



574.550.7

СООТНОШЕНИЕ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ И БИОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДНЫХ БИОКОСНЫХ СИСТЕМ

© К. М. Хайлов¹, Б. Г. Александров², Ю. Ю. Юрченко²

¹Институт биологии южных морей им. А. О Ковалевского Национальной Академии наук Украины,
Севастополь, Украина

²Одесский филиал Института биологии южных морей им. А. О Ковалевского Национальной Академии наук
Украины, Одесса, Украина

Поступила 2 октября 2002 г., после переработки 20 июня 2003 г.

С точки зрения биогеохимии, в терминах биокосных систем (объектов, совмещающих в себе косное Гео и живое Био) рассматривается большая совокупность традиционных экологических объектов (водоемы морского и континентального типа и разного размера) и синэкологических объектов (пологи высших и низших водных растений). В размерных рядах названных объектов рассмотрены соотношения геометрического объема обитаемого пространств (V), живой массы (W) организмов в нем, а также соотношения V и объемной концентрации живого вещества ($C_w=W/V$). Показана возможность унифицированного численного описания названных соотношений в диапазоне V от 10^{-20} до 10^{20} м³.

Ключевые слова: биокосные системы, биогеохимия, обитаемое пространство, Биосфера

From the biogeochemical point of view a set of different bio-inert ecological objects (marine and continental basins), sinecological objects (pant canopy) are described. In the size series of above mentioned objects the relations between the volume of living space (V), living mass (W) and between V and concentration of living mass (C_w) are discussed. The generalized quantitative description between these parameters presented as soon as their relative place in the metrics of biosphere (in the range from 10^{-20} to 10^{20} m³).

Key words: bio-inert systems, biogeochemistry, living space, the Biosphere

Биогеоморфологические объекты и задачи исследования. История знания сложилась так, что разные типы объектов биосферы оказались разделенными, принадлежащими нескольким специализированным наукам. Организмы и их виды стала изучать биология. Локальные группировки организмов (популяции, сообщества и др.) и вмещающие их экосистемы вошли в экологию. Флористика и фауни-

стика получили в ведение обширные территориальные группы - биоты. Косную оболочку Земли и ее биосферу с континентами, водоемами, островами исследует группа наук о Земле. Ни одна из специализированных дисциплин не обязана выходить за свои профессиональные границы и не делает сравнений всех жизненных объектов – биосферы в целом, континентов и островов с их населением,

океанов, морей, озер с их биотой, флор и фаун, сообществ, популяций, отдельных видов организмов и отдельных особей, вплоть до мельчайших.

Науки, изучающие населенную Землю, выделяют в ней иные объекты и структуры, чем выделяет биология, и имеют методологию, отличную от биологической. Биология исследует организмы, их виды и сообщества, а косные среды (воду, воздух, твердые минералы) переданы наукам о Земле. Науки о Земле, в том числе биогеохимия и биогеофизика, исследуют косную Землю вместе с живым веществом как ее частью, не обязательно разделяя живое на отдельные виды, рассматривая его более обобщенно, чем биология.

С точки зрения биологии, организмы, их виды и сообщества (Био) – с одной стороны, и твердое вещество Земли, водная и воздушная среды с их населением (Гео) – с другой стороны, “принципиально различны”, детальному численному сопоставлению Био и Гео не подлежат. С биогеохимической же точки зрения [5, 7], океан, остров, море, морская бухта, лиман – с их населением, озеро, рыбноводный пруд или аквариум с обитателями, литоральная ванна с водорослями, искусственный риф с поселенцами, наконец, любой живой организм относятся к одному генеральному множеству. Все это – биокосные системы, состоящие из косных (неживых) веществ в качестве физической основы и биоорганических веществ в форме населяющих Землю организмов (живых, “белковых тел”), их видов и сообществ.

С точки зрения биогеохимии, все биокосные системы численно сопоставимы между собой по общим для них характеристикам. Кроме того, в самом составе биокосных систем важно знать численные соотношения ме-

жду Био и Гео компонентами. В какой мере организмы, водоемы, природные и искусственные рифы и другие “принципиально различны” и в какой мере подобны, – может быть решено только на основе их объективного сопоставления по общим для них характеристикам и их соотношениям.

Ниже используются следующие численные характеристики: со стороны Гео – геометрический объем (V) объекта и площадь занимаемой им на Земле твердой или водной поверхности (S), со стороны Био – живая масса (W) той или иной группы организмов, плотность поселения организмов на земной поверхности (W/S) и плотность заселения водного или воздушного пространства, т. е. концентрация живого вещества в обитаемом объеме ($C_w = W/V$). Будут рассматриваться соотношения: $W(V)$, $W(S)$ и $C_w(V)$.

Естественно возникает вопрос: что нового, в сравнении с гидробиологическим и биогеографическим исследованием может дать такое сопоставление для понимания жизни водоемов и всей биогидросферы?

Актуальность вопроса и важность ответа на него определяются расширяющимся антропогенным кризисом, выхода из которого специализированные науки не обещают. Между тем, кризисные явления возникают именно в гетерогенных (Био-Гео) системах, включающих все формы косного и живого вещества биосферы. Поэтому для выхода из кризиса необходимо исследовать выборки, включающие как можно большее разнообразие природных и антропогенных биокосных объектов.

Задача этой статьи – обобщить имеющиеся в разных специализированных науках численные данные о перечисленных выше типах водных биокосных систем, преследуя две основные цели:

1. выявить их различие и подобие по соотношению между геоморфологическими (V , S) и биоэкологическими (W , C_w) параметрами;
2. сопоставить их по этим параметрам в метрическом пространстве биогидросферы и рассмотреть отношения между основными группами биокосных объектов - природных и используемых людьми, населенных низшими и высшими организмами, растениями и животными, обитающими в соленой и пресноводной среде.

Методология и методика исследования и условия сопоставления биокосных объектов разного типа и уровня организации подробно описаны в ряде работ [3, 20, 27, 30, 31, 35] и здесь разъясняться не будут. Источники использованных в статье литературных данных приведены в подписях к рисункам и упоминаются в тексте при обсуждении.

Соотношение обитаемого пространства, заселяемой поверхности и массы живого вещества в биокосных системах. Обитаемое пространство имеет как минимум две существенные для Био характеристики – геометрический объем V и площадь заселяемой поверхности S .

На рис. 1 обобщены данные о соотношении W и V в большом ряду природных и антропогенных биокосных зоосистем с их населением. Вошедшие в выборку природные объекты географического ранга – это Мировой океан, отдельные моря, морские бухты, лиманы северо-западного Причерноморья, пресные водоемы разного типа - все с населяющим их зоопланктоном и зообентосом. Вошли в выборку также две уникальных биокосных системы из состава Дунайского биосферного заповедника - Стенцовские и Жебрияновские плавни, а для сравнения с ним -

Жебрияновская бухта. Вошло в выборку детально изученное в последние годы уникальное озеро Донузлав в Крыму и другие объекты экологического ранга с их населением – флора морской и пресноводной растительности и кроновые системы отдельных растений (методология и методика исследования крон и пологих растений как биокосных объектов подробно описаны в [20, 33]).

Отметим, что концентрация зообентоса в водоемах рассчитана необычным образом, как и по зоопланктону – на единицу объема воды в пелагиали. Такой расчет экологически мотивирован тем, что пища для зообентоса, создается в пелагиали, из того же фонда биогенных веществ, что и для зоопланктона.

Из числа антропогенных систем в выборку вошли устройства для инкубации икры рыб, бассейны с молодой форелью, выростные пруды с форелью, пруды с карпами, водохранилища с рыбой разных пород. Самый массовый тип биокосных систем – тела самих гидробионтов представлен брюхоногим моллюском рапаной (*Rapana thomasi*) из Черного моря. Внутренний объем раковины (минимальное обитаемое пространство) соотнесен на графике с живой массой моллюска.

Из рис.1 следует, что в размерном ряду объектов протяженностью в 23 порядка по объему обитаемого пространства наблюдается закономерное увеличение массы живого вещества W с увеличением занимаемого объема V . Разумеется, сам этот факт: чем больше площадь, тем больше и живая масса на нем - тривиален. Не тривиален, не выводится из общенаучных соображений угол наклона регрессии к абсциссе. Нельзя без специального исследования сказать, во сколько раз должны изменяться (и в какую сторону) значения W с

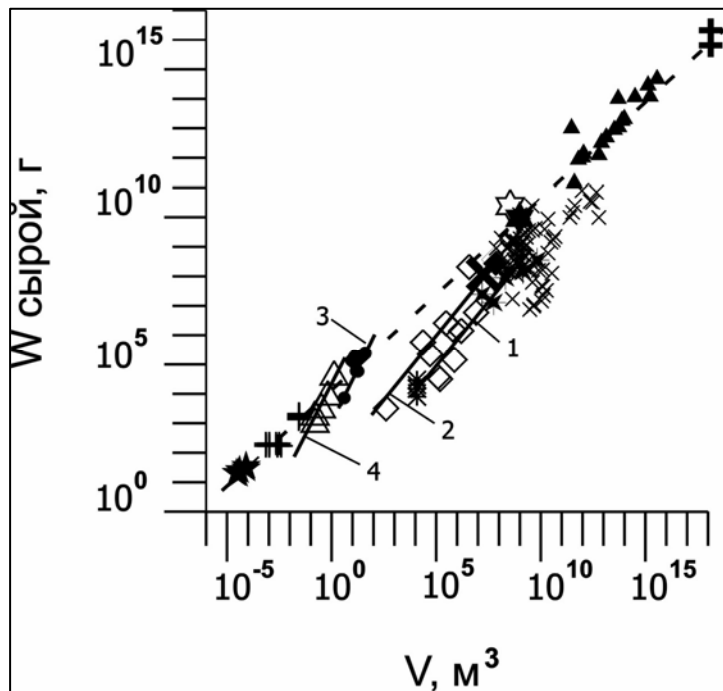


Рис. 1. Соотношение объема обитаемых пространств (V) и общей живой массы (W) в биокосных системах с животными разных таксономических и экологических групп. Группы объектов и соответствующие регрессии: 1 – карпы в прудах (Ω ; по [24]) и рыба разных пород в водохранилищах (Σ [1]); 2 – зообентос Одесских лиманов ($\diamond$ [44]); 3 – товарная форель в садках (λ [13]); 4 – молодь форели в бассейнах (Δ [13]). Отдельные объекты: рапаны Черного моря (H), икра лососевых рыб в проточных культиваторах (+ [13]); зоопланктон и зообентос в озерах (5[4]); зообентос Стенцовских (v), и Жебрияновских (6) плавней и Жебрияновской бухты (A) [45]; зообентос в разных морях (σ [36]); зоопланктон и зообентос в Мировом океане (: [26]); зообентос оз. Догузлав (A[22]). Штриховая линия – регрессия, обобщающая все морские объекты.

Fig. 1. A parity of volume of living space (V) and total alive weights (W) in bioinert systems with animals of different taxonomic and ecological groups. Groups of the objects and appropriate regressions: 1 - carps in ponds (Ω [24]) and different fish in reservoirs (Σ [1]); 2 - zoobenthos in Odessa limans ($\diamond$ [44]); 3 - trout in cultivators (λ [13]); 4 - trout youth in pools (Δ [13]). Separate objects: the Black Sea *Rapana* (H), salmon fishes caviar in flowing cultivators (+[13]); zooplankton and zoobenthos in lakes (5[4]); zoobenthos in Stensovsky (v), in Zhebriyansky (6) wetlands and in Zhebriyansky bay (A) [45]; zoobenthos in the different seas (σ [36]); zooplankton and zoobenthos in the World ocean (: [26]); zoobenthos in Donuzlav lake (A[22]). A shaped line - regression, generalizing all sea objects.

увеличением V. Должно ли вообще изменяться их соотношение, или оно во всех объектах одинаково.

В группу данных, обобщаемых основной регрессией (штриховая линия), входят сообщества морских бентосных и пелагических беспозвоночных. Штриховую линию пересекают линии 3 и 4, обобщающие рыбководные системы с режимом интенсивного выращивания. Данные, отражающие пруды с карпом (линия 1) и небольшие лиманы с зообентосом, расположены в среднем на порядок жажущее возрастание живой массы по сравнению с обитаемым объектом. ниже морских систем того же объема.

Все регрессии на рис.1 в общем виде описываются уравнением:

$$\log W = \log a + b \log V \quad (1)$$

Угол наклона штриховой линии и соответствующее значение коэффициента b в уравнении ($b = 0.67$) свидетельствуют о том, что живая масса водных организмов возрастает в меньшей мере, чем обитаемый объем, по мере его увеличения.

Углы наклона линий 3 и 4 ($b = 1.25$ и 1.26 соответственно) указывают на опережающее возрастание живой массы по сравнению с обитаемым объемом. Это может объясняться повышенной (в сравнении с природными системами такого же объема) интенсивностью водообмена в рыбководных выростных садках и проточных бассейнах. Угол наклона регрессий 1 и 2 ($b = 0.93$ в обоих случаях) укывает на благоприятное соотношение W и

хотя уровень W в пресноводных системах ниже, чем в морских (при том же диапазоне V), что в литературе неоднократно отмечалось и обсуждалось [42].

Площадь поверхности зеркала водоема является другим фактором из группы Гео, который можно использовать как метрическое основание при сравнении и обобщении биокосных систем.

Приведем в качестве примера (рис.2 а) соотношения S и W в ряду природных и используемых для рыбоводства водных биокосных системах.

В выборку на рис.2 а вошли рыбоводные пруды из разных климатических регионов и стран, заселенные в основном карпом и тилапией [37, 38], и лиманы северо-западного Причерноморья (Шаболат, Днестровский, Сухой, Григорьевский) с разными породами рыб. Континентальные водоемы с зоопланктоном и макрозообентосом представлены на рис. 2 лиманами северо-западного Причерноморья (Сасык, Кугурлуй, Кагул, Шаганы, Бурнас, Днестровский, Тилигульский), малыми лиманами в районе Одессы и озерами Прибалтики. Морские водоемы представлены несколькими морями и отдельными геоморфологическими зонами Балтийского моря с зообентосом. В выборку вошло также осолоненное оз. Донузлав с зообентосом и бассейны с зобентосом, образованные гидротехническими сооружениями на побережье Черного моря в районе Одессы.

На рис.2 б по той же выборке показано соотношение между площадью водоемов и их наиболее часто используемой биологической характеристикой – биомассой (массой на единицу площади, W/S). В отличие от закономерных соотношений W и S (рис.2а), в соотношении W/S и S никакой закономерности не вы-

является.

Соотношения S и W в группах объектов (кроме рыбоводных прудов из разных стран, показанных на рис. 2а черными точками) в общем виде могут быть описаны уравнением:

$$\text{Log } W = \log a + b \log S \quad (2)$$

Значения коэффициента b для разных групп объектов лежат в диапазоне от 1.26 до 3.32. Для сравнения с частными регрессиями на рис.2а нанесена штриховая линия, для которой $b = 1$. Различия коэффициента b отражают, прежде всего, особенности геометрической формы водоемов. Общая величина W в каждой группе водоемов определяется, по-видимому, совокупностью гидрохимических и климатических условий, которые у вошедших в выборку водных объектов широко различаются.

Отметим, что уравнения (1) и (2) аналогичны в том смысле, что выражают фундаментальную связь между Био и Гео - биомассой и двумя геометрическими параметрами биокосных объектов, в основном водоемов. На естественную связь между геометрией обитаемого пространства и его заполнением живым веществом В.И. Вернадский [6] указывал еще в первой половине XX века. Много позже такая связь была проанализирована на экспериментальных биокосных системах – искусственных рифах [32, 35].

Соотношение (1) соблюдается также и в биокосных фитосистемах (рис. 3). В выборку вошли природные и антропогенные объекты морского и пресноводного типа с разным биологическим составом населения: фитопланктон в Азовском, Черном и Каспийском морях, высшая водная растительность в водохранилищах, пологи и кроны морских много-

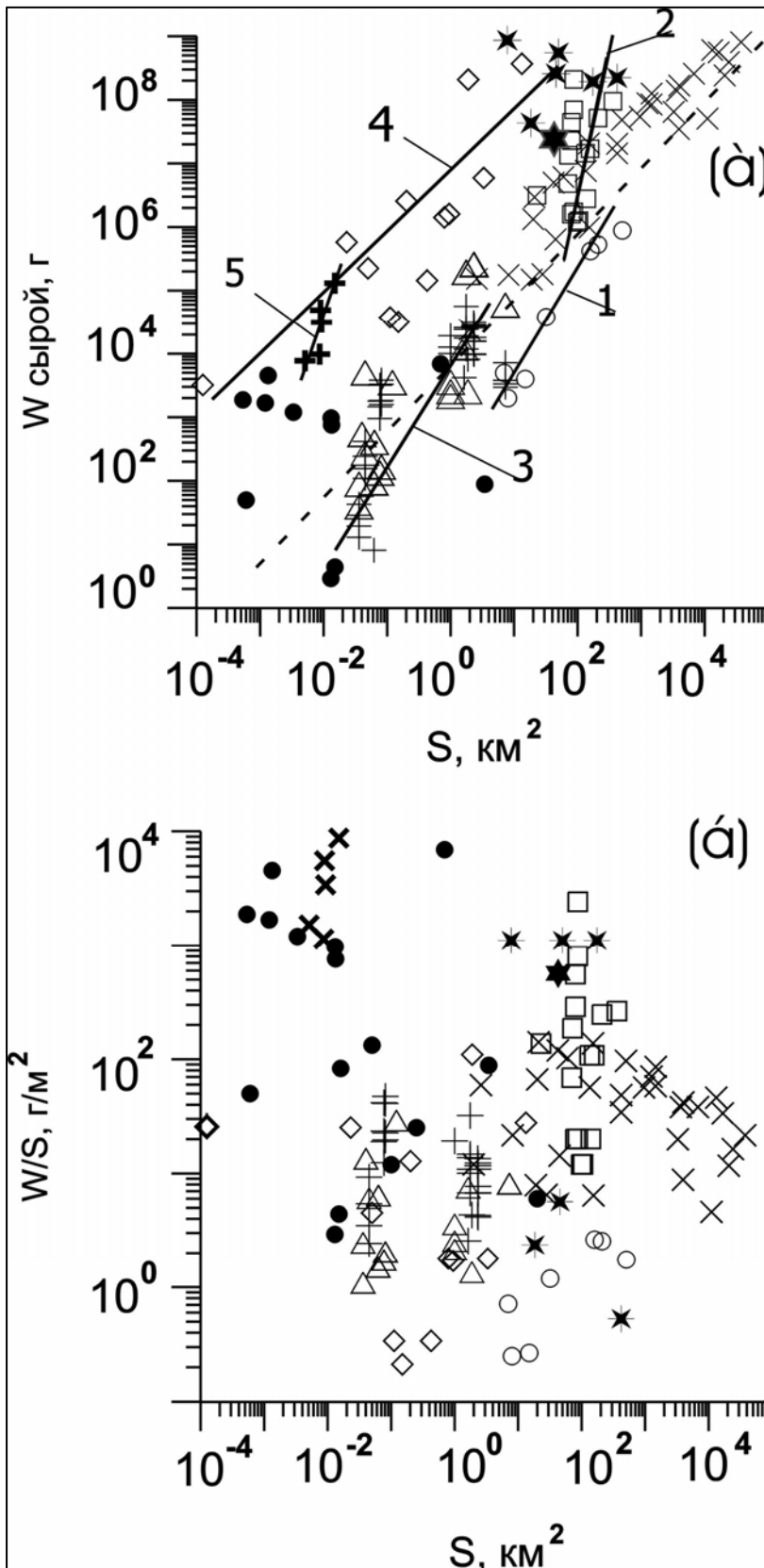


Рис. 2 а. Соотношение площади поверхности зеркала водоемов (S) и общей массы животных (W). Группы объектов и соответствующие регрессии: 1 - Рыбы одесских лиманов (○; по [25]), 2 - зообентос в больших лиманах (□ [9, 10, 19]) 3 - зоопланктон (+) и зообентос (5) в озерах Прибалтики [4]; 4 - зообентос в малых лиманах Одесской области (◇ [44]); 5 - зообентос в бассейнах, образованных гидротехническими сооружениями на Черном море в районе Одессы (:). Отдельные объекты: карп и тилапия в рыбоводных прудах Китая и Индии (λ [37, 38]); рыбы разных пород в водохранилищах (Ω [1]); макрозообентос в оз. Донузлав (A [22]); Штриховая линия проведена под углом 45° к абсциссе для сравнения с углами линий 1 - 5.

Рис. 2 б. Соотношение площади поверхности зеркала водоемов (S) и биомассы (W/S) животных. Объекты и обозначения те же, что на рис. 2 а.

Fig. 2 a. Parity of the surface area of reservoirs (S) and total weight of animals (W). Groups of objects and appropriate regressions: 1- Fishes of Odessa limans (○ [25]), 2 - zoobenthos in large limans (□ [9, 10, 19]), 3 - zooplankton (+) and zoobenthos (5) in the Baltic region lakes [4]; 4 - zoobenthos in small limans of the Odessa region (◇ [44]); 5 - zoobenthos in pools formed by hydraulic engineering structures in the Black Sea in Odessa region (:). Separate objects: carp and tilapia in fish ponds of China and India (λ[37, 38]); fish of different breeds in reservoirs (Ω [1]); macrozoobenthos in Donuzlav lake (A [22]); the shaped line is placed under a corner 45° to absciss for comparison with corners of lines 1 - 5.

Fig. 2. b. Parity of the surface area of reservoirs (S) and bioweights (W/S) of animals. Objects and designations the same, that on fig. 2 a.

клеточных водорослей, литоральные ванны с макрофитами и диатомовое обрастание на

экспериментальных искусственных рифах.

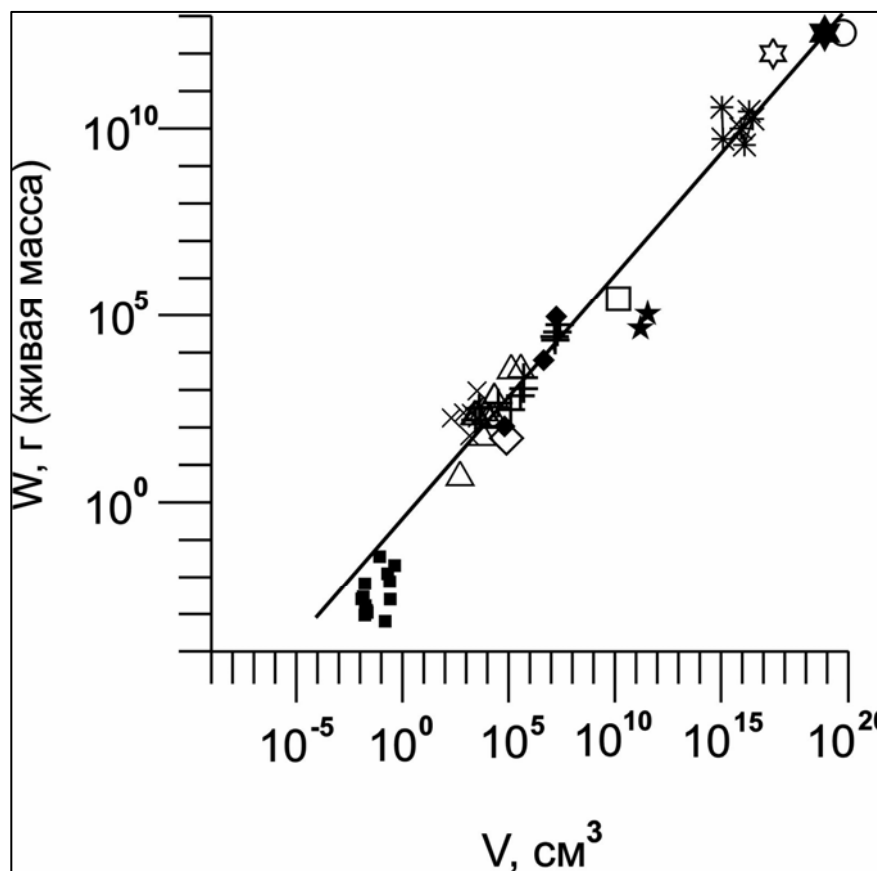


Рис. 3. Соотношение площади на земной поверхности (S) и общей живой массы (W) в биокосных фитосистемах с разными таксономическими и экологическими группами растений: сообщества фитопланктона в Азовском (Ω), Черном (A) и Каспийском (○) морях [12]; сообщества высших водных растений в водохранилищах волжского каскада (Ω; по [34]); пологи морской водоросли макроцистиса, Калифорния (H[39]), пологи морской травы zostеры (□ [41]), пологи кубышки малой в пруду, Чехия (+) [8]; пологи бурых водорослей в губе Ярнышная, Баренцево море (υ); полог ламинарии на подводных валунах (◇), литоральных ваннах (Δ) [35]; диатомовое обрастание на искусственных рифах (v [30]).

Fig. 3. A parity of the area on a terrestrial surface (S) and total alive weight (W) in bioinert phytosystems with different taxonomic and ecological groups of plants: communities of phytoplankton in the Azov (Ω), Black (A) and Caspian (○) Seas [12]; communities of the higher water plants in reservoirs of the Volga cascade (Ω[34]); canopies of seaweed *macrocystis*, California (H[39]), canopies of a sea grass *Zostera* (□ [41]), canopies of the *Nuphar minor* in a pond, Czechia (+)[8]; canopies of brown seaweed in the Yarnishnaya Bay, Barents Sea (υ); canopy of *Laminaria* on underwater boulders (◇), littoral baths (Δ) [35]; diatoms fouling on artificial reeves (v [30]).

3. Соотношение обитаемого объема и объемной концентрации живого вещества в биокосных зоо- и фитосистемах. Возвращаясь к рис. 2, отметим, что рассчитанная по этой выборке биокосных систем объемная концентрация (C_w) морского зоопланктона, зообентоса и рыб, закономерно снижается с увеличением V (рис. 4), следуя в общем виде уравнению:

$$\log C_w = \log a - b \log V \quad (3)$$

Величина C_w выражает норму физического заполнения (биологического заселения) обитаемого водного пространства живым веществом зоопланктона, зообентоса и рыб. Аналогичное соотношение C_w и V по другим исходным данным описано в [30, 31, 35].

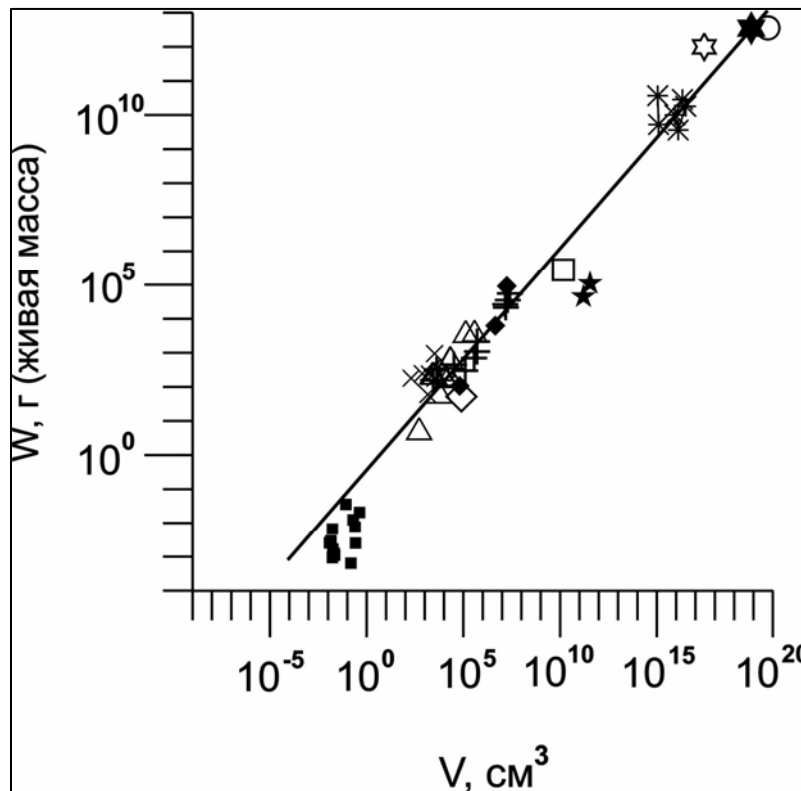


Рис. 4. Соотношение объема обитаемых пространств (V) и объемной концентрации живой массы (C_w) в биокосных системах с животными разных таксономических и экологических групп. Обозначения, как на рис. 1. Регрессии: 1 – обобщает зоопланктон и зообентос в озерах; 2 – обобщает зообентос в лиманах; 3 – обобщает все морские объекты.

Fig. 4. A parity of volume of living spaces (V) and volumetric concentration of alive weight (C_w) in bioinert systems with animals of different taxonomic and ecological groups. Designations, as on fig. 1. Regressions: 1 - generalizes zooplankton and zoobenthos in lakes; 2 - generalizes zoobenthos in limans; 3 - generalizes all sea objects.

Связь между обитаемым объемом и объемной концентрацией живого вещества наблюдается не только в природных биокосных зоосистемах, но также в аналогичных системах с водными и наземными растениями. На рис.5а (из [27]) показано соотношение параметров C_w и V в кроновых пространствах двух видов многоклеточных водорослей из Баренцева моря – *Fucus vesiculosus* и *Ascomphyllum nodosum*. В численной форме по отношению к разным таксономическим и экологическим группам растений уравнение (3) описано в [20, 27, 31].

На рис.5б приведено аналогичное соотношение, наблюдаемое в совокупности природных биокосных фитосистем разного типа. В выборку вошли системы геогенного происхождения - лиманы северо-западного Причерноморья с сообществами фитопланктона, озера Польши с аналогичными сообществами,

литоральные ванны с морскими макрофитами (пологи и ванны – из мелководий Баренцева моря), а также биогенные системы - пологи ламинарии на подводных камнях и валунах. Для сравнения с ними на рис. 5 б перенесена регрессия с рис.5 а (фукусовые водоросли в их кроновых пространствах), что выявляет подобие этих рядов.

4. *Различны или подобны Черное море и черноморская рапана?* Одна из задач этой статьи – выяснить, в какой мере внешне совершенно разные биокосные объекты биогидросферы, “принципиально различны” и в какой мере “принципиально подобны”. Имеет ли научный смысл сопоставление между собой разных “видов” биокосных систем биогидросферы (например, Черного моря и черноморской рапаны), как в биологии имеет смысл сопоставление видов организмов (кишечной палочки и голубой акулы – внешне не менее

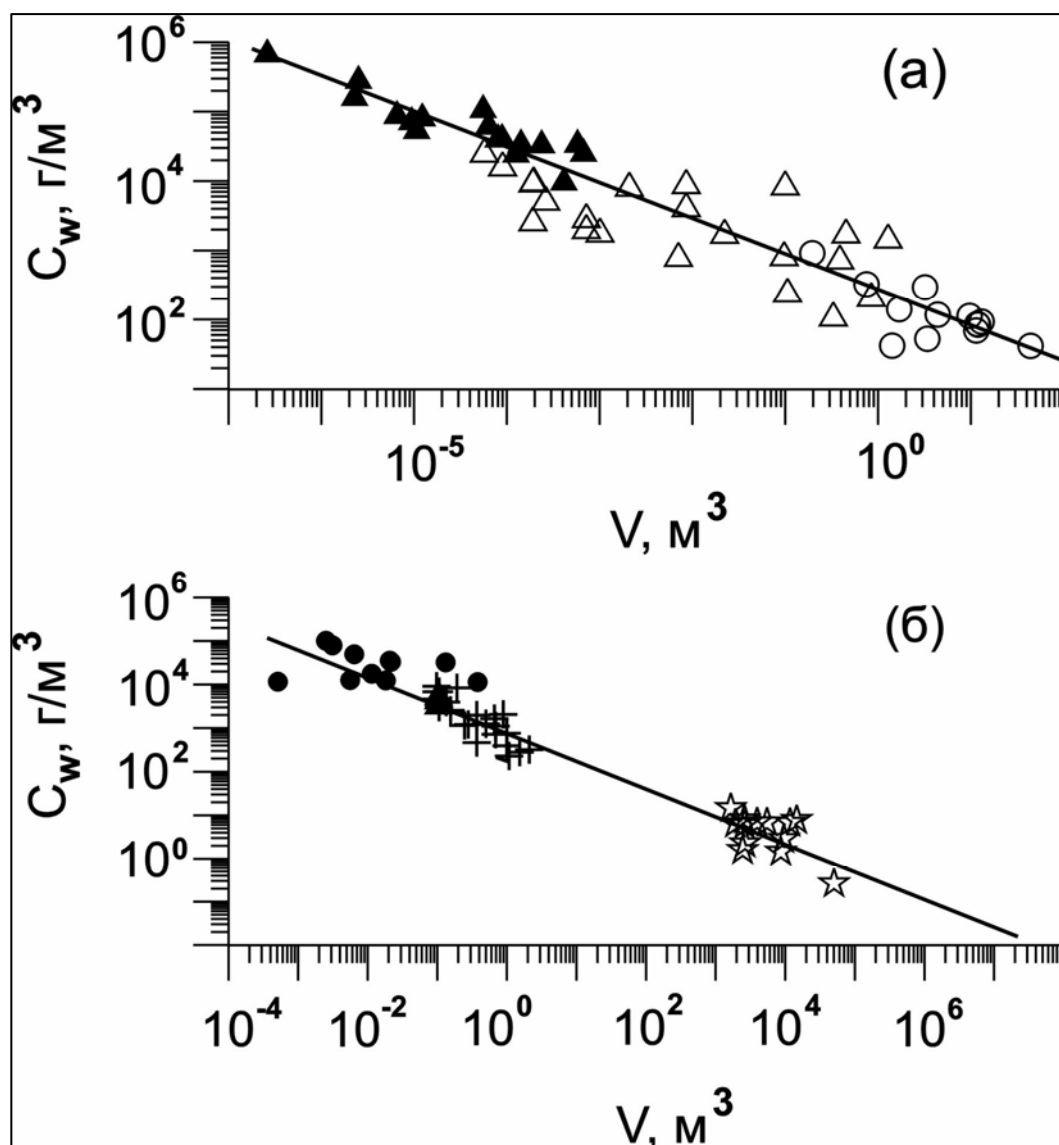


Рис. 5. Соотношение объема обитаемых пространств (V) и концентрации живой массы (C_w) в биокосных фитосистемах разного типа и уровня организации. а - кроновые пространства молодых слоевищ фукуса (σ), молодых слоевищ аскофиллума (Δ) и взрослых слоевищ аскофиллума ($\circ$); б - морские макрофиты в литоральных ваннах на побережье Баренцева моря (λ ; по [35]), пологи ламинарии на подводных валунах на мелководье Баренцева моря (Π ; [29]), сообщества фитопланктона в озерах Польши (П [43]).

Fig. 5. A parity of volume of living space (V) and concentration of alive weight (C_w) in bioinert phytosystems of a different type and level of organization. **a** - crone space of the young thally of *Fucus* (σ), young thally of *Ascophyllum* (Δ) and adult thally of *Ascophyllum* ($\circ$); **b** - sea macrophytes in littoral baths at Barents Sea coast (λ ; [35]), conopies of *Laminaria* on underwater boulders on shallows of Barents Sea (Π ; [29]), community of phytoplankton in lakes of Poland (П ; [43]).

разных, чем Черное море и рапана)? Образуют ли биокосные системы глобальную организованную совокупность, аналогичную филетическому древу – глобальной совокупности видов организмов? Наконец, была ли на Земле эволюция биокосных систем, как была эволюция видов организмов?

Если принять во внимание все морфологические и прочие признаки разных “видов” биокосных систем, то их непоподобие очевидно. У черноморского моллюска есть желудок и раковина, а у Черного моря их нет, но есть значения средней и максимальной глубины, чего нет у моллюска. Однако сравнение по параметрам общим для моллюска и Черного моря (V и W , V и C_w) выявляет черты их подобия по этим характеристикам. Чтобы выяснить, имеется ли между ними подобие по другим характеристикам, необходимо провести их численное сравнение. Утверждение о “принципиальном различии” живого тела и соленого моря с его биотой не сопровождается в биологии объективными доказательствами и, если они не будут даны, не может быть, очевидно, принято.

Разумеется, сравнение Черного моря и черноморского моллюска никакого практического интереса не представляет. С практической точки зрения полезно сравнение между собой разных биокосных гидросистем по важным экологическим (разнообразие видов, биопродуктивность, загрязненность теми или иными веществами) или хозяйственным (например, запасы зообентоса или рыб) характеристикам. Как корректно сравнить общую массу зообентоса в двух водоемах? Проще всего констатировать, что общая биомасса в водоеме А в столько-то раз больше, или меньше, чем в водоеме Б, отличном от А по объему. Но такое сравнение столь же мало

информативно, как и сравнение, например, скорости дыхания или питания рапаны в экспериментах при разной температуре. Более корректным считается сравнение скорости дыхания, приведенное к одинаковой температуре (обычно приводят к 20°C). По той же методологической причине сравнение W двух или нескольких водных биокосных систем требует их приведения к одинаковому значению S (или, как на рис.1, к одинаковому значению V). Чтобы такое приведение выполнить, необходимо иметь графическое или в форме уравнения отображение связи W с S или V водоемов. Попутно отметим, что сопоставление водоемов не по абсолютному значению живой массы (W ; как на рис. 2а), а по относительному значению (по биомассе, W/S) мало информативно.

На рис.2б не наблюдается закономерной связи между биомассой и занимаемой объектом площадью поверхности. Из всех сравниваемых водоемов наивысшая биомасса зообентоса имеется в небольших по площади берегоукрепительных гидротехнических сооружениях (в форме полуоткрытых в сторону моря бассейнах), а наивысшая биомасса рыб – в рыбоводных прудах, но сделать прогноз W/S по значению S невозможно.

5. Биокосные системы в метрике биогидросферы. Биология традиционно исследует разнообразие видов организмов, обобщая его в образе филетического древа. Образ древа позволяет наглядно выразить целостность мира организмов, поясняет единство происхождения и развития разных филумов. Исследовательское поведение биогеохимии аналогично, но лежит в другой плоскости: она изучает разнообразие биогеоморфологических “видов” водных биокосных систем [33], обобщая их в образе биогидросферы.

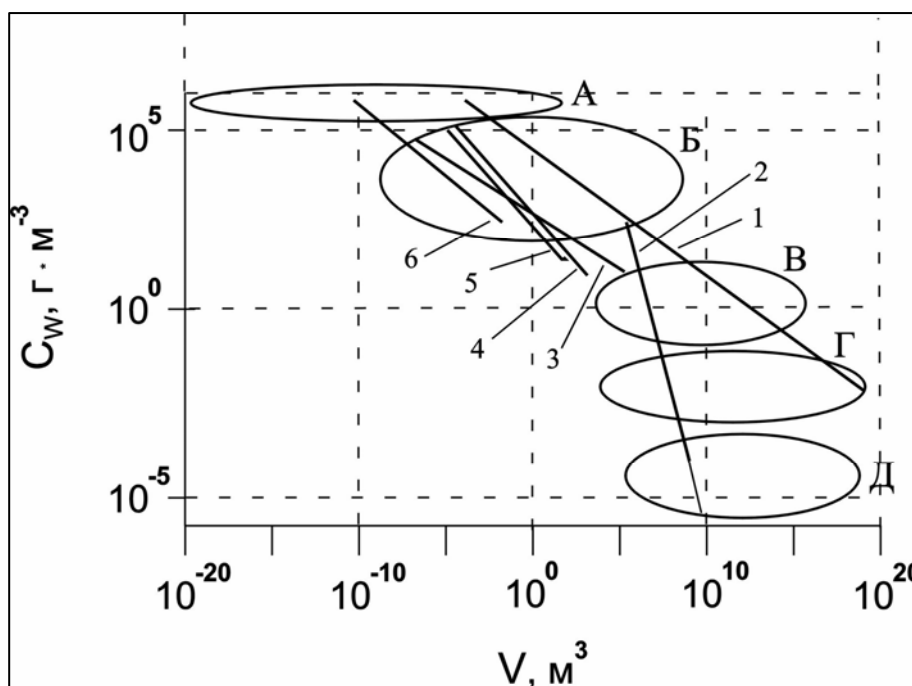


Рис. 6. Основные группы живого вещества в метрике биосферы (по соотношению C_w и V)*

Линии: 1 – разные морские зоосистемы (штриховая линия, перенесенная с рис. 2); 2 – зоопланктон и зообентос в озерах (линия 1, перенесенная с рис.2); 3 – пологи высших наземных растений [33]; 4 – пологи морских макрофитов [29]; 5 – кроны фукусов и аскофиллумов (линия, перенесенная с рис.5 а); 6 – пологи морских многоклеточных и одноклеточных водорослей на поверхности искусственных рифов [31].

Овалы: А – область, занимаемая в метрике $C_w(V)$ те-

лами живых организмов - от одноклеточных водорослей до крупнейших животных; Б - область, занимаемая системами интенсивного сельскохозяйственного растениеводства, животноводства, морской фитоаквакультурой, жилыми и прочими человекообитаемыми системами; В – область рыболовства в озерах и малых морях; Г - область крупных озер, морей и океанических вод с низкой концентрацией живого вещества; Д - область глубинных океанических вод и больших олиготрофных озер.

* Численные значения коэффициентов в (1) и области определения C_w для регрессий на рис. 6; единицы измерения: V -м³; C_w -г живой массы/м³

№ регрессии на рис.6	Количество наблюдений	$a \pm \delta$	$b \pm \delta$	R^2	Область определения (по абсциссе)
1	53	3.23 ± 0.21	-0.19 ± 0.11	0.88	$10^{-4} - 10^5$
2	47	2.37 ± 0.32	-0.51 ± 0.09	0.79	$10^{-3} - 10^2$
3	56	2.64 ± 0.23	-0.58 ± 0.08	0.83	$10^{-4} - 10^5$
4	11	2.87 ± 0.21	-0.72 ± 0.11	0.81	$10^{-4} - 10^{-2}$
5	65	5.41 ± 0.87	-0.64 ± 0.09	0.41	$10^8 - 10^{13}$
6	134	4.05 ± 0.55	-0.34 ± 0.007	0.94	$10^{-5} - 10^{18}$

Fig. 6. The basic groups of alive substance in the metrics of biosphere (on a parity C_w and V).

Lines: 1 - different sea zoosystems (shaped line transferred from a fig. 2); 2 - zooplankton and zoobenthos in lakes (line 1, transferred from fig.2); 3 - canopies of higher terrestrial plants [33]; 4 - canopies of sea macrophytes [29]; 5 - crones of *Fucus* and *Ascofyllum* (line transferred from fig.5a); 6 - canopies of sea multicellular and unicellular seaweed on a surface of artificial reefes [31].

Ovals: **a** - area occupied in the metrics $C_w(V)$ by the bodies of alive organisms - from unicellular seaweed up to the largest animals; **b** - area occupied by systems of intensive agriculture, animal industries, sea phytoaquaculture, inhabited and other man-used systems; **c** - area of fishery in lakes and small seas; **d** - area of large lakes, seas and oceanic waters with low concentration of alive substance; **e** - area of deep oceanic waters and large oligotrophic lakes.

В общую метрику на рис.6 перенесены линии регрессий с рис.4 и 5, а также помещены регрессии, взятые из [27, 28, 31], по объек-

там, которые в этой статье не обсуждались. Линия 1 отражает соотношение V и C_w в морских биокосных системах с зоопланктоном,

зообентосом и рыбами. Линия 2 соответствует озерам с зоопланктоном и зообентосом. Линия 3 отражает биокосные фитосистемы с высшими наземными растениями, линия 4 - пологи морских многоклеточных и водорослей и пресноводного фитопланктона, линия 5 – кроновые системы морских многоклеточных водорослей, линия 6 – пологи морских многоклеточных и одноклеточных водорослей на искусственных рифах.

Рис. 6 наглядно показывает, что по параметрам V и C_w миру биокосных систем свойственна определенная целостность и, вероятно, единство происхождения и развития “видов” биокосных систем. Схема филетического древа до сих пор остается качественной. Она не показывает ни общего размера мира организмов, ни его пропорций (соотношений филумов). Напротив, метрический образ биогидросферы выявляет и точное место в ней каждой группы объектов (на рисунке - регрессий), и соотношения разных групп.

Обратим внимание на различие и сходство положения телесных и надтелесных объектов. Телесные системы, сформировавшиеся в ходе эволюции водных и наземных организмов, составляют примерно 22 порядка по V . Концентрация сухого вещества в живых телах поддерживается в узком (один порядок) диапазоне C_w . Живые тела объемом значительно больше $2 \cdot 10^2 \text{ м}^3$ эволюционно бесперспективны; в биосфере их нет. Надтелесные системы с морскими растениями и животными занимают в метрике биогидросферы значительно больший диапазон: от 10^{-10} до 10^{20} м^3 по объему (30 порядков). Примечательно, что в мелких обитаемых пространствах (10^{-11} - 10^{-9} м^3) концентрация живого вещества в наземных и водных системах примерно одинакова, но с увеличением V регрессии расходятся: в

водной среде концентрация автотрофного вещества существенно ниже, чем в наземной. Укрупнение надтелесных пространств сопровождается значительным (от $9 \cdot 10^5$ до примерно 10^6 г живой массы в 1 м^3) снижением концентрации живого вещества в них.

Вся метрика биогидросферы по параметрам V и C_w лежит в диапазоне от 10^{-20} до 10^{20} м^3 по обитаемому объему и в диапазоне от 10^{-6} до 10^6 г/м^3 по концентрации живого вещества. Показано [32], что интенсивность водообмена в биокосных системах от мельчайшего живого тела до Мирового океана различается в 10^{14} раз, с учетом обмена крови в кровеносных сосудах млекопитающих в 10^{17} раз. Из рис. 6 следует, что логарифмическим центром метрики биогидросферы по параметрам V и C_w является 1 м^3 и 1 г живого вещества в м^3 .

В координатах V и C_w условно можно выделить четыре области. Наибольшая концентрация жизни достигнута в телесном жизненном состоянии (область А), наименьшая - в глубинных водах океанов и океанических впадинах (область Д). В области В сосредоточены озера среднего размера и малые (типа Азовского и Черного) внутренние моря. Им свойственна концентрация живого вещества порядка 1 г/м^3 и они наиболее используются в режиме промыслового лова. В области Г наблюдается концентрация живого вещества, в среднем характерная для морей и больших озер. Наконец, область Б охватывает большую часть выростных интенсивных систем - рыбководных, животноводческих, растениеводческих. Здесь же находится и большая часть человекообитаемых систем. По значениям V логарифмический центр области Б - 1 м^3 , а средняя концентрация живого вещества имеет порядок 10^3 - 10^4 г/м^3 .

Метрика биогидросферы в графическом виде, даже ограниченная всего двумя переменными, выполняет роль ее компактного образа. Наиболее концентрированная организменная форма жизни и ее эволюция занимает в метрике биогидросферы довольно скромное место. Надорганизменные формы земной жизни все более и более растекаются в пространстве биосферы, достигая минимальной (в пределах Земли) концентрации. Эволюционные интерпретации, даваемые биологией, ограничены организмами, видами и многовидовыми комплексами. На большую часть биокосных систем биогидросферы принципы дарвиновской эволюции не распространяются. В эволюции надтелесных систем, при свойственной им очень низкой концентрации живого вещества, генетический механизм наследственности и ее изменчивости полновесной формирующей роли играть не может. Но не должен он и игнорироваться.

Сопоставление разных видов биокосных систем в метрике биогидросферы показывает что историческое развитие биогидросферы представляет собой взаимосогласованную коэволюцию косной географической оболочки Земли и живого вещества в ее пространстве и на ее разнообразных поверхностях.

6. *Поиск адекватных подходов к изучению биогидросферы.* Вопрос о размерах биогидросферы и о ее характерной метрике имеет следствия, относящиеся к стратегии предстоящих в 21-м веке исследований. Объекты, индивидуальный объем которых лежит в океанографическом и макроэкологическом диапазоне (от 10^2 до 10^{20} м³), хотя и можно, но вряд ли рационально исследовать с тем же шагом, с которым исследуют объекты биологического диапазона (от 10^{-20} до 10^2 м³). Из рис. 6 следует, что надорганизменные объекты

биогидросферы требуют значительно более крупного (в среднем на 9-10 порядков) исследовательского шага, чем объекты организменного ряда. В этой связи уместно сопоставить масштабы исследовательских шагов, при изучении объектов биогидросферы в биологии и в науках о Земле, в том числе в биогеохимии.

Изучение биоты на суше стало плодотворно развиваться четыре столетия тому назад. Главными единицами (и шагами изучения) в мире растений и животных стали особь и биологический вид. Однако за четыре века все видовое разнообразие организмов так и не было полностью биологией охвачено. Изучение жизни на уровне особей (их анатомии, физиологии, биохимии и т.д.) заняло полтора-два столетия и продолжает развиваться, особенно бурно на молекулярно генетических уровнях. Молекулярная биология работает на протяжении полувека, но с объектами, лежащими далеко за пределами биогидросферы (средний геометрический объем молекул липидов равен 10^{-27} м³ и нуклеиновых кислот 10^{-24} м³ [23]). В размерном диапазоне организмов (от 10^{-20} до 10^2 м³) большая часть исторического времени ушла на изучение относительно крупнотелых форм (примерно 10^{-8} - 10^2 м³), тогда как пико- и нанопланктон водоемов (10^{-20} – 10^{-15} м³), играющий в метаболизме биоты основную роль, изучается не более четверти века. Разные “виды” биологических сообществ изучены гораздо менее, чем виды организмов, а эволюция сообществ еще менее.

Тот факт, что свойственные биологии шаги исследования в основном мелкомасштабны (вид, особь, клетка) и мало соизмеримы с крупномасштабной биогидросферой, вероятно, в значительной мере объясняет высокую относительную затратность (по вековому

времени, по людским и финансовым ресурсам с учетом многих поколений биологов) многих природоведческих исследований при их значительной незавершенности. К тому же, научная стратегия биологии направлена от вида и особи ко все более глубоким, молекулярным уровням с их наивысшей среди биологических наук наукоемкостью и стоимостью.

Стратегия современной общей экологии, гидроэкологии и наук о биогидросфере направлена в противоположную сторону – от организма ко все более высоким уровням организации, вплоть до биогидросферы. Объектами и шагами биогидросферного (наиболее важный участок - от $2 \cdot 10^2$ до 10^{20} м³ по V) исследования стали не гидробионты и их виды, а водоемы, их геоморфологические части с биотой, изучаемой преимущественно на уровне крупных таксонов, биотических групп, трофических уровней, экологических зон, подводных ландшафтов и др. На изучение жизни в надорганизменной части биогидросферы гидроэкология, лимнология, океанология и другие науки о Земле имели меньше столетия. Естественно, что за такой срок изучить ряд обитаемых объектов биогидросферы, превышающий ряд организмов в 10^{18} раз, совершенно невозможно. Сколько же исторического времени и разного рода ресурсов может потребовать дальнейшее изучение мезо- и крупномасштабных объектов биогидросферы и ее в целом?

Исследование объектов водоемного ранга требует огромных научных и производственных усилий, финансовых затрат и времени. Экология водоемов опирается сегодня на балансовый подход. Всестороннее балансовое исследование обмена веществ в каскаде из

трех небольших озер Белоруссии потребовало многолетней работы очень опытного коллектива биологов и экологов [17,11]. Для балансового анализа обмена веществ хотя бы только в главных экосистемах морского и океанического ранга с проработкой биоты традиционным шагом биологии потребовались бы совершенно непосильные затраты средств и времени. Да и вряд ли столь подробный анализ глобальных и субглобальных объектов необходим. Современное изучение биогидросферы должно иметь исследовательский шаг, соответствующий ее масштабам на каждом участке размерного диапазона. Заметим, что это нисколько не умаляет значения биологических структурных единиц и шагов в диапазоне от 10^{-20} до 10^2 м³.

Показанная выше скоррелированность Био и Гео в составе биокосных зоо- и фитосистем разного размера и ранга имеет важное методологическое значение. Она позволяет исследовать структуры и функции крупномасштабных объектов в размерных рядах - точно так же, как в биологии и экологии исследуют скоррелированность структур и функций организмов разных видов.

Результативность структурно-функционального анализа размерных серий организмов предвещает эффективность аналогичного подхода при изучении надорганизменных объектов в размерных сериях. Изучение биогидросферы в терминах биокосных систем может также содействовать сближению нередко все еще разобщенных биологических и океанографических работ и позволит сделать исследование биогидросферы менее затратным в финансовом, материальном и кадровом отношениях.

1. *Абаев Ю. И.* Товарное рыбоводство на внутренних водоемах (на примере отдельных водохранилищ и озер северного Кавказа). - М.: Пищ. пром-сть, 1980. - 111 с.
2. *Александров Б. Г., Андриенко Т. Д., Волох А. М. и др.* Мониторинг поддержание биологического разнообразия в водно-болотных угодьях Украины. - Мелитополь: Бранта, 1995. - 220 с.
3. *Александров Б. Г., Юрченко Ю. Ю.* Зависимость структурно-функциональных свойств морского зоообитания от геометрии твердых субстратов / Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. - Севастополь, 2000. - С. 367-376.
4. Антропогенное воздействие на малые озера. Л.: Наука, 1980. - 282 с.
5. *Вернадский В. И.* Биосфера (избранные труды по биогеохимии). - М.: Мысль, 1967. - 374 с.
6. *Вернадский В. И.* Размышления натуралиста. Пространство и время в неживой и живой природе. - М.: Наука, 1975. - 173 с.
7. *Вернадский В. И.* Живое вещество. - М.: Наука, 1978. - 357 с.
8. *Гейны С., Соукупова Л., Распопов И. М.* Влияние эвтрофирования на развитие кубышки малой в Южной Чехии / Гидробиологические процессы в водоемах. - Л.: Наука, 1983. - С. 214 - 243.
9. *Гринбарт С. Б.* Зообентос лиманов северо-западного Причерноморья как кормовая база промысловых рыб / Тр. 1-й ихтиол. конф. по изучению морских лиманов северо-западной части Черного моря. - Кишинев, 1960. - С. 135 - 147.
10. *Гринбарт С. Б.* Зообентос лиманов северо-западного Причерноморья и смежных с ним участков моря: автореф. дисс. ... соиск. учен. степ. докт. биол. наук. - Одесса, 1967. - 52 с.
11. *Жукова Т. В.* Потоки фосфора и азота в пограничном слое "дно-вода" и их роль в функционировании полимиктических озер: автореф. дисс. ... соиск. учен. степ. докт. биол. наук. - Минск, 2001. - 39 с.
12. *Зенкевич Л. А.* Биология морей СССР. - М.: Изд-во АН СССР, 1963. - 739 с.
13. *Кандиев А. Н.* Биологические основы искусственного разведения лососевых рыб. - М.: Легкая и пищ. пром-сть, 1984. - 216 с.
14. *Корелякова И. Л.* Растительность Кременчугского водохранилища. - Киев: Наук. думка, 1977. - 197 с.
15. *Моисеев П. А.* Биологические ресурсы океана. - М.: Агропромиздат, 1985. - С. 153 - 165.
16. Озера Белоруссии. Справочник. Том 2. Минск: Издание Белгоруниверситета, 1985. - 258 с.
17. *Остапеня Ф. П., Ковалев А. А., Жукова Т. В. и др.* Экологический паспорт озера Нарочь. - Препринт №14. Минск, 1993. - 95 с.
18. *Полищук В. В.* Гидрофауна понизовья Дуная в пределах Украины. - Киев: Наук. думка, 1974. - 420 с.
19. *Полищук В. С., Замбрибориц Ф. С., Новилов Б. И. и др.* Лиманы северного Причерноморья. - Киев: Наук. думка, 1990. - 204 с.
20. *Празукин А. В.* Структура кронового пространства слоевища черноморской Водоросли *Cystoseira crinita* // Альгология. - 2000. - **10**, №2. - С. 119 - 130.
21. *Родин Л. Е., Базилевич Н. И.* Динамика органического вещества и биологический круговорот в основных типах растительности. - М.: Наука, 1965. - 253 с.
22. *Самышев Э. З., Сеничкина Л. Г., Георгиева Л. В. и др.* Структура и функционирование сообществ планктона и бентоса в озере Донузлав / Актуальные вопросы экологии Азово-Черноморского региона и Средиземного моря: Тез. конф. - Симферополь, 1993. - 128 с.
23. *Сетлоу Р., Поллард Э.* Молекулярная биофизика. - М.: Мир, 1964. - 436 с.
24. Справочник по озерному и садковому рыбоводству. М.: Легкая и пищ. пром-сть, 1983. - 311 с.
25. *Старушенко Л. И., Бушуев С. Г.* Причерноморские лиманы Одесщины и их рыбохозяйственное использование. - Одесса.: Астропринт, 2001. - 149 с.
26. *Суетова Н. А.* Закономерности количественного распределения биомассы суши и океана // Вестн. Моск. гос. ун-та. - 1973. - N 6. - С. 40 - 46.

27. Хайлов К. М. Биогеоморфологические ряды в биосфере Земли // Успехи совр. биол. - 2000. - **120**, №5. - С. 425 - 432.
28. Хайлов К. М. Что такое жизнь на Земле? - Одесса: Друк, 2001. - 238 с.
29. Хайлов К. М., Празукин А. В., Ковардаков С. А., Рыгалов В. Е. Функциональная морфология морских многоклеточных водорослей. - Киев: Наук. думка, 1992. - 280 с.
30. Хайлов К. М., Празукин А. В., Рабинович М. А., Чепурнов А. В. . Связь биологических параметров фитообрастания с физическими параметрами экспериментальных рифовых конструкций // Водные ресурсы. - 1994. - **21**, №2. - С. 166 - 175.
31. 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**, Вып.1. - С. 4 - 14.
32. Хайлов К. М., Юрченко Ю. Ю., Смолев Д. М. Геометрические условия заполнения гидробионтами пространств и поверхностей искусственных жилищ // Успехи совр. биол. - 1998. - **118**, Вып.5. - С. 585 - 594.
33. Хайлов К. М., Юрченко Ю. Ю., Шошина Е. В. О связи геометрических, биологических и трофодинамических характеристик водных биокосных фитосистем // Океанология. - 2001. - **41**, №3. - С. 1 - 8.
34. Экзерцев В. А. , Лисицина Л. И. Изучение растительных ресурсов водохранилищ волжского каскада / Биологические ресурсы водохранилищ. - М.: Наука, 1984. - С.89 – 99.
35. Юрченко Ю. Ю. Биогеохимический подход в изучении обрастания и в задачах конструирования искусственных рифов: дисс. ...соиск. учен. степ. канд. биол. наук. - Севастополь, 2000. - 21 с.
36. Ярвекюльг А. Донная фауна восточной части Балтийского моря. - Таллин: Изд. Валгус, 1979. - 382 с.
37. Ahmed M. Status and potential of aquaculture in small waterbodies (ponds and ditches) in Bangladesh // Iclarm.Thech.Rep.Manila. - 1992. - N.37. - 36 p.
38. Du,-Xinghua; Duan,-Dengxuan; Gu,-Hailin; Liu,-Shuyun. On high yield of intensively farming carps in the pond on the low-lying saline-alkali land // Shandong. Fish. Quil.Yuye. - 1995. - **12**, N3. - P. 7 - 9.
39. Fernandez-Carmona G., Rodriguez-Montesunos, Y.E. Evaluation of Macrocystis pyrifera kelp in Baja, California // Sienc Mar. - 1989. - **15**, N 4. - P. 117 - 140.
40. Lebedev V., Aiatulin T., Khailov K. The living ocean. - M.: Progress Publ., 1989. - 327 p.
41. McKenzie L. J. Seasonal changes in biomass and shoot characteristics of a Zostera capricorny dominant meadow // Austr. J. Mar. Freshwat. Res. - 1994. - **45**, N7. - P. 1337 - 1352.
42. Nixon S. W. Physical energy inputs and the comparative ecology of lake and marine ecosystems // Limnol. Oceanogr. - 1988. - **33**, 4. - P. 1005 - 1025.
43. Spodnievska I. The phytoplankton of 43 lakes // Ecologia Polska. - 1983. - **31**, N2. - P. 353 - 281.
44. Yurchenko Yu. Yu., Goncharov A. Yu., Khutornoy S. A., et al. The biological characteristic of small salt lakes of Odessa region // 8th Internat. Conf. on salt lakes. - Zhemchuzhny, Republic of Khakasia, 2002. - P. 126.
45. Khailov K. M., Yurchenko Yu. Yu. Trophic ranging of reservoirs and water fitosystems on totality of biogeochemical characteristics // 8th Internat. Conf. on salt lakes. - Zhemchuzhny, Republic of Khakasia, 2002. - P. 28.