



УДК 574.2

КРИТИЧЕСКАЯ СОЛЁНОСТЬ – ГОМЕОСТАЗ – УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ

В.В. Хлебович

Зоологический институт Российской академии наук, Университетская наб., 1, 199034 Санкт-Петербург, Россия;
e-mail: khleb32@mail.ru

РЕЗЮМЕ

В статье рассматриваются биологические концепции критической солёности, гомеостаза внутренней солёности, температуры и pH. Делается вывод, что избираемый организмом уровень регулируемого фактора находится рядом с критической точкой его воздействия. Это соответствует принципу минимального действия Пьера Луи де Мопертюи. В статье выдвинута гипотеза о том, что закон минимального действия может обозначить подходы к решению проблем устойчивого развития.

Ключевые слова: критическая солёность, осморегуляция, ионорегуляция, температура, pH, гомеостаз, закон минимального действия, устойчивое развитие

CRITICAL SALINITY – HOMEOSTASYS – SUSTAINABLE DEVELOPMENT

V.V. Khlebovich

Zoological institute of the Russian Academy of Sciences, Universitetskaya emb., 1, 199034, Saint Petersburg, Russia;
e-mail: khleb32@mail.ru

ABSTRACT

The paper examines biological concepts of critical salinity, internal homeostasis of internal salinity, temperature and pH. It is concluded that level of chosen by organism controlled factor is close to the critical point of its impact. This is consistent with the principle of minimal action by Pierre Louis de Maupertuis. The paper put forward hypothesis about the fact that the law of minimal action may mark the approaches to the issues of sustainable development.

Key words: critical salinity, osmoregulation, ion regulation, temperature, pH, homeostasis, principle of least action, sustainable development

Понятие *критической солёности*, возникшее как синтез экологических и физиологических данных, постулировало нелинейность различных биологических процессов в градиенте солёности и резкое изменение их скоростей (или даже направления) в узком солёностном диапазоне 5–8‰ как внешней среды, так и среды внутренней (Хлебович, 1974, 2012). Рамки явления критической солёности весьма широки, но тем не менее ограничены. В экологии критическая солёность проявляется в виде солёностной зоны, удачно названной О.Кинне (Kinne, 1971) *хорогалинной зоной* (*horohaliniticum*, *horeo*. (греч.) – разделяю) и, распространяется на всех первичноводных животных, а также, вероятно, на водоросли и

бактерии. В физиологии речь идет о *солёности внутренней среды*; при этом нужно помнить, что внутренняя среда (кровь, лимфа, гемолимфа, полостная жидкость) имеется не у всех животных, отсутствуя, например, у паренхиматозных червей и кишечнополостных. Мною было предложено «правило Бидла», согласно которому в природе практически отсутствуют организмы с внутренней солёностью ниже 5‰ (Хлебович, 1974). Мы (Хлебович, Комендантов, 1986) обратили внимание на то, что пресноводные двустворчатые моллюски являют собой исключение из правила Бидла, имея внутреннюю солёность около 2–3‰. Это не может быть объяснено большей древностью обитания этих организмов в пресных водах.

В наших экспериментах на эстуарных полихетах-нереидах, относящихся к морским родам (Хлебович и др., 1983), животные, акклиматизированные к почти пресной воде, тоже имели внутреннюю солёность не выше 3‰. Мы склонны связывать необычно низкую внутреннюю солёность пресноводных моллюсков с трудностями осморегуляции из-за особенно большой поверхности жабр, органов дыхания и питания, осуществляющих связь с внешней средой. Очевидно, то обстоятельство, что пресноводные двусторчатые моллюски характеризуются исключительно низкой внутренней солёностью, требует специального исследования механизмов их осмо- и ионорегуляции.

В последнее десятилетие положение о критической солёности получило впечатляющий фундамент в виде концепции Ю.В. Наточина о роли ионов калия на ранних этапах эволюции жизни на Земле. Построения Ю.В. Наточина логичны и могут быть приняты не как гипотеза, а как теория, поскольку подтверждаются независимо полученными фактами из разных наук – биохимии нуклеиновых кислот, палеохимии, биофизики мембранных процессов (Наточин, 2005, 2007; Наточин, Ахмедов, 2005). Известные данные о том, что жизненно необходимые нуклеиновые кислоты могут быть в нативном состоянии только в калиевой среде, дали основание предположить, что становление жизни происходило во внешней среде с доминированием этого иона. Затем от палеогеохимиков было получено подтверждение того, что, действительно, были периоды, когда существовали водоёмы с доминированием ионов калия. Очевидно, вокруг организующих синтеза белков нуклеиновых кислот довольно рано образовалась защитная оболочка – протомембрана. По мере нарастания во внешней среде ионов натрия возникала опасность вытеснения им ионов калия из окружения нуклеиновых кислот. Проблема была решена образованием на мембране выкачивающего из клетки натриевого насоса в виде $K^+ - Na^+ - \text{АТФазы}$. Очевидно, на основе этого фермента выработались другие механизмы трансмембранного транспорта, и, как следствие, они в своем большинстве оказываются натрий-зависимыми. Таким образом, натрий из врага внутри клетки превратился в обязательный ион вокруг клетки. Почти всё, что транспортируется через мембраны, обменивается, прежде всего, на натрий. Роль натрия в организме подобна роли

денег, допустим, в семье бюджетников. Деньги получаются в виде купюр и расходуются в виде купюр, обеспечивая все потребности – в еде, одежде, ЖКХ, отдыхе. В этом объяснение поставленной Вернадским загадки – почему только обязательный в питании животных хлористый натрий входит и выходит из организма в неизменном виде. У пойкилоسمотических видов, обитавших или обитающих в морях с современным составом неорганических ионов, натрия во внешней среде достаточно для работы $K^+ - Na^+ - \text{АТФаз}$. Ранее в своем обзоре имевшейся тогда литературы (Хлебович, 1974) я отметил, что активность этого фермента исчезает при уменьшении окружающей клетку солёности за пределы 5‰. Отсюда и возникает необходимость пресноводным и наземным животным иметь внутреннюю солёность не менее 5‰ (правило Бидла). Таким образом, «калий-центрическая» теория Ю.В. Наточина оказывается фундаментом, на который опирается «натрий-центрическая» концепция критической солёности (Хлебович, Аладин, 2010).

Представления о критической солёности дали возможность по-новому подойти к классической главе физиологии, разделу о гомеостазе (Хлебович, 2006, 2008). В.Р. Дольник (2003) обратил внимание на то обстоятельство, что произошедшие независимо друг от друга птицы и млекопитающие «избрали» примерно одинаковую температуру тела, при этом близкую гибели организма от перегрева. Он поставил это в связь с тем, что механизмы нагрева более экономичны, чем механизмы охлаждения. Это стало исходным моментом для моего анализа ситуации в отношении регуляции во внутренней среде её солёности и pH. Оказалось, что вошедшие в пресные воды кольчатые черви, различные группы ракообразных, рыбы, а также произошедшие от них наземные животные, независимо друг от друга избрали внутреннюю солёность примерно 5–12‰ (у человека – 9.5‰). Ранее (Хлебович, 1966) было показано, что белки тканевых вытяжек различных гидробионтов коагулируют в среде солёностью ниже 5‰. Таким образом, гиперосмотические пресноводные и наземные животные разных независимо произошедших групп избрали примерно одинаковую солёность также вблизи её критических значений. Г.А. Виноградов (2000) считает, что pH внутренней среды всех пресноводных гидробионтов регулируется около 7.3. Это совсем близко к нейтральной гра-

нице $pH=7$, при переходе которой среда из кислой становится щелочной, или наоборот.

Все три гомеостаза внутренней среды организма, температуры, солёности и pH имеют общую черту – во всех группах, в том числе не связанных родством, избираемый уровень регулируемого фактора находится рядом с критической точкой его воздействия. Очевидно, это характерно не только для механизмов гомеостаза организма, а для большинства регулируемых природой или человеком процессов. Принцип преимущества регулирования процессами вблизи критических точек хорошо демонстрирует пример, далекий от биологических проблем гомеостаза. Горы урановой руды напрямую бесполезны энергетикам. И только перемещением практически доведенных до состояния *предвзрыва* урановых стержней можно относительно небольшими усилиями регулировать гигантское выделение полезной энергии. В психологии известно, что наибольшей внушаемостью отличаются люди в состоянии катарсиса. Все это я связал с принципом *минимального действия Пьера Луи де Монпертюа*, который Макс Планк назвал самым значительным обобщением современной ему физики, более широким, чем даже законы сохранения.

Закон минимального действия, говорящий о том, что процессы легче всего управляются вблизи критических точек, мне кажется, может обозначить подходы к решению проблем *устойчивого развития*. Биологам более понятно применение этого термина к процессу онтогенеза, развертывающегося последовательно (гомеорез по Уоддингтону) на основе чётких программ, записанных в ДНК. В некоторых случаях под внешним воздействием реализуются альтернативные *дискретные адаптивные нормы*, что также происходит под генетическим контролем (Хлебович, 2009).

В отличие от организма системы надорганизменного уровня не имеют жёсткой программы своего развития (и продолжительности жизни тоже). Однако они как имеющие биотическую компоненту оказываются способными к самоорганизации, саморегуляции и саморазвитию (Капра, 2002). Для популяций и экосистем отмечены периоды (или диапазоны факторов) относительно стабильные и резкие изменения структуры в краткие периоды времени или при небольшом превышении факторов (Holling, 1973; Алимов и др., 2012). Переломные экосистемные

процессы глобального масштаба происходили как под влиянием внутренних причин, так и под воздействием космических факторов (удары астероидов, искажение гравитации). Впоследствии либо восстанавливалась прежняя структура экосистем, либо создавалась новая экосистема на основе формирования новых таксонов с новыми свойствами [Levchenko V.F., Starobogatov Ya.I. (<http://www.evol.nw.ru/labs/lab38/levchenko/articles/biosphere.htm>)]. Яркий пример стабильности экосистем в относительно широком диапазоне солёности воды и резкий переход их к другому состоянию при пересечении *барьерных* солёностей дает Аральское море (Плотников, Аладин, 2011). Это дало основание авторам предложить и реализовать оптимальными условиями реабилитацию части моря, сохранив там желаемую солёность и, тем самым, структуру сообществ.

В последние десятилетия появляются свидетельства грозящего всему человечеству глобального экологического кризиса (Марфенин, 2007; Марфенин, Степанов, 2010). Стремительно растёт население Земли (когда я, ваш современник, поступал в школу, людей на планете было «всего лишь» 2 млрд.), исчезают леса, сокращается видовое разнообразие, возрастает энергопотребление, растёт объем отходов хозяйственной деятельности. Несмотря на попытки сопротивляться этим процессам, ситуация явно приближается к своим пределам. По некоторым данным [Бялко, 2001: Свирдруп (http://www.gazeta.ru/science/2011/12/28_a_3949529.shtml)] пик цивилизации будет достигнут уже в нашем десятилетии. Сохранение нынешнего уровня производства и потребления невозможно – далее неминуемо падение соответствующих показателей, но сценарии процессов весьма различаются. Глобальные изменения в природе и экономике привели к ряду решений Организации объединённых наций. В ее недрах возникло направление исследований и действий, известное как *устойчивое развитие*. Стратегия устойчивого развития сводится к двум основным задачам: первая – обеспечить современникам комфортную жизнь на более высоком уровне; вторая – обеспечить будущие поколения ресурсами их благополучного существования. Становится все более очевидным, что решить вторую задачу при современном уровне производства и социальных отношений практически невозможно. Одна только проблема одноразовой посуды

и пластиковых упаковок являет собой фактор, сопоставимый по масштабам с горообразованием. Попытки ввести некоторые ограничения вредного воздействия на природу и человека последствий людской деятельности не стали общими для всех стран. Неминуем перелом кривых, отражающих рост народонаселения, уровень производства и потребления. Весьма возможны неожиданные внезапные пандемии. Похоже, что современные экономические кризисы могут оказаться не похожими на прежние, а быть частью общего кризиса цивилизации. Закон минимального действия дает надежду именно на переломе тенденций развития человечества найти точки приложения, в которых минимальными усилиями можно «оседлать» процесс и направить его в нужную сторону. Несомненно, помимо экономической, экологической, энергетической и других изменений человеческой активности, особую роль должны играть глубокие изменения этики, переход от культа эгоизма и потребления к удовлетворению от самоограничения. Закон минимального действия дает надежду именно на переломе глобальных антропогенных процессов найти точки приложения спасительных мероприятий.

ЛИТЕРАТУРА

- Алимов А.Ф., Богатов В.В., Голубков С.М. 2012. Продукционная гидробиология. – Наука: Санкт-Петербург, 285 с.
- Бялко А.В. 2001. Мир на стыке веков // *Природа*. № 1. с. 16–20.
- Виноградов Г.А. 2000. Процессы ионной регуляции у пресноводных рыб и беспозвоночных. – Наука: Москва, 216 с.
- Дольник В.Р. 2003. Происхождение гомойотермии – нерешенная проблема. *Журн. общ. биол.* 64(6): 451–462.
- Капра Ф. 2002. Паутина жизни. Новое научное понимание живых систем. – Москва: «София и ИД Гелиос». 335 с.
- Комендантов А.Ю., Хлебович В.В. 1989. Соленостная зависимость поглощения водными беспозвоночными растворенных органических веществ // Труды зоол. института. Т. 196. с. 22–50.
- Марфенин Н.Н. 2007. Устойчивое развитие человечества. – Москва: Изд. МГУ. 624 с.
- Марфенин Н.Н., С.А. Степанов (ред.). 2010. Устойчивое развитие. Экология, политика, экономика // Россия в окружающем мире. Вып. 13. Москва: Издательство Международного независимого эколого-политологического университета. 351 с.
- Наточин Ю.В. 2005. Роль ионов натрия как стимула в эволюции клеток и эволюции многоклеточных животных // *Палеонтологический журнал*. № 4. с. 19–24.
- Наточин Ю.В. 2007. Физиологическая эволюция животных: натрий – ключ к разрешению противоречий. *Вестник РАН*. 77(11): 999–1010.
- Наточин Ю.В., Ахмедов А.М. 2005. Физиологические и палеогеохимические аргументы новой гипотезы стимула эволюции эукариот и многоклеточных животных. *Доклады РАН*. 400(6): 836–839.
- Плотников И.С., Аладин Н.В. 2011. Динамика фауны свободноживущих беспозвоночных Аральского моря. Биологическое разнообразие водных беспозвоночных в континентальных водоемах. СПб: ЗИН РАН. с. 137–156.
- Свердруп Х. Мир на пике: рассуждения об устойчивом обществе. Пиковое состояние металлов, минералов, энергии, богатства, еды и люди, идущие к концу золотого века. (http://www.gazeta.ru/science/2011/12/28_a_3949529.shtml)
- Хлебович В.В. 1966. Зависимость изменений оптической плотности растворов тканевых белков некоторых пресноводных животных от солености среды. *Цитология*. 8(3): 401–403.
- Хлебович В.В. 1974. Критическая соленость биологических процессов. – Л.: Наука. 235 с.
- Хлебович В.В. 2005. Уровни гомойотермии и гомойоосмии и вероятные причины, их определяющие. *Журнал общей биологии*. 66(5): 431–435.
- Хлебович В.В. 2007. Уровни гомеостаза. № 2. с. 61–65.
- Хлебович В.В. 2009. Дискретные адаптивные нормы: механизмы и роль в эволюции // *Труды Зоол. ин-та РАН*. Приложение № 1. с. 219–231.
- Хлебович В.В. 2012. Очерки экологии особи. – Санкт-Петербург: ЗИН РАН. 143 с.
- Хлебович В.В., Аладин Н.В. 2010. Фактор солености в жизни животных. *Вестник РАН*. 80(5–6): 527–532.
- Хлебович В.В., Комендантов А.Ю. 1986. Низкая осмотическая концентрация крови как общее свойство двустворчатых моллюсков, проникающих в пресные воды // *Труды Зоол. ин-та*. Т. 152. с. 50–56.
- Хлебович В.В., Комендантов А.Ю., Яковичина Л.А. 1983. Осмотическая регуляция у *Lycastopsis augeneri* и *Tylorrhynchus heterohattis*. (Polychaeta, Nereidae) в водах различной солености // *Зоол. ж.* 1983. 62(5): 796–799.
- Holling C.S. 1973. Resilience and stability of ecological systems // *Annual review of ecology and systematics*. V. 4. P. 1–23.
- Kinne O. 1971. Salinity – Invertebrates // *Marine Biology*. Pt. 2. L. N.Y. – Sydney – Toronto. Wiley-Interscience. P. 683–995.
- Levchenko V.F., Starobogatov Ya.I. 1998. Ecological crisis as ordinary evolutionary events canalized by biosphere. St. Petersburg. (<http://www.evol.nw.ru/labs/lab38/levchenko/articles/biosphere.htm>).