

УДК 577.475:582.281(268.45)

Бардан С.И., к.б.н.,

Мурманский морской биологический институт, КНЦ РАН, г. Мурманск (Россия)

Сербов Н.Г., к.г.н.,

Одесский государственный экологический университет, г. Одесса (Украина)

ФРАКТАЛЫ В БИОГЕОГРАФИЧЕСКИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЯХ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ СОСТАВ БАКТЕРИОЦЕНОЗОВ ЗИМНЕГО ПЛАНКТОНА НА ПРИМЕРЕ ПЕЧОРСКОГО МОРЯ

По данным микробиологических съемок в зимние сезоны 2002-2005 гг., выполнен анализ условий формирования обилия доминирующих групп зимнего бактериопланктона Печорского моря. Обсуждаются количественные формы моделей, определяющих характеристики групп бактерий с комплексом факторов, вида: L и H – координаты точек в Печорском море, ΣV_f – биомасса фототрофов.

Ключевые слова: зимний планктон, бактериоценоз, нанобактерии, фракталы, моделирование

В экологии и биогеографии сформулировано множество правил посвященных адаптации организмов к условиям среды [1]. Разные виды, живущие в близких условиях, обычно сталкиваются и со сходными ограничениями, на которые вырабатывают сходные реакции, согласно законам толерантности к действию основных экологических факторов [2, 3]. То же относится и к набору потенциальных возможностей. В водах субарктических морей России, большую часть года доминируют три температурные формы бактериопланктона: психрофилы, психротрофы и мезофилы [4, 5]. Это экологически специализированные группировки гетеротрофных микроорганизмов, способные выполнять свои функции в экосистеме круглогодично и вне зависимости от развития других форм зимнего планктона, в т.ч. продуцентов органических веществ (ОВ) - фото(литоавто)трофных организмов [2, 3].

Данные в открытой печати по характеристикам бактериоценозов в водах пелагиали Печорского моря для подледных периодов отсутствуют, так же как и исследования по оценке роли разных экологических факторов при формировании структуры бактериоценозов или обилию доминирующих групп для зимних сезонов. В определенной степени и по этой причине значительная часть исследователей, даже в настоящее время, считают, что по сравнению с водами умеренных или теплых широт или по отношению к летним сезонам, скорости биологических процессов зимой замедляется. Причем, за счет снижения температуры водной среды (T_w), хотя такая гипотеза давно опровергнута множеством работ [4, 5, 6]. Более того, исследования температурной зависимости показывают, что $T_w < 0^\circ\text{C}$ (до -1.9°C), активируют бактериальный рост, например, снижая период генерации бактерий до суток и менее [4, 7, 8, 9, 10]. И наоборот, экспериментально показано, что рост T_w выше превышающих характерную для биотопов, в котором функционируют бактерии в природе, приводит к ингибированию их метаболизма [5, 6, 10]. Тем не менее, материалов опубликованных по характеристикам обилия и активности бактериоценозов в зимнем планктоне для подледных условий недостаточно для обеспечения достоверности заключений [6, 7, 11, 12, 13, 14, 15]. Поэтому анализ условий, в которых проходит деятельность бактериопланктона зимой, а также количественные оценки влияния разных факторов на микроорганизмы, включая и биогеографические, сохраняют свою актуальность.

Целью нашей работы является выявление общих биогеографических закономерностей формирования характеристик обилия, на примере доминирующих

групп гетеротрофных бактерий в планктоне Печорского моря для средней фазы зимы (февраль). Придерживаясь принципа представления таких зависимостей в количественных формах, используются методы статистического анализа (факторный, регрессионный и другие) [14, 16, 17].

Материалы и метод исследований. Экспедиционные обследования выполнены на атомных ледоколах “Арктика” и “Россия” в 2002, 2003 и 2005 годах (ММП, г. Мурманск, Россия). Работы проводили на акватории Печорского моря и в примыкающих водах Баренцева, Белого и Карского морей, удаленных от припайного льда. Наблюдения охватывали до 60% площади Печорского моря и проведены в период с устойчивым сезонным ледовым покровом. Характеристика условий в период микробиологических съемок приводится на рис. 1.

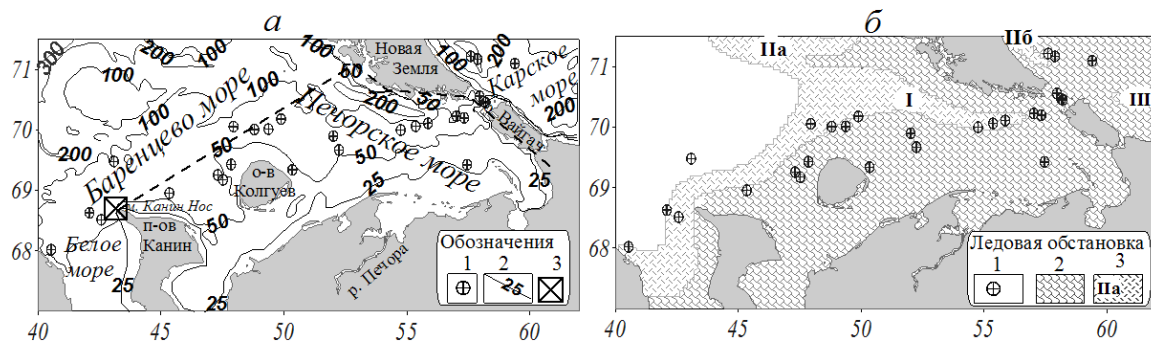


Рис. 1 - Характеристика условий микробиологических съемок Печорского моря, выполненных в первой половине февраля 2002, 2003 и 2005 гг.:

а) – распределение глубин и положение станций, прерывистой линией показаны географические границы, цифрами в легенде: 1 – станции, 2 – изобаты (25, 50, 100, 200 и 300 м), 3 – положение особой точки – м. Канин Нос ([18], см. текст);

б) - осредненная ледовая обстановка, цифрами и штриховкой: 1 – станции, 2 –ледовые поля (≥ 8 б), 3 –зоны разрежения льдов и стационарные полыньи [19].

В комплекс наблюдений входили определения физико-химических и микробиологических параметров слоя 0-100 м, под ледовыми полями разной сплоченности. В настоящей работе используется массив данных по станциям, выполненным в период с 1 по 15 февраля, в ряду смежных 2002, 2003 и 2005 гг. Всего, на 31 станции, показанных на рис. 1 а,б, отобрано более 60 проб, в которых определялись микробиологические показатели. Римскими цифрами на рис. 1 б показаны стационарные заприпайные полыньи: I – Печорская, II а,б – Западно- и Восточно-Новоземельская, III – Амдерминская, являющихся частью Северного морского пути [8, 18, 19]. Заприпайные полыньи - это большие пространства чистой воды и молодых льдов, толщиной 5-30 см, которые в зимний период, образуются между неподвижным припаем и дрейфующими льдами [18].

Пробы воды в полыньях и разломах отбирали на ходу судна (с глубин 1-5 м), при кратковременных стоянках в ледовых полях, с глубин до 100 м, пластиковыми 2-л и 6-л батометрами (б). Предварительную обработку выполняли стандартными методами в модификациях адаптированных к условиям Арктики [12-14, 16]. Солёность (S , ‰) определяли по электропроводности, температуру воды (T_w , °C) термометрами, показатели pH и Eh - потенциметрически. Аналитические определения растворенных минеральных и органических форм (РОВ) биогенных элементов выполнены в фильтрах, после пропускания проб через ядерные фильтры с порами диаметром $d_{эф} = 0.45$ мкм (производства ОИЯИ РАН, г. Дубна) в насадках “Нуклеопор” [12, 14].

Определение общего бактериопланктона и фототрофов. Сразу после отбора, пробу на общий бактериопланктон, объемом 0.5 (или 1 мл), фильтровали под небольшим вакуумом 0.1-0.2 атм через ядерные ультрафильтры с порами $d_{\text{эф}} = 0.09$ мкм, в оправке с калиброванным отверстием [12]. Препарат фиксировали в парах этанола, дальнейшую обработку проводили согласно прописи [20]. В качестве реакционноспособного флуоресцирующего красителя использовали 0,02% раствор флуорескамина [12, 20]. Счет бактериальных клеток, измерение размеров и определение принадлежности к учетным группам, вели методом прямого счёта по Разумову, используя флуоресцентную микроскопию [21]. Просмотр вели на увеличении $\times 1500$, по полям разного диаметра. Размеры учтенных клеток измеряли окулярным микрометром, численность разных групп бактерий и просмотренную площадь препаратов дифференцировали по правилу «тысячи» [12, 14]. Выделение учетных морфологических групп и размерных фракций для бактериальных препаратов на ядерных фильтрах проводили по рекомендациям [21, 22]. Критериями выделения являлись а) форма и б) длина клеток (L), а также в) отношение L с характерным диаметром (d), на основании которых, для бактериопланктона выделяли до 10-ти учетных групп и отдельных фракций.

При анализе условий функционирования бактериоценозов привлекали данные по группам морского планктона содержащих активный хлорофилл “а” (*Chl* “а”) [12-14]. Численность и размер клеток в группе фото(литоавто)трофных микроорганизмов [2], получены по живым препаратам на ядерных фильтрах методами эпифлуоресцентной микроскопии (“Биолам Д2У1.1” с модифицированной приставкой “ОИ–30 УХЛ 4.2 ЛОМО” с водо-иммерсионным объективом $\times 40$), при увеличении $\times 600$ и $\times 1200$, по полосам и полям, соответственно [14]. Пробу 50-250 мл фильтровали под небольшим давлением через калиброванную насадку с окрашенным Суданом черным ядерным фильтром (поры $d_{\text{эф}} = 0.2$ мкм). Влажный препарат закрывался покровным стеклом и микроскопировался (количественная модификация метода «живой капли») [12, 14].

При определении клеточного объема V (мкм³) групп бактерий, их форму приравнивали к известным геометрическим фигурам: сфера, цилиндр, эллипсоид, клин или рассматривали как комбинацию простых [12, 14]. Расчет общих и групповых показателей обилия бактерий и фото(литоавто)трофного планктона для численностей - ΣN_i , биомасс - ΣB_i и площадей поверхности - ΣS_i , проводили по схеме [23]. Обозначения и размерности показателей обилия в разных группах микрофлоры приводятся в примечаниях к таблицам или по тексту. Применяемая схема выделения позволяет вести количественный учет характеристик обилия функционально специализированных групп бактерий (и фототрофов), а также образуемых ними ценологических группировок [1, 14, 23].

Полученные результаты и их анализ. *Разновидности зимних вод и условия обитания бактерий.* Работы проводили в условиях сплошного перекрытия акватории Печорского моря ледовыми полями разной сплоченности (см. рис. 1б). С использованием параметров физико-химического комплекса проведено выделение основных типов вод (ВМ), взаимодействующих на акватории Печорского моря в средней фазе зимы (февраль). По треугольникам смешения T, S -диаграмм, для центральной части Печорского моря и прилегающих вод, выделено несколько разновидностей зимних ВМ, которые на рис. 2а околонтурены овалами соответствующих диапазонов T_w, S -параметров.

Во-первых, это воды с S более 34,4‰ и T_w от -2.2 до +0.2°C, представляющие ядро баренцевоморских вод (БарВМ) зимних модификаций [8, 18, 19]. Во-вторых, опресненные воды с $S \leq 33,5$ ‰ и T_w близкой к температурам их замерзания, формирующиеся при участии стоковых течений поступающих из Белого моря (БелСТ)

и Печорской губы (ПечСТ) [18, 19]. Отдельно выделены промежуточные, трансформированные стоковыми течениями баренцевоморские воды (БарВМтр), с диапазоном $33.5 < S < 34.4\%$ и T_w от 0.0°C до -2.3°C .

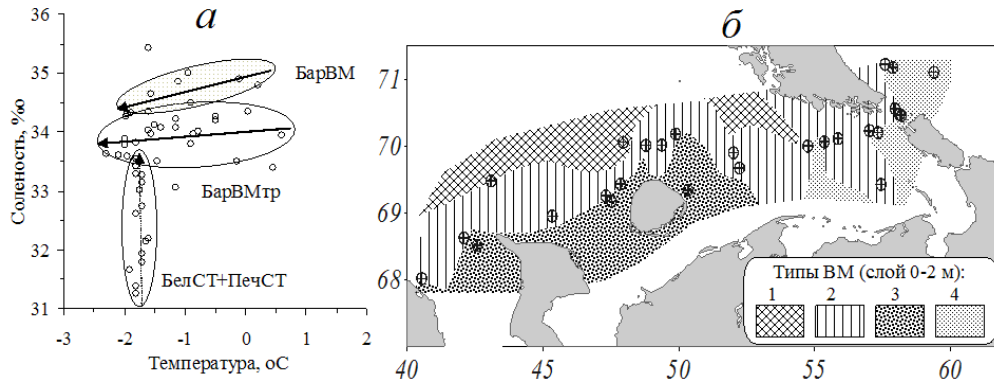


Рис. 2 - Общие результаты анализа T_w, S -индексов на акватории Печорского моря в средней фазе зимних сезонов 2002—05 гг.:

а) выделение зимних разновидностей вод по треугольникам смещения T, S -диаграмм, овалами выделены характерные области T_w, S -параметров, стрелками – направление трансформации вод;

б) распределение зимних вод в слое 0—2 м, штриховкой и цифрами показаны: 1 – БарВМ, 2 – БарВМтр, 3 – БелСТ, 4 – ПечСТ (аббревиатуры, см. текст).

На рис. 2б, по результатам T, S -анализа, показаны области распространения ВМ в слое 0-2 м, на обследованной акватории. Зимой область распространения БарВМ в Печорском море оценивается в 25% площади, а для БарВМтр - до 35%. Область влияния БелСТ охватывает южную часть моря - западнее 53° в.д., а ПечСТ - расширяется на восток [18]. Смеси вод находящихся под влиянием БелСТ составляли 25%, для области влияния ПечСТ – до 15% в общей площади моря (см. рис. 1-2).

Анализ T_w, S -индексов в ряду смежных лет (2002-2005), позволяет сделать заключение об устойчивости распределения выделенных разновидностей вод в Печорском море для зимних сезонов (рис. 2б). Это дает возможность расчета средневзвешенных ($X_{ср}$) оценок параметров физико-химического комплекса, с учетом частных площадей (S_i) или объемов занимаемых в водной призме: $X_{ср} = \sum x_i S_i / \sum S_i$, где x_i – среднее в данной ВМ, $\sum S_i$ – обследованная площадь [17] (Лакин, 1989). Результаты осреднения показателей, характеризующих условия существования бактериопланктона в средней фазе зимы по выделенным разновидностям ВМ, сведены в табл. 1.

В нижней строке табл. 1 приводятся средневзвешенные $X_{ср}$, с учетом частных площадей S_i распространения ВМ в слое 0—2 м. Для сравнения характеристик стоковых течений, здесь же приведены данные по съемке в северо-восточной части Белого моря (БелВМ*) за этот же период. В расчете $X_{ср}$ Печорского моря, здесь и далее, данные по БелВМ* не используются.

Анализ табл. 1 показал, что при ранжировании параметров физико-химического комплекса по характерным уровням, образуются закономерные последовательности, составленные формами выделенных ВМ, такого вида:

$$\{T_w-S, \text{ или } \Sigma N_{ов}\} \rightarrow \{\text{БарВМ} > \text{БарВМтр} > (\text{БелСТ} \leftrightarrow \text{ПечСТ})\} \geq \text{БелВМ} \quad (\text{A})$$

$$\{O_2 \text{ или } \Sigma C_{ов}, \Sigma B_f\} \rightarrow \{\text{БарВМ} > \text{БарВМтр} > (\text{ПечСТ} \leftrightarrow \text{БелСТ})\} \quad (\text{A1})$$

$$\{NO_2, pH, \text{ или } P_{ров}\} \rightarrow \{\text{БарВМ} \leq \text{БарВМтр} \leq (\text{ПечСТ} \leftrightarrow \text{БелСТ})\} \quad (\text{B})$$

Таблиця 1 - Осередненні по слоям и зимним типам ВМ, параметри фізико-хімічного комплексу вод Печорського моря на першу половину лютого 2002-05 гг.

Показат./ тип ВМ	Ряд п	T_w °C	S ‰	H м	L км	pH_{25} б/р	$\Sigma N_{ов}$ мкгN/л	$\Sigma P_{ов}$ мкгP/л	$\Sigma C_{ов}$ мгC/л	ΣB_f Мкг/л
БарВМ	9	-0.85	34.84	126	351	7.91	619.3	10.6	3.36	30.6
БарВМтр	31	-1.45	33.98	110	439	7.92	290.4	18.3	3.35	8.42
ПечСТ	8	-1.63	32.60	130	573	8.01	214.0	17.7	3.06	4.07
БелСТ	14	-1.51	32.76	60.7	164	8.02	353.8	18.2	3.08	6.16
БелВМ*	9	-1.07	27.43	81.0	-364	7.95	274.1	25.7	4.23	3.26
Хср	62	-1.34	33.68	105	368	7.95	377	16.3	3.2	12.8

Прим.: n – середня довжина рядов; T_w – температура води, °C; S – солоність, ‰; H – загальна глибина на станції, м; L – відстань від течущої станції до особливої точки в системі циркуляції вод – мис Канин Нос (“путь” трансформації, см. рис. 1 і текст), км; pH_{25} – показувальник щелочно-кислотних умов, приведений до 25°C, б/р; $\Sigma N_{ов}$ – азотсодержачі форми ОВ (РОВ+ВОВ), мкг N/л; $\Sigma P_{ов}$ – фосфорсодержачі ОВ (РОВ+ВОВ), мкг P/л; $\Sigma C_{ов}$ – суммарне вміщення біологічно доступного ОВ в енергетических одиницях, мгC/л [14, 16]; ΣB_f – суммарна сира біомаса фото(літоавто)трофного планктону, всі мікроорганізми вміщуючі активний *Chl* “a”, мкг/л. Другі позначення по тексті.

*данні по БелВМ, при расчете Хср не використовуються

Така структура відповідає існуванню градієнта різних властивостей ($grad X_i$) в пелагічних біотопах орієнтованих по напрямленню переносу вод – його реалізація в формі просторових рядів, складених різними ВМ [14]. Згідно діапазонам T_w, S -індексів, напрямленню трансформації вод і їх розподіленню (см. рис. 1-2 і табл. 1), в першій половині лютого, в ряду сусідніх років (2002–2005), для Печорського моря виробляється квазістаціонарна циркуляція морських і опреснених вод (БелСТ і ПечСТ). Її стійкість пов'язана з напором баренцевоморських вод, представлених різновидностями северо-атлантичських ВМ, в складі Канинського і Колгуєво-Печорського течінь (см. рис. 1-2) [18, 19]. Такого типу розподілення параметрів в рядах АВ, вказує на існування закономірностей, утворення яких можливо тільки при високій стійкості структури вод Печорського моря (см. рис. 2).

Упорядоченність параметрів фізико-хімічного комплексу змінних дозволяє, з однієї сторони, об'єднувати дані за сусідні роки в єдиний масив (2002-2005), з другої – ділити його на однорідні частини, в т.ч. і для характеристик обилля в різних групах бактеріопланктону, наприклад, по типам вод. В табл. 2 приводяться результати осереднення показувальників інтегрального обилля бактерій (збережені позначення і структура табл. 1).

Обилля гетеротрофних бактерій в зимньому планктоні Печорського моря підтримується в умовах, які зазвичай представляють як екстремальні. Тем не менше, середні для зимнього сезону ΣN_b , склали 234 тис. кл/мл (від 200 до 290 тис. кл/мл), при $V_{ср} = 0.58$ мкм³ і середньої $\Sigma S_b = 550$ мм²/л (500-1130), з дисперсністю $S/V_b = 4.52 \times 10^6$ м⁻¹, відповідно. Загальний розмах варіацій ΣN_b і $V_{ср}$, в цілому, повністю відповідає результатам зимніх або літніх мікробіологічних зйомок (проведених іншими авторами, в інших біотопах і водних екосистемах Арктики).

При ранжированні показувальників інтегрального обилля бактерій $\Sigma(N, B, V, S)_b$ із табл. 2, отримані упорядоченності приведенного вище типу – в рядах АВ:

$$\{\Sigma B_b, \Sigma S_b \text{ или } V_{ср}\} \rightarrow \{\text{БарВМ} \geq \text{БарВМтр} \geq (\text{БелСТ} \leftrightarrow \text{ПечСТ})\} \quad (\text{A})$$

$$\{S/V_{ср} \text{ или } N/B_b\} \rightarrow \{\text{БарВМ} \leq \text{БарВМтр} \leq (\text{ПечСТ} \leftrightarrow \text{БелСТ})\} \quad (\text{B})$$

Таблица 2 - Осредненные по типам вод интегральные показатели обилия бактериопланктона Печорского моря в средней фазе зимнего сезона (февраль)

Показатель тип ВМ	Ряд, n	ΣN_b	ΣB_b	ΣS_b	$V_{ср}$	$S/V_{ср}$	N/B_b
		10^3 кл/мл	мкг/л	$мм^2/л$	$мкм^3$	$10^6 м^{-1}$	10^9 кл/мг
БарВМ	7	287.6	546.4	1132.1	1.39	3.66	0.78
БарВМтр	31	198.5	179.9	491.9	0.70	4.72	1.50
ПечСТ	8	256.3	160.8	527.4	0.35	5.61	2.13
БелСТ	14	214.8	182.0	499.3	0.74	4.43	1.13
БелВМ*	9	222.1	179.7	543.8	0.49	4.85	1.35
Хср	60	233.5	269.2	659.1	0.83	4.52	1.32

Прим.: n – длина ряда; ΣN_b – общая численность бактерий, тысяч кл/мл; ΣB_b – суммарная биомасса (сырой вес), мкг/л; ΣS_b – площадь поверхности мембран, $мм^2/л$; $V_{ср}$ – средний объем клеток бактериоценоза, $мкм^3$; $S/V_{ср}$ – удельная поверхность (дисперсность), $10^6 м^{-1}$; N/B_b – индекс (“численность–биомасса”, 10^9 кл/мг. Другие обозначения см. табл. 1 и текст.

Следовательно, попарные взаимодействия сопряженных разновидностей зимних ВМ:→БарВМ ↔ БарВМтр ↔ БелСТ ↔ ПечСТ... ← речной сток, формируют тип связей параметров гидрофизического и микробиологического комплексов, определяя их устойчивость в ряду смежных лет (рис. 2б, табл. 1-2). Формирование массива данных, включая и обилие бактерий градиентных структур, в разных вариациях упорядоченных по разновидностям вод - $grad X_i$, базируется на свойствах быстро обновляющихся вод баренцевоморского генезиса (см. выше). Различия физических свойств зимних вод определяют и уровень развития населяющих их бактериоценозов (как и фототрофного планктона), и сами, закономерно изменяются по ходу переноса на восток под сплоченными льдами, и влиянием метеофакторов и во взаимодействии со смесями вод, образующихся под влиянием БелСТ и ПечСТ.

Сообщества бактерий, населяющих воды Печорского моря в середине зимнего периода, состоят из множества морфологических типов, соответственно их экологической специализации [2]. В значительных количествах найдены распространенные в других биотопах или условиях морфогруппы: кокковые, коккобациллы, палочкообразные формы, нитевидные, вибриллы, спириллы или простековые бактерии. В табл. 3 приведены абсолютные и относительные N и B доминирующих групп бактерий, уточняющие заключения сделанные выше, при анализе условий их обитания.

Согласно табл. 2, 3, ΣB_b формируется за счет крупных форм бактерий, наиболее развитых в БарВМ. Группы бактерий учитываемых как бациллярные формы (палочки), суммарно формируют до 50% ΣB_b . Общая ΣN_b бактериоценозов, в средней фазе зимы (см. табл. 2), на 71% формируется за счет кокковых (при их вкладе в ΣB_b до 15%). При этом более 75% от суммарной N группы кокковых ΣN_{kk} , формируется нанобактериями ($d_{ср} \leq 0.5$ мкм), тогда как $\%B_{kk1}$ составляет доли (редко единицы) % от ΣB_b . Полученные соотношения доминирующих групп для подледных условий в Печорском море, в целом, подтверждаются материалами многолетних наблюдений, проведенных в открытой части Баренцева моря, как зимой, так и летом [5, 7, 9, 12-13, 24, 25]. Следовательно, структура бактериоценозов в планктоне Печорского моря устойчива круглогодично, так, например, сохраняется их высокая бактериоцидность [5, 14].

Таблиця 3 - Осередненні по типам вод N і B домінуючих груп і фракцій бактерій Печорського моря в середній фазі зими (сохранена структура табл. 1-2)

Групи, показателі і типи ВМ	Сфероїди (кокки), $(L/d_{max}) \leq 1.2$			Цилиндрические, $3 \leq (L/d_{cp}) \leq 6$			Еліпсоїди, $1.2 \leq (L/d_{max}) \leq 3$		
	N_{kk1}	N_{kk2}	$\% \Sigma N_b$	N_{pl2}	B_{pl2}	$\% \Sigma B_b$	N_{kb}	B_{kb}	$\% \Sigma B_b$
	10^3 кл/мл		%	т. кл	мкг/л	%	т. кл	мкг/л	%
БарВМ	146.1	32.4	66.4	37.9	143.7	30.1	24.8	144.0	31.2
БарВМтр	114.5	19.5	70.2	34.2	71.5	38.7	8.1	46.7	21.4
ПечСТ	160.4	42.6	80.8	23.8	37.0	30.8	4.3	21.2	18.2
БелСТ	138.9	21.4	69.9	19.4	52.0	30.1	4.8	30.0	18.3
БелВМ*	123.9	20.4	67.3	41.6	99.1	43.8	9.3	24.7	16.4
Хср	135.4	26.7	70.7	29.9	79.5	33.2	10.9	63.0	22.6

Прим.: N_{kk1} – численность подгруппы “мелких” кокковых (нанобактерии, $d_{cp} \leq 0.5$ мкм, по [15]), тысяч кл/мл; N_{kk2} – численность подгруппы “крупных” кокковых ($d_{cp} \geq 0.5$ мкм), тысяч кл/мл; $\%N_{kk}$ – относительная численность всех кокковых, % от ΣN_b (см. табл. 2); N_{pl2} – численность “крупных” бацилл ($L/d_{max} \leq 6$), тысяч кл/мл; B_{pl2} – биомасса подгруппы “крупных” бацилл, мкг/л; $\%B_{pl2}$ – доля биомассы “крупных” бацилл, % от ΣB_b ; N_{kb} – абсолютные N эллипсоидных форм (коккобациллы, бобовидные, при $1.2 \leq (L/d_{max}) \leq 3$), тысяч кл/мл; B_{kb} – абсолютные биомассы коккобацилл, мкг/л; $\%B_{kb}$ – относительные B группы эллипсоидов, % от B_b , другие обозначения см табл. 1-2.

Осреднение по зимним типам вод и ранжирование N и B по их уровням, в разных вариациях, устойчиво воспроизводят структуру рядов АВ. Так, согласно табл. 3, биомассы групп бактерий с крупными клетками (B_{kb} , B_{pl2}), в зимних сообществах планктона, формирует преимущественно, ряды типа А (неконсервативный ряд), вида:

$$\{B_{pl2} \text{ или } B_{kb}\} \rightarrow \{\text{БарВМ} > \text{БарВМтр} > (\text{ПечСТ} \leftrightarrow \text{БелСТ})\} \quad (\text{А})$$

Для группы нанобактерий (кокковые N_{kk1}) такие связи имеют более сложный характер, и в явной форме не выделяются. В целом, формирование ряда АВ подтверждает устойчивость разобранной выше связи характеристик биотопов с физико-химическим комплексом, формализованных как пространственный $grad X_i$.

Следовательно, действие этой же закономерности распространяется на характеристики отдельных групп в бактериоценозах зимнего планктона Печорского моря и реализуется на уровне N и B доминирующих групп. Подобное распределение показателей обилия бактерий и условий, соответствует пространству состояний в реализованных групповых нишах, задаваемых параметрами биотопов [1, 2, 21]. Причем, сами они ориентированы по направлению переноса вод в Печорском море. Таким образом, попарные взаимодействия ВМ: $\dots \rightarrow \text{БарВМ} \leftrightarrow \text{БарВМтр} \leftrightarrow \text{БелСТ} \leftrightarrow \text{ПечСТ} \dots \leftarrow$ речной сток, упорядоченных по областям их распространения (см. рис. 1-2), приводят к закономерному изменению свойств вод в пространстве и различиям по уровню развития основных групп населяющих их бактериоценозов (см. табл. 2-3).

Моделирование обилия доминирующих групп бактерий.

Системообразующие связи в зимних водах Печорского моря между характеристиками доминирующих групп бактерий и параметрами физико-химического комплекса (табл. 1-3, ряды АВ), позволяют сформулировать ряд статистических моделей, описывающих изменчивость структуры бактериопланктона. Аргументы моделей подбирали, отсекая связи взаимозависимых параметров, по принципу их достаточности [17].

Нанобактерии. Из табл. 2 и 3 следует, что общая ΣN_b клеток в зимних бактериоценозах, на 60% (и более), формируется за счет фильтрующихся форм кокковых, относящихся к нанобактериям [26]. Для группы нанобактерий (N_{kk1} , при $d_{cp} \leq 0.5$ мкм) сформулирована статистическая 3-х параметрическая ранговая модель, характерная для распределений в ветвящихся процессах фрактального типа (степенные формы законов) [3, 27, 28]. Интегральный отклик водной среды в форме N_{kk1} ,

выраженный как численность этой группы бактериопланктона (тысяч кл/мл), в количественной и обобщенной формах, имеет такой вид:

$$N_{\text{kk1}} = 9.6 (L^{0.504} H^{0.16}) (\Sigma B_f^{0.095}) = f(L^a, H^b, \Sigma B_f^c). \quad (1)$$

При $R_p^2 = 0.39$, для $n = 48$.

где H – общая глубина на станциях, м; L – расстояние от данной станции до мыса Канин Нос, км (см. рис. 1а и табл. 1), параметр характеризующий “путь” трансформации вод, отсчитываемый от особой точки в системе их циркуляции; ΣB_f – суммарная сырая биомасса фототрофного планктона, мкг/л (микроорганизмы зимнего планктона содержащие Chl “а”).

Модель (1) действительна в центральной части Печорского моря для средней фазы подледного периода развития бактериоценозов планктона. Коэффициент множественной регрессии r_p модели $N_{\text{kk1}} = 0.63$ и согласно $R_p^2 = 0.39$, совокупность аргументов учитывает ~ 40% вариаций зависимой N_{kk1} [17]. Аргументы (1) представлены, с одной стороны, физическими переменными - внесистемными факторами [27] H и L , с другой – показателем ΣB_f , для этого случая характеризующего межбиотические взаимодействия систем продуценты-редуценты ОВ, совместно формирующих обилие нанобактерий в подледных бактериоценозах Печорского моря.

Содержательный смысл (1) формулируем так. В подгруппе нанобактерий N_{kk1} возрастает пропорционально длине переноса вод по акватории Печорского моря, т.е. при удлинении “пути” трансформации вод (жидкого ядра геосистемы), а также при развитии фототрофного ценоза зимнего планктона, учитываемого по ΣB_f . При этом N_{kk1} обратно пропорционально функции распределения глубин моря, нарастающих по направлению переноса вод (см. табл. 1, рис. 1а), учитываемого как нелинейный эффект взаимодействия параметров порядка геосистемы (см. далее). Согласно структуре (1), влияние на N_{kk1} межбиотических взаимодействий (редуценты–фототрофы), является формой коррекции действия параметров порядка: H , L и T_w, S -индексов.

Крупные бациллы. Из табл. 2 и 3 следует, что биомасса бактериоценозов ΣB_b на 35% формируется за счет подгруппы крупных бацилл (B_{pl2} , при $L/d_{\text{max}} \leq 6$). Интегральный отклик водной среды в форме B_{pl2} , выраженный в мкг/л, имеет вид:

$$B_{\text{pl2}} = 8.96 (L^{0.75} H^{0.75}) (\Sigma B_f^{0.199}) = f(L^a, H^b, \Sigma B_f^c). \quad (2)$$

Для всех $B_{\text{pl2}} \leq 150$ мкг/л, при $R_p^2 = 0.47$, для $n = 49$.

Как структура, так и спецификация аргументов 2, полностью соответствуют приведенным выше для уравнения 1. Они характерны для распределений в ветвящихся процессах формирующих фракталы [3]. В модели 2 биомасс B_{pl2} , r_p составил 0.69 (при $n = 49$) и согласно $R_p^2 = 0.47$, совокупность аргументов учитывает ~ 45% вариаций для зависимой B_{pl2} . По условию $B_{\text{pl2}} \leq 150$ мкг/л, модель B_{pl2} имеет ограничения при высоких биомассах этой группы в зимнем планктоне. Содержательный смысл модели B_{pl2} (помимо общих системообразующих связей, см. далее), формулируем так. Во-первых, B_{pl2} в группе “крупных” бацилл возрастает пропорционально развитию фототрофов ΣB_{fit} и с удлинением “пути” трансформации ядра геосистемы по ходу его переноса в Карское море (рис. 1-2), с сильным нелинейным эффектом, во-вторых, B_{pl2} обратно пропорционально распределению глубин H (см. выше).

Коккобациллы. Из табл. 3 следует, что ΣB_b на 23% формируется за счет клеток в группе коккобацилл (B_{kb}) - эллипсоидные формы при $1.2 \leq (L / d_{\text{max}}) \leq 3$. Отклик среды в форме биомасс B_{kb} , выраженный в мкг/л, имеет вид:

$$B_{\text{kb}} = 2.27 \exp\{0.12[0.19 (L^{0.821} H^{0.091}) (\Sigma B_f^{0.078})]\} = f(L^a, H^b, \Sigma B_f^c). \quad (3)$$

Для всех $B_{\text{kb}} \geq 15$ мкг/л, при $R_p^2 = 0.46$ (для $n = 45$).

Спецификация аргументов модели 3 полностью соответствует их описанию в (1)-(2) и является характерной для ранговых распределений ветвящихся процессов

фрактального типу. Структура (3) несколько отличается, за счет нелинейных взаимодействий между аргументами модели. Согласно (3), для биомассы кокобацилл B_{kb} , коэффициент $r_p = 0.67$ и согласно $R_p^2 = 0.45$, для ряда $n = 45$, совокупность аргументов учитывает $\sim 45\%$ вариаций B_{kb} [17] (Лакин, 1989). По условию $B_{kb} \geq 15$ мкг/л, модель B_{kb} имеет ограничения при низких биомассах этой группы в зимнем планктоне. Содержание (3) формулируем так. Во-первых, в группе кокобацилл B_{kb} нарастает по ходу переноса ядра геосистемы в Карское море и пропорциональна уровню развития фототрофов зимнего планктона (ΣB_{fit}). Во-вторых, B_{kb} нелинейно, обратно пропорционально распределению глубин Печорского моря (см. выше).

Оценка эффективности моделей 1-3 описывающих формирование обилия N_{kk1} , B_{pl2} и B_{kb} , включала выявление нелинейных эффектов, возникающих при взаимодействии аргументов, а также анализ влияния неучтенных экологических факторов на зависимые переменные, при 90% уровне значимости [17]. Результаты приведены в графической форме на рисунке 3.

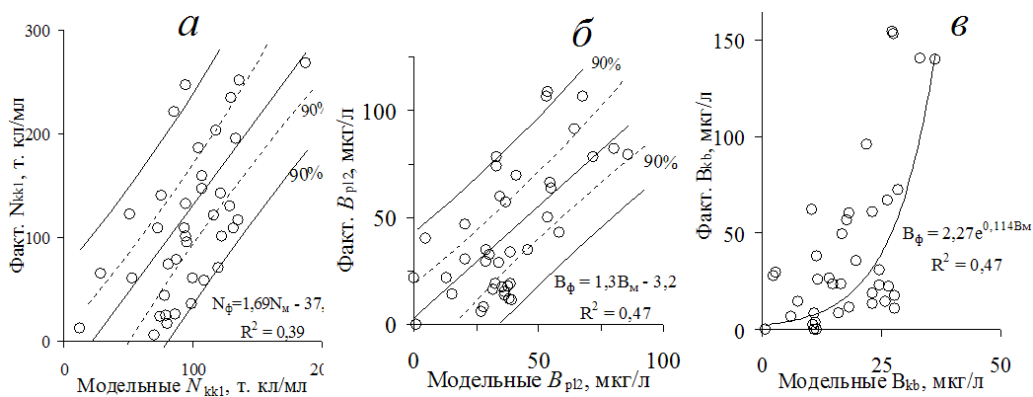


Рис. 3 - Анализ сходимости рассчитанных (по 1-3) и фактически измеренных показателей обилия доминирующих групп бактерий в средней фазе зимы для вод Печорского моря. Линиями показаны диапазоны ошибок 90%-й значимости для регрессий (пунктир) и отдельных “измерений” (сплошные линии) [17]:

- а – модель 1 для нанобактерий, N_{kk1} , тысяч кл/мл;
- б – модель 2 для крупных форм бацилл, B_{pl2} , мкг/л;
- в — модель 3 для кокобацилл, B_{kb} , мкг/л.

Согласно распределению экспериментальных точек вдоль линий регрессий 1-3 (см. рис. 3 а,б,в), можно сделать заключения а) об отсутствии существенных нелинейностей за счет взаимодействий входящих в них аргументов для моделей 1-2, помимо уже учтенных в их структуре и б) сильные взаимодействия в 3, которые были учтены экспонентой. С другой стороны, степень рассеивания точек для диапазонов “ошибок” измерений (сплошные), указывает на существенное влияние неучтенных факторов, которые, на данном этапе, количественно нами не идентифицированы [17]. Уровень учета аргументами 1-3 вариации зависимых переменных, характеризующих доминирующие группы бактерий, однородным комплексом факторов, вида: $x_i = f(L^a, H^b, \Sigma B_f^c)$, где L и H – координаты точек (параметры порядка геосистемы, см. далее), составляет 40% и более. Эта величина удовлетворяет требованию оценочных показателей. Учитывая сложность количественного описания таких параметров в естественных условиях и ограниченность выборки (ряды $n = 45-52$, см. табл. 1), результаты для зависимостей N_{kk1} , B_{pl2} и B_{kb} , мы рассматриваем как хорошие.

Обсуждение результатов. О закономерностях формирования свойств геосистем с жидким ядром. По особенностям распределения и направлению

трансформации свойств зимних вод в первой половине февраля (2002-2005), на акватории Печорского моря воспроизводится система квазистационарной циркуляции морских и опресненных вод (в составе БелСТ и ПечСТ). Она приводит к попарному взаимодействию пространственно сопряженных ВМ:→ БарВМ ↔ БарВМтр ↔ БелСТ ↔ ПечСТ ←... речной сток, упорядоченных по местам их адвекции, а также областям распространения в направлении переноса вод с СЗ-З на ЮВ-В (рис. 1-2). Результатом является закономерное изменение их свойств, формирующих параметры групповых экологических ниш населяющих бактерий [1-3].

Способность отдельных вещественно-энергетических начал упорядочивать среду - общеизвестна. Она давно рассматривается как биогеографический закон [29]. Морские течения относят к гелиогенным геосистемам 1-го рода, обладающим массивным жидким ядром, вещество которого, находится в упорядоченном движении под влиянием гравитационного поля [3]. Такое ядро имеет определенный потенциал (импульс масс и энергии), соответственно имеет: а) “источник”, в котором он формируется и восстанавливается, а также б) область стока, где происходит снижение и затухание импульса. Энергоносителем выступают массы воды ядра геосистемы, энергия которого рассеивается за счет диссипации, с образованием ветвящихся структур, характерных для фракталов [3].

В географической таксономии [1], существование такой геосистемы на акватории Печорского моря, может быть представлен как процесс дробления ядра и затухания импульса в окружающих водах. Множественные контакты генерируют отдельные ветви фрактала и составлены множеством тел и явлений, в которых энергопотоки ориентированы от ядра к периферии геосистемы и далее в среду. Известно, что в таких последовательностях, мощность потоков за счет разных форм диссипации убывает по определенным законам, характерных для ранговых распределений данного типа [3]. Например, подчиняется правилу четырехчастного деления, известному в биогеографии [29]. В этом случае, вместо одного начального, обычно образуется четыре ветви: преобразованный (или отраженный), поглощенный, пропущенный и порожденный потоки. Каждая из ветвей в данной части фрактала, выступает как самостоятельное вещественно-энергетическое начало и также упорядочивает среду за счет полученной из ядра энергии [29]. В каждой из этих ветвей, процесс дробления протекает до полного затухания импульса в среде. Общая схема ветвления и некоторые из сопровождающих их элементарных актов, связанных с расщеплением “тела” геосистемы с жидким ядром, приводятся на рис. 4.

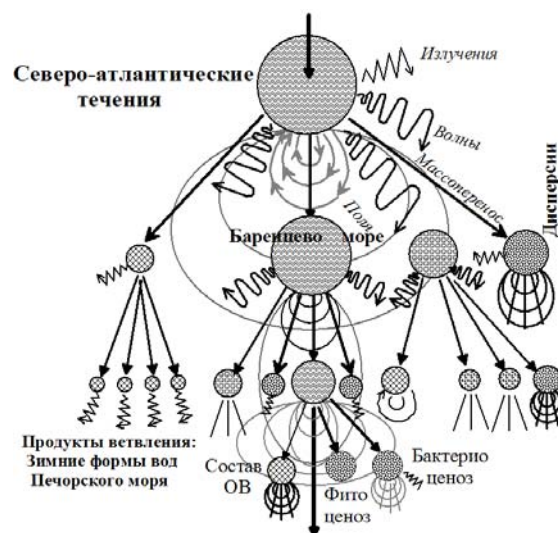


Рис. 4 - Общая схема ветвления процессов и формирование фракталов для геосистем морских вод (с жидким ядром). Показаны механизмы переноса (масс, кондуктивный, полевой, волновой), элементарные акты расщепления и сопровождающие их эффекты разного рода, приводящие к возникновению волн, частиц или излучений (основа по [1, 29]).

Генерируемые любым однородным началом, совокупности таких составных тел образуют закономерные последовательности и включают разнокачественные процессы и продукты расщепления исходного энерго-массопотока [1]. Во времени процесс дробления "тела" геосистемы представлен цепочками разновозрастных генераций, поддерживаемых из ядра и упорядоченных в направлении переноса энергии данной ветви (см. выше ряды АВ и рис. 4). Каждая такая последовательность является составной и рассматривается как ветвь вполне реального процесса, которая противостоит окружающей среде как единое целое [29]. Результатом контактов ядра геосистемы северо-атлантических трансформированных ВМ, с окружающими ее "телами": другими ВМ, воздухом, льдами, дном или береговой линией, является возникновение однородных структур, инвариантных относительно масштаба, с ветвлением и многократным расщеплением начального импульса (фрактал) [1; 29]. Для составных "тел" представленных отдельными ветвями в фрактале, системообразующими являются связи поддерживающиеся энерго- и массопереносами [1, 29], в направлении от тел-предшественников к телам-потомкам (с высшего на низший уровни иерархии, см. рис. 4).

Широкое использование при решении научных задач современных методов математического моделирования и вычислительных экспериментов показывает, что для построения "хороших" моделей, требуется правильно выбирать ведущие процессы – *параметры порядка*, к которым подстраиваются остальные степени свободы данных систем [26]. Например, установлено, что водообмен в биокосных системах любого типа, количественно может быть описан на базе общих физико-геометрических отношений, вида: объем/поверхность/масса [3]. При этом в них действуют законы известные биологам из аллометрии - ранговые распределения или степенные законы [1, 2, 28]. Так, если μ – интенсивность водообмена в геосистеме приведенного типа, то: $\mu = f(S/V) = f\{(L^a, H^b)(S^c)\}$ - количественная функция характерных размеров данной геосистемы: показателя дисперсности, ее площади, длины и высоты [3]. Этому и соответствуют как состав, так и структура аргументов в моделях 1-3 (см. выше). Для них такие базовые соотношения – это и есть параметры порядка по Г. Хакену [27]. Через эти параметры а) регулируются общие свойства для геосистем с жидким ядром и б) накладываются ограничения на любые другие, более частные регуляторы. В т.ч., специфически присущие разным уровням организации биоты, включая фито- и бактериоценозы зимнего планктона, а также условия их существования и продукты жизнедеятельности [28].

Параметры экониш в $grad X_i$. Для зимних вод на акватории Печорского моря, последовательность дробления одной из ветвей представлена телами однородных, промежуточных смесей вод:→ БарВМ ↔ БарВМтр ↔ БелСТ ↔ ПечСТ ←... речной сток (см. рис. 1, 2 и 4). Устойчивость переноса через Печорское море, в первую очередь, связана с величиной потенциала ядра, определяющего напор северо-атлантических вод. В моделях 1-3 это прямо учитывается параметрами $\{H, L\}$. Среди других факторов отметим, характеристики континентального стока (поступление пресных вод с БелСТ и ПечСТ), а также приток вод Карского моря с противотечением Литке (из Карского моря в Баренцево, через акваторию Печорского) [8, 18].

По практическим соображениям, выше нами выделены только воды ядра геосистемы и стоковых течений БелСТ и ПечСТ (см. рис. 1, 2, 4 и табл. 1). Если проанализировать положение мест адвекции разных вод в Печорское море, а также характер распределения их зимних разновидностей для этой акватории, то с учетом изложенного выше, следуют такие заключения. Области формирования всех типов зимних вод (а значит их свойств), приходится на зоны контакта ядра северо-атлантических вод с другими ВМ (рис. 1, 2, 4). Физические характеристики водной

среды, задающие условия существования бактериальных и фототрофных ценозов в зимнем планктоне, а) формируются и б) поддерживаются энергией северо-атлантических ВМ, с которыми связана и устойчивость для системы циркуляции вод. Результатом взаимодействия ядра с областями стока энергии, является закономерное изменение свойств в ориентированной цепочке вод, что формирует параметры групповых экониш разных ценозов в зимний сезон [2].

Поэтому, в группах бактериопланктона формирующих более 60% от ΣV_b (крупные клетки V_{kb} и V_{pl2} , см. табл. 3), информацию, заключенную в ветви фрактала составленную ориентированным рядом ВМ - типа АВ, можно свести к ряду следующих положений. Показатели обилия доминант бактерий распределены согласно общегеографическим закономерностям, определяющим изменчивость свойств ВМ, характерных в этой ветви фрактала и данной климатической зоне. Гетеротрофные микроорганизмы зимнего планктона максимально развиты в ядре соленых (относительно теплых) вод, а их обилие закономерно понижается в направлении переноса биотопов (и наоборот). Свойства биотопов закономерно трансформируются в данной ветви под влиянием метеофакторов и пресного стока в составе ПечСТ и БелСТ. В зимних разновидностях вод, (гелиогенная геосистема с жидким ядром) это приводит к образованию пространственного $grad X_i$ для показателей, определяющих параметры пелагических биотопов [1-3], с их ориентацией в направлении переноса ядра вод через акваторию Печорского моря. Сам процесс формирования свойств зимних вод может быть представлен следствиями 2 или 3-й очереди цепных реакций в данной ветви фрактала [29], генерируемых контактами северо-атлантических ВМ со средой.

Результаты моделирования обилия доминант бактериоценозов. Обилие гетеротрофных бактерий зимнего планктона Печорского моря поддерживается в условиях, которые обычно представляют как экстремальные: при сплошном, изолирующем от внешних воздействий ледовом покрове и T_w равных (либо близких) температурам замерзания биотопа (с данной S). По данным осреднения в табл. 2-3, в средней фазы зимы общая ΣN_b бактерий на 70% формируется за счет кокковых, при вкладе этой группы в ΣV_b 15.3%. При этом более 75% численности кокков ΣN_{kk} , формируется нанобактериями ($d_{cp} \leq 0.5$ мкм). Основной вклад в биомассу бактериоценозов для зимнего планктона формируется при развитии: крупных бацилл – 33%, группы кокобацилл - 22%, простековых – до 11% и ветвящихся форм - до 4% от ΣV_b . Группы бактерий, учитываемые как бациллярные формы, составляют до 50% от ΣV_b , тогда как относительная численность в группе “крупных” бацилл, составляет 16.4% от ΣN_b . Для кокобацилл средняя $V_{kb} = 63.0$ мкг/л (диапазон от 0 до 410 мкг/л), при $N_{kb} = 10.9$ тысяч кл/мл (0-57.8).

Приведенные для подледного периода данные, близки к результатам микробиологических обследований побережья Восточного Мурмана, как за осенне-летние, так и в зимние сезоны 1981–1989 [7, 9, 11-13, 28]. Сами отношения между группами бактериоценоза, соответствуют данным многолетних наблюдений для открытой части Баренцева моря [5, 15, 24, 25]. При этом клетки всех групп бактерий находятся в активном метаболическом состоянии, а общий диапазон вариаций по ΣN_b и V_{cp} , соответствуют результатам зимних и летних микробиологических съемок. С другой стороны, средний клеточный объем V_{cp} , оцениваемый для подледных условий $V_{cp} = 0.58$ мкм³, статистически достоверно (до 2 раз), превышает средний объем бактерий в открытой части моря для этого же сезона [7, 9]. Это происходит за счет роста средних объемов во всех группах V_i и прироста вклада крупных форм бактерий.

Выше показано, что согласно современным представлениям [3], интенсивность водообмена и циркуляцию вод в Печорском море, можно описать через функцию характерных размеров геосистемы - характеристик жидкого ядра (площадь, объем и

др., см. выше), выступающих как параметры порядка [27]. Такие базовые соотношения накладываются на остальные регуляторы, включая специфические для фито- и бактериоценозов в зимнем планктоне. При этом само физическое содержание аргументов H и L (рис. 1а, табл. 1), в моделях 1-3, очевидно сводится к характерным размерам ядра (размерностям), определяя однородность их структуры.

Показатель L - является расстоянием от данной станции до мыса Канин Нос, отсчитываемый в системе циркуляции от “особой” точки. Это форма координат, действующих только в экосистеме Печорского моря, где L характеризует изменение свойств зимних вод в направлении их переноса за счет метеофакторов и перемешивания БарВМ с водами БелСТ и ПечСТ [8, 18]. Параметр H также является координатой любой точки (с размерностью длины) и отсчитывается от поверхности или дна. При взаимодействии с L образуется функция вида: $f(L^a, H^b)$, соответствующая распределению H по направлению переноса вод (см. рис. 1 и 2б). В моделях 1-3 пара этих аргументов учитывает воздействие на зависимые N_{kk1} , B_{pl2} и B_{kb} , циркуляции вод (или гидродинамических факторов) и распределение глубин - морфометрию котловины Печорского моря.

С другой стороны, аргумент ΣB_f уравнений 1-3 характеризует биомассу фото(литоавто)трофных организмов (см. табл. 1 и общие формы моделей 1-3). Этим учитывается характер взаимодействия по-разному специализированных групп зимнего планктона: продуцентов и редуцентов ОВ. Как и в другие сезоны года, они развиваются в противофазе [5, 7, 9, 12-15, 25, 28]. По характеру связей ΣB_f , его влияние на зависимые N_{kk1} , B_{pl2} и B_{kb} , следует рассматривать как форму коррекции действия параметров порядка: H , L и T_w - S -индексов.

При схематизации процессов в образующихся ветвях фракталов (рис. 4), результаты моделирования N_{kk1} , B_{pl2} и B_{kb} по 1-3 мы считаем достаточно понятными. В такой системе реально действующими факторами являются, как процессы дробления ядра геосистемы морских течений и последовательность при ветвлении, так и сопровождающие их трансформация и сток энергии в среду. Это и приводит к фрактальной структуре (масштабной инвариантности) для всех уровней и компонент геосистемы, управляясь $\{L, H\}$ – длиной переноса и глубинами. В случае количественных выражений 1-3, это вполне реальные объемные геометрические характеристики [3]. При этом внешние граничные условия фрактала определяются как конфигурацией котловины моря, распределением глубин, морфометрией, положением проливов, так и другими особенностями “места” [29]. Количественно, эти характеристики и описываются параметрами порядка H и L , являющихся координатами уникальных точек в экосистеме Печорского моря.

Сравнительный анализ 1-3 показывает, что при однородном составе аргументов, в каждой из моделей присутствуют специфические формы влияния одного и того же фактора на характеристики обилия разных групп бактерий (N_{kk1} , B_{pl2} и B_{kb}). С другой стороны, по результатам моделирования очевиден и общий, холистический порядок формирования состава бактериоценозов [28]. Так, согласно структуре в 1-3, уровень развития доминирующих групп бактерий (как и фототрофов-микроредуцентов), в подледный период прямо регулируется внесистемными параметрами порядка [27]. К ним мы относим L , H и T_w - S -индексы, а опосредовано, уровень ФАР (фотосинтетически активная радиация), как фактор, определяющий величины T_w - теплозапас ВМ и интенсивность конвекции при льдообразовании [11, 14, 18]. Действие этих же параметров в зимних водах Печорского моря, корректирует влияние на бактерий свойств водной среды, описываемых физико-химическими параметрами pH , $\Sigma P_{ов}$, $\Sigma N_{ов}$, $\Sigma C_{ов}$ и биотических факторов типа ΣB_f , которые, в свою очередь, определяют состав ОВ (табл. 1).

Заключение.

1. Бактериальные ценозы зимнего планктона Печорского моря развиваются в условиях, которые обычно представляют как экстремальные: при T_w равной (или близкой) температуре замерзания вод данной S и под сплошным ледовым покровом, изолирующим водную толщу. Тем не менее, в этих условиях поддерживаются: высокая численность разных групп бактерий и устойчивость структуры бактериоценозов. По сравнению с другими сезонами: а) не происходит развития каких-то новых форм микроорганизмов, б) отсутствует смена доминант [7, 9, 12, 13, 24]. С другой стороны, $V_{ср}$ для подледных условий в 2 и более раз, превышает их уровень в открытой части моря, за счет роста средних V_i и доминирующих групп бактерий.

2. В число характеристик бактериальных группировок зимнего планктона, традиционно включают хемо(органогетеро)трофию, замедление метаболизма, факультативный анаэробизм, неустойчивость к стрессам или сильную психроактивную зависимость от T_w . Традиционное объяснение появления такого набора свойств микрофлоры сводят к понижению T_w . По данным настоящего исследования, микроорганизмы оптимально функционируют в любой сезон года, включая и зиму в Арктике. Например, метаболизм бактерий в зимний сезон сбалансирован с развитием других структур планктона и свойствами среды: с уровнем развития фотоавтотрофов, ростом концентраций экзоферментов в водной среде и др. [12-14, 15]. Мы считаем, что говорить об уменьшении функциональной активности микроорганизмов за счет понижения T_w неоправданно, поскольку адаптации закреплены генетически. Именно в этом смысле никаких аналогий между *интенсивностью метаболизма биологических объектов и температурной зависимостью химических реакций - не существует*, на что уже указывалось ранее [5, 9, 25]. Бактериями эволюционно выработаны системы биосинтеза (рост концентраций ферментов, синтез температурных изомеров, крипротекторов и т.п.), которые поддерживают необходимую и достаточную метаболическую активность [14]. Это и обеспечивает устойчивость наблюдаемых скоростей трансформации форм ОВ в разных условиях, что подтверждается современными исследованиями этой проблемы [6, 10, 16 и др.].

3. При анализе данных микробиологических съемок в Печорском море, установлены формы общих связей, определяющие изменчивость показателей обилия доминирующих групп бактерий. Например, по типам зимних разновидностей ВМ или в пространственном градиенте гидрофизических параметров. Установлены формы связей, образующиеся в зимние сезоны между обилием доминирующих групп (x_i) и однородным комплексом экологических факторов, вида: $x_i = f(L^a, H^b, \Sigma B_f^c)$, где L и H – параметры порядка геосистем с жидким ядром, одновременно являющиеся координатами точек для экосистемы Печорского моря. Комбинация $\{H-L\}$, в уравнениях моделей фактически описывает ветвление энергии для разнокачественных процессов формирования фрактала в морских геосистемах [3]. Для зимних вод Печорского моря, одна из таких цепочек (последовательностей) составлена однородными формами промежуточных вод: \rightarrow БарВМ \leftrightarrow БарВМтр \leftrightarrow БелСТ \leftrightarrow ПечСТ \leftarrow ... речной сток.

4. Базовые физико-геометрические отношения описываемые комбинацией $\{H-L\}$, накладывают ограничения на любые регуляторы в геосистемах морских течений, включая и специфически присущие для фито- и бактериоценозов зимнего планктона [3]. Такие эколого-организменные количественные зависимости мы относим как за счет развития биосистем, так и при их адаптации к среде. Учитывая генезис, деление таких закономерностей на группы весьма условно, как и для обобщений такого рода. Вместе с этим, несмотря на непривычный вид, уравнения 1-3 с равным успехом могут быть отнесены к любой из групп уже известных биогеографических правил (общих или частных). Например, изменения особей, распространения сообществ или формирования их ареалов [1].

5. Результаты моделирования доминирующих групп бактерий в зимнем планктоне с участием параметров порядка геосистем $\{H-L\}$, подтверждают известный эмпирический факт о концентрировании гидробионтов на границах раздела экосистем: вдоль поверхностей ВМ, фаз раздела или других [3]. По нашему мнению, для этого должна существовать материальная база и иные к тому основания, например, в формах приуроченности ресурсов к зонам раздела, распределение энергии в контактирующих водах или субстратов развития. В рамках сделанного анализа, мы просто детализировали вывод о значимости циркуляции вод в жизни населяющих их сообществ гидробионтов. С другой стороны, структура моделей указывает на принадлежность таких закономерностей к группе известных в биогеографии или экологии

правил - взаимодействия систем организм-среда [1].

6. Результаты настоящей работы позволяют сделать обоснованное заключение, что показатели обилия и активность бактериоценозов (в целом) или отдельных групп микрофлоры, а также связанных с жизнедеятельностью веществ (переменные гидрохимического комплекса O_2 , $pH-Eh$, формы ОВ), управляются совокупностью экологических факторов с функциями параметров порядка для геосистем такого рода. В состав комплекса регуляторов в Печорском море, для зимнего сезона входят: ФАР, T_w , H , L и S . Для них, в свою очередь, существует вполне определенная (внутрисистемная) иерархия воздействий, направленных на подчиненные их влиянию комплексы переменных [27, 28]. Такое действие параметров порядка на любые компоненты геосистем с жидким ядром определяет формирование общегеографических закономерностей и изменчивость характеристик бактериоценозов в зимнем планктоне на акватории Печорского моря. При этом согласуются закономерности горизонтального (модели 1-3) и вертикального распределения для “зависимых” переменных: показателей развития бактерий (или фототрофов), состава ОВ и др. Это стабилизирует развитие биотических компонент в экосистеме моря на протяжении зимних сезонов.

Список литературы

1. Реймерс Н.Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы). - М.: Ж-л «Россия молодая». 1994. - 367с.
2. Заварзин Г.А. Лекции по природоведческой микробиологии. - М.: Наука, 2004. - 348 с.
3. Хайлов К.М. Что такое жизнь на Земле? - Одесса: Друк, 2001. - 238 с.
4. Лях С.П. Адаптация микроорганизмов к низким температурам. - М.: Наука, 1976. - 160 с.
5. Мишустина И.Е., Батурина М.В. Ультрамикрорганізмів и органическое вещество океана. - М: Наука, 1984. - 94с.
6. Агатов А.И., Лапина Н.М., Торгунова Н.И. Органическое вещество Баренцева моря. // Арктика и Антарктика. - М.: Наука, 2007. Вып. 5(39). - С. 156–174.
7. Байтаз В.А., Байтаз О.Н. Количественные и продукционные характеристики бактериального населения прибрежной зоны Баренцева моря. / Продукционно-деструкционные процессы пелагиали прибрежья Баренцева моря. - Апатиты: КНЦ АН СССР, 1991. - С. 20–33.
8. Жизнь и условия ее существования в пелагиали Баренцева моря / Гл. ред.: д.б.н. Г.Г. Матишов. - Апатиты: КолФАН СССР, 1985. - 218 с.
9. Теплинская Н.Г. Процессы бактериальной продукции и деструкции органического вещества в северных морях. - Апатиты: КНЦ АН СССР. 1990. - 106 с.
10. Rysgaard S., Nielsen T.O., Hansen B. Seasonal variation in nutrients, pelagic primary production and grazing in a high-Arctic coastal marine ecosystem, Young Sound, Northeast Greenland // Ser. Mar. Ecol. Progr. 1999. - Vol. 179. - P. 13–25.
11. Бардан С.И., Байтаз В.А., Байтаз О.Н. Поверхностный микрослой прибрежья Баренцева моря и особенности его экологии // Современные проблемы гидробиологии Баренцева моря. - Апатиты: КНЦ АН СССР. 1988. - С.18–29.
12. Бардан С.И., Дружков В.А., Бобров Ю.А., Байтаз В.А. Комплексный экологический мониторинг в губе Дальнезеленецкая (Баренцево море): зимне–весенний период 1987–1988 г.: Препринт. - Апатиты: КНЦ АН СССР. 1989. - 42 с.
13. Бардан С.И., Бобров Ю.А., Дружков В.А. Комплексный экологический мониторинг в губе Дальнезеленецкая (Баренцево море): летне–осенний период 1989 г. Функциональные характеристики: Препринт. Апатиты. - КНЦ АН СССР. 1990. - 44 с.
14. Бардан С.И., Корнеева Г.А. Внутрисезонные тенденции трансформации форм ОВ и ферментативной активности водной среды в зимний период в морях Русской Арктики // Известия РАН. Сер. биол., 2006. - № 6. - С. 731–745.
15. Vetrov A.A., Romankevich E.A. Carbon Cycle in the Russian Arctic Seas. Berlin: Springer, 2004. 331 p.
16. Бардан С.И. Ишкулова Т.Г. Суточная изменчивость гидрохимических параметров в начальный период органотрофной фазы функционирования экосистемы Кольского залива (Баренцево море) // Изв. РАН. Сер. географ., 2010. - №4. - С. 90–100.

17. Лакин Г.Ф. Биометрия: Учебное пособие для биол. спец. вузов. - М.: Высшая шк. 1990. - 352 с.
18. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т.1, Баренцево море. Вып.1. Гидрометеорологические условия / Под ред. Ф.С.Терзиева и др. - Л.: Гидрометеиздат, 1990. - 280 с.
19. Печорское море. Системные исследования (гидрофизика, гидрология, оптика, биология, химия, геология, экология, социальноэкономические проблемы) / Под ред. Е.А. Романкевича и др. - М.: Изд-во «МОРЕ», 2003. - 502 с.
20. Поглазова М.Н., Мицкевич И.Н. Применение флуорескамина для определения количества микроорганизмов в морской воде эпифлуорисцентным методом // Микробиология. 1984. - Т.54. Вып.5. - С.850-857.
21. Практикум по микробиологии / Под ред. А.И. Нетрусова. - М.: ИЦ Академия, 2005. - 608 с.
22. Определитель бактерий Берджи. В 2х т. (9-е издание). - М.: Мир, 1997. - 800 с.
23. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / Под ред. В.А. Абакумова. - СПб: Гидрометеиздат, 1992. - 318с.
24. Байтаз В.А., Байтаз О.Н., Мишустина И.Е. Морфометрия клеток, численность и биомасса основных морфологических групп бактериопланктона Баренцева моря // Океанология. 1996. - Т.17. № 5. - С.878-882.
25. Мишустина И.Е., Байтаз О.Н., Москвина М.И. Бактериопланктон Баренцева моря. Исследования 1983-1993 гг. // Планктон морей Западной Арктики. - Апатиты: КНЦ РАН, 1997. - С. 7-50.
26. Мишустина И.Е. Нанобиология океана // Изв. РАН. Сер. биол. 2004. - №5. - С. 632-636.
27. Хакен Г. Синергетика. Иерархии неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах. - М.: Мир, 1985. - 419с.
28. Bardan S.I. The dynamics of ecosystems exchange processes in plankton community: a study based on the theory of ecological modification / Ecological modification and criteria for ecological standardization. Proceedings of the International symposium. USSR, Nalchick, 1-12 June, 1990. - St.Petersburg: Gidrometeoizdat, 1992. - P. 131-144.
29. Ретеюм А.Ю. Земные миры. - М.: Мысль, 1988. - 268с.

Фрактали в біогеографічних закономірностях, визначаючих склад бактеріоценозів зимового планктону на прикладі Печорського моря . Бардан С.І., Сербов М.Г.

За даними мікробіологічних зйомок у зимові сезони 2002-2005 рр. проведений аналіз умов формування численних домінуючих груп зимового бактеріопланктону Печорського моря. Обговорюються кількісні форми моделей, які визначають характеристики груп бактерій з комплексом факторів виду: L и H – координати точок у Печорському морі, ΣB_f – біомаса фототрофів.

Ключові слова: зимовий планктон, бактеріоценоз, нанобактерії, фрактали, моделювання

Fractals in biogeographically regularities defining forming of structure bacterial community of the winter plankton on example of the Pechora sea. Bardan S.I., Serbov N.G.

In the Pechora sea, according to microbialogic shootings during winter seasons 2002-2005, the analysis of conditions of forming of an abundance of dominant groups winter bacterial plankton is made. Quantitative forms of the expressions bundling performances of groups of bacteria with a uniform complex of a factors, specie are discussed: L and H - co-ordinates of points in the Pechora sea, ΣB_f - biomass fototrophics.

Keywords: winter plankton, bacterial community, cellular volume, modeling.