

БИОКОСНЫЕ ФИТОСИСТЕМЫ В МЕТРИКЕ ФИТОГИДРОСФЕРЫ

A.B.Празукин

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

В размерных рядах водных биокосных фитосистем (тела растений, кроновые и субкроновые системы, растительные пологи, фитообщества мелководных озер, фитопланктоные сообщества в фотическом слое моря) рассмотрено соотношение геометрического объема обитаемого пространства (V_r , ряд от 10^4 до 10^{14} см 3) и объемной концентрации сухого (биоорганического) вещества в нем ($C_w = W_{сух}/V_r$, мг(сух. массы)/см 3). Связь описывается уравнением: $\log C_w = 1,191 - 0,521 \log V_r$, $n = 726$, $R^2 = 0,88$. В координатах V_r и C_w биокосные фитосистемы располагаются дискретно, «слоями». Для каждого типа систем характерны определенные пределы изменений C_w .

Введение. В биологии все видовое разнообразие живого мира обобщается филетическим древом. В биогеохимии целостное восприятие «мира биокосных систем» отражается в схемах иерархической организации биосферы [13, 14]. Обобщающий образ, например биогидросфера может быть дан и через разнообразие «видов» водных биокосных систем, представленных в общем метрическом поле [15, 16, 18,]. Такой подход количественно соотносит биокосные системы и определяет место каждой в их многообразии.

Цель настоящей работы дать обобщенное описание фитогидросферы, представив в одном метрическом поле водные биокосные фитосистемы разного уровня организации и происхождения.

Материал и методы. Методология и методика исследования биокосных систем разного уровня организации и происхождения подробно описаны в работах [7 – 10, 12, 15, 17 – 19], что делает возможным в данной статье эти вопросы не освещать. В работе использованы собственные и литературные данные, позволяющие рассчитывать объемную концентрацию сухой массы (C_w) в геометрическом объеме (V_r) биокосных фитосистем. При пересчете значений сырой массы общего фитопланктона в значения

его сухой массы использовался коэффициент 0.25.

Результаты и обсуждение. По происхождению все разнообразие водных биокосных фитосистем (БФ) фитогидросферы можно свести к трем группам: «биогенные», «геогенные» и «техногенные». В свою очередь «биогенные» БФ объединяются в телесные и надтелесные системы.

При формировании БФ биогенного происхождения «живое вещество» самостоятельно выделяет из общего пространства – собственное пространство. Например, для тела растения (для телесных систем) – это пространство (объем тела, V_n), ограниченное его физической поверхностью (G_n , рис.1 а). В границах тела растения «живое вещество» структурировано в форме клеток и тканей, а из минеральных веществ преобладает вода. В свою очередь тело растения своим расположением «захватывает» собственное надтелесное ближайшее функциональное пространство (БФП), внешняя граница (G_{n+1}) которого проходит по внешнему контуру окончаний структурных элементов растения (рис.1 б). Сложнорассеченные растения формируют кроновые ($n+1$) и субкроновые (${}^1n+1$, ${}^2n+1$) пространства (рис. 1 в). Таким образом, в границах кронового пространства размещается телесная масса растения и вода с растворенными и взвешенными в ней веществами, заполняющая весь объем БФП (${}^{n+1}V_{БФП}$). Вместе растение и минеральные вещества в границах БФП образуют функциональную систему (надтелесную систему биогенного происхождения). Все выше сказанное справедливо и для любой пространственной совокупности растений и, в частности, для растительного полога ($n+3$, рис.1 г).

Обитаемые пространства БФ техногенного происхождения изначально организуются человеком (рис. 1 д). Задаются определенные соотношения между заселяемой поверхностью и обитаемым пространством. Растения, поселяясь на искусственных рифовых конструкциях (ИРК), вычленяют часть пространства, в границах (G_{n+3}) которого располагаются тела растений, опорные элементы ИРК (ОС) и вода с растворенными и взвешенными в ней веществами, заполняющая весь объем БФП (рис. 1 е).

Обитаемые пространства БФ геогенного происхождения определяются

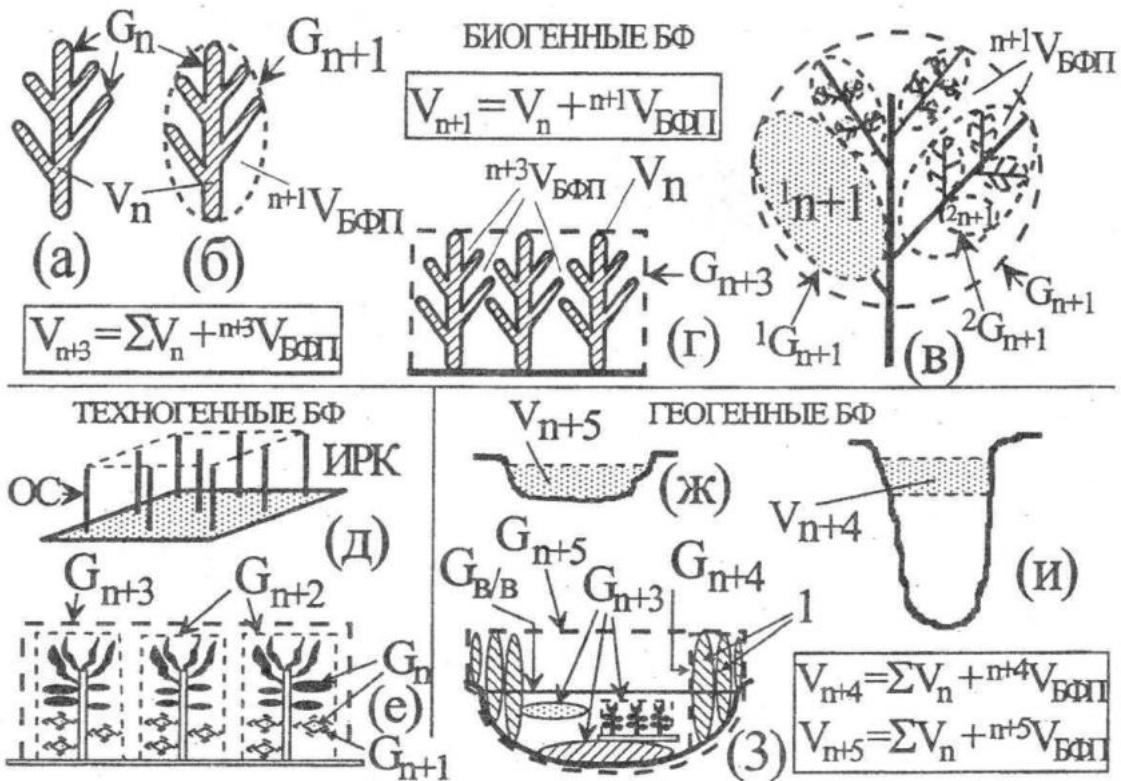


Рис. 1 – Пространственная организация биокосных фитосистем (БФ) [10, 11]. Модели телесной (а) и надтелесных (крона отдельного растения (б); растительный полог (г)) биокосных фитосистем; в - кроновое пространство сложнорассеченного растения ($n+1$) с субкроновыми пространствами ветвей первого (${}^1n+1$) и второго (${}^2n+1$) порядка. д – искусственная рифовая конструкция (ИРК); е - иерархическое членение обитаемого пространства техногенной БФ; обитаемые пространства в границах водоема (ж, з) и в границах фотического слоя (и). (Буквой G обозначены внешние границы БФ разного уровня организации и происхождения. $G_{w/v}$ – граница вода – воздух. V_n , ΣV_n - телесный объем отдельного растения и растений в границах обитаемого пространства систем разного уровня организации. $V_{БФП}$ – объем ближайшего функционального пространства. 1 – водно-воздушная растительность. Остальные обозначения даны в тексте.)

геоморфологией Земли (рис. 1 ж – и). Растения осваивают пространство водоемов Земли ($V_{n+4} V_{n+5}$), начиная с небольших дождевых луж и заканчивая океанами. По понятным причинам, глубоководные водоемы не могут быть полностью заполнены растениями, растения осваивают только определенную часть пространства (V_{n+4} , рис. 1 и).

Ниже сделаем краткое феноменологическое описание фитогидросферы. В одном метрическом поле представим все выше перечисленные объекты (рис. 2).

Ранее [20] было показано, что в широком (24 порядка по объему БФП) диапазоне биокосных фитосистем соотношение косного и живого компонентов (сухого вещества и воды с растворенными в ней веществами в границах систем) подчиняется единому аллометрическому соотношению ($\log C_w = 1.32 - 0.3 \log V_g$, $n = 251$, $R^2 = 0.86$) отражающему плавный переход от расти-

тельных тканей к кроновым и субкроновым системам слоевиц и к растительным пологам и водоемам. Коэффициент при $\log V_g$ сильно отличается от единицы, а это значит, что снижение C_w в ряду объектов не является результатом разбавления.

Обратим внимание и на другую важную особенность в распределении БФ в координатах V_g и C_w на их дискретное распределение.

А. В верхнем левом углу располагаются значения объемной концентрации сухого вещества в тканях многоклеточной водоросли цистозиры, то есть в телесном пространстве. В телесном пространстве осевых структур C_w варьирует в узком диапазоне от 200 до 500 мг (сух. массы)/ cm^3 и не связана с V_g ($\log C_w = 2.503 - 0.025 \log V_g$, $n = 382$, $R^2 = 0.02$) [8]. Примерно тот же диапазон значений C_w и в пластинах ламинарии

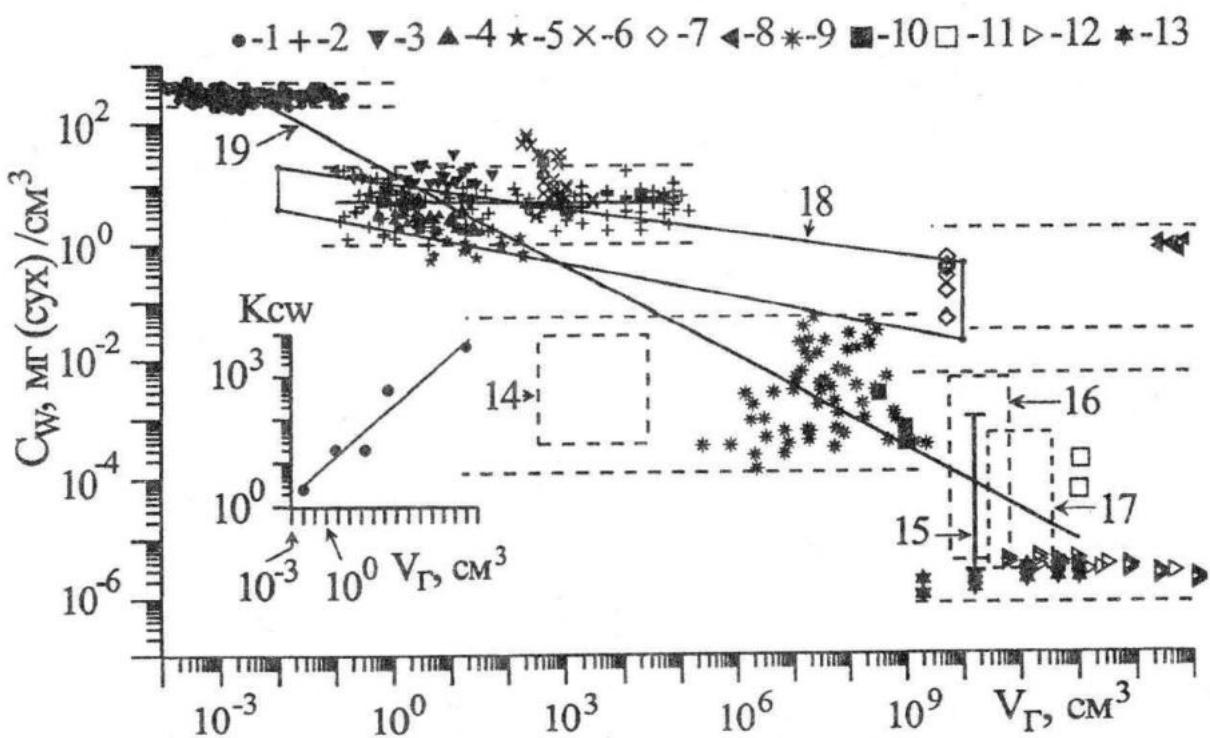


Рис. 2 – Соотношение геометрических объемов обитаемых пространств (V_r) и объемной концентрации сухого вещества (C_w) в биокосных фитосистемах разного уровня организации и происхождения. 1 – осевые структуры цистозиры (*Cystoseira crinita*). 2 - кроновые и субкроновые системы слоевища цистозиры и пологи ее ценопопуляций. Кроновые системы многоклеточных водорослей: *Grateloupia dichotoma* (3). *Bryopsis plumosa* (4), *Callithamnion corymbosum* (5). 6 - плавучий мат кладофоры. 7 – мелководное соленое озеро с макрофитными сообществами в разные сезоны года. 8 – лиманы с макрофитными сообществами [5]. Мелководные озера с фитопланктонным сообществом (9 [18]), (14 [11]). Фотический слой Азовского (10 [18]), Черного (11 [18], 15 [6], 16 и 17 [1]), Ионического (12 [3]) морей и Индийского океана (13 [4]) с сообществами фитопланктона. Линией 18 ограничена область распределения значений C_w , принадлежащая техногенным биокосным фитосистемам [8]. Линия 19 – обобщающая регрессия ($\log C_w = 1,191 - 0,521 \log V_r$, $n = 726$, $R^2 = 0,88$).

сахаристой [17], а диапазон варьирования C_w в тканях наземных растений составляет полтора порядка величин (60 - 930 мг (сух. массы)/ cm^3 [2]).

Б. Телесные системы, будучи устроеными из клеток и тканей, не могут оставаясь только в своих границах (рис. 1 а), осваивать большие пространства. Размеры их обитаемого пространства ограничены как законами термодинамики, так и законами ньютоновской физики. Ветвление тел многоклеточных растений, формирование колоний одноклеточных бентосных водорослей все это примеры освоения дополнительного жизненного пространства за пределами тела. В результате ветвления растение охватывает часть пространства, которое, по сути, не принадлежит ему как телу, но оно тесно связано с ним. В границах кронового пространства формируется надтелесная биогенная биокосная фитосистема

(рис. 1 б, в). Как видно из рис. 2 C_w в кроновых и субкроновых пространствах у разных видов многоклеточных водорослей на порядок ниже, чем в телесных системах и варьирует в диапазоне от 0.5 до 30 мг (сух. массы)/ cm^3 .

В. Размеры кроновых пространств многоклеточных водорослей ограничены возможностями тела растения, тогда как в популяциях и сообществах видов эти ограничения исчезают. Сообщества растений на поверхности земли или на поверхности дна водоема формируют растительные покровы, которые охватывают огромные пространства. По словам В.В. Вернадского, жизнь «растекается» по поверхности Земли.

Обратим внимание (рис. 2), что объемная концентрация сухой массы в пологах ценопопуляций цистозиры варьирует в тех же диапазонах, что и в ее кроновых и субкроновых пространствах (1 – 20 мг (сух.

массы)/см³) и вместе они образуют общий коридор длиной в 6 порядков величин по шкале объемов, это третья часть от всего рассматриваемого диапазона V_g .

Г. Растения хотя и ограничены определенными условиями жизни и занимают локальные участки, в целом же функционирование их неотделимо от функционирования всего водоема. Биокосная фитосистема водоема – это система, в которой в неразрывной связи находятся, с одной стороны, все растения водоема, а, с другой, косное вещество и, в первую очередь, вся вода в границах водоема со всеми растворенными и взвешенными в ней веществами, и воздух в надводном слое (рис. 1 з). Воздушную составляющую БФ водоемов особенно важно учитывать при наличии в водоеме водно-воздушной растительности.

Как видно из рис. 2 объемная концентрация биогорганического вещества в биокосных фитосистемах лиманов, в которых преобладает водно-воздушная растительность [5], и небольшого гиперсоленого озера, где доминирующее положение (по биомассе) в фитоценозе озера занимает кладофора [11], варьирует в пределах полутора порядка величин (0,05 – 1 мг (сух. массы)/см³). Крайние верхние значения концентраций совпадают со значениями в кроновых пространствах многоклеточных водорослей, а крайние нижние – со значениями в мелководных озерах с фитопланктонными сообществами.

Д. В координатах V_g и C_w фитопланктонные сообщества мелководных озер занимают собственную отдельную область. Область, протяженностью, в нашем случае, в 7 порядков по шкале объемов ($30 \cdot 10^2 - 30 \cdot 10^9$ см³) и, примерно, в три порядка по шкале C_w ($10^{-4} - 5 \cdot 10^{-2}$ мг (сух. массы)/см³).

Е. Большие открытые участки глубоководных водоемов, по понятным причинам, способны осваивать только одноклеточные водоросли. Пример саргассовых водорослей больше исключение, чем правило. За пределами малых глубин обитаемый объем фитопланктона в океане располагается в его верхней части до нижней границы основного пиноклина. Расчет объемной концентрации сухой массы фитопланктонных сообществ глубоководных водоемов проводился на основании профилей вертикального распределения биомассы фитопланктона в фотическом слое. Для фитопланктонных со-

обществ фотических зон также характерны собственные пределы варьирования C_w . Максимальные значения совпадают со средними значениями C_w в фитопланктонных сообществах мелководных водоемов (0,005 мг (сух. массы)/см³), а нижние значения опускаются до 10^{-6} мг (сух. массы)/см³.

Ж. Обратим внимание, что в размерном ряду водных биокосных фитосистем (тела растений, кроновые и субкроновые системы, растительные пологи, фитосообщества мелководных озер и фитопланктонные сообщества в фотическом слое различных морей) диапазон предельных значений объемной концентрации сухого вещества увеличивается. Отношение максимальных и минимальных значений C_w ($C_{w\max}/C_{w\min} = K_{cw}$) коррелирует с геометрическим объемом систем ($\log K_{cw} = 0,957 + 0,238 \log V_g$, $n = 5$, $R^2 = 0,93$, врезка на рис. 2).

З. Данные, полученные по рифовым конструкциям, практически полностью укладываются в границы распределений значений C_w в естественных системах разного уровня организации и происхождения (рис.2). Отличительной особенностью здесь является то, что с увеличением размеров рифовых конструкций доля незаполненного растениями пространства увеличивается [8, 19]. Возможно с этим и связано снижение C_w .

Выводы. 1. Водные биокосные фитосистемы независимо от уровня их организации и происхождения образуют в координатах V_g и C_w единый дискретный ряд. В ряду объектов наблюдается переход от компактно организованного пространства тел растений с относительно небольшими геометрическими размерами и с высокой объемной концентрацией сухого вещества к системам с большими геометрическими объемами обитаемых пространств, но с низкими значениями C_w , какими, например, являются фотические зоны глубоководных водоемов с фитопланктонными сообществами. Снижение объемной концентрации в рассматриваемом ряду объектов следует по определенному правилу: $\log C_w = 1,191 - 0,521 \log V_g$, $n = 726$, $R^2 = 0,88$ (при расчете уравнения не использовались данные по макрофитным сообществам мелководных озер и данные по ИРК).

2. В координатах V_g и C_w биокосные фитосистемы располагаются дискретно, «слоями». Для каждого типа систем харак-

терны определенные пределы изменений объемной концентрации сухого вещества. Размеры диапазонов предельных концентраций увеличивается с увеличением размеров геометрического объема систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Георгиева Л.В. Видовой состав и динамика фитоценоза / Планктон Чурного моря. – Киев: Наук. Думка, 1993. – С. 31 – 55.
2. Гродзинский А.М., Гродзинский Д.М. Краткий справочник по физиологии растений. – Киев: Наук. думка, 1973. - 591 с.
3. Ковалева Т.М. Состав и суточные изменения фитопланктона / Биологическая структура и продуктивность планктона Средиземного моря. – Киев: Наук. Думка, 1975. – С. 31 – 43.
4. Ковалева Т.М., Кузьменко Л.В. Вертикальное распределение и суточные изменения фитопланктона / Экологические системы в активных динамических зонах Индийского океана. – Киев: Наук. Думка, 1986. – С. 64 – 69.
5. Корелякова И.Л. Макрофитная растительность одесских лиманов // Гидробиол. журн. – 1967. – 3. – № 1 – С. 3 – 9.
6. Маштакова Г.П., Роухийайнен М.И. Сезонная динамика фитопланктона / Основы биологической продуктивности Черного моря. – Киев: Наук. Думка, 1979. – С. 85 – 88.
7. Празукин А.В. Структурное подобие биокосных фитосистем разного уровня организации // Вісник Одеського національного університету. – 2003. – 8, Вип. 3. – С. 25 – 34.
8. Празукин А.В. Водные биокосные фитосистемы природного и антропогенного происхождения (структурное сопоставление) // Морской экологический журнал. – 2003. – 2, № 2. – С. 16 -28.
9. Празукин А.В. Иерархическое членение обитаемого пространства и его заполнение биоорганическим веществом на примере черноморской водоросли цистозиры (*Cystoseira crinita* (Desf.) Votug) // Морской экологический журнал. - 2005. – 4, № 3. – С. 15 – 36.
10. Празукин А.В. Водные биокосные фитосистемы и их пространственная иерархия // Наукові записки Тернопільського державного педа. ун-ту ім. Володимира Гнатюка. Сер. Біологія. - 2005. – Спец. вип.
- тюка. Сер. Біологія. - 2005. – Спец. вип. Гідроекологія, № 4 (27) – С. 189 - 191
11. Празукин А.В., Бобкова А.Н., Сеничева М.И., Евстигнеева И.К., И.Н. Танковская И.Н., Шадрин Н.В. Структурная динамика биокосных фитосистем гиперсоленого морского озера Херсонес (Крым) // Там же. – С. 191 – 193
12. Празукин А.В., Хайлов К.М., Ковардаков С.А. Сравнение структурно-функциональных соотношений в морских фитосистемах разного уровня организации на основе их унифицированного описания // Морской экологический журнал. – 2003. – 2, № 3. – С. 51 – 62.
13. Хайлов К.М. Системы и систематизация в биологии // Проблемы методологии системного исследования. М.: Мысль, 1970. – С. 127 – 145
14. Хайлов К.М. «Жизнь» и «жизнь на Земле»: две научные парадигмы // ЖОБ. – 1998. – 59, № 2. – С. 137 – 151.
15. Хайлов К.М. Биогеоморфологические ряды в биосфере Земли // Успехи совр. Биол. – 2000. – 120, № 5. – С. 425 – 432.
16. Хайлов К.М., Александров Б.Г., Юрченко Ю.Ю. Соотношение геоморфологических и биологических характеристик водных биокосных систем // Морской экологический журнал. – 2003. – 2, № 2. – С. 65 – 80.
17. Хайлов К.М., Празукин А.В., Ковардаков С.А., Рыгалов В.Е. Функциональная морфология морских многоклеточных водорослей. – Киев: Наук. думка, 1992. – 280 с.
18. Хайлов К.М., Празукин А.В., Минкина Н.И., Павлова Е.В. Концентрация и функциональная активность живого вещества в сгущениях разного уровня организации // Успехи совр. биол. – 1999. – 119, № 1. – С. 3 – 14.
19. Хайлов К.М., Празукин А.В., Рабинович М. А., Чепурнов В.А. Связь биологических параметров фитообрастания с физическими параметрами экспериментальных "рифовых" конструкций в евтрофируемой морской акватории // Водные ресурсы. – 1994. – 21 , № 2. – С. 166 – 175
20. Хайлов К.М., Рыгалов В.Е. Ковардаков С.А. Празукин А.В. Связь концентрации фитомассы и объема ближайшего функционального пространства в водных биокосных системах // Водные ресурсы. 1995. – Т. 22. – N 6. – С. 738 – 745