


---

# THEORETICAL ISSUES OF ECOLOGY AND NOOSPHEROLOGY

---



A. V. Prazukin  Dr. Sci. (Biol.), Sen. Res. Sci.

UDK 574.4+574.58

---

*A. O. Kovalevskij Institute of Southern Sea Biology,  
National Academy of Sciences, Nakhimov ave, 2,  
99011, Sevastopol, Ukraine*

---

## HIERARCHY AND PARAMETRIC REPRESENTATION OF BIO-INERT PHYTOSYSTEMS

**Abstract.** The paper outlines methods that can be successfully used to describe, in universally accepted terms, the structures and functions of bio-inert phytosystems widely differing in organization and origin. It offers an integrative comprehensive model of the biosphere's autotrophic block where the autotrophic function of the phytosphere cannot be satisfactorily exercised except through the unity of the inert (Geo) and the living (Bio) components. Also, it represents the types and physico-geometrical axiomatics of hierarchically structured bio-inert phytosystems.


The paper suggests that all bio-inert phytosystems, for the purpose of discussion, should be divided into two groups: corporeal and supra-corporeal with the latter being further classed into biogenic, geogenic and anthropogenic (technogenic).

The corporeal systems embrace plants as viewed in terms of their bodily shape. Physico-geometrically, any plant body represents a certain volume of space ( $V_n$ ) which incorporates a living mass ( $W$ ) with a specific gravity of  $\rho$ . The quantity  $V_n$  is known in biology as *biovolume* while its numerical value is calculated with the formula:  $V_n = W/\rho$ . Spatially, the plant body ( $G_n$ ) contains the plant tissue *per se* ( $V_T$ ) and large-sized cavities filled either with water ( $V_{WAT}$ ) or gases ( $V_{GAS}$ ):  $V_n = V_T + V_{WAT} + V_{GAS}$ .

Due to its arrangement, any plant body protrudes partially into the surrounding space ( $V_{COS}$ , COS – the closest operating space) with the outer boundary ( $G_{n+1}$ ) following the ultimate outlines of the plant's structural elements. This is the space where an organism's impact on the flows of matter, energy and information exceeds that of other organisms or is superior to external flows of substance and energy. That's how the biogenic supra-corporeal system works. Just like corporeal systems do, it holds a certain volume of space ( $V_{n+1}$ , *ecovolume*), the limits of which ( $G_{n+1}$ ) house the plant's bodily mass ( $W_n$ ) with an appropriate volume ( $V_n$ ) and, if the object in question is aquatic, it is water – with all dissolved and suspended substances in it – which occupies the entire volume of the surrounding space:  $V_{n+1} = V_n + V_{COS}$ .

The living space of anthropogenic phytosystems is organized by man who predetermines the proportion between the area to be colonized and the living area. Having colonized artificial underwater reef structures, the plants designate the frontiers in the surrounding space ( $V_{n+2}$ ) within which ( $G_{n+2}$ ) plant bodies ( $\Sigma V_n$ ), bearing parts of reef structures ( $V_{BP}$ ) and water ( $V_{WAT}$ ) are located including dissolved and suspended substances. In other words, these reef structures is precisely the

---

 Tel.: +38068-472-25-90. E-mail: prazukin@mail.ru

DOI: 10.15421/031401

ISSN 1726-1112. *Ecology and noospherology*. 2014. Vol. 25, no. 1–2

place where the canopy is developed thus determining the external borders of the phytosystem and its volume:  $V_{n+2} = \Sigma V_n + V_{BP} + V_{WAT}$ .

The living space of geogenic phytosystems is dictated by the geomorphology of the Earth. The plants colonize the Earth's waters ( $V_{n+3}$ ,  $V_{n+4}$ ), from small puddles to the oceans, including the Earth's recesses and wrinkles ( $V_{n+k} = \Sigma V_n + V_{WAT}$ ,  $V_{n+k} = \Sigma V_n + V_{GAS}$ ).

The hierarchical sequence of bio-inert systems, from organism-level organization up to the bio-inert system of a reservoir or island, can be represented by a multitude of living spaces varying in size and enclosed consecutively into one another:  $V_n \subset V_{n+1} \subset V_{n+2} \subset V_{n+3} \subset V_{n+4} \subset V_{n+5}$ . "Habitable" means colonized (captured) by the living substance. The density of the living substance filling the space ( $W/V = C_w$ ) correlates with the density of local free energy flows. The amount of the living substance ( $W$ ) contained in any volume of space ( $V$ ) is just as great as the power of the flow of free energy admits of. The living substance, of necessity, keeps the substance flows permanently renewed and increases their yield by accelerating their stock turnover.

**Key words:** *Phytosystems, phytohierarchy, parametric description.*

УДК 574.4+574.58

**О. В. Празукін**

д-р біол. наук, стар. наук. співр.

*Інститут біології південних морів ім. О. О. Ковалевського НАН України,  
просп. Нахімова, 2, 99011, м. Севастополь, Україна,  
тел.: +38068-472-25-90, e-mail: prazukin@mail.ru*

### **ІЄРАРХІЧНА ПІДПОРЯДКОВАНІСТЬ БІОКОСНИХ ФІТОСИСТЕМ ТА ЇХ ПАРАМЕТРИЧНИЙ ОПИС**

У статті представлена методологія, придатна для опису в загальнонаукових термінах структур і функцій біокосних фітосистем різного рівня організації та походження. Запропонована інтегративна, повночленна модель автотрофного блоку біосфери, в якій автотрофна функція фітосфери реалізується тільки в єдності косного (Гео) і живого (Біо). Розглянута типізація та фізико-геометрична аксіоматика ієрархічно супідрядних біокосних фітосистем.

**Ключові слова:** *фітосистеми, фітоієрархія, параметричний опис.*

УДК 574.4+574.58

**А. В. Празукін**

д-р биол. наук, стар. науч. сотр.

*Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского НАН Украины,  
просп. Нахимов, 2, 99011, г. Севастополь, Украина,  
тел.: +38068-472-25-90, e-mail: prazukin@mail.ru*

### **ИЄРАРХИЧЕСКАЯ СОПОДЧИНЕННОСТЬ БІОКОСНЫХ ФІТОСИСТЕМ И ИХ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ**

В статье представлена методология, пригодная для описания в общенаучных терминах структур и функций биокосных фитосистем разного уровня организации и происхождения. Предложена интегративная, полночленная модель автотрофного блока биосферы, в которой автотрофная функция фитосферы реализуется только в единстве косного (Гео) и живого (Био). Рассмотрена типизация и физико-геометрическая аксиоматика иерархически соподчиненных биокосных фитосистем.

**Ключевые слова:** *фитосистемы, фитоиєрархія, параметрическое описание.*

Понятие «фитоиєрархія» отражает существование и жизнь системного автотрофного блока биосферы. В масштабе биосферы это ряд от фотосинтезирующих молекул до фитосферы Земли. Только в полночленной фитоиєрархії, включающей как организмы и их сообщества, так и экосистемы с водными и наземными растениями и фотосинтезирующими бактериями, реализуется вся совокупность идущих в биосфере автотрофных процессов. Сюда включены и процессы, протекающие на суборганизменных уровнях организации: в клетках, в оргanelлах, в мембранах и на молекулярном уровне.

Что может быть названо *фитосистемой*? С позиций классической биологии – это растения в их телесной форме (включая и их внутреннюю иерархию), это их генетические и экологические популяции, а также многовидовые сообщества. Иными словами, это организмы (только Био) без всяких косных (из состава Гео) добавок, объединяемых понятием «косная среда обитания». В науках о Земле, имеющих интерес к фитомиру, считается, что, укрепившись корнями в почве и заняв определенную часть косного вещества (а в водоемах – заняв определенный объем окружающей воды), растение вышло из компетенции биологии. С этого момента становится необходимым понятие «надтелесная биокосная (Био-Гео) фитосистема», она же – «надорганизменная». С точки зрения биогеохимии, растение в его телесной форме тоже является объектом биокосным, поскольку большую часть живой массы растения составляет вода.

Фитосистемы экологического ранга внедрены одновременно в три основные природные среды – почвенную, воздушную и водную. Размерный ряд фитосистем телесного типа охватывает примерно 22 порядка величин по индивидуальной массе объекта. Размерный ряд фитосистем экологического ранга охватывает 40 порядков. Автотрофная функция биосферы реализуется только в единстве с Гео и Био (Sukachev, 1972; Sukachev and Dylis, 1964; Byallovich, 1960), причем Гео первично и более мощно во всех аспектах – по веществу, по энергии и по информации (Gorshkov, 1990, 1995; Khailov et al., 2009).

Название основного объекта нашего рассмотрения складывается из двух терминов – «фитосистема» и «биокосная», применение которых требует однозначного понимания их смысла.

Системой в нашем случае называется объект, который: 1) состоит из нескольких частей, соотношения между которыми (структурные пропорции) в каждый данный момент не случайны, т.е. имеют определенные численные значения и 2) по мере роста и развития объекта его пропорции изменяются закономерным образом. Одним из элементов системы является (Био) растение (фито) со всеми уровнями ее иерархии (начиная с фотосинтезирующих единиц и заканчивая сообществами видов растений). Биокосная – значит, что Био (Фито) функционально реализуется только в тесном взаимодействии с Гео и вместе они образуют биокосную фитосистему.

Исходя из ранее опубликованной параметрической схемы описания фитосистем (Khailov et al., 1992), определимся в обозначении выделяемых нами уровней организаций биокосных фитосистем (рис. 1). Будем придерживаться следующего формального обозначения. Подстрочным символом  $n$  будем обозначать параметры телесных систем (организменный уровень), а подстрочным символом  $n+k$  – надтелесные (надорганизменные) системы (Khailov, 2001; Khailov et al., 2005b; Prazukin, 2000, 2005a, 2005b). От организма масштабные ранги природы спускаются «вниз»: орган, ткань, клетка и до молекулярных уровней организации. Кавычки поставлены потому, что в иерархии масштабных уровней «верх» и «низ» совершенно условны (Khailov et al., 1992). Поскольку мы подробно не рассматриваем системы ниже уровня организма, специальных обозначений для них вводить не будем.

Остановимся на типизации и физико-геометрической аксиоматике иерархически соподчиненных биокосных фитосистем.

Фитосфера, включенная в биосферу состоит из множества биокосных фитосистем разного уровня организации и происхождения. Все биокосные фитосистемы условно разделим на две группы: телесные и надтелесные. В свою очередь, надтелесные – на биогенные, геогенные и техногенные (рис. 2).

Биогенные системы в границах тела растения. При формировании биогенных систем «живое вещество» самостоятельно выделяет из общего пространства обитаемое пространство. В ботанике традиционно рассматриваются растения в их телесном (сopogal) облике (рис. 3, *a–e*). Для тела растений характерно ветвление с образованием крон (рис. 3, *в*). С физико-геометрической точки зрения, тело растения

представляет собой некоторый объем пространства ( $V_n$ ), в котором находится некоторая живая масса ( $W$ ) с удельным весом ( $\rho$ ).

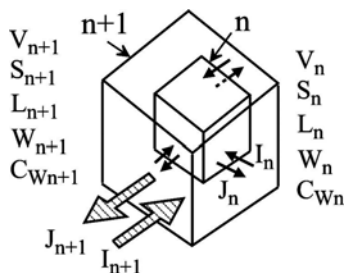


Рис. 1. Модель биокосной фитосистемы (БФ), отражающая два уровня организации, телесный (n) и надтелесный (n+1), по (Khailov et al., 1992) с изменениями.

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 надтелесного уровня организации.

Объяснение остальных обозначений в тексте.

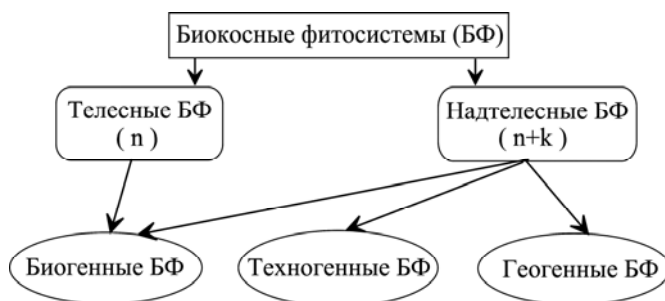


Рис. 2. Условное деление биокосных фитосистем в соответствии с их происхождением и уровнем организации

Величина  $V$  имеет в биологии название *biovolume* и его численное значение равно:  $V_n = W/\rho$ .

Пространство тела растения ограничено его физической поверхностью ( $S_n$ , рис. 3, а, б). В границах тела растения ( $G_n$ ) пространственно вычленяется собственно растительная ткань ( $V_T$ , живые клетки и неживое вещество в межклеточных пространствах) и крупные полости, заполненные либо водой ( $V_{\text{ВОД}}$ ), либо газами ( $V_{\text{ГАЗ}}$ ).

Следовательно:

$$\begin{aligned} V_n &= V_T + V_{\text{ВОД}}, \\ V_n &= V_T + V_{\text{ГАЗ}}, \\ V_n &= V_T + V_{\text{ВОД}} + V_{\text{ГАЗ}}. \end{aligned} \quad (1)$$

В растениеводстве, лесоводстве, плантационной аквакультуре морских донных водорослей, при конструировании подводных искусственных рифов объектом изучения и технологического преобразования являются растения не только в телесном составе, а в составе с его окружающим пространством, заполненным минеральным веществом.

Биогенные надтелесные фитосистемы. Тело растения своим расположением «захватывает» часть внешнего пространства (ближайшее функциональное пространство, БФП,  $V_{\text{БФП}}$ ), внешняя граница ( $G_{n+1}$ ) которого проходит по контуру окончаний структурных элементов растения (рис. 3, д–ж.). Это пространство, в котором влияние данного организма на материальные, энергетические и информационные потоки превосходит влияние других организмов или превосходит

внешние потоки вещества и энергии (Gorshkov, 1990). Сложно-разветвленные растения формируют кроновые и субкроновые пространства (рис. 3, ж). В отличие от ботанического, корпорального образа кроны ее экологический образ включает в себя прежде всего занимаемый ею объем ( $V_{n+1}$ , *ecovolume*) с индивидуальной массой растения,  $W_n$ . Другими словами, в границах кронового пространства ( $V_{n+1}$ ), например, водного растения размещается его телесная масса ( $W_n$ ), занимающая соответствующий объем ( $V_n$ ) и вода ( $V_{\text{ВОД}}$ ), а у наземного растения телесная масса и воздух ( $V_{\text{ГАЗ}}$ ).

$$V_{n+1} = V_n + V_{\text{ВОД}}, \quad (2)$$

$$V_{n+1} = V_n + V_{\text{ГАЗ}}. \quad (3)$$

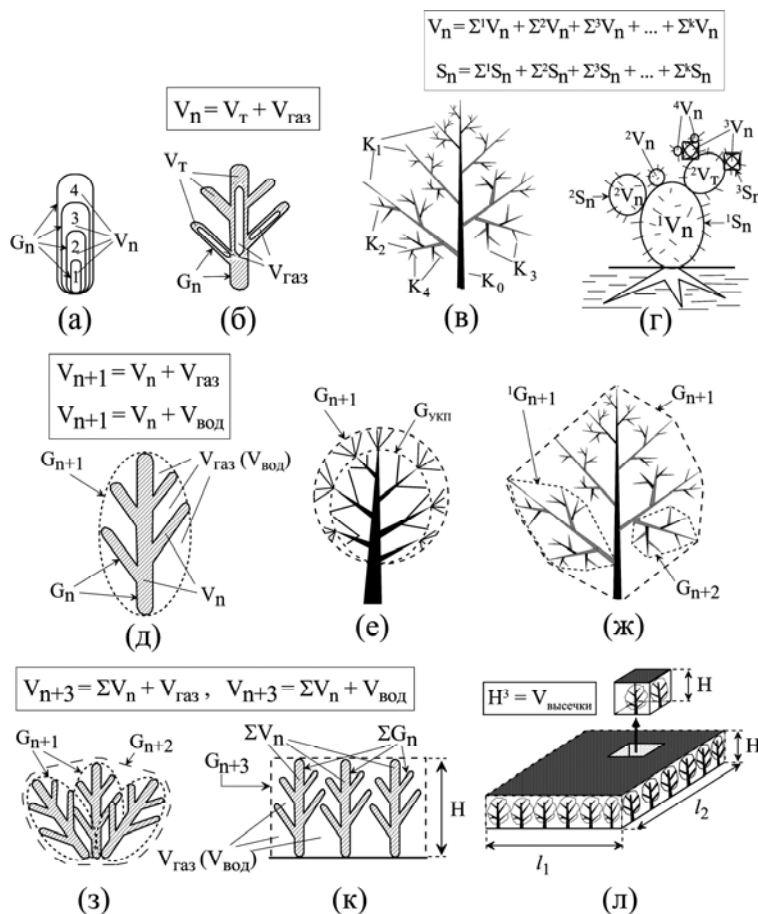


Рис. 3. Биогенные фитосистемы.

Модели телесной (а-г) и надтелесных (крона отдельного растения (д-ж), когорта растений (з), растительный полог (к, л)) биокосных фитосистем.

$G_n$  – граница телесного пространства;  $G_{n+1}$ ,  ${}^1G_{n+1}$ ,  ${}^2G_{n+1}$ ,  $G_{n+2}$  – геометрические границы кронового пространства целого растения и субкроновых пространств ветвей первого и второго порядка, и обитаемого пространства когорты растений соответственно;

$G_{n+3}$  – геометрические границы полога популяции вида растения или фитоценоза;

$H$  – высота растительного полога. Остальные обозначения в тексте.

Все выше сказанное справедливо и для любой пространственной совокупности растений и, в частности, для когорты из нескольких растений ( $n+2$ , рис. 3, з), и для растительного полога ( $n+3$ ) популяции отдельного вида и фитоценоза (рис. 3, к, л). В пределах границ когорты растений либо растительного полога размещается вся телесная

масса растений ( $\Sigma W$ ), занимающая определенный объем пространства ( $\Sigma V_n$ ), и вода ( $V_{\text{ВОД}}$ ) или воздух ( $V_{\text{ГАЗ}}$ ) в зависимости от того водные это или наземные объекты:

$$V_{n+k} = \Sigma V_n + V_{\text{ВОД}}, \quad (4)$$

$$V_{n+k} = \Sigma V_n + V_{\text{ГАЗ}}. \quad (5)$$

Таким образом, иерархия БФ биогенного происхождения представляет собой систему из множества разномасштабных обитаемых пространств, вложенных друг в друга, начиная с объектов телесного уровня организации и заканчивая растительным пологом ( $V_n \subset V_{n+1} \subset V_{n+2} \subset V_{n+3}$ ). Растительный полог может формироваться как популяцией растений одного вида, так и сообществом популяций видов.

Техногенные фитосистемы. Обитаемые пространства техногенных фитосистем изначально организуются человеком (рис. 4). Задаются определенные соотношения

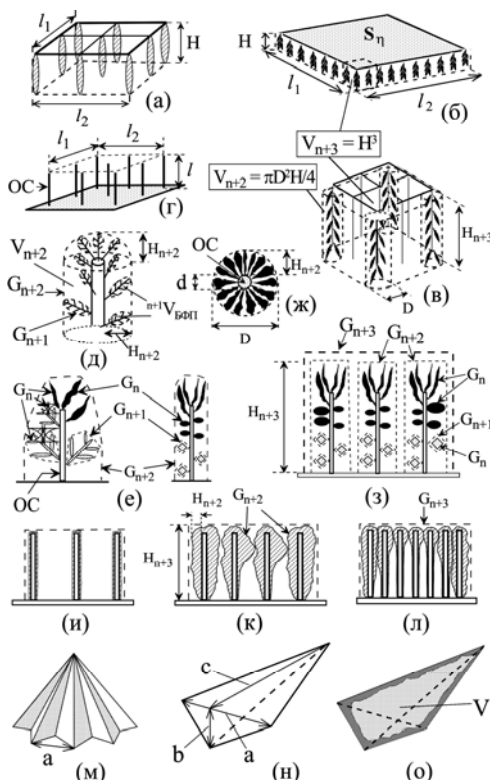


Рис. 4. Схемы искусственной рифовой конструкции (ИРК) и биокосных фитосистем техногенного происхождения:

(а, б, в) – плантационная система с вертикально спускающимися веревками, обрастающими многоклеточными водорослями; (г) – ИРК с цилиндрическими опорными структурами (ОС) вертикально жестко закрепленными на поверхности четырехугольной пластиковой пластины; (д–ж) – отдельно стоящие опорные структуры, обросшие многоклеточными водорослями; опорные структуры в структуре ИРК, обросшие многоклеточными (з) и одноклеточными (и–л) водоросли при разной плотности их расположения на горизонтальной поверхности; опорная конструкция типа «конус» (м) и отдельно ее межреберное пространство до (н) и после (о) заселения диатомовыми водорослями.  $l_1$ ,  $l_2$  и  $l$  – линейные параметры ИРК;  $V_{n+2}$ ,  $V_{n+3}$  – объем обитаемого пространства растений на отдельной опорной структуре и растений ИРК или плантации;  $H$  – высота растительного полога, формируемого как на отдельно взятой опорной структуре, так и в целом на ИРК;  $G_n$ ,  $G_{n+1}$ ,  $G_{n+2}$ ,  $G_{n+3}$  – соответственно, граница поверхности тела, граница кронового пространства, обитаемого пространства растений отдельной опорной структуры и в целом на ИРК;  $d$ ,  $D$  – соответственно диаметр опорной структуры и растительного полога на ней

между заселяемой поверхностью и обитаемым пространством. Растения, поселяясь, например, на искусственных рифовых конструкциях, погруженных в воду, вычлениют часть пространства ( $V_{n+3}$ ), в границах ( $G_{n+3}$ ) которого располагаются тела растений ( $\Sigma V_n$ ), опорные элементы рифовых конструкций ( $V_{OC}$ ) и вода ( $V_{ВОД}$ ), с растворенными и взвешенными в ней веществами (рис. 4, б, в, д-л, о). Другими словами, на рифовых конструкциях формируется растительный полог, определяющий внешние границы системы и ее объем:

$$V_{n+3} = \Sigma V_n + V_{OC} + V_{ВОД}. \quad (6)$$

Парники, оранжереи – это примеры техногенных фитосистем и в этом случае:

$$V_{n+4} = \Sigma V_n + V_{ТО} + V_{ГАЗ}, \quad (7)$$

где  $V_{ТО}$  – объем, пространство, занятое техническим оборудованием парника, оранжереи.

Геогенные фитосистемы. Обитаемые пространства геогенных фитосистем определяются геоморфологией Земли (рис. 5). Растения осваивают пространство водоемов Земли ( $V_{n+4}$ ,  $V_{n+5}$ ), например, начиная с небольших дождевых луж и заканчивая океанами. Осваивают растения также и различные углубления и складки наземной поверхности Земли. По понятным причинам, глубоководные водоемы и высокогорные участки суши не могут быть полностью заполнены растениями, растения осваивают только определенную часть пространства ( $V_{n+4}$ , рис. 5, д).

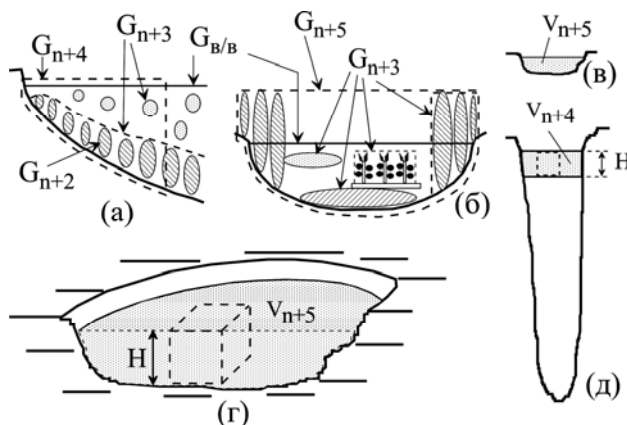


Рис. 5. Геогенные фитосистемы.

Обитаемые пространства в границах водоема ( $G_{n+5}$ , б, в, з) и в границах его участков (прибрежный участок ( $G_{n+4}$ , а), фотический слой глубоководного водоема (д)).

$V_{n+5}$ ,  $V_{n+4}$  – соответственно объемы водоема и фотической зоны.

$G_{B/B}$  – граница «вода – воздух». Остальные обозначения на рис. 4.

Применительно к биокосным системам геогенного происхождения справедливы уравнения 4 и 5.

Таким образом, в нашем случае, иерархический ряд биокосных систем, начинающийся с организменного уровня организации и заканчивающийся биокосной системой целого водоема, можно представить множеством последовательно включенных друг в друга обитаемых пространств разного размера:  $V_n \subset V_{n+1} \subset V_{n+2} \subset V_{n+3} \subset V_{n+4} \subset V_{n+5}$ . «Обитаемы», значит, заселены (охвачены) живым веществом. Плотность заполнения пространства живым веществом ( $W/V = C_W$ ) коррелирует с плотностью локальных потоков свободной энергии. Другими словами, количество живого вещества ( $W$ ) в том или ином объеме пространства ( $V$ ) ровно настолько, насколько позволяет мощность потока свободной энергии («потоки вещества живое вещество при необходимости «замыкает» и увеличивает их мощности путем увеличения скорости оборачиваемости фондов» (Gorshkov, 1995)).

Пространство геометрически организовано живым веществом (рис. 1) и описывается на языке евклидовой геометрии: линейный размер ( $l_n, l_{n+k}$ ), поверхность ( $S_n, S_{n+k}$ ), объем ( $V_n, V_{n+k}$ ). Через граничные поверхности систем поступают свободная энергия и вещество ( $I_n, I_{n+k}$ ). В пределах этих границ осуществляется работа и, в первую очередь, направленная на поддержание структуры систем ( $W_n, W_{n+1}, C_{Wn}, C_{Wn+1}$ ). И после совершения работы, энергия в виде тепла, а вещество в виде продуктов метаболизма ( $J_n, J_{n+k}$ ) удаляются за их пределы. Выделяемые метаболиты могут быть связующими элементами на следующих, более высоких уровнях организации фитосистем (Khailov, 1971).

Как можно видеть, внешне совершенно разные биокосные объекты (например, отдельное растение с его сложной морфологической структурой, посев пшеницы, смешанный лес и водоем с их многочисленными обитателями) системно подобны по определенному набору структурных и функциональных характеристик и по ним они могут сравниваться между собой (Khailov et al., 2001, 2005, 2009; Prazukin, 2000, 2003, 2005a, 2005b, 2007; Prazukin et al. 2003).

Но, при сравнении объектов разного уровня организации и происхождения, важно соблюдать принцип эмерджентности: «несводимость свойств целого к сумме свойств его частей». Например (рис. 3,  $\delta, \kappa$ ), площадь поверхности кронового пространства ( $S_{n+1}$ ) не равна поверхности тела растения ( $S_n$ ), а площадь граничной поверхности полога ( $S_{n+3}$ ) не может быть сведена к сумме поверхностей кроновых пространств ( $\Sigma S_{n+1}$ , рис. 3,  $\lambda$ ) и тем более к сумме площадей поверхностей тел всех растений полога ( $\Sigma S_n$ , рис. 3,  $\kappa$ ).

Физико-геометрические и функциональные параметры биокосных фитосистем. Чтобы увидеть единообразие в описании фитосистем разного уровня организации, все рассматриваемые нами параметры систем, объединим в 9 групп и их прокомментируем.

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 растения и растений в объеме обитаемого пространства), значения которых в дальнейшем используются для расчетов объема, поверхности и длины метаболического пути объектов с разной формой и дискретностью обитаемого пространства, а также объемной концентрации сухой массы растений в нем.

Во вторую группу вошли объем ( $V_n, V_{n+k}, \text{см}^3$ ) и внешняя поверхность ( $S_n, S_{n+k}, \text{см}^2$ ) обитаемого пространства БФ. Внешняя поверхность любой БФ – это поверхность «входа» ( $S_{вх}$ ), через которую поступает вещество и энергия к «живому веществу» в обитаемом пространстве. Для телесных систем, как уже это говорилось выше, их внешняя поверхность ( $S_n$ ) – это поверхность тела растения, а обитаемое пространство (*biovolume*,  $V_n$ ) – это пространство в границах тела растения (рис. 3,  $a$ ).

Численные значения эковольюма (*ecovolume*) и его внешней поверхности для крон ( $V_{n+1}, S_{n+1}$ ) разных видов и экологических групп ( $V_{n+2}, S_{n+2}$ ) растений (травянистых, древесных, наземных, водных) вычисляются на основе расчета по их типовым геометрическим формам – шара, полушария, эллипса, конуса и других фигур. Численные значения эковольюма для растительного полога ( $V_{n+3}$ ) вычисляются как произведение, занятой пологом площади поверхности,  $S_o$  на среднюю высоту растений в пологе  $H$ :  $V_{n+3} = S_o H$ , а площадь внешней поверхности ( $S_{n+3}$ ) полога приравнивается нами к площади земной поверхности, занятой им ( $S_o$ ), ( $S_{n+3} = S_o$ ). Однако, для аналитических целей гораздо важнее знать приведенные значения эковольюмов ( $V_{n+3} = H^3$ , рис. 3,  $\lambda$ ) и приведенной площади внешней поверхности ( $S_{n+3} = S_{вх} = H^2$ ). Приведенные значения эковольюмов отражают как характерную видоспецифическую высоту растений, так и их реальную высоту в данном местообитании. Приведенные значения объемов эковольюма и приведенной поверхности метаболического «входа» ( $S_{вх}$ ) используется нами и при рассмотрении



геогенных фитосистем и, в частности, в расчетах структурных ( $W/S_0$ ,  $C_w$ ) и функциональных ( $\rho_{\text{ост}} \mu_v$ ) характеристик фитопланктонных сообществ в фотическом слое глубоководного озера или моря (рис. 5 з, д).

Третья группа. Параметры дискретности обитаемого пространства. Телесное пространство сложноразветвленного слоевища подразделяется на множество пространств его элементарных единиц (осевых структур разного порядка ветвления), характеризующихся соответствующими индивидуальными параметрами, а также на множество пространств ветвей разного порядка ветвления, также характеризующихся собственными параметрами (Khailov et al., 1993). Другими словами, тело растения рассматривается как популятивное множество элементарных структур, характеризующееся распределениями: численности ( $n_i$ ), суммарного объема ( $\Sigma V_i$ ), суммарной массы ( $\Sigma W_i$ ) и суммарной поверхности ( $\Sigma S_i$ ) структурных элементов  $i$ -го размерного класса в размерных рядах объектов ( $V_i$ ,  $W_i$ ) (Khailov et al., 1992, 1993).

В свою очередь, обитаемое пространство надтелесных систем, например, кроновое пространство ( $V_{n+k}$ ), расчленяется на множество субкronовых пространств ( ${}^k V_{n+k}$ ) ветвей разного порядка (рис. 2.3 ж, Khailov et al., 2001; Prazukin, 2000, 2003, 2005a, 2005b; Prazukin et al., 2003). Субкronовые пространства могут частично перекрывать друг друга, а их суммарный объем ( $\Sigma {}^k V_{n+k}$ ) может превышать объем кронового пространства ( $\Sigma {}^k V_{n+k} / V_{n+k} > 1$ ) (Prazukin, 2005a, 2005b;). Пространство растительного полога биогенного происхождения расчленяется на множество пространств кроновых систем ( $V_{n+k}$ ), а в растительных пологах, формируемых на искусственных конструкциях, к этому добавляются обитаемые пространства, определяемые структурой конструкции (рис. 4).

Иерархически организованы и биокосные фитосистемы геогенного происхождения. У водоемов, вследствие изрезанности береговой линии (бухты разного размера, искусственные выгородки, например межбунные пространства (Kovardakov et al., 2009)) и неровностью дна (гrotы, кулуары дна, пространства между валунами и камнями разного размера) (Rybnikov, 2002) существует множество относительно изолированных эковольюмов, заселенных растениями.

Четвертая группа. Параметры, характеризующие архитектуру ветвящегося растения (Khailov et al., 1992; Prazukin, 2007) и иерархию его субкronовых пространств ( $n_{0k+1}/l_{0k}$ ,  $K_{ss}$ ). Закономерность построения любой ветвящейся системы и, в частности, ветвящихся слоевищ многоклеточных водорослей однотипна – обязательная соподчиненность последующих порядков предыдущими. Это делает возможным, в моделях и реально, 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 (Kovardakov et al., 1985; Prazukin, 2000; Firsov, 1978, 1984; Khailov et al., 1992; Khailov and Firsov, 1985).

Иерархия субкronовых пространств ветвящегося растения следует иерархии его ветвей (Prazukin, 2000, 2005a, 2005b; Khailov et al., 2009).

Пятая группа. Показатели формы. Удельная поверхность и длина метаболического пути. Все разнообразие внешнего строения слоевищ многоклеточных водорослей (Vinogradova, 1977; Zinova, 1967) можно свести к комбинации трех геометрических фигур (Kovardakov et al., 1992): цилиндра, пластины и шара. Различными комбинациями из этих же фигур можно представить все разнообразие форм обитаемых пространств надтелесных систем биогенного, техногенного и геогенного происхождения (Kovardakov et al., 1996, 2002; Khailov, 2001; Prazukin, 2000, 2003, 2005a; Prazukin et al., 2003).

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 обеспеченности обитаемого пространства внешними границами, через которые поступает вещество и энергия и удаляются продукты метаболизма (Khailov and Parchevsky, 1983; Khailov et al., 2004;

Kovardakov et al., 1985, 2005; Minicheva, 1989; Prazukin, 2000). А обратное их соотношение ( $V_n/S_n = L_n$ ,  $V_{n+k}/S_{n+k} = L_{n+k}$ ) 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 ( $V_n$ ,  $V_{n+k}$ ) (Khailov, 2001; Khailov et al., 2001, 2002, 2005a; Prazukin, 2000, 2005a, 2005b; Prazukin et al., 2003).

Относительная длина метаболического пути ( $U_n = L_n/L_{\text{шар}}$ ,  $U_{n+k} = L_{n+k}/L_{\text{шар}}$ ) может рассматриваться и как показатель формы, показывающий меру отличия от формы шара (Prazukin, 2007). Чем значения  $U$  меньше единицы, тем больше форма, например, слоевица водоросли или форма кронового пространства отличаются от формы шара. Это справедливо и для геогенных систем. Для разветвленных структур (ветвей, «побегов» и целого слоевища) этот показатель может рассматриваться и как показатель разветвленности («рассеченности»).

Показатель отношения длины к диаметру ( $l_{0k}/d_{0k}$ ) у осевых структур цилиндрической формы отражает их удлиненность (относительную длину) и не является в данном случае показателем формы, как это часто и удачно интерпретируется для объектов, имеющих форму, близкую к сферической, например, для шишек хвойных растений (Мамаев, 1972).

Шестая группа. Параметры объемной концентрации. Структурированное в виде клеток и тканей биоорганическое вещество (сухая масса,  $W_{\text{сух}}$ ) размещается в объеме тела растения ( $V_n$ , рис. 3, б), одновременно эта же масса растения ( $W_{\text{сух}}$ ) распределяется в объеме пространства надтелесной системы ( $V_{n+1}$ , рис. 3, д). Отношение сухой массы растения к объему, в котором она находится ( $W_{\text{сух}}/V_n = C_{Wn}$ ,  $W_{\text{сух}} / V_{n+1} = C_{Wn+1}$ , мг (сух. массы) /  $\text{см}^3$ ), рассматривается как объемная, физическая концентрация сухого вещества, то есть плотность заполнения обитаемого пространства сухим веществом (Khailov et al., 1992, 1999, 2002, 2005a; Khailov, 2001; Prazukin, 2005a, 2005b). Соответственно, для растительного полога:  $C_{W(n+3)} = \Sigma W_{\text{сух}}/V_{n+3}$ . Аналогичным образом рассчитывается и объемная концентрация поверхности растения в границах кронового пространства ( $C_{S n+1} = S_n/V_{n+1}$ ,  $\text{см}^{-1}$ ) и в границах растительного полога ( $C_{S n+3} = S_n/V_{n+3}$ ) (Ross, 1975; Tooming, 1977; Bikhele et al., 1980; Tammets et al., 1989; Prazukin, 2000). Сказанное справедливо и для надтелесных систем техногенного (рис. 4) и геогенного (рис. 5) происхождения.  $C_W$  и  $C_S$  могут рассчитываться как для всего объема обитаемого пространства системы, так и для отдельной ее части, например, слоя растительного полога (Tooming, 1977; Prazukin and Khailov, 1998; Prazukin, 2005b) или кроны растения, или для целого водоема или для его отдельной части (например, для фитопланктонных сообществ в фотическом слое).

В седьмую группу входят две характеристики. Это отношение массы растений, находящейся в границах БФ к площади поверхности ее внешней границы ( $W/S$ ,  $\text{мг}/\text{см}^2$ ) и это отношение той же массы растений к площади поверхности ее горизонтальной проекции ( $W/S_0$ ,  $\text{мг}/\text{см}^2$ ). Как мы видим, названные параметры характеризуют разные уровни организации биокосных фитосистем, но несут сходную смысловую нагрузку.

Восьмая группа. Поточные характеристики систем (Lightfoot, 1977). Через внешнюю поверхность ( $S_n$ ,  $S_{n+k}$ ) БФ любого уровня организации и происхождения осуществляется обмен веществ, поступление веществ в объем обитаемого пространства и удаление из него продуктов метаболизма.

Общий входной поток ( $P$ ,  $\text{мг ч}^{-1}$ ) поступаемых веществ в систему определяется, с одной стороны, размерами поглощающей поверхности ( $S$ ,  $\text{см}^2$ ), а с другой – величиной интенсивности переноса веществ через единицу поверхности ( $\mu_s = dW/(S dt)$ ,  $\text{мг см}^{-2} \text{ч}^{-1}$ ):  $P = \mu_s S$ .

Следующей важной характеристикой потока веществ являются: интенсивность переноса веществ в расчете на единицу объема ( $V$ ) системы ( $\mu_v = dW/(V dt)$ ,  $\text{мгС см}^{-3} \text{ч}^{-1}$ ) и на единицу массы «живого вещества» в границах БФ ( $\mu_w = dW/(W dt)$ ,  $\text{мгС мг}^{-1} \text{ч}^{-1}$ ) (Хайлов, 1984), последняя является мерой «оборачиваемости»

( $\tau = 1/\mu_w$ ), а также на единицу длины пути переноса веществ (линейная плотность потока,  $\mu_L = dW/(L dt)$ , мгС см<sup>-1</sup> ч<sup>-1</sup>) (Khailov et al., 2009; Prazukin et al., 2003; Khailov et al., 2005a).

Интенсивность продуктивности в расчете на единицу объема биокосной системы ( $\mu_v$ ) вычисляется для телесных фитосистем по уравнению ( $\mu_{v,n} = \mu_w C_{w,n}$ ) как произведение  $C_{w,n}$  на интенсивность продукционного процесса ( $\mu_w = P/Wt$ , где  $P$  – масса сухого вещества, синтезированная телом с сухой массой  $W$  за время  $t$ ), а для надтелесных фитосистем – по ( $\mu_{v,n+k} = \mu_w C_{w,n+k}$ ), как произведение той же интенсивности продукционного процесса на концентрацию вещества в соответствующей надтелесной фитосистеме (Khailov et al., 1993).

Девятая группа. Соотношение между параметрами разных уровней иерархически организованных БФ. Это соотношение объемов ( $V_{n+1}/V_n$ ), поверхностей ( $S_{n+1}/S_n$ ), длин метаболического пути ( $L_n/L_{n+1}$ ) и других параметров (Khailov et al., 2001, 2002, 2009; Prazukin, 2000).

### Фитосистемы разного уровня организации и их структурные и функциональные параметры

Объекты разного уровня организации		Параметры	
		Структурные	Функциональные
Телесные системы (biolume)	Целое растение	$W_n, V_n, S_n, (S/W)_n, (S/V)_n,$ $L_n = V_n/S_n, C_{w,n}, C_{s,n}$	$\mu_{w,n}, \mu_{v,n}, \mu_{s,n},$ $\mu_{L,n}, P_n$
	Ветви k - го порядка	${}^k W_n, {}^k V_n, {}^k S_n, {}^k(S/W)_n, {}^k(S/V)_n,$ ${}^k L_n = {}^k V_n/{}^k S_n, {}^k C_{w,n}, {}^k C_{s,n}$	${}^k \mu_{w,n}, {}^k \mu_{v,n}, {}^k \mu_{s,n},$ ${}^k \mu_{L,n}, {}^k P_n$
	Осевые структуры 0k - го порядка	${}^{0k} W_n, {}^{0k} V_n, {}^{0k} S_n, {}^{0k}(S/W)_n, {}^{0k}(S/V)_n,$ ${}^{0k} L_n = {}^{0k} V_n/{}^{0k} S_n, {}^{0k} C_{w,n}, {}^{0k} C_{s,n}$	${}^{0k} \mu_{w,n}, {}^{0k} \mu_{v,n}, {}^{0k} \mu_{s,n},$ ${}^{0k} \mu_{L,n}, {}^{0k} P_n$
Надтелесные системы (ecovolume)	Кроновые системы	$W_{n+1}, V_{n+1}, S_{n+1}, (S/W)_{n+1}, (S/V)_{n+1},$ $L_{n+1} = V_{n+1}/S_{n+1}, C_{w,n+1}, C_{s,n+1}$	$\mu_{w,n+1}, \mu_{v,n+1}, \mu_{s,n+1},$ $\mu_{L,n+1}, P_{n+1}$
	Субкроновые системы	${}^k W_{n+1}, {}^k V_{n+1}, {}^k S_{n+1}, {}^k(S/W)_{n+1},$ ${}^k(S/V)_{n+1}, {}^k L_{n+1}, {}^k C_{w,n+1}, {}^k C_{s,n+1}$	${}^k \mu_{w,n+1}, {}^k \mu_{v,n+1}, {}^k \mu_{s,n+1},$ ${}^k \mu_{L,n+1}, {}^k P_{n+1}$
	Растительные пологи	$W_{n+3}, V_{n+3}, S_{n+3}, (S/W)_{n+3}, (S/V)_{n+3},$ $L_{n+3} = V_{n+3}/S_{n+3}, C_{w,n+3}, C_{s,n+3}$	$\mu_{w,n+3}, \mu_{v,n+3}, \mu_{s,n+3},$ $\mu_{L,n+3}, P_{n+3}$
	Фитосистемы отдельно взятых водоемов	$W_{n+5}, V_{n+5}, S_{n+5}, (S/W)_{n+5}, (S/V)_{n+5},$ $L_{n+5} = V_{n+5}/S_{n+5}, C_{w,n+5}, C_{s,n+5}$	$\mu_{w,n+5}, \mu_{v,n+5}, \mu_{s,n+5},$ $\mu_{L,n+5}, P_{n+5}$

Заключая статью, обратим внимание, что из большого числа параметров, рассмотренных нами, может быть отобран ограниченный набор, позволяющий однотипно описывать и сравнивать фитосистемы разного уровня организации и происхождения. В эту группу входят следующие параметры: масса ( $W_n, W_{n+k}$ ), объём ( $V_n, V_{n+k}$ ), площадь поверхности ( $S_n, S_{n+k}$ ), длина метаболического пути ( $L_n, L_{n+k}$ ), концентрация вещества ( $C_{w,n}, C_{w,n+k}$ ) и площади поверхности ( $C_{s,n}, C_{s,n+k}$ ), интенсивность процесса, рассчитанная на единицу массы ( $\mu_{w,n}, \mu_{w,n+k}$ ), объёма ( $\mu_{v,n}, \mu_{v,n+k}$ ) и площади поверхности ( $\mu_{s,n}, \mu_{s,n+k}$ ), скорости процессов ( $P_n, P_{n+k}$ ).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Bikhele, Z. N., Moldau, A. H., Ross, J. K., 1980.** Mathematicheskoe modelirovanie transpiracii i fotosinteza i rasteni pri nedostatke pochvennoi vlagi [Mathematical modeling of transpiration and photosynthesis in plants with a lack of soil moisture]. Gidrometeoizdat, Leningrad (in Russian).

- Byallovich, J. P., 1960.** Biogeocenoticheskie horizonti [Biogeocenotical horizons]. Proc. Moscow Society of Naturalists. Dep. biol. 3, 43–60 (in Russian).
- Firsov, Yu. K., 1978.** Svaz fiziologicheskikh funktsiy morfologicheskikh elementov cistoziri s ikh vozrastom i stukturoy [Communication physiological functions morphological elements Cystoseira thalli with their age and structure]. Biologia mora 44, 68–74 (in Russian).
- Firsov, Yu. K., 1984.** Ierarkhicheskiy strukturno-funktsionalniy analiz morskoy mnogokletochnoy vodorosli cistozira barbata. [Hierarchical structural and functional analysis of multicellular marine algae Cystoseira Barbat: Author. diss. ... Candidate. Science] avtoreph. diss. kand. biol. nauk, Sevastopol (in Russian).
- Gorshkov, V. G., 1990.** Energetika biosferi i ustoychivost sostoania okrugajschei sredi [Energy biosphere and environmental sustainability]. Itogi nauki. Teoricheskije i obschie voprosi geografii. VINITI, Moscow. 7, 237–240 (in Russian).
- Gorshkov, V. G., 1995.** Fizicheskie i biologicheskie osnovi ustoychivosti biosferi [Physical and biological bases of stability of the biosphere]. VINITI, Moscow (in Russian).
- Kovardakov, S. A., Mordashev, V. I., Prazukin, A. V., 2005.** Matematicheskie usrednennije velichini kak strukturno-funktsionalnie pokazateli populativnih obektov v vodnih ekosistemah [Mathematical averaged values as structural and functional indicators populyativnykh objects in aquatic ecosystems]. Proceedings of the 13 International Conference. Sevastopol. 139–140 (in Russian).
- Kovardakov, S. A., Prazukin, A. V., Firsov, J. K., 2009.** Sravnenie mnogoletnikh izmeneniy strukturnikh i funktsionalnikh sostoaniy pribrejnikh chernomorskich phitosistem s razlichnoy antropogennoy nagruzkoy [Comparing long-term changes of structural and functional states of the Black Sea coastal phytocenoses different anthropogenic load]. Control Systems Environment: Tools, information technology and monitoring: Sat scientific. tr. NAS Marine Hydrophysical Inst. Sevastopol. 377–384 (in Russian).
- Kovardakov, S. A., Prazukin, A. V., Firsov, F. K., Popov, A. E., 1985.** Kompleksnaa adaptacia cistosiri k gradientnim usloviam [Cystoseira complex adaptation to the gradient conditions]. Naukova Dumka, Kiev (in Russian).
- Khailov, K. M., 1971.** Ecologicheskij metabolism in more [The environmental metabolism in the sea]. Naukova Dumka, Kyiv (in Russian).
- Khailov, K. M., 1984.** Dva sposoba viragenia intensivnosti fotosinteza u morskikh makrofitov v svazi ikh funktsionalnoy morfologiyey [Two ways of expressing the intensity of photosynthesis in marine macrophytes in relation to their functional morphology]. Biologia mora. 6, 36–39 (in Russian).
- Khailov, K. M., 2001.** Chto takoe jizn na Zemle? [What is life on Earth?] Druk, Odessa (in Russian).
- Khailov, K. M., Firsov, J. K., 1985.** Raschet velichini assimilacionnoy poverkhnosti na raznikh urovnakh organizacii [Calculation of assimilation surface Sargassum at different levels of organization]. Botanicheskij jurnal. 70(2), 215–221 (in Russian).
- Khailov, K. M., Kovardakov, S. A., Prazukin, A. V., 2004.** Biologicheskie poverkhnosti mnogourovnevnikh phitosistem i raschet ikh chislennikh kharakteristik [Biological phytosystems multilevel surface and calculation of their numerical characteristics]. Marine ecological journal. 3(3), 61–77 (in Russian).
- Khailov, K. M., Kovardakov, S. A., Prazukin, A. V., 2005a.** Balansovie uslovia podderzhanija kachestva morskoy sredi v rekreacionnikh akvatoriakh [Balance conditions to maintain the quality of the marine environment in recreational waters]. Geopolitica i ecogeodinamica regionov: nauchnij jurnal. 1(2), 75–82 (in Russian).
- Khailov, K. M., Kovardakov, S. A., Prazukin, A. V., Rabinovich, M. A., 1993.** Ocenka produktivnosti vodorosley v biokosnikh phitosistemakh na osnove obobschennogo uravnenija intensivnosti rosta [Evaluation of the productivity of algae in biokosnykh phytosystems generalized equation based on the intensity of growth]. Fiziologija rasteniy. 40(6), 856–862 (in Russian).
- Khailov, K. M., Kovardakov, S. A., Shoshina, E. V., 2002.** Svaz obyemnoy koncentracii donnikh vodorosley s geometricheskimi parametrami obitaemikh prostranstv [Communication volume concentration of benthic algae with geometric parameters inhabited spaces]. Oceanologia. 42(3), 402–407 (in Russian).
- Khailov, K. M., Parchevsky, V. P., 1983.** Ierarkhichskaa regulacia strukturi i funktsii morskikh rasteniy [Hierarchical regulation of the structure and function of marine plants]. Dumka, Kyiv (in Russian).
- Khailov, K. M., Prazukin, A. V., 2008.** Spivvidnoshenna vodi, povitra i bioorganichnoi rehovini v phitosistemakh raznogo rivna organizacii [The ratio of water, air and

bioorganic matter phytosystems in different levels of the organization]. *Agrarniy visnik Prichornomora: zbornik nauk. prac.* Odesa. 46, 65–76 (in Ukrainian).

**Khailov, K. M., Prazukin, A. V., Kovardakov, S. A., Rygalov, V. E., 1992.** Funkcionalnaa morphologia morskikh mbogokletochnikh vodorosly [Functional morphology of marine multicellular algae]. *Naukova Dumka, Kyiv* (in Russian).

**Khailov, K. M., Prazukin, A. V., Gubonov, V. V. 1996a.** Sravnitelnaa oценка koncentracii fitomassi v obinaemom prostranstve nazemnykh i vodnykh fitosistem [Comparative evaluation of concentration in the biomass of the inhabited space of terrestrial and aquatic biocosnyh phytosystems]. *Ecologia*. 1, 243–248 (in Russian).

**Khailov, K. M., Prazukin, A. V., Gubonov, V. V. 1996b.** Comparative estimation of phytomass concentration in the inhabited space of terrestrial and aquatic bio–abiotic phytosystems. *Russian Journal of Ecology*. 27(4), 235–240.

**Khailov, K. M., Prazukin, A. V., Minin, N. I., Pavlova, E. V., 1999.** Concentraciia i funkcionalnaa aktivnosty jivogo veschestva v sguscheniakh raznogo urovna organizacii [Concentration and functional activity of living matter in the condensations of different levels of organization]. *Uspekhi sovremennoi biologii*. 119(1), 3–14 (in Russian).

**Khailov, K. M., Prazukin, A. V., Smolev, D. M., Yurchenko, Yu. Yu., 2009.** Shkola biogeocologii [The school of biogeocology]. *ECOS–Hydrophysics, Sevastopol* (in Russian).

**Khailov, K. M., Rygalov, V. E., Kovardakov, S. A., Prazukin, A. V., 1995.** Svaz koncentracii fitomfssi i obyem bligayshego funkcionalnogo prostranstva v vodnykh biokosnykh sistemakh [Communication phytomass concentration and volume of functional space in the nearest water biocosnyh systems]. *Vodnie resursy*. 22(6), 738–745 (in Russian).

**Khailov, K., Prazukin, A., Yurchenko, Yu., 2009.** Ecologichna kriza v naseleniy chastini Zemli ta narodna osvita [Ecological crisis in the populated part of the Earth and public education]. *Svitoglad*. 4, 28–34 (in Ukrainian).

**Khailov, K. M., Yurchenko, Yu. Yu., Shoshina, E. E., 2001.** O svazi geometricheskikh, biologicheskikh i trofodinamicheskikh kharakteristik vodnykh biokosnykh fitosistem [On the connection geometry, and biological characteristics of water trophodynamic biocosnyh phytosystems]. *Oceanologia*. 41(3), 400–407 (in Russian).

**Khailov, K. M., Yurchenko, Yu. Yu., Snigiryov, S. M., 2005b.** Ot rastenia k biosphere: Antiuchebnik [From plant to biosphere: Antiuchebnik]. *Druk, Odessa* (in Russian).

**Lightfoot, E., 1977.** Iavlennia perenosa v jivikh sistemakh [Transport phenomena in living systems]. *Mir, Moscow* (in Russian).

**Mamaev, S. A., 1972.** Phormi vnutrividovoy izmenchivosti drevesnykh rasteniy (na primere semeistva Pinaceae na Urale) [Forms intraspecific variation of woody plants (for example, family Pinaceae in the Urals)]. *Nauka, Moscow* (in Russian).

**Minicheva, G. G., 1989.** Pokazateli poverkhnosti vodorosley v strukturno-funkcionalnoy ocenke makrofitobentosa [Indicators surface algae in the structural and functional assessment makrofitobentosa] *Author. dis. ... Cand. Science, Sevastopol* (in Russian).

**Prazukin, A. V., 2000.** Struktura kronovogo prostranstva sloevisha chernomorskoy bury vodorosli cistoziri (*Cystoseira crinita* (Desf.) Bory) (Phaeophyta) [Structure of the crown space thalli Black Sea brown alga *Cystoseira* (*Systoseira crinita* (Desf.) Bory) (Phaeophyta)]. *Algologia*. 10(2), 119–130 (in Russian).

**Prazukin, A. V., 2003.** Vodnie biocosnie phytosistemi prirodnoho i antropogennoho proiskhognia (strukturnoe sopostavlenie) [Water bioinert phytosystems natural and anthropogenic origin (structural comparison)]. *Marine ecological journal*. 2(2), 16–28 (in Russian).

**Prazukin, A. V., 2005a.** Ierarkhicheskoe chlenenie obitaemogo prostranstva i ego zapolnenie bioorganicheskim veschestvom na primere chernomorskoy vodorosli cistoziri (*Cystoseira crinita* (Desf.) Bory) [Hierarchical division of habitable space and filling it with bio–organic substance as an example of the Black Sea algae *Cystoseira* (*Cystoseira crinita* (Desf.) Bory)]. *Marine ecological journal*. 4(3), 15–36 (in Russian).

**Prazukin, A. V., 2005b.** Biocosnie phytosistemi v metrike phtogidrosferi [Bioinert phytosystems metric phytogidrosphery]. *Environmental Control Systems: collection of scientific papers, Marine Hydrophysical Institute National Academy of Sciences of Ukraine. Sevastopol*. 288–292 (in Russian).

**Prazukin, A. V., 2007.** Razlichnie primeri opisania phytosistem raznogo urovna organizacii na primere zelenoy vodorosli briopsis (*Bryopsis Lamouroux*) Chernoe more [Various techniques phytosystems describe various levels of organization as an example of green algae briopsis (*Bryopsis Lamouroux*) Black Sea]. *Marine ecological journal*. 6(1), 66–87 (in Russian).

- Prazukin, A. V., Khailov, K. M., 1998.** Prostranstvennaya organizatsiya pologa diatomovogo obrastaniya na eksperimentalnykh konstruktsiyakh v sravnenii s drugimi fitosistemami [Spatial organization canopy diatom fouling on experimental designs in comparison with other phytosystems]. *Hydrobiologicheskii Journal*. 34(5), 38–48 (in Russian).
- Prazukin, A. V., Khailov, K. M., 2000.** The spatial organization of diatomaceous fouling on experimental constructions (Compared to other phytosystems). *Hydrobiological Journal*. 36, 24–33 (in Russian).
- Prazukin, A. V., Khailov, K. M., Kovardakov, S. A., 2003.** Sravnenie strukturno-funktsionalnykh sootnosheniy v morskikh fitosistemakh raznogo urovnya organizatsii na osnove ikh unipichirovannogo opisaniya [Comparison of structure–function relationships in marine phytosystems various levels of organization based on their unified description]. *Marine ecological journal*. 2(3), 51–62 (in Russian).
- Ross, J. K., 1975.** Radiatsionnyy regim i arkhitektonika rastitelnogo pokrova [Radiation regime and architectonics vegetation]. *Gidrometeoizdat, Leningrad* (in Russian).
- Rybnikov, P. V., 2002.** Prostranstvennaya organizatsiya soobshchestva zoobiontov phyllopori rebriстой (Phyllophora nervosa) na skalisto-y sublitrali Chernogo morya. *Biologiya chernomorskikh makrofitov* [Spatial organization of community zoobionts of Phyllophora ribbed (Phyllophora nervosa) on the rocky subtidal zone of the Black Sea. *Biology Black Sea macrophytes*]. Moscow, Russian Academy of Sciences, Institute of Oceanology. 122–133 (in Russian).
- Sukachev, V. I., 1972.** Izbrannyye trudy v trekh tomakh. Tom I Osnovy lesnoy tipologii i biogeotsenologii [Selected works in three volumes. Volume I Fundamentals of forest typology and biogeocenology]. Nauka, Leningrad (in Russian).
- Sukachev, V. N., Dylis, N. V., 1964.** Biogeotsenoz kak vyrazheniye vzaimodeystviya zhivoy i nejivoy prirody na poverkhnosti Zemli: sootnosheniye ponyatiy "biogeotsenoz", "ekotsistema", "geograficheskyy landshtaf" i "fatsia" [Biogeocoenosis as an expression of the interaction of animate and inanimate nature on the surface of the Earth: relationship between the concepts "biogeocoenosis", "ecosystem", "geographical landscape" and "facies"]. *Principles of Forest biogeocenology*. Nauka, Moscow (in Russian).
- Tammets, T. H., Tooming, H. G., Myaetalu, H. I., 1989.** Proekt metodiki opredeleniya ploshchdi listev poseva kortophela [Project methodology for determining AREA leaf planting potatoes]. *Gidrometeoizdat, Leningrad* (in Russian).
- Tooming, H. G., 1977.** Solnechnaya radiatsiya i formirovaniye urozhaya [Solar radiation and yield formation]. *Gidrometeoizdat, Leningrad* (in Russian).
- Vinogradova, K. L., 1977.** Klass siphonovyykh (Siphonophyceae) [Class siphonophytes (Siphonophyceae)]. *Gizn rasteni. Vodorosli. Lishaniki*. 3, 297–308. Prosvescheniye, Moscow (in Russian).
- Zinova, A. D., 1967.** Opredeliteli zelenykh, burikh i krasnykh vodorosley ugnikh morey SSSR [Determinant of green, brown and red algae of the southern seas of the USSR]. Nauka, Leningrad (in Russian).

*Стаття надійшла в редакцію: 13.01.2014*

*Рекомендує до друку: чл.-к. НАНУ, д-р біол. наук, проф. А. П. Травлєєв*