов, что может вызвать ту же самую реакцию со стороны водорослей (Остроумов, 2001; Ostroumov, 2002a).

Представляется возможным прогнозировать, что будут выявлены новые факты и закономерности, подтверждающие высказанные выше положения и постулаты о функциях биоты в формировании, регуляции и стабилизации параметров окружающей среды. Можно прогнозировать, что окончательное доказательство постулированного выше (в разделах 3 и 4 этой статьи) будет содержаться в дальнейших работах в области экологии, геохимии и геофизики, либо выявится на практике в случае реализации негативного сценария глобального развития. На основе сказанного выше и публикаций автора статьи (Остроумов, 2000, 2001, 2002а, б, в)

можно разрабатывать систему мер по активному предотвращению глобальных изменений, связанную с более полной реализацией функций 1–7 водными экосистемами и организмами. Автор продолжает работу в направлении разработки этой системы мер. Думается, проведенный анализ и его продолжение в будущем ведут и будут вести к осознанию необходимости беречь биоту (биоразнообразие, экосистемы) как мощный стабилизационный фактор, как фактор торможения глобальных изменений.

Предлагаемые концепции о биотическом факторе стабилизации параметров геологической и геохимической среды (Остроумов, 2003а; см. также выше в данной работе), о биокосной регуляции геохимических процессов (Остроумов, 2002в), о водной экосистеме как аналоге биореактора с функцией очищения воды (Остроумов, 2000), о полифункциональной роли биоты в очищении воды (Ostroumov, 2002b) развивают принципиальные положения, изложенные в указанных работах (Вернадский, 1965; Галимов, Кодина, 1982; Заварзин, 1984; Виноградов, Шушкина, 1987; Израэль, Цыбань, 1989; Ostroumov, 2002а), позволяют сформулировать элементы теории “аппарата биосферы” (Вернадский, 2001).

“...Жизнь является великим, постоянным и непрерывным нарушителем химической косности поверхности нашей планеты” (Вернадский, 2001). К этому в итоге проведенного анализа добавим: жизнь является также и **созидателем** существующей химической и физической структурированности биосферы, и **регулятором** скоростей и балансов многих геохимических процессов в биосфере, и неусыпным стражем ее **стабильности**.

Автор благодарен Г.В. Добровольскому, М.Е. Виноградову, А.П. Лисицыну, В.В. Малахову, Е.А. Криксунову, В.В. Ермакову, Е.А. Романкевичу и Дж. Лавлоку (J. Lovelock) за обсуждение некоторых из затронутых вопросов и за критические замечания, Г.Е. Шульману за содействие в работе, Н.Н. Колотиловой и М.П. Колесникову за участие в экспериментах, Л.И. Шпитиновой, М.Л. Тепляковой за помощь.

Часть работы поддержана McArthur Foundation, Институтом открытого общества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Алимов А.Ф. 2000. Элементы теории функционирования водных экосистем. СПб. 147 с.
 Брагинский Л.П., Сиренко Л.А. 2003. Всесторонний анализ токсикологической опасности поверхностно-активных веществ для гидробионтов // Гидробиол. журн. **39**. № 3. 115–118.
 Браун Л.Р. 2003. Экоэкономика. М. 392 с.
 Вернадский В.И. 1965. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. М. 374 с.

Вернадский В.И. 1991. Научная мысль как планетное явление. М. 272 с.
 Вернадский В.И. 2001. Биосфера. М. 243 с.
 Виноградов М.Е., Шушкина Э.А. 1987. Функционирование планктонных сообществ эпипелагиали океана. М. 240 с.
 Галимов Г.А., Кодина А.А. 1982. Исследование органического вещества газов в осадочных толщах Мирового океана. М. 215 с.

Заварзин Г. А. 1984. Бактерии и состав атмосферы. М. 193 с.

Замолодчиков Д. Г. 2003. Баланс углерода в тундровых и лесных экосистемах России: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. М. 56 с.

Израэль Ю. А., Цыбань А. В. 1989. Антропогенная экология океана. Л. 531 с.

Клиге Р. К., Данилов И. Д., Конищев В. Н. 1998. История гидросферы. М. 368 с.

Лисицын А. П. 2001. Потоки вещества и энергии во внешних и внутренних сферах Земли // Глобальные изменения природной среды — 2001 / Под ред. Н. Л. Добрецова, В. И. Коваленко. Новосибирск. С. 163—248.

Остроумов С. А. 1986. Введение в биохимическую экологию. М. 176 с.

Остроумов С. А. 2000. Водная экосистема: крупноразмерный диверсифицированный биореактор с функцией самоочистки воды // Докл. РАН. **374**. № 3. 27—429.

Остроумов С. А. 2001. Биологические эффекты при воздействии поверхностно-активных веществ на организмы. М. 334 с.

Остроумов С. А. 2002а. Новый тип действия потенциально опасных веществ: разобщители пелагиально-бентального сопряжения // Докл. РАН. **383**. № 1. 138—141.

Остроумов С. А. 2002б. Идентификация нового вида опасности химических веществ: ингибирование процессов экологической ремедиации // Докл. РАН. **385**. № 4. 571—573

Остроумов С. А. 2002в. О роли гидробионтов в регуляции потоков вещества и миграции элементов в водных экосистемах // Вестн. РАЕН. **2**. № 3. 50—54.

Остроумов С. А. 2003а. О роли экологических факторов в регуляции и стабилизации биосферных процессов и параметров // Вестн. РАЕН. **3**. № 2. 59—62.

Остроумов С. А. 2003б. Биогеохимическая экология водных экосистем. К теории самоочистки водоемов и водотоков // Геохимическая экология и биогеохимическое изучение таксонов биосферы / Под ред. В. В. Ермакова. М. С. 63—66.

Остроумов С. А. 2003в. Элементы теории биотического самоочистки водных экосистем // Изв. Самарского науч. центра РАН. Спецвыпуск "Актуальные проблемы экологии" Вып. 2. 225—229.

Остроумов С. А. 2003г. О функциях живого вещества в биосфере // Вестн. РАН. **73**. № 3. 232—238.

Остроумов С. А. 2003д. Роль и функции биоты (живых организмов) в предотвращении и торможении глобальных изменений, в том числе повышения частоты экстремальных погодных явлений и потепления // Ecological Studies, Problems, Solutions. **6**. 90—91.

Остроумов С. А. 2004а. Элементы качественной теории биотического самоочистки водных экосистем. Приложение теории к природоохранной практике // Вестн. Моск. ун-та. Сер. Биология. № 1. 23—32.

Остроумов С. А. 2004б. О биотическом самоочищении водных экосистем. Элементы теории // Докл. РАН. **396**. № 1. 136—141.

Остроумов С. А., Вальц Н., Руше Р. 2003. Воздействие катионного амфифильного вещества на коловраток // Докл. РАН. **390**. № 3. 423—426.

Остроумов С. А., Колесников М. П. 2001. Пеллеты моллюсков в биогеохимических потоках С, N, P, Si, Al // Докл. РАН. **379**. № 3. 426—429.

Остроумов С. А., Колесников М. П. 2003. Моллюски в биогеохимических потоках (С, N, P, Si, Al) и самоочищении воды: воздействие ПАВ // Вестн. Моск. ун-та. Сер. Биология. № 1. 15—24.

Остроумов С. А., Третьякова А. Н. 1990. Воздействие загрязнения среды катионным ПАВ на водоросли и проростки *Fagopyrum esculentum* // Экология. № 2. 43—46.

Романкевич Е. А., Ветров А. А. 2001. Цикл углерода в арктических морях России. М. 297 с.

Романкевич Е. А., Ветров А. А., Виноградов М. Е., Ведерников В. И. 2000. Компоненты цикла углерода в арктических морях России. Потоки углерода с суши, углерод в донных осадках, элементы баланса // Океанология. **40**. № 3. 363—372.

Состояние мира 2002. 2003. М. 324 с.

Уотербери Дж., Остроумов С. А. 1994. Действие неионогенного поверхностно-активного вещества на цианобактерии // Микробиология. **63**. Вып. 2. 259—262.

Яблоков А. В., Остроумов С. А. 1983. Охрана природы: проблемы и перспективы. М. 272 с.

Яблоков А. В., Остроумов С. А. 1985. Уровни охраны живой природы. М. 176 с.

Andrews J. E., Brimblecombe P., Jickells T. D., Liss P. S. 1996. An introduction to environmental chemistry. Oxford. 209 p.

Ecological Processes and Ecosystems: Functioning towards Water Purification. 2002 // Eds. S. A. Ostroumov, S. McCutcheon, C. Steinberg. Dordrecht; Boston; London. 204 p.

Lovelock J. 1988. The ages of Gaya. N.Y. 255 p.

Ostroumov S. A. 2002a. Inhibitory analysis of top-down control: new keys to studying eutrophication, algal blooms, and water self-purification // Hydrobiologia. **469**. 117—129.

Ostroumov S. A. 2002b. Polyfunctional role of biodiversity in processes leading to water purification: current conceptualizations and concluding remarks // Hydrobiologia. **469**. 203—204.

Ostroumov S. A. 2003a. Studying effects of some surfactants and detergents on filter-feeding bivalves // Hydrobiologia. **500**. 341—344.

Ostroumov S. A. 2003b. Developing fundamental concepts in aquatic and general ecology: from aquatic and ecological research to applications relevant to sustainability // Ecol. Studies, Problems, Solutions. **6**. 28—33.

Ostroumov S.A. 2003c. Anthropogenic effects on the biota: towards a new system of principles and criteria for analysis of ecological hazards // Rivista di Biologia. Biology Forum. **96**. N 1. 159—169.

Ostroumov S.A., Dodson S., Hamilton D., Peterson S., Wetzel R.G. 2003. Medium-term and long-term priorities in ecological studies // Rivista di Biologia. Biology Forum. **96**. 327—332

Park C. 2001. Environment. London; N.Y. 660 p.

Varney M. 1996. The marine carbonate system // Oceanography / Eds. C. Summerhayes, S. Thorpe. London. P. 182—194.

Vellinga P., van Verseveld W.J. 2000. Climate change and extreme weather events. Gland. 46 p.

Wetzel R.G. 2001. Limnology: Lake and River Ecosystems. San Diego. 1006 pp.

Yablokov A.V., Ostroumov S.A. 1991. Conservation of Living Nature and Resources: Problems, Trends, Prospects. Berlin; N.Y. 272 p.

Поступила в редакцию
5.03.04

**SEARCHING APPROACHES TO SOLVING THE PROBLEM
OF GLOBAL CHANGE: ELEMENTS OF THE THEORY
OF THE BIOTIC-ECOSYSTEM MECHANISMS OF THE REGULATION
AND STABILIZATION OF PARAMETERS OF THE BIOSPHERE,
GEOCHEMICAL AND GEOLOGICAL ENVIRONMENT**

Ostroumov S.A.

The paper revisits the role of the biota (living organisms, the sum of ecological and hydrobiological factors) in the regulation and stabilization of parameters of the biosphere, geophysical and geochemical processes and, as a result, in the preventing the extreme weather events and global change of the climate system. The shortlist of the seven most important functions of biota in doing so is formulated and commented. Some elements of the theory of the apparatus of the biosphere are given.

УДК 551.481:581.526.325

**ОСОБЕННОСТИ СЕЗОННОЙ ДИНАМИКИ, СТРУКТУРЫ
И ПРОДУКТИВНОСТИ ФИТОПЛАНКТОНА
УЧИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В 1998—2001 гг.**

М.Н. Корсак, С.А. Мошаров, Г.А. Даллакян, А.Ю. Белов

(кафедра гидробиологии)

Планктон сформировавшихся водохранилищ состоит из гетеротрофного (бактерии, инфузории, коловратки и ракообразные) и автотрофного компонентов. Определяющая роль в общей сбалансированности процессов синтеза и разрушения органического вещества, создаваемого в водоеме, которая в конечном итоге и определяет его экологическое состояние, принадлежит автотрофным организмам, диатомовым, зеленым и перидиниевым водорослям, а также цианобактериям. В водохранилищах с невысоким коэффициентом водооб-

мена весной и в первой половине лета в составе фитопланктона доминируют диатомовые водоросли, которые в середине июня—июле вытесняются синезелеными (Константинов, 1979). Изучение особенностей динамики планктонного сообщества Учинского водохранилища со времени его создания в 1936 г. и до настоящего времени проводилось лишь эпизодически (Учинское..., 1963; Накани, Корсак, 1976; Потапова, 1976; Даллакян и др., 2001). Целью данной работы было выявление характерных повторяющихся количественных и ка-