

Stepanov S.A. SCIENTIFIC HERITAGE OF V.I. VERNADSKIY AND N.N. MOISEEV FOR COMPREHENSION OF MODERN WORLD VIEW

The scientific heritage of V.I. Vernadskiy has a continuation and development in works of N.N. Moiseev and his main theory of universal evolutionism. The article shows a role of memory, col-

lective intellect, moral for realization of ecological and moral imperatives in supply of co-evolution of development of human and nature, noosphere condition of society.

Key words: noosphere; universal evolution; environmental and moral imperative; modern education; world view.

УДК 550.4(571.5)

ЗАКОН ВЕРНАДСКОГО: САМООРГАНИЗАЦИЯ РИФТОВОЙ ЭКОСИСТЕМЫ ОЗЕРА БАЙКАЛ – УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

© Т.Т. Тайсаев

Ключевые слова: живое вещество; рифтогенез; самоорганизация; неравновесность; устойчивое развитие.

Самоорганизация экосистемы озера Байкал связана с синергетическими эффектами геохимической работы живого вещества – закона Вернадского о биологическом круговороте элементов. Результаты работы и ее новизна раскрываются в эволюции рифтовой экосистемы. Изменения климата и рифтогенез: системы новейших разломов, сильные землетрясения, повышенный тепловой поток, разгрузка термальных источников и углеводородов, активное осадконакопление – мощные факторы видообразования и адаптации живых организмов в сильнонеравновесной биокосной системе. Устойчивое развитие и экологическая безопасность экосистемы Байкала определяется геохимической ролью живого вещества.

ВВЕДЕНИЕ

Озеро Байкал как участок Мирового наследия ЮНЕСКО является центром видообразования и эндемичных видов в крупнейшем пресноводном бассейне. Самоорганизация экосистемы определяется геохимической работой живого вещества – законом биологического круговорота элементов, связанным с именем В.И. Вернадского. Суммарный геохимический эффект деятельности живого вещества в экосистеме Байкала велик. Эволюция экосистемы тесно связана с изменением климата и рифтогенезом, которые как мощный источник энергии, вещества и информации активно управляют процессами самоорганизации.

Получены новые данные: эволюция экосистемы озера, связанная с рифтогенезом, многократно прошла точки бифуркации (катастрофы), возникли новые устойчивые виды живых организмов. Произошел взрыв видообразования. Байкал как сложная, резко неравновесная кибернетическая система имеет мощный потенциал управления, связанный с отрицательными обратными связями – гомеостазом, что обеспечивает устойчивое развитие и экологическую безопасность.

* * *

Целостная концепция В.И. Вернадского [1] об организационной биосфере основана на биогеохимических циклах и связана с планетарной ролью живого вещества. «Живое вещество охватывает и перестраивает все геохимические процессы биосферы, – определил В.И. Вернадский. – Живое вещество есть самая мощная геохимическая сила, растущая с ходом времени». Это положение А.И. Перельман [2] назвал законом Вернадского: миграция химических элементов в биосфере

осуществляется при участии живого вещества (биогенная миграция), или же она протекает в среде, геохимические особенности которой (O_2 , CO_2 , H_2S и т. д.) обусловлены живым веществом как тем, которое действовало в биосфере в течение геологической истории.

В.И. Вернадский опередил рождение современной синергетической парадигмы естествознания – самоорганизации нелинейных динамических объектов. В автоматическом процессе самоорганизации образуются и выживают системы – минералы, горные породы и живые организмы, экосистемы, наиболее энергетически выгодные с точки зрения адаптации всего комплекса, сообщества и отдельных организмов [3]. По оценке И. Пригожина и И. Стенгерс: «Биосфера в целом, и различные его компоненты, живые и неживые существуют в сильнонеравновесных условиях – в целом жизнь представляется перед нами как высшее явление происходящих в природе процессов организации» [4]. По Ф.А. Летникову, синергетика – совместное действие, кооперация процессов в открытых линейных и нелинейных неравновесных динамических системах. Самоорганизация – одна из форм синергизма, переход из хаоса в структурное состояние за счет внутренней энергии системы (снижение энтропии) [5].

Экосистема Байкала как самоорганизующаяся и саморазвивающаяся система подчиняется универсальным законам синергетики – концепции неравновесной термодинамики или теории самоорганизации динамических объектов, обладающих качеством сложного [3]. Синергетика раскрывает глубинные взаимосвязи живого и неживого вещества в эволюции экосистемы Байкала с проявлением флуктуаций, возникновением сообществ организмов в течение геологического времени.

Рифтогенез – ведущий фактор эволюции экосистемы озера. Байкал расположен среди бореальных

ландшафтов с резко континентальным климатом. Это самый глубокий (1637 м) олиготрофный водоем с огромным (23 тыс. км³) объемом ультрапресной воды и осадочных отложений (75 тыс. км³). Активное формирование Байкальского рифта происходило в последние 3–4 млн лет и продолжается в настоящее время. Рифтогенез отражается системой активных разломов, сильными землетрясениями, активным расчленением рельефа, повышенным тепловым потоком, разгрузкой термальных вод и усиленным осадконакоплением. Эти процессы – мощный фактор ускорения генерации углеводородов и углефикации растительных остатков в осадочных породах рифтовых впадин [6–7]. Осадочные породы с залежами газогидратов, обогащенные дисперсным органическим веществом (С, Н, N, Si, P), – это геохимические аккумуляторы солнечной энергии (былые биосферы). Байкальский рифт – нелинейная самоорганизующаяся диссипативная система с высокой тектонической активностью и повышенной флюидной проницаемостью в устойчивой системе плиоцен-четвертичных и новейших периодически обновляемых разломов. Большинство разломов – это сейсмически активные зоны, где ежегодно фиксируется 5–7 тыс. землетрясений разной интенсивности [8]. При таких землетрясениях происходит активное изменение прибрежных и подводных экосистем Байкала, связанных с поступлением в экосистему нового вещества и информации.

Рифтовая экосистема Байкала возникла и функционирует под воздействием встречных потоков солнечной и глубинной эндогенной энергии из недр Земли и энергии «былых биосфер». Эволюция экосистемы озера тесно связана с рифтогенезом. Рифтогенез как источник эндогенной энергии, вещества и информации управляет и предопределяет самоорганизацию экосистемы в процессе ее эволюции. Байкал как саморазвивающаяся система пережила локальные и глобальные кризисы. С двумя глубокими похолоданиями (2,82–2,48 и 1,75–1,45 млн лет) связаны глобальные экологические катастрофы, когда вымирали диатомовые сообщества [9]. Это вызвало резкое снижение первичной продукции и рыб. Экологические стрессы повторялись в плейстоцене через каждые 60 тыс. лет. В межледниковье увеличивалась биомасса первичной продукции Байкала, сформировались высоко адаптированные эндемичные виды, пережившие ледниковые периоды.

Самоорганизация экосистем. Экосистема Байкала – это сложная динамическая система с огромным числом случайных факторов и вероятным характером многих природных (биологических и геологических) процессов. Самоорганизация системы Байкала определяется геохимической работой живого вещества, биологическим круговоротом – законом БИК, состоящим из двух противоположных процессов: образование живого вещества (фотосинтез и хемосинтез) и разложение органических веществ [2, 10]. В живом веществе аккумулируется солнечная и эндогенная энергии, которые при деструкции органических веществ превращаются в геохимическую энергию. Аккумуляторами энергии являются свободный кислород, живое вещество, органическое вещество илов, вода и осадочные породы – «былые биосферы». Байкальская вода как самоорганизующаяся система, богатая свободной химической энергией, неравновесная, что связано с присутствием в

ней сильного окислителя – свободного кислорода и сильного восстановителя – органического вещества. Так, в озере формируется окислительно-восстановительная зональность. Неравновесность системы усиливается при поступлении биогенных элементов из болотно-озерных прибрежных зон, взвешенных и влекомых наносов рек, разгрузке гидротерм и углеводородов. Велико влияние на неравновесность циркуляционных течений, вертикального водообмена и литодинамических потоков на подводных склонах и отложение взвесей в глубинных зонах озера.

В дельте Селенги тяжелые воды реки, богатые кислородом, опускаются на дно под байкальские воды, усиливают окисление, деструкцию органического вещества донных осадков. Постоянный вертикальный круговорот воды в озере обеспечивает поступление биогенных элементов из глубинной зоны в трофический слой.

В Байкале происходит почти круглогодичное, включая подледное, развитие фитопланктона – первичного органического вещества (С_{орг}). Его ежегодная продукция составляет 4 млн т, что равно 89 % суммарного поступления органического вещества в озеро [11–12].

Кислород как типоморфный элемент определяет устойчивую экологическую ситуацию в озере. Доля эпишуры байкальской (*Epischura baicalensis*) – эндемического рачка, главного биофильтра и основного потребителя фитопланктона, составляет 90 % биомассы зоопланктона (462 тыс. т). В год она фильтрует более 450 км³ воды, что в 7,5 раз превышает объем годового поступления воды в озеро. Эти процессы обеспечивают формирование байкальской чистой воды – самого ценного биологического и минерального ресурса. Из озера Байкал ежегодно можно забирать воды на сумму 50 млрд долл. США без ущерба его экологии.

Живое вещество обладает высокой биохимической активностью с участием мощных биологических катализаторов – ферментов. Они способствуют постоянно му вовлечению в БИК химических элементов, активно извлекаемых из среды обитания. Так, диатомовые водоросли, губки, моллюски из байкальской воды извлекают огромное количество кремния и формируют диатомовые илы. Деятельность живых организмов и продуктов разложения оказывает большое обратное влияние на экосистему, изменяя состав и свойства среды жизни.

Самоорганизация экосистемы Байкала ярко проявилась на генном уровне. Она связана с формо- и видообразованием эндемичных видов, адаптированных к среде обитания в процессе эволюции. Ученые Лимнологического Института СО РАН (ЛИН) [13–15] оценили уровень генетического родства ряда групп современных эндемичных видов рыб (коттоидные – байкальские бычки, голомянково-бычковые, омулево-сиговые) и беспозвоночных (губки, моллюски, ракообразные, черви) и их возраст. Эти животные имеют автохтонное происхождение от пресноводных предковых форм. Так, прибрежные и глубоководные бычки представлены 26 видами с 11 разновидностями, формируют кормовую базу всех ценных видов рыб. Высокое разнообразие коттоид Д.Н. Талиев [16] объясняет высокой скоростью видообразования в тектонике активной и быстро увеличивающей глубину впадине.

На сегодня Байкал населяют более 2600 видов и подвидов животных, большая часть их эндемики [8]. Байкал – уникальный центр видоразнообразия Евразии. В рифтовой экосистеме из исходных форм возникли «фои» новых высоко адаптированных холоднолюбивых видов. Диатомеи из вод озера извлекают огромное количество кремнезема и синтезируют органическое вещество. Они – один из индикаторов изменения палеоклимата [13] в течение позднего кайнозоя.

Процессы самоорганизации в рифтовой экосистеме обеспечивают согласованную связь основных компонентов системы: живых организмов, поверхностной атмосферы, поверхностных и подземных вод, углеводородов, илов, газогидратов, ледового покрова, горных пород и геологических процессов. Такая связь отражает формирование устойчивого БИК, связанного с трофической цепью открытой пелагиали, образованной фито- и зоопланктоном, бентосом, голомянкой, бычками, омулем и нерпой.

Дельты – структурные центры экосистемы Байкала. В дельтах рек эволюция живого вещества происходит в геохимической барьерной зоне под влиянием рифтогенных процессов – высокой сейсмичности, теплового, гравитационного, магнитного и радиационного полей. Совместное действие этих факторов активизирует видообразование. Так, с высокой сейсмичностью в экосистеме связано хромосомное видообразование – изменчивость хромосом у некоторых полевков рода *Microtus* и хомячков рода *Cricetulus* [17]. Мутантная форма Y-хромосом полевки рода *Clethrionomus* обнаружена на юге Байкала.

В Усть-Селенгинской впадине известны многочисленные естественные выходы термальных вод, нефти и углеводородных газов вдоль новейших сейсмоактивных разломов. Здесь широко проявился газовый вулканизм с грязевыми извержениями [18]. Ежегодно выделяется в атмосферу около 20 млн м³ горючего газа. Катастрофические выбросы газов возникают при землетрясениях.

В дельтах рек выделяются планктонная и донная жизненные пленки, которые в прибрежной зоне сильно сближаются между собой и образуют прибрежный тип сгущения жизни. Обе пленки жизни – планктонная и донная – функционируют под влиянием солнечной и тепловой энергии донных осадков и выходов углеводородов, интенсивного выноса минерального и органического вещества протоками Селенги и Верхней Ангары. Активное перемешивание ветрами водной толщи способствует многократному использованию элементов минерального питания. В результате сочетания указанных факторов в прибрежных сгущениях жизни биомасса планктона и рыб значительно больше, чем в глубоководных районах. Здесь феноменом является проявление биогеохимической энергии живого вещества, формирование резервата уникального биоразнообразия, с которой связана очень богатая ихтиофауна – омулевые, сиговые, осетровые, хариусовые.

В экосистемах дельт зоны сгущения жизни совпадают с зонами сгущения эпицентров сильных землетрясений, очагами разгрузки углеводородов и тепловыми аномалиями, а также полями грязевых вулканов с устойчивыми микробными сообществами-катализаторами биогеохимических циклов углерода.

Экосистемы термальных источников. Экосистемы термальных источников – это рефугии (убежища) редких и реликтовых растений и животных, разнообразных микроорганизмов. Здесь наиболее активно развивается биота, усилены биогеохимические процессы, связанные с тепловым потоком и выносом химических элементов, метана, сероводорода, углекислого газа и др. Большинство источников расположены на восточном побережье озера. Выявлены они и на дне Байкала глубоководными аппаратами.

В экосистемах термальных источников в БИК вовлекается широкий спектр химических элементов, поступающих из гранитоидов верхнего протерозоя – палеозоя, специализированные на уран с многочисленными проявлениями урана. По нашим данным, илы Большереченского источника выделяются аномальными содержаниями Sc, Cr, Co, Ce, Nd, Sm, повышены концентрации Th и U, Th/U-2.4. Орляк выделяется ассоциацией Zn, Br, Rb, Sr, Cs, La, Hf; сарана, мята, кора осины – Co, Zn, As, Br, Rb, Sr, Ba, La.

На восточном побережье Байкала озерно-болотная экосистема Чивыркуй-Баргузинского перешейка с выходом термальных и холодных источников отличается повышенными концентрациями радиоактивных, редкоземельных и редких элементов. Так, илы и торфа урочища Мягкая Карга по р. Буртуй отличаются аномальными содержаниями U, Th, Co, As, Rb, Ba, La, Ce, Nd, Eu, Tb, Hf, Ta. Высокопродуктивное содовое о. Бормашовое, богатое соровой рыбой, расположено на перешейке в зоне новейшего разлома. Здесь формируются лечебные грязи, которые используются санаторием «Горячинск». Прибрежные торфа отличаются повышенными содержаниями Lu, U, Th, Cr, Yb, Hf, Nd, As, Cs, Tb, Sc, Rb, Zn, Ta, Co, Eu, La, которые поставляются в озеро трещинными водами. На теплых источниках Кулиные болота с глубинных разгрузкой вод с высоким содержанием кремния формируются современные гейзериты, связанные с активной деятельностью цианобактерий. Они концентрируют в матах кремний. По данным А.Д. Абалакова, источники Кулиных болот и вод о. Бормашовое отличаются повышенными концентрациями Li, B, Al, Ti, Fe, Ga, Ge. Интересны маты Гусихинского термального источника, выведенного скважиной, с температурой 73–75 °С. В золе матов повышены содержания Ti, Rb, Sr, Zr, Nb, Ba, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Yb, Hf, Th и U. Активный БИК этих элементов в экосистеме термальных вод связан с цианобактериями. Этот спектр элементов отражается в составе солевой накипи горячих. По накипи воды из скважины с. Гусиха, что в 8 км от одноименного источника, выделяется аномалия (г/т) U-35 (Th/U-0,1), Cr-4, Ba-4334, Sc-3,6, Zn-11511, Ta-5,9 и Co-1526.

Горячие источники как таежные солонцы посещают маралы, лоси, кабарга и бурые медведи. Они поедают соли и грязи, водоросли и травы.

Высокая плотность поселения животных выявлена на глубине 900 м в зоне разгрузки нефти в Баргузинском заливе [19]. Здесь обнаружены и газогидраты. Битумная постройка содержит от 80 до 87 % углерода, 11–14 % водорода и около 2 % минерального вещества. Постройка плотно заселена глубоководной фауной беспозвоночных, основой и пищевой цепи которых являются микроорганизмы, окисляющие углеводоро-

ды. Среди животных преобладают ракообразные – амфиподы (20 видов и подвидов, относящихся к 14 родам), гигантские плоские черви – турбеллярии (3 вида), губки, брюхоногие моллюски и др.

Жизнь во льду. В Байкале открыты ледовые сообщества [20]. Первоначально были выявлены морские сообщества. Байкальские ледовые сообщества сопоставимы с хорошо изученными системами Арктики, где сообщества определяются пелагическими и бентосными инфузориями, коловратками, ракообразными, мальками рыб.

Богатые сообщества динофитовых и диатомовых водорослей, инфузорий, коловраток, рачков формируются в системах пор и каналов льда, насыщенных талой водой. Особенно быстро фитопланктон развивается во льду в феврале, марте, апреле и мае, когда под лучами солнца температура воды подо льдом повышается на 1,5–2 °С. При этом резко увеличивается фитомасса подледного планктона и достигает около трети годовой первичной продукции озера.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Самоорганизация рифтовой экосистемы Байкала определяется синергетическими эффектами геохимической работы ЖВ – закона БИК, связанного с аккумуляцией и взаимодействием встречных потоков солнечной и эндогенной энергии, вещества и информации. Байкальский рифтогенез – главный фактор прогрессивной направленной эволюции экосистемы и устойчивого развития высоко адаптированных живых организмов.

2. Развитие богатого многообразия видов животных и продолжающееся видообразование – отражение необратимой эволюции экосистемы, увеличение ее сложности, разнообразия, неравновесности, накопления свободной геохимической энергии – устойчивого согласованного развития трофических связей.

3. Самоорганизация системы Байкала обеспечивает его устойчивое развитие с огромным экологическим потенциалом. Из озера не исчез ни один эндемичный вид, нормально развиваются диатомовые водоросли, не изменилась концентрация главных растворенных газов, особенно кислорода, устойчиво сохраняется популяция омуля и нерпы [13].

4. Приоритетная национальная цель России – построение общества с устойчивым развитием – весьма созвучна принципам устойчивого развития экосистемы Байкала – объекта биосферного уровня с высоким уровнем самоорганизации. Человечеству для сохранения экологической безопасности Байкала, чистой байкальской воды необходимо вписывать природные биогеохимические циклы, определяющие его огромный экологический потенциал.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вернадский В.И. Химическое строение земли и ее окружения. М.: Наука, 1965. 374 с.

2. Перельман А.И. Геохимический ландшафт как самоорганизующаяся система // Вестник МГУ. Сер. 5. География. 1995. № 4. С. 10–16.
3. Николис Г., Пригожий И. Самоорганизация в неравновесных системах от диссипативных структур к упорядоченности через флюктуации. М.: Мир, 1979. 512 с.
4. Пригожий И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. М.: Мир, 1986. 431 с.
5. Летников Ф.А. Синергетика природных и техногенных воздействий на человека // Экология в меняющемся мире: материалы конф. молодых ученых, 24–26 апр. 2006 г. Екатеринбург: УрО РАН, 2006. С. 57–107.
6. Контарович А.Э., Каширцев В.А., Москвин В.И., Бурштейн Л.М. [и др.] Нефтегазоносность отложений озера Байкал // Геология и геофизика. 2007. Т. 48. № 12. С. 1346–1356.
7. Трофимук А.А., Черский Н.В., Вышемирский В.С., Галимов Э.М., Контарович А.Э. [и др.] Природный фактор, вызывающий преобразование ископаемого органического вещества // Геология и геофизика. 1982. № 6. С. 72–76.
8. Атлас. Озеро Байкал: Прошлое, настоящее, будущее. Иркутск: ФГУП «ВСАГП», 2004. 117 с.
9. Карabanов Е.В., Кузьмин М.И., Вильямс Д.Ф. [и др.] Глобальное похолодание Центральной Азии в позднем кайнозое согласно оледенительным записям из озера Байкал // ДАН. 2001. Т. 370. № 3. С. 61–66.
10. Перельман А.И., Борисенко Е.Н., Воробьев А.Е., Ламакина Н.В., Самонов А.Е. Параметры самоорганизации природных геохимических ландшафтов // Изв. РАН. Сер. География. 1996. № 2. С. 7–20.
11. Поповская Г.И. Фитопланктон Байкала и его многолетние изменения: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Новосибирск, 1991. 32 с.
12. Путь познания Байкала / Афанасьева Э.Л., Бекман М.Ю. [и др.] Новосибирск: Наука, 1987. 301 с.
13. Грачев М.А. О современном состоянии экологической системы озера Байкал. Новосибирск: Наука, Сиб. отд., 2002. 153 с.
14. Сиделева В.Г. Длиннокрылка, желтокрылка, широколобка и другие рыбы Байкала // Наука из первых рук. 2004. № 2. С. 102–113.
15. Суханова Л. Байкал – омулевая бочка // Наука из первых рук. 2004. № 2. С. 93–95.
16. Талиев Д.Н. Бычки-подкаменщики (*Cottoidei*). М.: Наука, 1955. 301 с.
17. Воронцов Н.Н., Ляпунова Б.А. Сейсмичность как фактор хромосомного видообразования // Доклады АН СССР. 1984. Т. 277. № 1. С. 214–218.
18. Исаев В.П. О газовом палеовулканизме на Байкале // Геология нефти и газа. 2001. № 5. С. 45–50.
19. Хлыстов О.М., Земская Т.И., Ситникова Т.Я., Механикова И.В. [и др.] Донные битумные постройки и населяющая их биота по данным обследования озера Байкал с глубоководных обитаемых аппаратов «Мир» // ДАН. 2009. Т. 428. № 5. С. 682–685.
20. Бордонский Г.С., Бондаренко Н.А., Оболкина Л.А., Тимошкин О.А. Ледовые сообщества Байкала // Природа. 2003. № 7. С. 22–24.

Поступила в редакцию 25 сентября 2012 г.

Taisayev T.T. VERNADSKIY'S THEORY: SELF-ORGANIZATION OF RIFT ECOSYSTEM OF LAKE BAIKAL – STABLE DEVELOPMENT AND ECOLOGICAL SAFETY

Self-organization of ecosystem of Lake Baikal is connected to synergy effects of geochemical operation of live substance – Vernadskiy's law on biological circulation of elements. Results of operation and its novelty are revealed in evolution of a rift ecosystem. Climate changes and riftogenesis: systems of the latest breaks, the strong earthquakes, and the raised heat flux, unloading of thermal sources and the hydrocarbons, the active sedimentation are powerful factors of speciation and adaptation of live organisms in unstable equilibrium ecosystem. A stable development and ecological safety of an ecosystem of Baikal is defined by a geochemical role of live substance.

Key words: live substance; riftogenesis; self-organization; non-equilibrium; stable development.