

**СОПРЯЖЕННЫЕ ХИРАЛЬНЫЕ ИЕРАРХИИ КАК УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ СВЯЗНОСТИ
В ИНФРАСТРУКТУРАХ ЖИВЫХ СИСТЕМ**

Твердислов В.А.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

*ул. Ленинские горы, 1, корп. 2, г. Москва, 119991, РФ**e-mail: tverdislov@mail.ru*

Аннотация. Обсуждается системная молекулярно-биологическая закономерность: начиная с уровня асимметричного углерода в дезоксирибозе и аминокислотах, прослежена тенденция чередования знака хиральности внутримолекулярных структурных уровней D-L-D-L для ДНК и L-D-L-D для белков. Частным случаем хиральности выступает спиральность. При межмолекулярных взаимодействиях в каждой из молекул доминирует знак хиральности внутримолекулярной структуры высшего уровня, непосредственно участвующей во взаимодействиях. Для однотипных молекул (белок-белок, ДНК-РНК, тРНК-мРНК, рибозимы) взаимодействие преимущественно реализуется в случае одного знака хиральности L-L или D-D, а для разнотипных молекул (ДНК-белок, тРНК-аминокислоты, фермент-субстрат) — в случае разного знака D-L или L-D. Знакопеременная хиральная иерархичность сопряженных уровней макромолекулярных структур в белках и нуклеиновых кислотах имеет общебиологическую значимость: обуславливает их дискретность, служит инструментом фолдинга, структурной основой «выделенных механических» степеней свободы в конструкциях макромолекулярных машин, а также одним из механизмов блочного/сальтаторного развития эволюционного процесса. Выдвинуто новое принципиальное положение: гомохиральность первичных структур ДНК и белков определяет запас свободной энергии по энтропийной составляющей, используемый в процессах фолдинга и молекулярных перестроек.

Ключевые слова: хиральность, нуклеиновые кислоты, белки, иерархии структур, фолдинг, молекулярные машины

**COHERENT CHIRAL HIERARCHIES AS A UNIVERSAL COMMUNICATION TOOL IN
THE INFRASTRUCTURES OF LIVING SYSTEMS**

Tverdislov V.A.

*M.V. Lomonosov Moscow State University**GSP-1, 1-2 Leninskiye Gory, Moscow, 119991, Russia**e-mail: tverdislov@mail.ru*

Abstract. A systemic regularity of molecular biology is discussed: the tendency towards alternating of the sense of chirality of intramolecular structural levels of DNA and proteins, namely, D-L-D-L for DNA and L-D-L-D for proteins, is observable starting from the level of asymmetric carbon in deoxyribose and amino acids. Helicity is a special case of chirality. In intermolecular interactions, the sense of chirality of the highest intramolecular structural level directly involved in the interaction prevails in each of the participants. The interaction of molecules of the same nature (protein-protein, DNA-RNA, tRNA-mRNA, and ribozymes) mainly occurs in the case of the same sense of chirality, either L-L or D-D, and for molecules of different types (DNA-protein, tRNA-amino acids, and enzyme-substrate), in the case of different senses of chirality, either D-L or L-D. An alternating sense of the chiral hierarchy of conjugated levels of macromolecular structures in proteins and nucleic acids is of general biological importance: it determines the discreteness of levels, serves as a tool of folding, and provides a structural basis for “preferred collective” (or “macroscopic mechanical”) degrees of freedom in the design of macromolecular machines, as well as being one of the mechanisms of blockwise/saltatory development of the evolutionary process. A new fundamental concept is proposed: the homochirality of primary structures of DNA and proteins determines the amount of the entropic component of the free energy, which is used in the processes of folding and molecular rearrangements.

Keywords: chirality, nucleic acids, proteins, structural hierarchies, folding, molecular machines

«Бесконечно разнообразная природа проста лишь в своих мотивах, а её суть состоит в создании огромного числа явлений, часто очень сложных, с помощью небольшого набора общих законов».

Пьер Симон Лаплас

«Насколько я знаю, все физические результаты a priori имеют свои источники в симметрии»

Герман Вейль

«Развитие Вселенной с момента ее возникновения выглядит как непрерывная последовательность нарушений симметрии...

Феномен жизни естественно вписывается в эту картину».

Фриман Дж. Дайсон

Системность является одним из главных условий стабильного состояния и развития биосферы Земли. Биологическая связность этой системы основывается на единстве и универсальности физических, химических, информационных потоков и трансформаций. Симметричные соотношения составляют основу системности и связности.

Симметрия – принцип, механизм, проявление.

Замечательные достижения биохимии и молекулярной биологии последних десятилетий в изучении жизненных процессов заслонили принципиальные для биологии фундаментальные физические принципы организации и функционирования живых систем, сформулированные в 30-е – 60-е годы прошлого столетия. Незаметно исчезло из рассмотрения важнейшее для биологической эволюции положение: естественный отбор в биологии происходит по физическим, а не по химическим критериям. Самые общие принципы построения живого – дискретность, неравновесность, нелинейность, синергизм, иерархичность, машинность, сочетание фазовых состояний, а также сопряжение квантовых и макроскопических масштабов и процессов и т.д. – являются физическими. В свою очередь, универсальный «химический» инструментарий позволяет эффективно реализовать все известные на Земле «биологические» формы жизни.

Идеи симметрии имеют фундаментальное значение в физике при рассмотрении природных закономерностей на самых разных уровнях организации материи. В частности, известные законы сохранения базируются непосредственно на различных формах симметрии [1]. Столь же естественно считать представления о симметрии и нарушениях симметрии фундаментальным фактором при рассмотрении физических основ строения живых систем, их происхождения и эволюции. Симметрические характеристики организации системы на одном её уровне определяют её масштаб и симметрические характеристики на следующем иерархическом уровне эволюционного развития.

Проявления симметрии в растительном и животном мире замечены и частично систематизированы, начиная с древнейших цивилизаций и античных времён. В них просматриваются функционально важные эволюционные приобретения. Но это - внешние проявления "верхних" уровней биологической организации. Выдвигается соображение, что отдельные формы симметрий и асимметрий служат основой важнейших механизмов структурообразования, преобразования энергии, вещества и информации на всевозможных уровнях организации живых систем.

Хиральность: гомохиральность – "нагнетающий насос" иерархического структурообразования в макромолекулах.

Особое место в категории симметрий-асимметрий занимает понятие хиральности [2]. В нашем рассмотрении молекулярно-биологических систем мы будем пользоваться классическим определением хиральности: хиральность – свойство молекулы или объекта быть несовместимым со своим зеркальным отображением при любых комбинациях перемещений и вращений в трёхмерном пространстве. В энантиомере (энантиоморфе) отсутствует симметрия относительно сторон и осевая симметрия.

Следуя Лейбницу и Вейлю [!], можно полагать, что "правое" и "левое" математически неразличимы и, как представляется логичным, "физически" равновероятны. Но это утверждение справедливо исключительно для однородных, изотропных, линейных систем. В хирально поляризованных системах (средах) исходное утверждение не справедливо. Теперь мы сможем добавить следующее: "и если только сами хиральные физические объекты не включены в сообщества обсуждаемых в настоящей статье иерархий". Как мы покажем, нарушение симметрии на условно "нижнем" структурном уровне в неравновесных нелинейных условиях позволяет сформироваться знакопеременным иерархиям хиральных структур с увеличивающимся масштабом [3,4]. Примеры из неживой природы мы рассмотрели в [5], а основное внимание обратим на молекулярно-биологические хиральные системы.

Мы развиваем принципиально новую точку зрения на проблему хиральности: хиральный дуализм является фундаментальной основой структурообразования в молекулярной биологии, а гомохиральность аминокислот, рибозы и дезоксирибозы – есть важнейший инструмент иерархической стратификации внутримолекулярных и надмолекулярных структурных уровней, а также специфичности межмолекулярных взаимодействий.

В 1894 году выдающийся физик, Нобелевский лауреат Пьер Кюри, занимавшийся в значительной степени кристаллографией, писал: "Присущая явлениям симметрия – это максимальная симметрия, совместимая с

существованием явления. Определенные элементы симметрии могут сосуществовать с определенными явлениями, но они не являются необходимыми; необходимо лишь отсутствие определенных элементов симметрии. Именно асимметрия создает явление" [6]. С этим высказыванием полностью согласуется процесс спонтанной рацемизации гомохиральных химических соединений, связанный с повышением энтропии. Вопрос только в кинетических ограничениях. Такой процесс взаимопревращения энантиомеров удобно охарактеризовать как "горизонтальную рацемизацию". Мы же вводим ещё понятие "вертикальной рацемизации", когда говорим о спонтанном формировании знакопеременных хиральных иерархий в структурах макромолекул ДНК и белков.

Хиральные сочетания как инфраструктура молекулярной биологии.

Нами была выявлена и систематизирована общая закономерность иерархического структурообразования в генетически и информационно детерминированных биомолекулах [3-5]. Инструментом стратификации внутримолекулярных и надмолекулярных структур нуклеиновых кислот и белков служит формирование знакопеременных хиральных структурных иерархий. Прослеживается закономерное чередование знака хиральности D-L-D-L при переходе на более высокий уровень структурно-функциональной организации ДНК, так же как и смена знака хиральности L-D-L-D при переходе на более высокий уровень структурно-функциональной организации белковых структур (см. рисунок). Для ДНК по аналогии с белковой первичной структурой мы рассматриваем в качестве первичной структуры цепочку дезоксирибоз. Начиная со вторичной структуры в белках и третичной - в ДНК мы имеем дело с хиральными спиральными и суперспиральными структурами. Способность атома углерода образовывать хиральные соединения является важнейшим фактором, определившим углеродную основу живых систем на Земле.

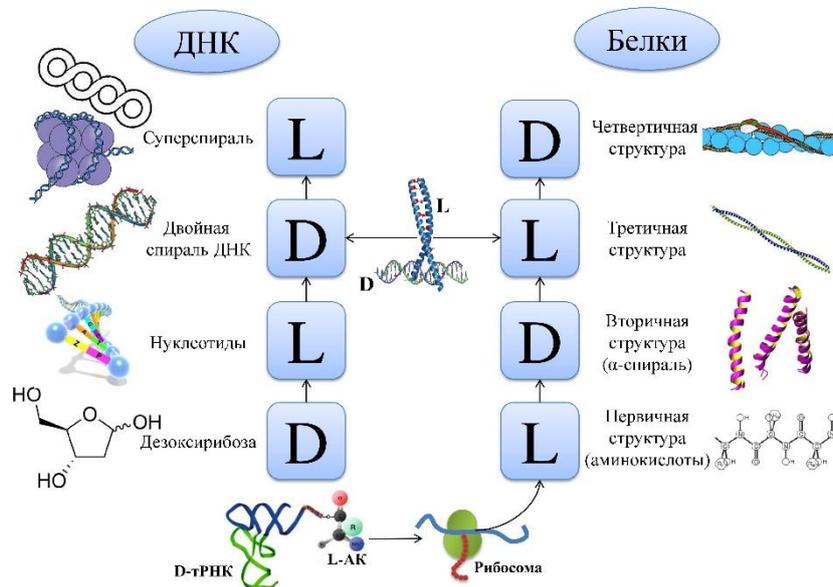


Рисунок 1 – Периодическая таблица знакопеременных иерархий хиральных (спиральных) структур от первичной до четвертичной для ДНК (левая колонка) и белков (правая колонка): L – левая конфигурация энантиомера или спирали, D – правая [4]

Глядя на рисунок, мы можем убедиться, что центральный блок всей молекулярной биологии, представленный знакопеременными хиральными иерархиями внутри- и надмолекулярных структур ДНК и белков, образует периодическую таблицу. Вследствие смещения столбцов на пол-периода, это «ядро» молекулярной биологии обретает ось симметрии и становится ахиральным блоком. Таким образом, ядро молекулярной биологии описывается симметрически замкнутой знакопеременной хиральной периодической системой. Эта периодическая система является ахиральным инвариантом, составленным из «правых» и «левых» хиральных элементов, универсальным для всех форм живого на Земле. Формирование знакопеременных хиральных иерархий в макромолекулярных структурах обусловлено четкой физической причиной – стремлением системы понизить исходный уровень свободной энергии, образующийся при энергозависимом отборе гомохиральных мономеров первичных структур макромолекул из их рацемических смесей.

Знакопеременная хиральная иерархичность сопряженных уровней структур в макромолекулах имеет общепроизводственную значимость: обуславливает дискретность этих уровней, служит инструментом пространственной самоорганизации (уникальной самосборки – фолдинга), структурной основой «выделенных механических» степеней свободы в конструкциях биологических макромолекулярных машин.

Заметим, что в неживой природе имеется множество примеров спонтанного формирования подобных иерархий и что живая природа успешно адаптировала этот принцип [3,5]. Явление хиральности рассматривается нами как фундаментальный физический фактор (мотив) иерархического структурообразования в физико-химических и молекулярно-биологических системах. Некоторое время назад нами было сформулировано

синергетическое правило, имеющее общий физико-химический характер и касающееся механизмов структурообразования и эволюции хиральных систем в неживой и живой природе [5]. Эволюционирующая нелинейная система, обладающая запасом свободной энергии и хиральной асимметрией, находясь в пределах одного иерархического уровня и проходя точки бифуркации, способна в процессе самоорганизации изменять соотношение имеющихся типов симметрии, повышая свою «сложность», но сохраняя знак преобладающей хиральности («правой» - D или «левой» - L закрученности). Та же система в точках бифуркации проявляет тенденцию к спонтанному формированию последовательности иерархических уровней с чередующимся знаком хиральности заново образующихся структур. Оба случая связаны с нарушением симметрии, но во втором случае в системе происходит стратификация — появляется более высокий уровень структурной организации. В живых системах это может быть и более высокий функциональный уровень.

Приведем пример из наших работ, касающихся образования хиральных струн и суперспиралей и выполненных совместно со С.В.Стовбуном и коллегами [7]. Экспериментально установлено, что в гомохиральных растворах трифторацетилованных аминокислот в циклогексане, бензоле и других растворителях, а также в водном растворе фенилаланина наблюдается образование струн - анизометрических (отношение длины к диаметру $\sim 10^2 - 10^5$) спиральных структур, обладающих характерной жесткостью. D-изомер одного из аминокислот за счет диполь-дипольных взаимодействий формирует левую супрамолекулярную хиральную струну, свивающуюся в правую суперспираль.

Живая клетка затрачивает энергию АТФ на отбор "левых" аминокислот транспортной РНК. Гомохиральность первичных структур биологических макромолекул определяет исходный запас свободной энергии, который используется в процессе формирования внутримолекулярных и межмолекулярных структур. Система, включающая транспортные и информационные РНК, рибосомы предназначена играть роль активного фильтра - хирального насоса, отбирающего из цитоплазмы исключительно L-аминокислоты, соединять их в полипептидную цепь, обладающую в силу гомохиральности запасом свободной энергии. Отбор необходим по причине того, что в цитоплазме присутствует определенное количество D-аминокислот.

При межмолекулярных взаимодействиях в каждой из молекул существенен знак хиральности внутримолекулярной структуры высшего уровня, непосредственно участвующей во взаимодействиях. Для однотипных молекул (белок-белок, ДНК-РНК, тРНК-мРНК, рибозимы) взаимодействие реализуется в случае одного знака хиральности L-L или D-D, а для разнотипных молекул (ДНК-белок, тРНК-аминокислоты, фермент-субстрат) — в случае разного знака D-L или L-D.

В целом рассмотренная система чередующихся вертикальных и горизонтальных D и L структур макромолекул составляет регулярную сеть, которую в определенной степени можно уподобить периодической системе элементов, а аналогом спина, участвующего в формировании дискретности электронных орбиталей, может служить хиральный дуализм структур. Знакопеременная хиральная иерархичность сопряженных уровней макромолекулярных структур в белках и нуклеиновых кислотах обуславливает их дискретность, служит структурной основой «выделенных механических» степеней свободы в конструкциях макромолекулярных машин, а также инструментом фолдинга.

Запас свободной энергии, связанный с гомохиральностью первичных структур, используется в фолдинге белковых макромолекул для построения знакопеременной хиральной иерархии структур. Термодинамическое обоснование состоит в следующем. Известно, что гомохиральная молекулярная субстанция, будь то раствор аминокислот или углеводов, подвергается рацемизации, стремясь уравнять концентрации энантиомеров, повышая до максимума энтропию системы и понижая уровень её свободной энергии. Вместе с тем, для линейного гомохирального полимера имеется принципиальная возможность понизить свою свободную энергию не только за счет рацемизации мономеров (назовём это «горизонтальной» рацемизацией), но и за счет «вертикальной» рацемизации: за счет создания структур высшего уровня с другим знаком хиральности. Таким образом, система «размазывает» свою гомохиральность, понижая свободную энергию, и это сопровождается появлением у части или всех макромолекул более устойчивого (стабильного, долгоживущего, жесткого) каркаса, нежели в исходном состоянии.

Синергетические аспекты.

О фолдинге белков [8]. Не вдаваясь в подробности, можно сказать, что отбор "левых" аминокислот транспортной РНК из смеси энантиомеров и соединение их в цепочку рибосомой, создаёт тем самым распределенный по первичной структуре запас свободной энергии (по энтропийной составляющей), свойственный активным средам [9]. Кинетическая заторможенность "мешает" горизонтальной рацемизации, открывая возможность повышения энтропии формированием "правых" альфа-спиралей. В принципе, этот процесс формирования вторичной "правой" структуры, закрепляющейся в отдельных фрагментах вследствие стерических соответствий и водородных связей, есть автоволновой процесс самоорганизации. Такое же соображение можно отнести к третичным суперспиральным структурам, тоже "левым".

В настоящей работе мы говорим о физических основах самоорганизованной дискретности в иерархиях структур биологических макромолекул. В самом общем случае дискретность составляющих систему элементов (сравнимых по масштабу с размерами самой системы), на наш взгляд, является необходимым условием формирования самоорганизованной критичности в системах с пороговыми свойствами и способностью к формированию регулярных систем [10]. Самоорганизованная критичность не сводится к тривиальным лавинным процессам, возможным в непрерывных средах. Непрерывные распределённые системы, по-видимому, этим свойством не обладают, или условия должны быть более сложными, специфическими. В простых случаях, при

отсутствии строгой дифференциации по какому-либо признаку между дискретными элементами в неравновесной системе могут генерироваться спонтанные стохастические пороговые лавинные процессы (например, осыпание кучи песка). В такой системе не возникает регулярность, порядок. А вот в системе с бинарно дифференцированными базовыми элементами возможно формирование дискретных и детерминированных структур и процессов. Например, с хирально дифференцированными элементами.

Когда мы говорим о фолдинге, например, в белках как о процессе градуальной укладки пептидной цепи в глобулу, мы также говорим о процессе самоорганизованной критичности. В данном случае запасенная в одномерной гомохиральной цепи L-аминокислот свободная энергия приводит к формированию дискретных структурных образований большего масштаба, имеющих противоположный знак хиральности. Мы наблюдаем эффект самоорганизованной критичности с бинарно детерминированными по признаку хиральности исходными элементами. В этом случае возникает иерархически организованная регулярная структура.

Описанные нами дискретные уровни внутримолекулярных и надмолекулярных структур образуют конструкции, которые составляют суть молекулярных машин - формируют выделенные механические степени свободы [11,12]. Спиральные и суперспиральные структуры служат для молекулярных машин жесткими конструкциями, позволяющими реализовать эти выделенные поступательные степени свободы, а также становятся вентильными устройствами, которые обуславливают однонаправленное движение по циклу для молекулярных машин, реализуя теперь уже вращательные степени свободы.

Организменный уровень.

Проявления чередований хиральных асимметрий при смене иерархических уровней можно наблюдать и у животных, и у растений. Так, например, полушария мозга человека контролируют нервно-мышечную активность тела противоположного знака симметрии. У многих растений, характеризующихся спиральным филлотаксисом, знак спиральности при ветвлении и расположении листьев на ветках меняется на противоположный. Примеров можно привести достаточно много, что свидетельствует о возможном существовании не совсем понятных для нас сквозных мотивов знакопеременной хиральной иерархичности.

Закключение.

Изложенные в статье наблюдения и соображения позволяют считать, что молекулярная биология в целом представляет собой периодическую систему, составленную связанными между собой иерархиями знакопеременных хиральных структур. Данный синергетический принцип акцептирован биологической эволюцией из неживой природы и, по-видимому, распространяется также на надмолекулярные этажи биологической организации, изменяя при этом механизмы симметрических соответствий. В самом общем смысле можно с достаточной долей уверенности полагать, что хиральные соответствия создают некую глобальную инфраструктуру в живой природе, а система симметрий в целом создаёт определённый "коридор", в границах которого развиваются эволюционные процессы. В целом же, наряду с известной "стрелой времени" существует "стрела симметрий", направленная от ахиральных структур к усложняющимся хиральным.

Благодарности.

Автор благодарит своих коллег и друзей Л.В. Яковенко, А.Э. Сидорову, Е.В. Малышко, С.А. Ильченко, В.Д. Скуриду, О.А. Жулябину, С.В. Стовбуна, М.С. Попцову, Е.Ю. Симоненко, А.Н. Заикина, А.Н. Гориха за помощь в работе и полезные обсуждения.

Исследование выполнено при частичной поддержке гранта Российского научного фонда (проект №14-50-00029).

Список литературы / References:

1. Герман Вейль *Симметрия*. Пер. с англ. М., Наука, 1968, 192 с. [Hermann Weyl *Symmetry*. Princeton University Press, 1952.]
2. Georges H. Wagnière. *On Chirality and the Universal Asymmetry Reflections on Image and Mirror Image*. Verlag Helvetica Chimica Acta. Zürich, 2007, 247 p.
3. Твердислов В.А., Сидорова А.Э., Яковенко Л.В. От симметрий – к законам эволюции. 1. Хиральность как инструмент стратификации активных сред. *Биофизика*, 2012, т. 57, вып. 1, с. 146-154. [Tverdislov V.A., Sidorova A.E., Yakovenko L.V. *Biofizika*, 2012, vol. 57, no. 1, pp. 146-154. (In Russ.)]
4. Твердислов В.А., Малышко Е.В., Ильченко С.А., Жулябина О.А., Яковенко Л.В. Периодическая система хиральных структур в молекулярной биологии. *Биофизика*, 2017, т. 62, вып. 3, с. 421-434. [Tverdislov V.A., Malysheko E.V., Ilchenko S.A. [et al.] *Biofizika*, 2017, vol. 62, no. 3, pp. 421-434. (In Russ.)]
5. Tverdislov V.A. Chirality as an Instrument of Stratification of Hierarchical Systems in Animate and Inanimate. *Nature*. – arXiv: 1212.1677 [nlin.AO].
6. Pierre Curie *On symmetry in physical phenomena, symmetry of an electric field and of a magnetic field*. 1894.
7. Стовбун С.В., Скоблин А.А., Твердислов В.А. Экспериментальное наблюдение синергетической закономерности смены знака хиральности в иерархиях биомиметических структур. *Биофизика*, 2014, т. 59, вып. 6, с. 1079-1084. [Stovbun S.V., Skoblin A.A., Tverdislov V.A. *Biofizika*, 2014, vol. 59, no. 6, pp. 1079-1084. (In Russ.)]
8. Финкельштейн А.В., Птицын О.Б. *Физика белка: Курс лекций с цветными и стереоскопическими иллюстрациями и задачами*. 3-е изд., испр. и доп. М.: КДУ, 2005, 456 с. [Finkelshtein A.V., Ptitsyn O.B. *Protein Physics: A Course of Lectures*. KDU, 2005, 456 p. (In Russ.)]
9. Твердислов В.А., Малышко Е.В., Ильченко С.А. От автоволновых механизмов самоорганизации к

молекулярным машинам. *Известия РАН. Серия физическая*, 2015, т. 79, вып 3, с. 1728-1733. [Tverdislov V.A., Malyshko E.V., Ichenko S.A. From Autowave Mechanisms of Self-Assembly to Molecular Machines. *Izvestiya RAN. Seriya fizicheskaya*, 2015, vol. 79, no. 3, pp. 1728-1732. (In Russ.)]

10. Пер Бак *Как работает природа: теория самоорганизованной критичности*. Пер. с англ. Москва: УРСС: Либроком, 2013, 269 с. [Per Buck *How nature works: the theory of self-organized criticality*. Moscow: URSS: Librocom, 2013, 269 p. (In Russ.)]

11. Блюменфельд Л.А. *Решаемые и нерешаемые проблемы биологической физики*. М.: Едиториал УРСС, 2002, 160 с. [Blyumenfeld L.A. *Solvable and unsolvable problems of biological physics*. Editorial URSS, 2002, 160 p. (In Russ.)]

12. Чернавский Д.С., Чернавская Н.М. *Белок-машина: Биологические макромолекулярные конструкции*. МГУ им. М.В. Ломоносова, науч.-исслед. ВЦ, М.: Изд-во МГУ, 1999, 248 с. [Chernavskii D.S. *Belok-mashina*. MSU-Press, 1999, 248 p. (In Russ.)]

ИЗМЕРЕНИЕ БИОЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО ПОТЕНЦИАЛА *IN SITU*

Лямина Н.В., Лямин А.Г.

Севастопольский государственный университет
ул. Курчатова, 7, г. Севастополь, 299033, РФ
e-mail: burmistrovan@mail.ru, leleke@mail.ru

Аннотация. Проведен анализ погружных устройств приборного парка для исследования биоломинесцентного потенциала *in situ*. Выявлены различия в конструктивных особенностях, типах светочувствительного датчика, методике измерений и калибровке. Установлено, что при проектировании конструкции батифотометра нужно произвести гидростатический и гидродинамический расчет характеристик батифотометра; дать оценку биоломинесцентного потенциала, как функции объемного расхода; произвести биологическую калибровку батифотометра, используя конкретные виды и концентрацию биоломинесцентных организмов; определить значение критического объемного расхода, которое будет использоваться при эксплуатации батифотометра, с учетом требований к минимизации габаритных размеров батифотометра и условиям эксплуатации.

Ключевые слова: биоломинесцентный потенциал, батифотометр, биологическая калибровка, гидроэкология.

MEASUREMENT OF THE BIOLUMINESCENT POTENTIAL *IN SITU*

Lyamina N.V., Lyamin A.G.

Sevastopol State University
Kurchatova St., 7, Sevastopol, 299033, Russia
e-mail: burmistrovan@mail.ru, leleke@mail.ru

Abstract. The analysis of submersibles of the instrumentation pool for a research of bioluminescent potential was carried out *in situ*. Differences in features, types of the photosensitive transducer, measurement technique and calibration were revealed. It was established that while designing the structure of a bathyphotometer it is necessary to make hydrostatic and hydrodynamic calculation of characteristics of a bathyphotometer; to appraise bioluminescent potential as a function of a volume flow rate; to make biological calibration of a bathyphotometer, using specific types and concentration of bioluminescent organisms; to determine value of a critical volume rate which will be used in case of operation of bathyphotometer, considering the requirements as to minimization of over-all size of a bathyphotometer and service conditions.

Key words: bioluminescent potential, bathyphotometer, biological calibration, hydroecology.

Биоломинесценция - проявление жизнедеятельности организма в виде электромагнитного излучения в видимой области спектра, кинетические закономерности которого тесно связаны с кинетикой и механизмом порождающих его химических реакций и процессов метаболизма [1]. Биоломинесценция обнаружена у более 700 видов морских и наземных организмов всех уровней филогенеза, от бактерий до рыб. Около 80 % известных биоломинесцентных организмов обитают в Океане, среди них много глубоководных [2]. Биоломинесценция у морских организмов наблюдается среди: **Proteobacteria** (Gammaproteobacteria), **Radiozoa** (Polycystina), **Myxozoa** (Dinophyceae), **Stenophora** (Tentaculata и Nuda), **Cnidaria** (Anthozoa, Hydrozoa и Scyphozoa), **Nemertea** (Enopla), **Annelida** (Polychaeta), **Mollusca** (Bivalvia, Cephalopoda и Gastropoda), **Chaetognatha** (Sagittioidea), **Arthropoda** (Branchiopoda, Copepoda, Malacostraca, Ostracoda и Pycnogonida), **Echinodermata** (Asteroidea, Crinoidea, Holothuroidea и Ophiuroidea), **Hemichordata** (Enteropneusta) и **Chordata** (Actinopteri, Appendicularia, Ascidiacea, Elasmobranchii и Thaliacea). Биоломинесценция у морских организмов наблюдается среди представителей 617 родов [3-6]. Биоломинесцентное излучение морских организмов приходится на спектральный диапазон от 410 до 710 нм. Большинство морских организмов эмитируют излучение с длиной волны между 450 и 490 нм, что соответствующим образом синему свету, обладающему оптимальной светопередачей в морской воде [5]. Изучение пространственной структурированности морских экосистем, взаимодействие их различных компонентов и