

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 582.26:57.087.1

Б.И. Семкин, Л.И. Варченко, М.В. Горшков*Тихоокеанский институт географии ДВО РАН,
690041, г. Владивосток, ул. Радио, 7**О ТАКСОНОМИЧЕСКИХ ИНВАРИАНТАХ
ВОДОРΟΣЛЕЙ-МАКРОФИТОВ И ИХ НАРУШЕНИИ
ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ**

Разработаны новые математические методы определения многокомпонентных инвариантов путем установления их постоянства с помощью использования мер процентного сходства. Установлена типизация дескриптивных наборов. Рассмотрен важный тип для обоснования инвариантов — нормированные в целом дескриптивные наборы с исключением компонент нуля и единицы. В этом типе дескриптивных наборов инварианты и относительные спектры совпадают, совпадают также средние арифметические многокомпонентных инвариантов и медианта. Установлены таксономические инварианты альгофлор макрофитов частей Авачинской губы в 1970 и 1991 гг. и показано резкое изменение их под воздействием антропогенных факторов.

Ключевые слова: таксономический инвариант, элементарная теория сходства, дескриптивные наборы, относительные таксономические спектры, Авачинская губа, макрофиты, конкретная альгофлора.

DOI: 10.26428/1606-9919-2019-199-249-255.

Semkin B.I., Varchenko L.I., Gorshkov M.V. On taxonomic invariants of macrophyte algae and their violation under exposure to anthropogenic factors // *Izv. TINRO.* — 2019. — Vol. 199. — P. 249–255.

New mathematical methods for determining of multicomponent invariants are developed by detection of their constancy using the measures of percentage similarity. Typification of the descriptive sets is proposed. An important type for verification of invariants is considered — generally normalized descriptive sets, with exception of 0 and 1 components. In this type of descriptive sets, the invariants and relative spectra match, the arithmetic mean of multicomponent invariants and the median also match. Taxonomic invariants for the macrophyte floras in the Avachinskaya Guba Bay are determined for 1970 and 1991, and their rapid changes under anthropogenic impacts are demonstrated.

Key words: taxonomic invariant, elementary theory of similarity, descriptive set, relative taxonomic spectrum, Avachinskaya Guba Bay, macrophyte, specific algaeflora.

* Семкин Борис Иванович, доктор биологических наук, профессор, ведущий научный сотрудник, e-mail: semkin@tigdvo.ru; Варченко Лариса Ивановна, научный сотрудник, e-mail: varchenkol@tigdvo.ru; Горшков Михаил Владимирович, научный сотрудник, e-mail: gorshkov_mv@mail.ru.

Semkin Boris I., D.Biol., professor, leading researcher, Pacific Institute of Geography, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Radio Str. 7, Vladivostok 690041, Russia, e-mail: semkin@tigdvo.ru; Varchenko Larisa I., researcher, Pacific Institute of Geography, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Radio Str. 7, Vladivostok 690041, Russia, e-mail: varchenkol@tigdvo.ru; Gorshkov Mikhail V., researcher, Pacific Institute of Geography, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Radio Str. 7, Vladivostok 690041, Russia, e-mail: gorshkov_mv@mail.ru.

Введение

Впервые для флор водорослей-макрофитов определены таксономические инварианты как относительные трехкомпонентные спектры.

Оказалось, что теоретической основой определения и анализа инвариантов является элементарная теория сходства дескриптивных наборов [Semkin, 2012, 2015; Semkin, Gorshkov, 2014]. Кратко приведем определение экологического инварианта и некоторые результаты элементарной теории сходства для развития теоретических положений различных инвариантов.

Под термином «экологический инвариант организма, популяции» или «экологический инвариант сообщества» будем понимать соотношение экологических признаков, остающихся неизменными при изменяющихся условиях среды [Семкин и др., 2012; Семкин, Варченко, 2019].

Дескриптивные наборы определяются с помощью весов — положительных чисел [Семкин, 1973]. Основные требования к весам: они должны быть измерены в шкале отношений [Суппес, Зинес, 1967; Пфанцгаль, 1976; Котов, 1985]. Эквивалентное понятие дескриптивного множества — дескриптивный набор, который будем использовать в дальнейшем и обозначать $a = (a_1, a_2, \dots, a_r)$, $a_i \geq 0$, $i = 1, \dots, r$.

Последние два столетия в биологии использовались 5 типов дескриптивных наборов [Jaccard, 1901; Шорыгин, 1939; и др.]. Приведем их в формальном виде, а также введем новый шестой тип.

1. Булевы дескриптивные наборы — $a_i \in \{0, 1\}$, $i = 1, \dots, r$.
2. Мультинаборы — $a_i \in \{0, 1, \dots, n\}$, $i = 1, \dots, r$.
3. Весовые дескриптивные наборы — $a_i \geq 0$, $i = 1, \dots, r$.
4. Нормированные дескриптивные наборы по компонентам — $0 \leq a_i \leq 1$, $i = 1, \dots, r$.
5. Нормированные в целом дескриптивные наборы — $0 \leq a_i \leq 1$, $\sum_{i=1}^r a_i = 1$, $i = 1, \dots, r$.
6. Нормированные в целом дескриптивные наборы с исключением значений 0 и 1, т.е. $0 < a_i < 1$, $\sum_{i=1}^r a_i = 1$.

Наиболее часто в биологии и экологии используются дескриптивные наборы 1, 2, 3 и 6-го типов. В нашей статье будет использоваться в основном шестой тип дескриптивных наборов. Только этот тип позволяет определять в биологии и экологии различные относительные спектры.

Относительные спектры используются для расчета мер одновеликости и разновеликости. Мера одновеликости дескриптивных наборов

$$R_s = K_o = \sum_{i=1}^r \min(p_i, 1/r),$$

где $\sum_{i=1}^r p_i = 1$, $0 < p_i \leq 1$, p_i — доли диагональных элементов матрицы пересечений; K_o — мера сходства Шорыгина дескриптивного набора p с эталонным дескриптивным набором $p_{\text{эт}} = (1/r, \dots, 1/r)$, r — число компонент дескриптивного набора $p_{\text{эт}}$; $i = 1, \dots, r$; $0 < R_s \leq 1$.

Мера разновеликости дескриптивных наборов, двойственная мере одновеликости:

$$Q_s = 1 - K_o = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^r |p_i - 1/r|,$$

где $\sum_{i=1}^r p_i = 1$; $0 < p_i < 1$; $0 \leq Q_s < 1$; $i = 1, \dots, r$.

Статистические методы оценки экологических инвариантов разработаны Б.И. Семкиным с соавторами [2008], а затем применены при исследовании изменчивости таллов бурой водоросли *Saccharina japonica* Aresch. C.E. Lane, C. Mayes, L.D. Druehl и G.W. Saunders [= ламинария японская (*Laminaria japonica* Aresch.)] из сублиторали северного Приморья [Семкин и др., 2012].

Вскоре после пионерской статьи Б.И. Семкина с соавторами [2012] были опубликованы работы по оценке экологических и таксономических инвариантов растительного покрова, представляемые в виде отношения двух величин или в виде различных относительных спектров [Семкин, Варченко, 2019]. Следует отметить, что инварианты можно определять для отдельного органа, фазы развития организма, популяции организмов, сообществ и экосистемы [Семкин, Варченко, 2019].

Экологические инварианты были установлены также при изучении изменений содержания воды в однолетних побегах древесных хвойных растений умеренной климатической зоны. Так, отношение количества воды к сырой массе однолетнего побега в определенные фазы развития является инвариантом и остается постоянным в течение нескольких лет для 8 видов хвойных растений [Семкин и др., 2008; Семкин, Варченко, 2019].

Экологические инварианты определены для высокотравного сообщества на Камчатке [Семкин, Варченко, 2019].

Таксономические инварианты установлены для трех видов борщевиков *Heracleum* L. (*H. dissectum* Ledeb., *H. dulce* Fisch., *H. moellendorffii* Nance) [Басаргин и др., 1978; Семкин, Варченко, 2019]. Подтверждается гипотеза А.И. Толмачева [1974] о том, что головная часть относительного семейственно-видового спектра, т.е. десять наиболее обильных по видам семейств, определяет «лицо» флористической области. Это положение справедливо, например, для трех районов Сибири [Малышев и др., 1998; Семкин и др., 2013]. Возможно, в будущем этот относительный спектр и станет одним из важнейших таксономических инвариантов.

Пример 1

Определим таксономический инвариант для вида василисника амурского *Thalictrum amurense* Maxim. (сем. Ranunculaceae Juss) [Борзова, Семкин, 1978]. Пыльца бралась с гербарных экземпляров (Приморский край, 1970 г.; Амурская область, 1973 г.). Для каждого экземпляра были составлены матрицы распределения длин полярной оси пыльцевых зерен и экваториального диаметра, по которым были рассчитаны средние арифметические значения полярной оси ($\bar{P}$) и экваториального диаметра ($\bar{E}$). По этим показателям определены таксономические инварианты для василисника амурского как отношения средних арифметических значений:

$$1) J_1 = \frac{\bar{P}}{\bar{E}} = \frac{19,00}{18,96} = 1,002 \text{ (Приморский край);}$$

$$2) J_1 = \frac{\bar{P}}{\bar{E}} = \frac{16,62}{16,63} = 1,000 \text{ (Амурская область).}$$

Следует отметить, что экологические инварианты одинаковы с точностью до тысячных значений, несмотря на то что материал собирался в разных регионах и в разные годы.

Рассматриваемый подход очень трудоемкий, требуется несколько сотен измерений линейных замеров длин полярной оси и экваториального диаметра пыльцевых зерен под микроскопом для построения матрицы сопряженности признаков и определения средних значений.

Пример 2

Рассмотрим биохимические инварианты, которые определяются как относительные трехкомпонентные спектры [Нарбут и др., 1969], соотношения белков труднорастворимых, остатка и легкорастворимых, т.е. Т, О, Л. Пусть за период вегетации относительные трехкомпонентные спектры для листьев корнеплодных растений сахарной свеклы, редьки и моркови соответственно равны: 1) 0,64; 0,31; 0,05; 2) 0,63; 0,31; 0,06; 3) 0,59; 0,35; 0,06. Эти относительные спектры являются инвариантами J_1, J_2, J_3 . Найдем попарно меры процентного сходства $K_o(1,2) = 0,99$; $K_o(1,3) = 0,95$; $K_o(2,3) = 0,96$. Среднее арифметическое этих мер сходства равно 0,97.

В случае относительных мер сходства медианта и среднее арифметическое тождественны и совпадают с инвариантами [Семкин, Варченко, 2019].

Рассмотренные здесь и опубликованные ранее сведения об инвариантах позволяют сформулировать необходимые и достаточные требования для их применения в теоретической биологии, экологии, гидробиологии, ботанике, зоологии и других науках.

Материалы и методы

Часть таксономических спектров взята из монографии Н.Г. Ключковой, В.А. Березовской [2001] и публикации Б.И. Семкина с соавторами [2010], но применен новый подход

к определению многокомпонентных инвариантов с помощью относительных спектров. Результаты приведены в табл. 1.

Таблица 1

Таксономические спектры Авачинской губы
[Клочкова, Березовская, 2001; Семкин и др., 2010]

Table 1

Taxonomic spectra of the Avachinskaya Guba Bay
[from: Клочкова, Березовская, 2001; Семкин и др., 2010]

Спектры		Число видов водорослей-макрофитов							
		Абсолютные спектры				Относительные спектры			
		C	P	R	Σ	P ₁	P ₂	P ₃	Σ
1	1	32	47	86	165	0,194	0,285	0,521	1,000
2	4	31	45	82	158	0,196	0,285	0,519	1,000
3	10	37	51	103	191	0,194	0,267	0,539	1,000
4	11	28	38	76	142	0,197	0,268	0,535	1,000
5	9	30	15	19	64	0,469	0,234	0,297	1,000

Примечание. C, P, R — число зеленых (Chlorophyta), бурых (Phaeophyceae) и красных (Rodophyta) водорослей; P₁, P₂, P₃ — доля соответственно C, P, R; 1 — вся губа в 1970 г.; 4 — вся губа в 1991 г.; 9 — внутренняя часть губы в 1999 г.; 10 — Авачинский залив до мыса Безымянного на юге; 11 — о. Парамушир с прилегающими островами (нами взяты только четыре спектра без антропогенного влияния — 1, 4, 10, 11 — и один с существенным антропогенным влиянием — 9 [Семкин и др., 2010], для удобства дальнейших расчетов этим спектрам даны номера 1–5).

Результаты и их обсуждение

По данным табл. 1 рассчитана матрица сходства таксономических спектров (DS-спектров) Авачинской губы (табл. 2).

Таблица 2

Матрица мер сходства таксономических спектров (DS-спектров) Авачинской губы
[Клочкова, Березовская, 2001; Семкин и др., 2010]

Table 2

Matrix of similarity measures for taxonomic spectra (DS-spectra) of the Avachinskaya Guba Bay
[from: Клочкова, Березовская, 2001; Семкин и др., 2010]

	1	2	3	4	5
1	1	0,988	0,982	0,988	0,725
2	0,988	1	0,480	0,983	0,727
3	0,982	0,480	1	0,996	0,725
4	0,988	0,983	0,996	1	0,726
5	0,725	0,727	0,725	0,726	1

Из данных табл. 2 следует, что относительные спектры (DS-спектры) четырех описаний (1, 2, 3, 4) вполне постоянны и могут быть таксономическими инвариантами. На это указывают средние значения попарных мер сходства Сёренсена-Шорыгина:

$$K_o(1, 2, 3, 4) = \frac{1}{6} [K_o(1,2) + K_o(1,3) + K_o(1,4) + K_o(2,3) + K_o(2,4) + K_o(3,4)] = \\ = \frac{1}{6} (0,988 + 0,982 + 0,983 + 0,980 + 0,983 + 0,996) = 0,9853 \approx 0,99.$$

Следовательно, каждый из рассмотренных относительных спектров является таксономическим инвариантом и 4 инварианта попарно сходны на 0,99.

Из данных табл. 2 также следует, что среднее сходство между относительными спектрами 1, 2, 3, 4 и относительным спектром 5 для антропогенно нарушенного сообщества равно $K_o[(1, 2, 3, 4), (5)] = \frac{1}{4} [(K_o(1,5) + K_o(2,5) + K_o(3,5) + K_o(4,5))] = \frac{1}{4} (0,725 + 0,727 + 0,725 + 0,728) = 0,726.$

Таким образом, инварианты резко отличаются от относительных таксономических спектров альгофлор антропогенно нарушенных акваторий.

Выводы

Таксономические инварианты альгофлор всегда являются относительными таксономическими спектрами и характеризуют устойчивое состояние биологических систем, а также дают возможность исследовать переходные состояния при экстремальных антропогенных воздействиях на систему.

Таксономические трехкомпонентные относительные спектры, являющиеся инвариантами, могут сравниваться с многоместными мерами сходства. Рассчитывая многоместные меры сходства, возможно определить постоянство инвариантов и их нарушение при антропогенном воздействии на флору.

Отметим, что ранее использовавшиеся различные индексы, такие как меры разнообразия; индексы, рассчитанные на соотношениях частей спектра; и др., не являются инвариантами альгофлор и не могут быть использованы в сравнительной флористике.

Благодарности

Авторы выражают глубокую благодарность д.б.н. проф. В.П. Шунтову за содействие и помощь в обсуждении проблемы экологических инвариантов и публикации статьи.

Финансирование

Работа выполнена по госбюджетной теме «Естественные и антропогенные факторы в эволюции динамике и устойчивости разноранговых геосистем и их компонентов в переходной зоне суша–океан» (№ АААА-А16-116110810014-2).

Соблюдение этических стандартов

В статье используются только опубликованные материалы.

Информация о вкладе авторов

Б.И. Семкин предложил шестой тип дескриптивных наборов, на основе которых определяются различные инварианты, дал строгое определение одновеликости и разноравеликости дескриптивных наборов.

Л.И. Варченко осуществляла математическую обработку материала, его интерпретацию, редактировала и оформляла статью.

М.В. Горшков принимал участие в разработке статистических методов для оценки и сравнения мер сходства.

Список литературы

Басаргин Д.Д., Горовой П.Г., Семкин Б.И. Таксономическая характеристика размеров мерикарпиев у борщевиков *Heracleum* L. Дальнего Востока и Северной Америки // Ботан. журн. — 1978. — Т. 63, № 12. — С. 1766–1774.

Борзова Л.М., Семкин Б.И. Об оценке взаимозависимости размеров полярной оси и экваториального диаметра пыльцевых зерен // Палеогеография плейстоцена Дальнего Востока и его морей. — Владивосток : ДВНЦ АН СССР, 1978. — С. 95–99.

Ключкова Н.Г., Березовская В.А. Макрофитобентос Авачинской губы и его антропогенная деструкция : моногр. — Владивосток : Дальнаука, 2001. — 208 с.

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

Малышев Л.И., Байков К.С., Доронькин В.М. Таксономические спектры флоры Сибири на уровне семейств // Ботан. журн. — 1998. — Т. 83, № 10. — С. 3–17.

Нарбут Н.А., Беликов И.Ф., Семкин Б.И. О постоянстве соотношений белков в растущих листьях корнеплодных растений // Тез. докл. 2-го Всесоюз. биохим. съезда. Сек. 18: Биохимия растений. — Ташкент : ФАН Узбекской ССР, 1969. — С. 124–125.

Пфанцагль И. Теория измерений : моногр. — М. : Мир, 1976. — 248 с.

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

Семкин Б.И., Варченко Л.И. Экологические инварианты, их статистическая оценка и использование // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии : сб. науч. ст. по мат-лам 18-й междунар. науч.-практ. конф. — Барнаул, 2019. — С. 393–398.

Семкин Б.И., Горшков М.В., Варченко Л.И. О схемно-целевом подходе к проблеме сравнительного анализа таксономических спектров // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии : сб. науч. ст. по мат-лам 12-й междунар. науч.-практ. конф. — Барнаул, 2013. — С. 167–174.

Семкин Б.И., Горшков М.В., Варченко Л.И. Об изменениях содержания воды в однолетних побегах хвойных древесных растений в умеренной климатической зоне // Сиб. экол. журн. — 2008. — Т. 15, № 4. — С. 537–544.

Семкин Б.И., Гусарова И.С., Горшков М.В. Об инвариантности средних отношений величин (на примере некоторых морфологических признаков слоевищ ламинарии японской (*Laminaria japonica* Aresch.) из сублиторали северного Приморья) // Изв. ТИНРО. — 2012. — Т. 171. — С. 313–320.

Семкин Б.И., Ключкова Н.Г., Гусарова И.С., Горшков М.В. Дискретность и континуальность флор водорослей-макрофитов дальневосточных морей России. III. Таксономические спектры // Изв. ТИНРО. — 2010. — Т. 163. — С. 217–227.

Суппес П., Зинес Д. Основы теории измерений // Психологические измерения. — М. : Мир, 1967. — С. 9–110.

Толмачев А.И. Введение в географию растений : моногр. — Л. : ЛГУ, 1974. — 244 с.

Шорыгин А.А. Питание, избирательная способность и пищевые взаимоотношения некоторых Gobiidae Каспийского моря // Зоол. журн. — 1939. — Т. 18, вып. 1. — С. 27–51.

Jaccard P. Distribution de la flore alpine dans le Bassin des Dranses et dans quelques regions voisines // Bull. de la Soc. Vaudoise des Sci. Natur. — 1901. — Vol. 37, № 140. — P. 241–272.

Semkin B.I. Elementary theory of similarities and its use in biology and geography // Pattern Recognition and Image Analysis. — 2012. — Vol. 22, Iss. 1. — P. 92–98. DOI: 10.1134/S1054661812010300.

Semkin B.I. Elementary theory of similarity and its application in biology and geography. Multiply-site measures of similarity and dissimilarity // Pattern Recognition and Image Analysis. — 2015. — Vol. 25, Iss. 1. — P. 1–9. DOI: 10.1134/S1054661815010174.

Semkin B.I., Gorshkov M.V. Statistical estimation of multiple measures of similarity // Pattern Recognition and Image Analysis. — 2014. — Vol. 24, Iss. 3. — P. 372–376. DOI: 10.1134/S105466181403016X.

References

Basargin, D.D., Gorovoy, P.G., and Semkin, B.I., Taxonomic characteristics of the sizes of mericarps in cow parsnip *Heracleum* L. of the Far East and North America, *Botan. Zh.*, 1978, vol. 63, no. 12, pp. 1766–1774.

Borzova, L.M. and Semkin, B.I., On assessing the interdependence of the sizes of the polar axis and the equatorial diameter of pollen grains, in *Paleogeografiya pleystotsena Dal'nego Vostoka i yego morey* (Paleogeography of the Pleistocene of the Far East and its seas), Vladivostok: Dal'nevost. Nauchn. Tsentr Akad. Nauk SSSR, 1978, pp. 95–99.

Klochkova, N.G. and Berezovskaya, V.A., Makrofitobentos Avachinskoy guby i yego antropogennaya destruktziya (Macrophytobenthos of the Avacha Bay and its anthropogenic destruction), Vladivostok: Dal'nauka, 2001.

Kotov, V.N., Primeneniye teorii izmereniy v biologicheskikh issledovaniyakh (The use of measurement theory in biological research), Kiev: Naukova Dumka, 1985.

Malyshev, L.I., Baikov, K.S., and Doronkin V.M., Taxonomic spectra of the families of the siberian flora, *Botan. Zh.*, 1998, vol. 83, no. 10, pp. 3–17.

Narbut, N.A., Belikov, I.F., and Semkin, B.I., On the constancy of protein ratios in the growing leaves of root plants, in *Tezisy dokl. 2-go Vsesoyuz. biokhim. s'ezda. Sek. 18: Biokhimiya rasteniy* (Proc. doc. 2nd All-Union. biochem. congress. Sec 18: Plant biochemistry), Tashkent: FAN Uzbekskoy SSR, 1969, pp. 124–125.

Pfantsagl, I., Teoriya izmereniy (Theory of measurements), Moscow: Mir, 1976.

Semkin, B.I., Descriptive sets and their applications, in *Issledovaniye sistem. Vol. 1. Analiz slozhnykh sistem* (System Research. Vol. 1. Analysis of complex systems), Vladivostok: Dal'nevost. Nauchn. Tsentr Akad. Nauk SSSR, 1973, pp. 83–94.

Semkin, B.I. and Varchenko, L.I., Ecological invariants, their statistical evaluation and use, in *Problemy botaniki Yuzhnoy Sibiri i Mongolii: sb. nauch. st. po mat-lam 18-y mezhduar. nauch.-*

prakt. konf. (Problems of Botany of Southern Siberia and Mongolia: Sat. scientific Art. according to the materials of the 18th Int. Sci. Pract. Conf.), Barnaul, 2019, pp. 393–398.

Semkin, B.I., Gorshkov, M.V., and Varchenko, L.I., About the scheme-target approach to the problem of comparative analysis of taxonomic spectra, in *Problemy botaniki Yuzhnoy Sibiri i Mongolii: sb. nauch. st. po mat-lam 18-y mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* (Problems of Botany of Southern Siberia and Mongolia: Sat. scientific Art. according to the materials of the 12th Int. Sci. Pract. Conf.), Barnaul, 2013, pp. 167–174.

Semkin, B.I., Gorshkov, M.V., and Varchenko, L.I., Variations of water content in annual shoots of coniferous trees in temperate zone, *Contemporary Problems of Ecology*, 2008, vol. 1, no. 4, pp. 414–419.

Semkin, B.I., Gusarova, I.S., and Gorshkov M.V., On invariance of mean relative size (by the example of some morphological signs of thallus for *Laminaria japonica* Aresch. from the subtidal zone of northern Primorye), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2012, vol. 171, pp. 313–320.

Semkin, B.I., Klochko, N.G., Gusarova, I.S., and Gorshkov, M.V., Discreteness and continuity of macrophyte algae floras in the Far Eastern Seas. III. Taxonomic spectra, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2010, vol. 163, pp. 217–227.

Suppes, P. and Zines, J., Fundamentals of the theory of measurements, in *Osnovy teorii izmereniy* (Psychological measurements), Moscow: Mir, 1967, pp. 9–110.

Tolmachev, A.I., *Vvedeniye v geografiyu rasteniy* (Introduction to Plant Geography), Leningrad: Leningrad. Gos. Univ., 1974.

Shorygin, A.A., Nutrition, selectivity and nutritional relationships of some Gobiidae of the Caspian Sea, *Zool. Zh.*, 1939, vol. 18, no. 1, pp. 27–51.

Jaccard, P., Distribution de la flore alpine dans le Bassin des Dranses et dans quelques regions voisines, *Bull. de la Soc. Vaudoise des Sci. Natur.*, 1901, vol. 37, no. 140, pp. 241–272.

Semkin, B.I., Elementary theory of similarities and its use in biology and geography, *Pattern Recognition and Image Analysis*, 2012, vol. 22, no. 1, pp. 92–98. doi 10.1134/S1054661812010300

Semkin, B.I., Elementary theory of similarity and its application in biology and geography: Multiply-site measures of similarity and dissimilarity, *Pattern Recognition and Image Analysis*, 2015, vol. 25, no. 1, pp. 1–9. doi 10.1134/S1054661815010174

Semkin, B.I. and Gorshkov, M.V., Statistical estimation of multiple measures of similarity, *Pattern Recognition and Image Analysis*, 2014, vol. 24, no. 3, pp. 372–376. doi 10.1134/S105466181403016X

Поступила в редакцию 11.07.2019 г.

После доработки 28.08.2019 г.

Принята в печать 29.10.2019 г.