

ФИЗИКО-ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ БИОКОСНЫХ ФИТОСИСТЕМ ТЕЛЕСНОГО И НАДТЕЛЕСНОГО УРОВНЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

A.B.Празукин

Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского НАН Украины
г. Севастополь, пр. Нахимова, 2
E-mail:prazukin@mail.ru

Показано, что биокосные фитосистемы телесного и надтелесного уровней организации, могут быть описаны одним и тем же набором физико-геометрических параметров, что говорит об их структурном подобии.

Введение. В соответствии с пониманием и определением биокосных систем [2, 3, 19], биокосные фитосистемы (**БФ**) – это системы, в границах которых в неразрывной связи существуют, с одной стороны, инертное вещество в твердой, жидкой и газовой фазах, а с другой – биоорганическое вещество фитосистем разного уровня организации. При таком подходе абиотическая компонента системы уже не может рассматриваться как «внешняя среда» по отношению к биоорганическому веществу [19]. «Живое» и «косное» вещество равноважные и неразделимые части единого целого. Среда в общепринятом понимании исчезает.

Все **БФ** по происхождению делятся на три группы: «*биогенные*», «*геогенные*» и «*техногенные*» [10, 11, 20, 21, 26]. При всем их феноменологическом отличии они могут быть представлены единой моделью «биокосной системы» [21, 26] (рис. а) и описаны одними и теми же структурными и функциональными параметрами.

В настоящей статье остановимся на рассмотрении **БФ** биогенного происхождения, особенностью которых является то, что «живое вещество» самостоятельно выделяет из общего пространства собственное (рис. б, в). Например, для тела растения (для *телесных БФ*, рис. б) – это пространство (объем тела, V_n , здесь и далее подстрочным символом n будем обозначать параметры телесных систем), ограниченное его физической поверхностью (G_n). В свою очередь, тело растения своим расположе-

нием «захватывает» собственное надтелесное ближайшее функциональное пространство (**БФП**), внешняя граница (G_{n+1} , здесь и далее подстрочным символом $n+1$ будем обозначать параметры надтелесных систем, рис. в) которого проходит по внешнему контуру окончаний структурных элементов растения (рис. в). В границах надтелесного пространства размещается телесная масса растения и вода с растворенными и взвешенными в ней веществами, заполняющая весь объем **БФП**. Вместе растение и минеральные вещества в границах **БФП** образуют **надтелесную БФ** биогенного происхождения.

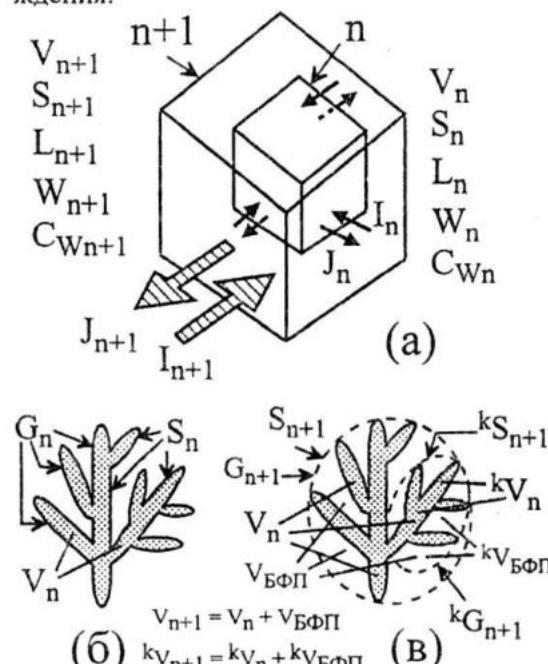


Рисунок – Модели биокосных фитосистем (**БФ**). а – модель, отражающая два уровня организации **БФ**, телесный (n) и надтелесный ($n+1$), по [26] с изменениями. б – модель тела растения (телесной системы). в – модель надтелесной системы – тело растения в его ближайшем функциональном пространстве (**БФП**).

Условные обозначения: Масса (W_n), объем (V_n), поверхность (S_n), внешняя граница (G_n) длина метаболического пути (L_n) и объемная концентрация сухой массы (C_{Wn}) тела растения. W_{n+1} , V_{n+1} , G_{n+1} , S_{n+1} , L_{n+1} , C_{Wn+1} , – параметры надтелесной **БФ**. Стрелками (I_n , J_n) показан обмен между телом растения и водой в **БФП**, заштрихованными стрелками (I_{n+1} , J_{n+1}) – обмен между **БФП** и водой окружающей надтелесной систему $n+1$ – уровня организации. $V_{БФП}$ – объем ближайшего функционального пространства. kV_n – телесный объем ветви растения k – порядка в объеме ее ближайшего функционального

пространства (${}^kV_{БФП}$). ${}^kG_{n+1}$ – внешняя граница субкронового пространства ветви k – порядка.

Цель работы. Показать, что БФ телесного и надтелесного уровней организации, могут быть описаны однотипными наборами физико-геометрических параметров, что может говорить об их структурном подобии.

Обсуждение. Все рассматриваемые нами физико-геометрические параметры БФ телесного и надтелесного уровней организации условно объединим в группы.

В первую группу входят параметры, отражающие линейные и весовые характеристики телесных и надтелесных биокосных фитосистем (длина – l_n , l_{n+k} , ширина – m_n , m_{n+k} , высота – h_n , H_{n+k} , диаметр – d_n , d_{n+k} , сырая ($W_{сыр}$) и сухая ($W_{сух}$) масса [7, 8, 11, 14, 26]), значения которых в дальнейшем используются для расчетов объема, поверхности и длины метаболического пути объектов с разной формой и дискретностью обитаемого пространства, а так же объемной концентрации сухой массы растений в нем.

Во вторую группу вошли объем (V_n , V_{n+k} , см^3) и внешняя поверхность (S_n , S_{n+k} , см^2) обитаемого пространства БФ. Для телесных систем их внешняя поверхность (S_n) – это поверхность тела растения, а обитаемое пространство (V_n) – это пространства в границах тела растения (рис. б) [4, 18, 24, 26]. Внешняя поверхность надтелесных систем (S_{n+k}) не является физической оболочкой и проходит по внешнему контуру окончаний растения [7, 11, 25, 26]. Объем надтелесной системы (V_{n+k}) включает в себя объем тела растения и объем ближайшего функционального пространства ($V_{БФП}$): $V_{n+k} = V_n + V_{БФП}$ (рис. в).

Третья группа. Параметры дискретности обитаемого пространства. Телесное пространство сложно-разветвленного слоевища подразделяется на множества пространств его элементарных единиц, осевых структур разных порядков ветвления (K_0 , K_{01} , K_{02} , ..., K_{0k} , рис. б). Тело растения рассматривается как популятивное множество элементарных структур, характеризующееся частотными распределениями: численности (n_i), суммарного объема (ΣV_i), суммарной массы (ΣW_i) и суммарной поверхности (ΣS_i) структурных элементов i –

го размерного класса в размерных рядах объектов (V_i , W_i) [12, 26].

В свою очередь, обитаемое пространство надтелесных систем, например, кроновое пространство (V_{n+k}) расчленяется на множество субкроновых пространств (${}^kV_{n+k}$) ветвей разного порядка (рис.1 в, [7, 9, 11, 21, 26]). Субкроновые пространства могут частично перекрывать друг друга, а их суммарный объем ($\Sigma {}^kV_{n+k}$) может превышать объем кронового пространства ($\Sigma {}^kV_{n+k}/V_{n+k} > 1$).

Четвертая группа. Параметры, характеризующие архитектонику ветвящегося растения и иерархию его субкроновых пространств. Закономерность построения любой ветвящейся системы и, в частности, ветвящихся слоевищ многоклеточных водорослей однотипна – обязательная соподчиненность последующих порядков предыдущим. Это делает возможным проследить изменения размеров поглощающей поверхности и массы растения в процессе его роста или разрушения и оценить значимость каждого класса структур в структурных и обменных процессах [4, 6, 7, 18, 24, 26, 28].

В целом все растение и отдельную ветвь можно характеризовать коэффициентом расширения фотосинтетической поверхности (K_{ss}), это отношение суммарной поверхности ΣS осей всех последующих порядков ветвления ($k+1+...+n$), образующихся на оси k -порядка к ее поверхности S_k : $K_{ss} = \Sigma S_{(k+1+...+n)}/S_k$ [26]. Коэффициент K_{ss} отражает эффективность расширения фотосинтетической поверхности за счет формирования структур всех последующих порядков.

Иерархия субкроновых пространств ветвящегося растения следует иерархии его ветвей [7, 11].

Пятая группа. Показатели отражающие форму объекта. Удельная поверхность и длина метаболического пути. Все разнообразие внешнего строения слоевищ многоклеточных водорослей можно свести к комбинации трех геометрических фигур [26]: цилиндра, пластины и шара. Различными комбинациями из этих же фигур можно представить все разнообразие форм обитаемых пространств биогенных надтелесных биокосных фитосистем [7, 11, 21, 25, 26].

Отношение внешней поверхности системы к ее геометрическому объему (S_n / V_n , S_{n+k} / V_{n+k} , $\text{см}^2/\text{см}^3$) – это показатель обеспе-

ченности обитаемого пространства внешними границами, через которые поступает вещество и энергия и удаляются продукты метаболизма [4, 5, 24, 26]. Обратное их отношение ($V_n / S_n = L_n$, $V_{n+k} / S_{n+k} = L_{n+k}$) интерпретируется как длина пути, которую проходят атомы и молекулы питательных веществ на пути от всех точек на внешней поверхности (S_n , S_{n+k}) системы ко всем точкам внутри ее объема (V_n , V_{n+k}) [7, 11, 14, 21, 23, 29]. Длина метаболического пути (L_n , см) в телесном пространстве осевых структурах цилиндрической формы линейно связана с d_n ($L_n = V_n/S_n = d_n/4$). Для телесных сложно разветвленных объектов, такими являются ветви разных порядков (k) и в целом слоевище, длина метаболического пути (kL_n) рассчитывается как отношение суммы объемов ($\sum_{i=1}^m V_i$) к сумме

поверхностей ($\sum_{i=1}^m S_i$) осевых структур их образующих: $^kL_n = (\sum_{i=1}^m V_i) / (\sum_{i=1}^m S_i)$.

Отношение длины метаболического пути в границах тела реального растения к аналогичной характеристике шара с объемом равным телу растения (относительная длина метаболического пути, $U = (V_n / S_n) / (V_{шар} / S_{шар}) = L_n / L_{шар}$, $V_n = V_{шар}$) может рассматриваться и как показатель формы, показывающий меру отличия от формы шара. Сказанное справедливо и для надтелесных систем. Чем значения U меньше единицы, тем больше форма слоевища водоросли или форма кронового пространства отличаются от формы шара. Для разветвленных структур этот показатель может рассматриваться как показатель их разветвленности.

Обратная величина U показывает, во сколько раз длина метаболического пути подлинного тела растения меньше $L_{шар}$ при равных значениях их объемов.

Ю.В. Брянцева [1] для описания формы клеток одноклеточных водорослей предложила индекс «сферичности» (ω), отражающий сходство формы клеток водорослей с формой шара. Для его нахождения достаточно измерить объем (V) и поверхность (S) клетки и использовать уравнение: $\omega = 4.836V^{0.667} / S$.

Шестая группа. Параметры объемной концентрации. Структурированное в виде

клеток и тканей биоорганическое вещество (сухая масса, W_{cyx}) размещается в объеме тела растения (V_n , рис. 6), одновременно этажа масса растения (W_{cyx}) распределяется в объеме пространства надтелесной системы (V_{n+1} , рис. 1 в). Отношение сухой массы растения к объему, в котором она находится ($W_{cyx} / V_n = C_{Wn}$, $W_{cyx} / V_{n+1} = C_{Wn+1}$, мг (сух. массы) / см³), рассматривается как объемная, физическая концентрация сухого вещества, то есть плотность заполнения обитаемого пространства сухим веществом [9, 11, 21, 23, 26, 27]. Аналогичным образом рассчитывается и объемная концентрация поверхности растения ($C_S = S_n / V_{n+1}$, см⁻¹) [7, 15 – 17]. C_w и C_S могут рассчитываться как для всего объема обитаемого пространства системы, так и для отдельной ее части, например, отдельного слоя растительного полога [11, 13, 17] или отдельной части кроны растения.

Седьмая группа. Соотношение между параметрами разных уровней иерархически организованных БФ. Это соотношение объемов (V_{n+1}/V_n [7]), поверхностей (S_{n+1}/S_n [7]), длин метаболического пути (L_n/L_{n+1} [23, 29]) и других их параметров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. В. Брянцева Индекс формы одноклеточных водорослей как новый морфометрический критерий // Экология моря. – 2005. – Вып. 67. – С. 27 – 31.
2. В. И. Вернадский Избранные сочинения. – М.: Наука, 1988. - 328 с.
3. В. В. Добровольский Основы биогеохимии. – М.: Высшая школа, 1998. – 413 с.
4. С. А. Ковардаков, А. В. Празукин, Ю. К. Фирсов, А. Е. Попов Комплексная адаптация цистозиры к градиентным условиям (научные и прикладные проблемы). - Киев: Наук. думка, 1985. – 217 с.
5. Г. Г. Миничева Показатели поверхности водорослей в структурно-функциональной оценке макрофитобентоса: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Севастополь, 1989. – 19 с.
6. А.В. Празукин Феноменологическое описание роста ветвей *Cystoseira barbata* как основа периодизации их онтогенеза // Экология моря. – 1983. – Вып. 13. – С. 49 – 58.
7. А. В. Празукин Структура кронового пространства слоевища черноморской бу-

- рой водоросли цистозиры (*Cystoseira crinita* (Desf.) Bory) // Альгология. – 2000. – 10, № 2. – С. 119 – 130.
8. А. В. Празукин Водные биокосные фитосистемы природного и антропогенного происхождения (структурное сопоставление) // Морской экологический журнал. – 2003. – 2. – С. 16 – 28.
 9. А.В. Празукин А.В. Биокосные фитосистемы в метрике фитогидросферы. / Системы контроля окружающей среды: Сб. науч. тр. / НАН Украины. МГИ: – Севастополь, 2005а. – С. 288 - 292
 10. А. В. Празукин Водные биокосные фитосистемы и их пространственная иерархия // Наукові записки Тернопільського державного педа. ун-ту ім. Володімира Гнатюка. Сер. Біологія. – 2005б. – Спец. вип. Гідроекологія, № 4 (27) – С. 189 – 191
 11. А. В. Празукин Иерархическое членение обитаемого пространства и его заполнение биоорганическим веществом на примере черноморской водоросли цистозиры (*Cystoseira crinita* (Desf.) Bory) // Морской экологический журнал. – 2005в. – 4, № 3. – С. 15 – 36.
 12. А. В. Празукин, К. М. Хайлов Размерный спектр и внешний углеродный обмен структурных элементов слоевища цистозиры // Экология моря. – 1986. – Вып. 24. – С. 34 – 42.
 13. А. В. Празукин, Хайлов К. М. Пространственная организация полога диатомового обрастания на экспериментальных конструкциях в сравнении с другими фитосистемами // Гидробиол. журн. – 1998. – 34, № 5. – С. 38 – 48.
 14. А. В. Празукин, К. М. Хайлов, С. А. Ковардаков Сравнение структурно-функциональных соотношений в морских фитосистемах разного уровня организации на основе их унифицированного описания // Морской экологический журнал. – 2003. – 2, № 3. – С. 51 – 62.
 15. Ю. К. Росс Радиационный режим и архитектоника растительного покрова. – Л.: Гидрометеоиздат, 1975. – 342 с.
 16. Т. Х. Тамметс, Х. Г. Тооминг, Х. И. Мяэталу Проект методики определения площади листьев посева картофеля. – Л.: Гидрометеоиздат, 1989. – 20 с.
 17. Х. Г. Тооминг Солнечная радиация и формирование урожая. – Л.: Гидрометеоиздат, 1977. – 200 с.
 18. Ю. К. Фирсов Иерархический структурно-функциональный анализ морской многоклеточной водоросли цистозира барбата: автореф. дисс. ... канд. биол. наук. – Севастополь, 1984. – 20 с.
 19. К. М. Хайлов «Жизнь» и «жизнь на Земле»: две научные парадигмы // ЖОБ. – 1998. – 59, № 2. – С. 137 – 151.
 20. К. М. Хайлов Биогеоморфологические ряды в биосфере Земли // Успехи совр. Biol. – 2000. – 120, №5. – С. 425 – 432.
 21. К. М. Хайлов Что такое жизнь на Земле? - Одесса: Друк, 2001. 238 с.
 22. К. М. Хайлов, Б. Г. Александров, Ю. Ю. Юрченко Соотношение геоморфологических и биологических характеристик водных биокосных систем // Морской экологический журнал. – 2003. – 2, № 2. – С.65.
 23. К. М. Хайлов, С. А. Ковардаков, Е. В. Шошина Связь объемной концентрации донных водорослей с геометрическими параметрами обитаемых пространств // Океанология. – 2002. – 42, № 3. – С. 402 –407.
 24. К. М. Хайлов, В. П. Парчевский Иерархическая регуляция структуры и функции морских растений. – Киев: Наукова думка, 1983. – 253 с.
 25. К. М. Хайлов, А. В. Празукин, В. В Губанов. Сравнительная оценка концентрации фитомассы в обитаемом пространстве наземных и водных биокосных фитосистем // Экология. – 1996. – № 1. – С. 243 – 248
 26. К. М. Хайлов, А. В. Празукин, С. А. Ковардаков, В. Е. Рыгалов Функциональная морфология морских многоклеточных водорослей. – Киев: Наук. думка, 1992. – 280 с.
 27. К. М. Хайлов, А. В. Празукин, Н. И. Минкина, Е. В. Павлова Концентрация и функциональная активность живого вещества в сгущениях разного уровня организации // Успехи совр. биол. – 1999. – 119, № 1. – С. 3 – 14.
 28. К. М. Хайлов, Ю. К. Фирсов Расчет величины ассимиляционной поверхности *Sargassum* на разных уровнях организации // Ботан. Журн. – 1985. – 70, № 2. – С. 215 – 221.
 29. К. М. Хайлов, Ю. Ю. Юрченко, Е. Е Шошина. О связи геометрических, биологических и трофодинамических характеристик водных биокосных фитосистем // Океанология. – 2001. – 41, № 3. – С. 400 – 407