

УДК 582.26.08

Б.И. Сёмкин¹, Н.Г. Клочкова², И.С. Гусарова³, М.В. Горшков^{4*}¹ Тихоокеанский институт географии ДВО РАН,
690041, г. Владивосток, ул. Радио, 7;² Камчатский филиал Тихоокеанского института географии ДВО РАН,
683000, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Партизанская, 6;³ Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный центр,
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4;⁴ Тихоокеанский государственный экономический университет,
690091, г. Владивосток, Океанский проспект, 19

ДИСКРЕТНОСТЬ И КОНТИНУАЛЬНОСТЬ ФЛОР ВОДОРΟΣЛЕЙ-МАКРОФИТОВ ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫХ МОРЕЙ РОССИИ. I. ОБЩИЙ ВИДОВОЙ СОСТАВ

На основе списков водорослей-макрофитов дальневосточных морей России установлено континуальное распределение конкретных флор. Путем расчленения континуума выделено 5 относительно дискретных флористических районов. Рассматриваются математические методы для установления континуальности естественных объектов. Для этих целей используются меры включения, численные значения которых измеряются в шкале совершенного (линейного) порядка, т.е. в шкале, допускающей операции нахождения максимального и минимального значения для двух элементов и отношения “больше”, “меньше” или “равно”. В приведенной шкале порядка используются методы построения оптимального ориентированного дерева и ориентированного графа с учетом заданной пороговой величины. Для каждой вершины ориентированного графа рассчитывается “индекс преобладания”, по которому можно судить о “банальности” или “оригинальности” флор.

Ключевые слова: конкретная флора, дискретность, континуальность, водоросли-макрофиты, дальневосточные моря России, меры включения, индекс преобладания, оптимальное ориентированное дерево, ориентированный граф.

Semkin B.I., Klochkova N.G., Gusarova I.S., Gorshkov M.V. Discreteness and continuity of macrophyte algae floras in the Far-Eastern Seas. I. General species composition // *Izv. TINRO*. — 2010. — Vol. 160. — P. 57–70.

Continual distribution of concrete floras is determined for the Far-Eastern Seas of Russia on the base of macrophyte algae lists. The continuum is divided onto five

* Сёмкин Борис Иванович, доктор биологический наук, профессор, ведущий научный сотрудник, e-mail: semkin@tig.dvo.ru; Клочкова Нина Григорьевна, доктор биологический наук, старший научный сотрудник, e-mail: ninacl@mail.ru; Гусарова Изабелла Семёновна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: tinro@tinro.ru; Горшков Михаил Владимирович, старший преподаватель, e-mail: gorshkov_mv@mail.ru.

relatively discrete floristic regions. Mathematics methods of the continuity determination for natural objects are overviewed, in particular the measures of inclusion quantitatively measured in the scale linear order that admits the searching the maximum and minimum values for two elements and the relations as "more", "less", or "equal". The methods of optimally oriented tree and oriented graph construction are used with a defined threshold. For each vertex of oriented graph, the index of prevalence is calculated used for evaluation of "banality" or "originality" of floras.

Key words: concrete flora, discreteness, continuity, macrophyte algae, Far-Eastern Seas of Russia, measure of inclusion, index of dominance, optimally oriented tree, oriented graph.

Введение

Огромная протяженность, сильная расчлененность береговой линии дальневосточных морей, их значительная меридиональная вытянутость, влияние материка, тесная связь с Тихим океаном, холодные и теплые течения, различные типы приливов, а также амплитуда приливно-отливных колебаний создают предпосылки для развития здесь богатой и разнообразной альгофлоры макрофитов, состоящей из бореальных арктических и субтропических элементов.

Сложность сравнительного изучения таких конкретных альгофлор макрофитов побережий обусловлена тем, что первичные флористические выделы существенно разновелики по числу видов, что не позволяет при их сравнении адекватно определять сходство (Сёмкин, 2007). В этих случаях приходится использовать относительно новый метод оценки несимметричных флористических связей, основанный на мерах включения (Сёмкин, 2008). Мера включения, метод построения оптимального ориентированного дерева и метод построения ориентированного графа (Сёмкин, Комарова, 1977, 1985; Калюжная и др., 1983; Пааль, Сёмкин, 1983) использовались нами для оценки континуальности флор. При выделении сообществ литорали на основе флористико-фаунистических признаков (Погребов, Горянина, 1988) было установлено, что выделяемые сообщества представляют собой более или менее однородные части непрерывно изменяющейся биоты. Границы между ними нечеткие (группировки переходят друг в друга, не образуя хорошо разграниченных зон, а число сообществ зависит от избранного масштаба расчленения континуума). К аналогичным результатам пришли А.И. Кафанов и В.Е. Жуков (1993), изучавшие прибрежные сообщества водорослей-макрофитов зал. Посыета, которые установили, что растительный покров* литорали и верхней sublиторали выражено континуален и составлен определенным числом вертикальных поясообразующих флористических группировок. Ситуацию "флористического континуума" (Юрцев, 1987) для флор водорослей-макрофитов, вообще говоря, еще не рассматривали. Дело в том, что для таких исследований необходимы не только достаточно полные списки видов участков побережий, но и расположение этих участков в виде географических рядов, соответствующих направлениям флористического обмена, причем целесообразно обеспечение "примыкания" участков в рассматриваемых рядах.

Например, географические ряды флористических районов водорослей-макрофитов аркто-бореальной зоны, включающие 15 выделов: мурманского побережья Баренцева моря, Новой Земли, Карского моря, восточного побережья Гренландии, Гудзонова залива, восточной части российского сектора Арктики, Анадырского залива, п-ова Камчатка, Командорских островов, Алеутских островов и Аляски, зал. Шелихова, южного Сахалина и южных Курильских остро-

* Правильно будет его назвать "флористическим составом сообществ", так как "растительный покров" (совокупность организмов на суше и в водоемах) рассматривается с точки зрения слагающих его растительных сообществ, т.е. растительности (Александрова, 1969) и флор (Юрцев, 1968).

вов, северной части Японского моря, — рассмотренные Н.Е. Толстиковой (1980) с целью разграничения арктической и тихоокеанской частей бореальной зоны, недостаточны для установления континуального перехода одних флор в другие. Как видно из названий районов, они являются очень разновеликими как по площади, так и по видовому богатству и не образуют непрерывных рядов участков, примыкающих друг к другу. Кроме того, используемые для разграничения крупных фитоценозов коэффициенты Жаккара и Престона нельзя использовать для сравнения разновеликих по числу видов флор.

Более полные списки видов водорослей-макрофитов для конкретных флор сублиторали северо-западной части Тихого океана были составлены И.С. Гусаровой (1975). На основе этих списков, дополненных по литературным источникам (Гусарова, Сёмкин, 1982) (всего общий список составил 314 видов), проведен сравнительный анализ флор 14 районов. Перечислим эти районы: Малая Курильская гряда, о. Кунашир, охотоморское и тихоокеанское побережье о. Итуруп, о. Уруп, о. Симушир, острова к северу от Симушира, о. Парамушир, юго-восточная Камчатка, западное побережье Берингова моря, Командорские острова, северо-восточный Сахалин до зал. Терпения, материковое побережье Охотского моря и Шантарские острова. Все рассматриваемые районы были сравнительно разновеликими по обилию видов и были упорядочены с помощью мер сходства Серенсена, построения иерархической дендрограммы и оптимального дерева, за исключением последнего и предпоследнего районов (при их сравнении использовались меры включения). Следует отметить, что наиболее изученными в рассматриваемой совокупности флор были конкретные флоры Курильских островов. К приведенным данным по литературным источникам (Гусарова, Сёмкин, 1986) были добавлены списки водорослей-макрофитов сублиторали Алеутских островов и Аляски. В 15 флористических районах общий список составил 486 видов. На основе этого списка проведен сравнительный анализ конкретных флор макрофитов некоторых районов северной части Тихого океана, включая Алеутские острова и Аляску (Сёмкин, Гусарова, 1983; Гусарова, Сёмкин, 1986; Сёмкин, 1987а, б). Следует особо отметить, что в работах И.С. Гусаровой и Б.И. Сёмкина (1982, 1986) приведены матрицы пересечений, а во второй (Гусарова, Сёмкин, 1986) — еще и списки видов, что позволяет воспроизвести полученные результаты исследований и чего нет в публикациях Н.Е. Толстиковой (1980). Однако приведенные данные еще не позволяют судить о флористической континуальности (исключение составляют переходные зоны), так как нет достаточной полноты видовых списков рассматриваемых районов и не соблюдается “примыкание” конкретных флор в географическом ряду.

В полной мере для исследования флористического континуума подходят данные Н.Г. Ключковой (1997). Ею было выделено для дальневосточных морей России 40 участков сублиторали, примыкающих друг к другу в географическом ряду, составлены списки видов водорослей-макрофитов (общий список включает 551 вид) и сделано предварительное объединение участков в четыре крупных района (рис. 1).

В настоящей статье по данным Н.Г. Ключковой (1997) определяется флористический континуум и на его основе “нарезаются” относительно дискретные районы.

Материалы и методы

Использованные для установления эмпирических закономерностей материалы (Ключкова, 1997) можно представить в виде матрицы данных размером 40×551 . По матрице данных рассчитана матрица пересечений размером 40×40 , элементы которой определяются как число видов, общих для каждой пары сравниваемых участков, на главной диагонали указывается число видов для каждого

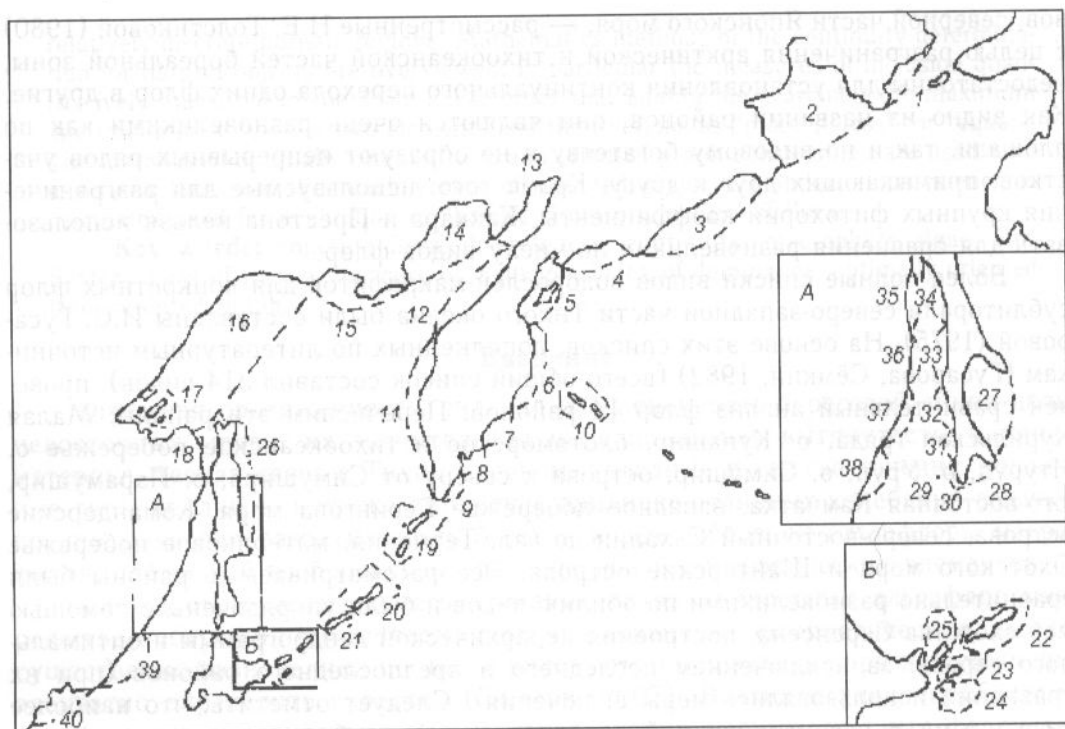


Рис. 1. Карта-схема 40 участков дальневосточного побережья России (Клочкова, 1997). Район I (северо-западный берег Берингова моря, юго-восточная Камчатка и Командорские острова): 1 — Мечигменская губа — мыс Чаплина, 2 — Анадырский залив, 3 — мыс Наварин — мыс Олюторский, 4 — Олюторский залив, 5 — заливы Корфа и Карагинский, 6 — Озерновский и Камчатский заливы, 7 — Кроноцкий залив, 8 — Авачинский залив до мыса Безымянного на юге, 9 — мыс Безымянный — мыс Лопатка, 10 — Командорские острова. Район II (западная Камчатка, материковое побережье Охотского моря, северный и северо-западный Сахалин): 11 — мыс Лопатка — мыс Утхолокский, 12 — бухта Квачина — мыс Баджедомова, 13 — мыс Баджедомова — мыс Тайганос, 14 — мыс Тайганос — мыс Толстый, 15 — мыс Толстый — п-ов Лисянского до мыса Энкен, 16 — мыс Энкен — мыс Александра, 17 — Шантарские острова, 18 — мыс Александра — мыс Лазарева. Район III (Курильские острова и восточный Сахалин): 19 — о. Парамушир с прилежащими островами, 20 — о. Симушир с прилежащими островами, 21 — о. Уруп с прилежащими островами, 22 — о. Итуруп с прилежащими островами, 23 — о-ва Малой Курильской гряды, 24 — о. Шикотан, 25 — о. Кунашир, 26 — северо-восточный берег о. Сахалин, Амурский лиман, 27 — зал. Терпения, 28 — зал. Анива. Район IV (побережье Японского моря (в пределах российской границы)): 29 — о. Монерон, 30 — мыс Крильон — пос. Перепутье, 31 — г. Горнозаводск — пос. Антоново, 32 — мыс Слепиковского — мыс Штернберга, 33 — мыс Ламанон — мыс Китоуси, 34 — мыс Фуругельма — мыс Тык, 35 — мыс Южный — мыс Садинга, 36 — бухта Мучке — мыс Путятина, 37 — бухта Иннокентия — мыс Белкина, 38 — бухта Терней — бухта Валентина, 39 — бухта Валентина — мыс Поворотный, 40 — зал. Петра Великого

Fig. 1. Scheme of 40 areas at the Far-Eastern coast of Russia (Клочкова, 1997). Region I (north-western coast of the Bering Sea, south-eastern Kamchatka and Commander Islands): 1 — Mechigmenskaya Bay — Chaplin Cape, 2 — Anadyr Bay, 3 — Navarin Cape — Olyutorskiy Cape, 4 — Olyutorskiy Bay, 5 — Korf Bay and Karaginskiy Bay, 6 — Ozerovskiy Bay and Kamchatka Bay, 7 — Kronotskiy Bay, 8 — Avachinskiy Bay — Bezimyaniy Cape, 9 — Bezimyaniy Cape — Cape Lopatka, 10 — Commander Islands. Region II (west Kamchatka, mainland coast of the Okhotsk Sea, north and north-western Sakhalin): 11 — Lopatka Cape — Utholoksky Cape, 12 — Kvachin Bay — Badzhedomov Cape, 13 — Badzhedomov Cape — Tayganos Cape, 14 — Tayganos Cape — Tolsty Cape, 15 — Tolsty Cape — Enken Cape (Lisiansky Peninsula), 16 — Enken Cape — Alexander Cape, 17 — Shantar Islands, 18 — Alexandra Cape — Lazarev Cape. Region III (Kuril Islands and

из участков. Формально матрицу пересечений можно представить в виде таблицы размерностью $q \times q$, или q^2 :

$$\|n(x_i \wedge x_j)\|, i=1, \dots, q; j=1, \dots, q, \quad (1)$$

где $n(x_i \wedge x_j)$ — число общих видов i -го и j -го списков; $n(x_i \wedge x_i)$ и $n(x_j \wedge x_j)$ — число видов соответственно в i -м и j -м списках. Матрица пересечений симметрична относительно главной диагонали, т.е. $n(x_i \wedge x_j) = n(x_j \wedge x_i)$ для любых x_i и x_j .

Следовательно, для расчетов матриц мер включения и матриц других типов необходимо знать только $\frac{q(q+1)}{2}$ элементов, расположенных по диагонали и над диагональю. На основе матрицы пересечений определяется несимметричная матрица мер включения размерностью q^2 :

$$\|K_0(x_i; x_j)\|, i=1, \dots, q; j=1, \dots, q, \quad (2)$$

где $K_0(x_i; x_j)$ — мера включения x_i в x_j , определяемая следующим образом:

$$K_0(x_i; x_j) = \frac{n(x_i \wedge x_j)}{n(x_j)}. \quad (3)$$

В силу несимметричности определяется и мера включения x_j в x_i :

$$K_0(x_j; x_i) = \frac{n(x_i \wedge x_j)}{n(x_i)}. \quad (4)$$

Сравнительный анализ конкретных флор производился с помощью теоретико-графовых методов (Юрцев, Сёмкин, 1980; Сёмкин, 1987б). Нами будут использованы только методы основанные на мерах включения (2), т.е. метод построения оптимального ориентированного дерева (Сёмкин, Комарова, 1977, 1985; Калужная и др., 1983; Пааль, Сёмкин, 1983), метод построения ориентированного графа с помощью пороговой величины (Сёмкин, Комарова, 1977; Андреев, 1979, 1980; Кафанов, 1993; Сёмкин, 2008, 2009) и метод определения "банальности" и "оригинальности" флор на основе индекса преобладания (Сёмкин, Куликова, 1981; Сёмкин, 1987б; Кафанов, 1994; Сёмкин и др., 2009а).

Выбор методов обработки данных обоснован теорией измерений (Суппес, Зиннес, 1967; Пфанцагель, 1976; Котов, 1985). Дело в том, что на элементах матрицы мер включений (без элементов главной диагонали) устанавливается совершенный (линейный) порядок, т.е. какие бы два элемента мы ни взяли, обязательно выполняется условие — один элемент больше (меньше) или равен другому. Известно, что в порядковой шкале возможны только алгебраические операции определения максимального или минимального элемента из несколь-

eastern Sakhalin Island): 19 — Paramushir Island with adjacent isles, 20 — Simushir Island with adjacent isles, 21 — Urup Island with adjacent isles, 22 — Iturup Island with adjacent isles, 23 — Small Kuril Islands, 24 — Shikotan Island, 25 — Kunashir Island, 26 — northeastern Sakhalin Island and the Amur estuary, 27 — Terpeniya (Patience) Bay, 28 — Aniva Bay. Region IV (Japan Sea within Russian borders): 29 — Moneron Island, 30 — Crillon Cape — p. Pereputye, 31 — Gornozavodsk — p. Antonovo, 32 — Slepikovsky Cape — Sternberg Cape, 33 — Lamanon Cape — Kitousi Cape, 34 — Furugelm Cape — Tyk Cape, 35 — Yuzhny Cape — Sadinga Cape, 36 — Muchke Bay — Putiatin Cape, 37 — Innocenty Bay — Belkin Cape, 38 — Terney Bay — Valentin Bay, 39 — Valentin Bay — Povorotny Cape, 40 — Peter the Great Bay

ких, но при этом недопустимы операции сложения, вычитания элементов, умножения и деления. Шкала порядка однозначна с точностью до монотонных преобразований (возрастающих или убывающих). Указанное требование к шкале порядка и обуславливает выбор методов исследования.

Меры включения впервые были введены Б.И. Сёмкиным (1973) и нашли широкое применение в биологии, экологии, географии и других науках, хотя стоит отметить, что некоторые исследователи допускают грубейшие ошибки в их использовании и обосновании. В связи с этим мы подробно остановимся на интерпретации результатов исследования конкретных флор водорослей-макрофитов именно с помощью мер включения.

Результаты и их обсуждение

Матрица мер пересечения (матрица пересечений)

Матрица пересечений содержит всю необходимую информацию для применения теоретико-графовых методов. Следовательно, если автор не имеет возможности привести в публикации полную матрицу первичных данных, он должен обязательно привести матрицу пересечений, благодаря которой решается проблема воспроизводимости результатов, полученных в работе.

Можно привести ряд опубликованных кратких тезисов докладов конференций, в которых приведены матрицы пересечений, например работа О.Г. Кусакина и В.Л. Андреева (1980), в которой представлена матрица размерностью 13×13 , работа И.С. Гусаровой и Б.И. Сёмкина (1982), где также есть матрица 13×13 , а вот отсутствие в тезисах матрицы пересечений, например для 13 районов по списку водорослей-макрофитов аркто-бореальной зоны (Толстикова, 1980), не позволяет использовать данные публикации для обработки теоретико-графовыми методами или воспроизвести результаты исследования. Для мер пересечения разработана система аксиом, а основные алгоритмы сравнительного анализа реализованы в виде компьютерной программы, в которой анализ можно начинать с матрицы пересечений (Сёмкин, Горшков, 2008; Сёмкин и др., 2009б).

В нашем случае матрица пересечений приводится в компактной форме (табл. 1) в виде прямоугольной таблицы 40×21 , причем 20 клеток пусты, а диагональные элементы расположены в два параллельных ряда.

Впервые компактная запись матрицы пересечений для 32 списков видов рыб Понто-Каспия в форме прямоугольной таблицы 32×18 приводится В.Л. Андреевым и В.И. Козловым (1983). Можно строго обосновать, что оптимальная форма

прямоугольной таблицы для четного числа объектов имеет размерность $q \times \binom{q}{2} + 1$, а для нечетного числа объектов размерность прямоугольной таблицы будет $q \times \binom{q+1}{2}$, причем $\binom{q}{2}$ пустых ячеек будет наблюдаться в первом случае и ни одной пустой ячейки — во втором.

На диагонали матрицы пересечений (табл. 1) расположены элементы, характеризующие флористическое богатство каждого из 40 участков. При рассмотрении значений главной диагонали матрицы пересечений можно увидеть, что число видов на участках меняется от 74 (мыс Александра — мыс Лазарева) до 279 (зал. Петра Великого). Отметим, что полнота видовых списков существенно возросла в сравнении со списками, составленными И.С. Гусаровой (Гусарова, Сёмкин, 1986). Так, например, для о. Симушир список увеличился на 47 видов, для о. Парамушир — на 37 видов, для о. Кунашир — на 44 вида, для Командорских островов — на 81 вид.

Для Командорских островов, по данным Н.Г. Клочковой (1997), список составляет 209 видов водорослей-макрофитов. По личным данным О.Н. Селиванов-

Таблица 1

Матрица пересечения для водорослей-макрофитов дальневосточного побережья России

Table 1

Matrix of crossings for macrophyte algae at the Far-Eastern coast of Russia

1	58	×	270	182	159	147	134	138	119	122	100	149	146	152	136	110	66	123	102	115	24	23	22
2	44	104	×	189	155	140	124	129	114	115	95	130	130	130	117	106	66	118	97	109	100	39	40
3	23	29	32	×	195	150	130	130	117	116	99	128	130	118	118	109	68	116	99	107	100	38	39
4	45	77	30	111	×	181	136	133	121	119	102	130	127	117	124	108	65	120	98	110	99	37	38
5	39	66	28	79	108	×	161	136	119	112	97	119	120	110	121	107	64	108	91	97	98	36	37
6	41	67	28	83	89	125	×	165	126	121	102	120	116	119	117	105	66	111	89	98	95	35	36
7	40	68	27	82	85	96	130	×	130	111	116	106	114	106	110	99	65	104	84	89	89	34	35
8	44	80	30	94	95	111	116	191	×	149	106	118	114	109	111	99	63	107	87	91	88	33	34
9	34	56	27	69	76	84	95	113	117	×	122	104	101	92	98	89	60	90	74	83	79	32	33
10	43	74	29	90	83	106	111	149	108	209	×	216	137	124	131	104	68	121	95	109	100	31	32
11	36	59	26	69	76	81	88	100	82	96	112	×	192	128	136	117	82	137	111	121	118	30	31
12	38	60	27	70	69	79	78	94	73	88	92	111	×	182	111	94	61	108	87	99	91	29	30
13	36	56	26	61	57	65	60	72	55	69	71	77	91	×	191	122	76	132	109	111	109	28	29
14	38	57	27	71	71	75	71	88	65	82	78	86	77	107	×	157	81	118	102	105	107	27	28
15	43	69	27	79	73	84	81	99	73	97	83	89	84	98	129	×	99	73	66	69	76	26	27
16	42	72	26	75	78	81	80	100	74	100	85	89	81	88	107	148	×	190	133	146	134	25	26
17	43	78	27	81	78	85	86	117	78	109	87	98	84	94	111	128	173	×	157	127	123	24	25
18	26	40	18	43	46	49	50	60	46	57	57	58	55	54	64	66	71	74	×	173	136	23	24
19	29	56	25	67	68	78	85	110	84	115	81	74	56	69	73	75	81	48	142	×	176	22	23
20	29	55	24	70	67	77	82	109	84	116	82	73	56	69	73	76	82	49	120	150	×	176	22
21	27	51	20	63	63	73	76	100	79	103	75	68	53	66	68	73	78	45	110	124	138	22	23
22	33	55	25	72	74	84	93	114	87	112	84	80	61	77	80	87	96	53	112	120	120	21	22
23	30	49	22	64	67	80	86	103	75	100	77	71	55	73	74	83	93	55	93	100	100	20	21
24	28	44	20	59	62	75	79	95	70	96	72	71	53	71	75	81	90	50	88	89	93	19	20
25	31	51	23	65	69	80	82	100	74	96	75	71	55	73	77	84	93	56	94	93	96	18	19
26	34	49	23	57	58	64	61	75	59	73	61	64	51	63	66	68	73	45	68	66	66	17	18
27	39	60	25	71	73	78	79	96	75	90	73	77	62	75	82	90	94	60	80	79	78	16	17
28	34	54	24	64	64	70	73	90	69	87	67	71	58	70	79	88	100	55	70	74	75	15	16
29	29	46	20	51	55	59	64	76	53	68	60	56	50	60	65	71	77	45	63	62	62	14	15
30	38	59	26	67	70	80	85	109	78	101	81	81	65	82	86	97	105	59	92	93	87	13	14
31	35	52	24	58	62	68	75	93	63	82	66	67	55	65	70	80	87	51	70	70	67	12	13
32	29	43	23	48	53	55	59	69	50	65	54	56	51	57	65	75	72	47	55	54	52	11	12
33	29	46	23	51	53	61	65	78	53	70	61	62	55	60	67	77	80	50	63	59	59	10	11
34	33	55	22	57	58	65	69	84	60	78	66	67	58	62	75	83	87	53	65	63	61	9	10
35	36	56	24	58	63	68	73	86	58	77	70	69	62	66	79	88	93	56	66	64	63	8	9
36	38	54	23	58	62	67	73	87	61	80	69	68	61	69	81	87	91	53	66	63	61	7	8
37	34	55	23	51	53	60	68	74	90	63	83	68	56	68	78	86	92	53	70	69	65	6	7
38	33	57	23	62	65	77	78	98	65	91	69	71	60	73	83	93	98	55	76	75	70	5	6
39	32	55	22	60	61	72	72	91	60	86	64	66	60	69	77	85	90	54	71	71	70	4	5
40	31	58	23	60	62	70	75	96	57	88	60	62	59	66	75	84	96	53	76	76	70	3	4
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24

вой (2004) выявлено на данном объекте 164 вида, а список видов с учетом литературных данных в целом составил 211 видов, включая 2 вида трав.

Матрица мер включения

Матрица пересечения легко преобразуется в матрицу мер включения, для этого необходимо взять каждый элемент строки (столбца) полной матрицы пересечения и поделить на диагональный элемент соответствующей ему строки (столбца). Направление включения указывается стрелкой: в первом случае — горизонтальной (включение по строке), во втором — вертикальной (по столбцу).

По матрице мер пересечения (табл. 1) нами получена матрица мер включения (табл. 2) размером 40×40 (направление включения указано в верхнем левом углу). Например, 1-й участок включается в 4-й на 78 %, а 4-й в 1-й на 41 %.

Оптимальное ориентированное дерево и ориентированный граф

Как уже было сказано ранее, в силу ограничений используемой шкалы нам доступны только операции взятия максимума и минимума. Этим требованиям удовлетворяют методы построения оптимального ориентированного дерева и ориентированного графа, построенного с помощью пороговой величины.

Суть алгоритма построения оптимального ориентированного дерева в следующем: матрица мер включения просматривается сверху вниз слева направо, и выбирается внедиагональный максимальный элемент, который означает максимальное включение одного списка в другой. Эти объекты на графе соединяются дугой с указанием численного значения. Если подобных значений несколько, берется то, которое встретилось раньше. Если один объект включается с одинаковыми значениями в несколько объектов и при этом образуются циклы, то необходимо оставить только одну связь, причем для элемента с меньшим числом видов в списке (например, если участок 3 включается на 94 % в 4-й (111 видов) и 8-й (191 вид) участки, то оставляем связь только для 4-го). Затем с оставшимися элементами процедура повторяется, но присоединение элементов к частям ориентированного графа осуществляется таким образом, чтобы не было замкнутых циклов (Сёмкин, Комарова, 1977, 1985; Калюжная и др., 1983; Пааль, Сёмкин, 1983).

В нашем случае получаем ориентированный дендрит из 40 элементов (рис. 2). Наблюдается постепенный переход флор от Чукотки до Приморского края, причем односторонние связи весьма существенны (80–90 %). По величине этих связей из общего альгофлористического континуума можно “нарезать” 5 дискретных районов (рис. 2).

Сравним полученные нами районы и ранее выделенные Н.Г. Клочковой (1997). В общем наблюдается достаточно большая сходимость этих двух схем, но имеются некоторые различия. В нашем случае в районе I появляется 11-й участок (мыс Лопатка — мыс Утхолокский). Во II районе других изменений, кроме исключенного вышеотмеченного участка, нет.

Третий район был нами разбит на два подрайона: III A (Курильские острова) и III B (восточный Сахалин), причем первый тяготеет к I району и включается через 10-й участок (Командорские острова) на 81 %. При этом мы отмечаем, что 25-й участок (III A) включается в 27-й (III B) на 75 %. По данным И.С. Гусаровой (Гусарова, Сёмкин, 1986) также выделялся район, аналогичный III A, но с некоторыми расхождениями.

Четвертый район изменений не претерпел. Отметим, что остается неоднозначным отнесение 30-го участка (мыс Крильон — пос. Перепутье), который тяготеет одновременно к III B и IV районам.

При пороге $\delta \geq 50\%$ по матрице мер включения можно построить ориентированный граф, но графическое изображение не является наглядным из-за большого числа дуг графа. Поэтому мы отразим структуру графа с помощью индек-

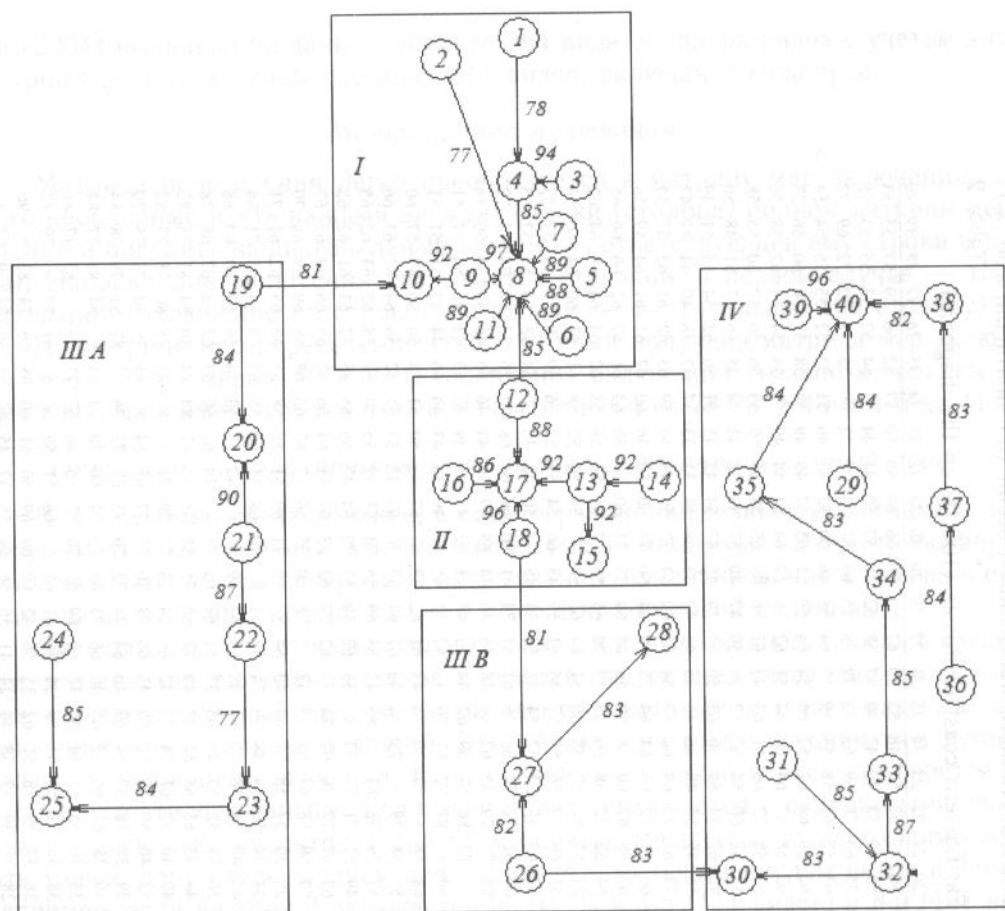


Рис. 2. Оптимальный ориентированный дендрит для конкретных альгофлор макрофитов побережья Дальнего Востока: *I* — северо-западный берег Берингова моря, юго-восточная и юго-западная Камчатка и Командорские острова; *II* — северо-западная Камчатка, материковое побережье Охотского моря, северный и северо-западный Сахалин; *III A* — Курильские острова; *III B* — восточный Сахалин; *IV* — побережье Японского моря (в пределах российских границ)

Fig. 2. Optimally oriented tree for concrete floras of macrophyte algae at the Russian Far-Eastern: *I* — north-western coast of the Bering Sea, south-east and south-west Kamchatka and Commander Islands; *II* — north-west Kamchatka, mainland coast of the Okhotsk Sea, north and north-west Sakhalin; *III A* — Kuril Islands; *III B* — east Sakhalin; *IV* — Japan Sea within Russian borders

сов преобладания (Сёмкин, Куликова, 1981; Кафанов, 1994; Сёмкин и др., 20096) в табл. 3:

$$d(A) = \frac{d^+(A) - d^-(A)}{n - 1},$$

где $d(A)$ — индекс “преобладания” вершины A графа; $d^+(A)$ — число дуг, входящих в вершину A графа; $d^-(A)$ — число дуг, исходящих из вершины A графа; n — число вершин графа.

Из данных табл. 3 видно, что самой “банальной” альгофлорой является 3-й участок (мыс Наварин — мыс Олюторский), а самой “оригинальной” — 40-й участок (зал. Петра Великого). В каждом районе есть оригинальные флоры: *I* — участки 10 (0,5) и 8 (0,33); *II* — участок 17 (0,25); *III A* — участки 22, 23, 25 с одним значением (0,38) и 24 (0,25); *III B* — участки 28 (0,43) и 27 (0,23); *IV* — участки 40 (0,7), 38 (0,48), 39 (0,48), 31 (0,43), 37 (0,38), 35 (0,35), 34 (0,28).

Таблица 3
 Индексы преобладания для водорослей-макрофитов
 дальневосточного побережья России (при пороге $\delta \geq 50$)*
 Table 3

Indexes of dominance for algae-macrophytes
 of the Far Eastern coast of Russia (at a threshold $\delta \geq 50$)

	d ⁺	d ⁻	d	d ⁺	d ⁻	d
1	1	35	-0,87	21	21	0,03
2	12	28	-0,41	22	38	0,38
3	0	39	-1,00	23	37	0,38
4	15	33	-0,45	24	34	0,25
5	15	34	-0,48	25	35	0,38
6	20	33	-0,33	26	13	-0,58
7	25	32	-0,18	27	37	0,23
8	33	20	0,33	28	35	0,43
9	20	30	-0,25	29	27	0,28
10	28	8	0,50	30	38	0,53
11	20	36	-0,40	31	34	0,43
12	17	37	-0,50	32	20	-0,05
13	14	37	-0,58	33	27	0,20
14	16	37	-0,53	34	33	0,28
15	19	37	-0,45	35	34	0,35
16	27	32	-0,13	36	34	0,30
17	33	23	0,25	37	34	0,38
18	6	37	-0,78	38	38	0,48
19	25	21	0,10	39	36	0,48
20	24	18	0,15	40	37	0,70

Гипотеза естественной непрерывности

А. Пуанкаре (1983), рассматривая физическую непрерывность, пришел к выводу, что в этом понятии заключено противоречие, так как в случае непосредственного опыта (из данных наших чувств) допускается, что два количества, равные одному и тому же третьему, не равны между собой. Следовательно, физический континуум не позволяет выделить дискретные единицы, так как нарушается отношение транзитивности. Благодаря глубокой абстракции построен математический континуум, лишенный указанного внутреннего противоречия физической непрерывности. В приложении к естественному континууму (фитоценологическому, флористическому, почвенному и др.) сформулируем гипотезу: непрерывность обусловлена методологическими причинами, т.е. степенью схематизации (абстрагирования) исследовательских задач, а не свойствами организации изучаемых объектов и процессов.

В природе при сравнении объектов, особенно многомерных, редко определяются транзитивные отношения. Как известно (Шрейдер, 1970), для выделения дискретных единиц в множестве объектов необходимым условием является эквивалентность этих объектов, т.е. они должны обладать следующими свойствами:

- 1) $A \sim A$ (рефлексивность);
- 2) если $A \sim B$, то $B \sim A$ (симметричность);
- 3) если $A \sim B$ и $B \sim C$, то $A \sim C$ (транзитивность).

Множество таких объектов можно разбить на классы, которые не пересекаются, и их объединения совпадают с рассматриваемым множеством. Очевидно, что физический континуум Пуанкаре невозможно разбить на непересекающиеся классы, так как для рассматриваемых им объектов не выполняется отношение транзитивности.

* Обозначения в тексте.

Рассмотрим симметричные и несимметричные отношения для флористических описаний (видовых списков), представляемых множествами. Транзитивные отношения включения множества A в B и B в A определяются следующим образом:

$$A \subseteq B \text{ тогда и только тогда, когда } A \cap B = A;$$

$$B \subseteq A \text{ тогда и только тогда, когда } A \cap B = B.$$

Дадим количественную оценку степени проявления отношений включения, используя в качестве меры множества A число его элементов $n(A)$. Тогда несимметричные транзитивные отношения включения удовлетворяют следующим соотношениям:

$$A \subseteq B \Leftrightarrow n(A \cap B) = n(A) \Leftrightarrow K(B; A) = \frac{n(A \cap B)}{n(A)} = 1;$$

$$A \supseteq B \Leftrightarrow n(A \cap B) = n(B) \Leftrightarrow K(A; B) = \frac{n(A \cap B)}{n(B)} = 1.$$

В случае “неполного включения” мера степени включения удовлетворяет условиям

$$K(A; B) < 1 \text{ и } K(B; A) < 1.$$

Если отношение включения транзитивно, то отношение “неполного включения”, вообще говоря, нетранзитивно. Отношение равенства множеств транзитивно и определяется соотношением

$$A = B \Leftrightarrow K(B; A) = K(A; B) = 1.$$

Однако в случае $K(A; B) < 1$ или $K(B; A) < 1$ определяется отношение сходства (толерантности), которое нетранзитивно. В природе очень редко встречаются сложные объекты, находящиеся в отношении транзитивности. Например, в нашей таблице мер включения (см. табл. 2) можно найти группу из трех альгофлор, которые не удовлетворяют отношению транзитивности по включению. В связи с этим часто используются математические методы для “насильственного” приведения описаний кусков континуума в дискретные классы (например, метод “транзитивного замыкания” матрицы сходства (Сёмкин, 1987а, б), методы выделения “сильных связей”).

Следовательно, растительный покров (сообщества и флоры) представляет собой природный континуум, а процедура выделения дискретных единиц есть “нарезание” участков различными способами. К аналогичным представлениям пришли при изучении почвенного покрова (Дмитриев, 1981).

Заключение

На основе принципов теории измерений предложена методика адекватного математического упорядочивания 40 конкретных альгофлор макрофитов побережья Дальнего Востока России. Структура построенного оптимального ориентированного дерева наглядно показывает непрерывный переход флор разных районов северо-западной Пацифики в пределах бореальной зоны. По результатам исследования выделено 5 флористических районов.

Список литературы

Александрова В.Д. Классификация растительности. Обзор принципов классификации и классификационных систем в различных геоботанических школах : монография. — Л. : Наука, 1969. — 275 с.

Андреев В.Л. Классификационные построения в экологии и систематике : монография. — М. : Наука, 1980. — 142 с.

Андреев В.Л. Системы-классификации в биогеографии и систематике (детерминистские методы) // Иерархические классификационные построения в географической экологии и систематике. — Владивосток : ДВНЦ АН СССР, 1979. — С. 3–59.

Андреев В.Л., Козлов В.И. Предварительные списки видов рыб и рыбообразных пресных вод Понто-Каспия // Теоретико-графовые методы в биогеографических исследованиях. — Владивосток : ДВНЦ АН СССР, 1983. — С. 102–115.

Гусарова И.С. Макрофитобентос сублиторальной зоны островов Итуруп, Уруп и Симушир (Большая Курильская гряда) : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Л., 1975. — 23 с.

Гусарова И.С., Сёмкин Б.И. Сравнительный анализ конкретных флор сублиторали северо-западной части Тихого океана // Биология шельфовых зон Мирового океана : тез. докл. 3-й Всесоюз. конф. по морской биологии. Ч. I. — Владивосток : ДВНЦ АН СССР, 1982. — С. 18–19.

Гусарова И.С., Сёмкин Б.И. Сравнительный анализ флор макрофитов некоторых районов северной части Тихого океана с использованием теоретико-графовых методов // Ботан. журн. — 1986. — Т. 71, № 6. — С. 781–789.

Дмитриев Е.А. Дискретность и непрерывность объектов классификации почв // Всесоюз. конф. “Теория классификаций и анализ данных”. Ч. 1. — Новосибирск : СО АН СССР, 1981. — С. 77–79.

Калужная Н.С., Сёмкин Б.И., Петухова Е.Л. Анализ структуры фауны жесткокрылых (Coleoptera) северо-западной части Сарпинской низменности (Калмыкская АССР) с использованием теоретико-графовых методов // Энтомол. обозрение. — 1983. — Т. 62, № 1. — С. 199–204.

Кафанов А.И. Влияние видового богатства и обилия на меры включения при теоретико-графовом анализе // Изв. РАН. Сер. биол. — 1994. — № 3. — С. 428–434.

Кафанов А.И., Жуков В.Е. Прибрежные сообщества водорослей-макрофитов залива Посъет (Японское море): сезонная динамика и пространственная структура : монография. — Владивосток : Дальнаука, 1993. — 156 с.

Клочкова Н.Г. Водоросли-макрофиты дальневосточных морей России : дис. ... д-ра биол. наук. — Петропавловск-Камчатский : ДВО РАН, 1997. — 277 с.

Котов В.Н. Применение теории измерений в биологических исследованиях : монография. — Киев : Наук. думка, 1985. — 100 с.

Кусакин О.Г., Андреев В.Л. Биогеографическая структура фауны равноногих ракообразных Антарктики и Субантарктики // Проблемы морской биогеографии. — Владивосток : ДВНЦ АН СССР, 1980. — С. 55–57.

Пааль Я.Л., Сёмкин Б.И. Анализ растительности средней тайги при помощи мер включения и сходства // Ботан. журн. — 1983. — Т. 68, № 10. — С. 1341–1350.

Погребов В.Б., Горянина О.О. Литораль полузамкнутой акватории Белого моря в условиях распреснения. 2. Нумерическая классификация биоты // Вестн. ЛГУ. Сер. 3. — 1988. — Вып. 3. — С. 21–28.

Пуанкаре А. О науке : монография. — М. : Наука, 1983. — 560 с.

Пфанцгаль И. Теория измерений : монография. — М. : Мир, 1976. — 249 с.

Селиванова О.Н. Макрофиты российского шельфа Берингова моря, Командорских островов и юго-восточной Камчатки : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. — Владивосток : ДВГУ, 2004. — 39 с.

Сёмкин Б.И. Deskриптивные множества и их приложения // Исследование систем. Т. 1: Анализ сложных систем. — Владивосток : ДВНЦ АН СССР, 1973. — С. 83–94.

Сёмкин Б.И. К методике анализа разновеликих множеств в сравнительной флористике // Комаровские чтения. — 2008. — Вып. 56. — С. 179–195.

Сёмкин Б.И. Количественные показатели для оценки односторонних флористических связей, предложенные Б.А. Юрцевым // Ботан. журн. — 2007. — Т. 92, № 4. — С. 570–583.

Сёмкин Б.И. О связи между средними значениями двух мер включения и мерами сходства // Бюл. Ботан. сада-института ДВО РАН [Электронный ресурс] : науч. журн. — 2009. — Вып. 3. — С. 91–101. <http://www.botsad.ru/journal/number3/02.pdf>.

Сёмкин Б.И. Сравнительный многомерный анализ структурной организации растительного покрова : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. — Л., 1987а. — 34 с.

Сёмкин Б.И. Теоретико-графовые методы в сравнительной флористике // Теоретические и методические проблемы сравнительной флористики : мат-лы 2-го рабоч. совещ. по сравнительной флористике. — Л. : Наука, 19876. — С. 149–163.

Сёмкин Б.И., Горшков М.В. Система аксиом симметричных функций двух переменных и меры, измеряющие отношения сходства различия, совместимости и зависимости для компонентов биоразнообразия // Вестн. ТГЭУ. — 2008. — № 4. — С. 31–46.

Сёмкин Б.И., Гусарова И.С. Сравнительный анализ конкретных флор макрофитов Хультенки // Биологические проблемы Севера : мат-лы 10-го Всесоюз. симпоз. Ч. 2: Животный мир. — Магадан : ДВНЦ АН СССР, 1983. — С. 437.

Сёмкин Б.И., Комарова Т.А. Анализ фитоценологических описаний с использованием мер включения (на примере растительных сообществ долины реки Амгуэмы на Чукотке) // Ботан. журн. — 1977. — Т. 62, № 1. — С. 54–63.

Сёмкин Б.И., Комарова Т.А. Использование мер включения при изучении вторичных сукцессий (на примере послепожарных сообществ Сихотэ-Алиня) // Ботан. журн. — 1985. — Т. 70, № 1. — С. 89–97.

Сёмкин Б.И., Куликова Л.С. Методика математического анализа списка видов насекомых в естественных и культурных биоценозах. — Владивосток : ТИГ ДВНЦ АН СССР, 1981. — 73 с.

Сёмкин Б.И., Орешко А.П., Горшков М.В. Об использовании биоинформационных технологий в сравнительной флористике. I. Схемно-целевой подход. Абсолютные меры сходства и различия // Бюл. Ботан. сада-института ДВО РАН [Электронный ресурс] : науч. журн. — 2009а. — Вып. 3. — С. 102–111. <http://www.botsad.ru/journal/number3/02.pdf>.

Сёмкин Б.И., Селедец В.П., Майоров И.С., Горшков М.В. Использование сравнительного анализа растительного покрова для кадастровых оценок ботанических памятников природы // Вестн. КрасГАУ. — 2009б. — № 4. — С. 115–120.

Суплес П., Зиннес Д. Основы теории измерений // Психологические измерения. — М., 1967. — С. 9–110.

Толстикова Н.Е. О методах выявления фитогеографической принадлежности у макрофитов Арктики // Проблемы морской биогеографии. — Владивосток : ДВНЦ АН СССР, 1980. — С. 117–119.

Шрейдер Ю.А. Равенство, сходство, порядок : монография. — М., 1970. — 255 с.

Юрцев Б.А. Флора как базовое понятие флористики: содержание понятия, подходы к изучению // Теоретические и методические проблемы сравнительной флористики : мат-лы 2-го рабоч. совещ. по сравнительной флористике. — Л. : Наука, 1987. — С. 13–28.

Юрцев Б.А. Флора Сунтар-Хаята : монография. — Л. : Наука, 1968. — 235 с.

Юрцев Б.А., Сёмкин Б.И. Изучение конкретных и парциальных флор с помощью математических методов // Ботан. журн. — 1980. — Т. 65, № 12. — С. 1706–1718.

Поступила в редакцию 17.09.09 г.