

## Статистическая оценка экологических инвариантов растительного покрова и возможности оценки инвариантов в таксономии растений

### Statistical assessment of ecological invariants of plant cover and the possibility of estimating invariants in the taxonomy of plants

Сёмкин Б. И., Варченко Л. И.

Semkin B. I., Varchenko L. I.

*Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, г. Владивосток, Россия. E-mail: semkin@tigdvo.ru  
Pacific Institute of Geography FEB RAS; Vladivostok, Russia*

**Реферат.** В данной работе впервые определены экологические инварианты для суходольного полидоминантного злаково-разнотравного дуга Карельского перешейка Ленинградской области и таксономические инварианты трёх видов борщевиков. Предлагается разработанные статистические методы оценки инвариантов использовать для разграничения биологических объектов на всех уровнях биоты: молекулярном, субклеточном, клеточном, организменном, популяционном, ценоотическом и экологическом.

**Ключевые слова.** Растительный покров, сравнительный анализ, статистические оценки, таксономические инварианты, фазы развития, экологические инварианты.

**Summary.** In this work, for the first time, ecological invariants for the dry polydominant cereal-forb meadow of the Karelian Isthmus of the Leningrad region and taxonomic invariants of three species of *Heracleum* L. are determined. It is proposed to use the developed statistical methods for evaluating invariants to differentiate biological objects at all levels of biota: molecular, subcellular, cellular, organismic, population, coenotic and ecological.

**Key words.** Comparative analysis, development phases, ecological invariants, statistical estimation, taxonomic invariants, vegetation.

Понятие инварианта (лат. *invarians* – неизменяющийся) широко используется в математике, физике, биофизике, кибернетике и тесно связано с изучением различных симметрий и упорядочиванием объектов. Разработаны методы изучения различных инвариантов (Петухов, 1974). Однако в экологии, геоботанике, флористике, систематике отмечены только первые попытки (Сёмкин и др., 2012).

В экологии понятие инвариант экосистемы предложил В. Д. Фёдоров (Фёдоров, 1974). Инварианты рассматривались в географии и геоботанике, которые были определены как «инвариант геосистем» и инвариант «растительного покрова» (Сочава, 1978, 1980). Но эти понятия использовались только в теоретических изысканиях, и для их оценки не были разработаны статистические подходы.

Статистические методы оценки экологических инвариантов разработаны и предложены впервые Б. И. Сёмкиным (Semkin, Gorshkov, 2013, 2014) на примере исследования изменчивости талломов бурой водоросли *Saccharina japonica* (Areschoung) С. Е. Lane, С. Mayrs, Druehl et G.W. Saunders [= Ламинария японская (*Laminaria japonica* Aresch.)] из сублиторали Северного Приморья (Сёмкин и др., 2012).

При изучении изменчивости признаков у биологических объектов особую важность имеют относительные признаки, которые представляются в виде частных двух чисел и их различных средних значений. Такие относительные величины мало изменчивы и могут быть выбраны в качестве инвариантов (Сёмкин и др., 2012).

Материалы для оценки инвариантов собирались в течение многих лет. В нашей работе мы рассматриваем один пример по расчёту экологических инвариантов и один по определению таксономических инвариантов. Ранее при обработке этих материалов об экологических и таксономических инвариантах не было известно (Макаревич, 1971; Сёмкин и др., 1973; Басаргин и др., 1978).

**Пример 1. Экологические инварианты суходольного полидоминантного злаково-разнотравного луга.**

Материалы для оценки экологических инвариантов луговых сообществ были собраны на стационаре Ботанического института им. В. Л. Комарова АН СССР в Отрадном (Карельский перешеек Ленинградской области в 1968 и 1969 гг. (Макаревич, 1971). На основе этих данных были рассчитаны экологические инварианты и их статистические оценки для 7 фаз (1 – сразу после таяния снега, 2 – в начале весеннего отрастания трав и во время их кущения, 3 – в период цветения раноцветущих видов, 4 – в разгар лета, 5 – во время цветения поздноцветущих видов, 6 – после обсеменения большинства видов и в начале их массового отмирания, 7 – перед появлением устойчивого снежного покрова). В данном сообщении приводятся расчёты только для двух фаз развития «сразу после таяния снега» и «в разгар лета», причём для двух участков луга – на тяжёлой суглинистой почве и супесчаной. Результаты приведены в таблице 1, из которой следует, что экологические инварианты для фазы развития сообщества «после таяния снега» на супесчаных почвах в 1968 г. и 1969 г. одинаковы и равны 0,016; на тяжело-суглинистых почвах близки к супесчаным и равны 0,017. В фазу развития сообществ «в разгар лета» экологические инварианты на супесчаных почвах одинаковы и равны 0,37; а на тяжело-суглинистых почвах также одинаковы, но резко отличаются от супесчаных и равны 0,25.

Таблица 1

Экологические инварианты для фаз развития суходольного полидоминантного злаково-разнотравного луга при естественном скашивании (по: (Макаревич, 1971)

Сроки фаз развития	Сырой вес (г/м <sup>2</sup> )					
	А	В	I = A/B	А	В	I = A/B
	на супесчаных почвах			на тяжело-суглинистых почвах		
1968 г. 16 IV 8 VII (после таяния снега)	5,6	354	0,016	9,4	544	0,017
1969 г. 25 IV 7 VII (в разгар лета)	409,2	1100	0,372	325,2	1300	0,250
	7,3	460	0,016	5,6	326	0,017
	292,8	793	0,369	146	587	0,249

Примечания: А – наземная живая фитомасса; В – подземная живая фитомасса; I – экологический инвариант.

На основании табл. 1 рассчитаем медианту для фазы развития сообщества «после таяния снега» на разных почвах:

$$Med\left(\frac{5,6}{354}; \frac{9,4}{544}; \frac{7,3}{460}\right) = \frac{5,6 + 9,4 + 7,3 + 5,6}{354 + 544 + 460 + 326} = \frac{27,9}{1684} \approx 0,017$$

По данным табл. 1 определим медианту для фазы развития сообщества «в разгар лета» в период с 1968-1969 гг.:

$$Med\left(\frac{409,2}{1100}; \frac{292,8}{793}\right) = \frac{409,2 + 292,8}{1100 + 793} = \frac{702}{1892} \approx 0,37 \text{ (на супесчаных почвах)}$$

$$Med\left(\frac{325,2}{1300}; \frac{146}{587}\right) = \frac{471,2}{1887} = 0,2497 \approx 0,25 \text{ (на тяжело-суглинистых)}$$

Для каждой из медиант было рассчитано среднеквадратическое отклонение, которое приблизительно равно 0,01.

**Пример 2. Таксономические инварианты трёх видов борщевиков *Heracleum* L. (*H. dissectum* Ledeb., *H. dulce* Fisch., *H. moellendorffii* Hance).**

Ранее (Басаргин и др., 1978) с помощью информационных мер взаимозависимости был обработан огромный материал полевых исследований для разграничения 5 видов борщевиков по признаку

«отношение ширины к длине мерикарпиев». Была выделена группа из близких видов на Дальнем Востоке и один резко различающийся вид, произрастающий в Северной Америке. В настоящее время появилась возможность использовать новое понятие – таксономический инвариант для установления высокой близости трёх видов борщевиков. Оказалось, что для каждого вида из рассматриваемой группы по данным матрицы распределения размеров длины и ширины мерикарпиев можно рассчитать среднее значение этих величин, а также определить медианту как отношение средних значений ширины к средним значениям длины, т.е. определить таксономический инвариант для вида (табл. 2).

Таблица 2

Таксономические инварианты для трёх видов борщевиков

Виды	$\bar{H}$	$\bar{L}$	Таксономический инвариант (I)
<i>H. dissectum</i> Ledeb.	6,660	9,399	$0,71 \pm 0,01$
<i>H. dulce</i> Fisch.	7,473	10,837	$0,69 \pm 0,01$
<i>H. moellendorffii</i> Hance	7,315	10,322	$0,71 \pm 0,01$

Примечания:  $\bar{H}$  – средняя ширина мерикарпиев;  $\bar{L}$  – средняя длина мерикарпиев;  
 $I = \bar{H} / \bar{L}$  – таксономический инвариант.

По данным табл. 2 можно также рассчитать таксономический инвариант как медианту трёх отношений:

$$Med = \left( \frac{6,660}{9,399}; \frac{7,473}{10,837}; \frac{7,315}{10,322} \right) = \frac{21448}{30,558} = 0,7019 \text{ или } I = 0,70 \pm 0,01$$

С учётом предлагаемых статистических методов таксономический инвариант значительно проще, и для его расчёта требуется небольшого количества выборок.

**Закключение.** Предложенные статистические методы позволяют определять экологический и таксономический инварианты на всех уровнях организации биоты.

**Благодарности.** 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).

#### ЛИТЕРАТУРА

- Басаргин Д. Д., Горовой П. Г., Сёмкин Б. И.** Таксономическая характеристика размеров мерикарпиев у борщевиков *Heracleum* L. Дальнего Востока и Северной Америки // Бот. журн., 1978. – Т. 63, №2. – С. 1766–1744.
- Макаревич В. Н.** Некоторые результаты круглогодичных исследований первичной биологической продуктивности луговых растительных сообществ // Бот. журн., 1971. – Т. 56, №1. – С. 48–61.
- Сёмкин Б. И., Степанова К. Д., Щербова М. А.** Влияние скашивания на видовую структуру крупнотравного сообщества на Камчатке // Бот. журн., 1973. – Т. 58, №5. – С. 665–670.
- Сёмкин 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.
- Сочава В. Б.** Введение в учение о геосистемах. – Новосибирск: Наука, 1978. – 320 с.
- Сочава В. Б.** Переменные состояния и инварианты растительного покрова // Современные проблемы биогеографии, 1980. – Изд-во: ЛГУ. – С. 10–13.
- Петухов С. В.** Биомеханика, бионика и симметрия. – М.: Наука, 1981. – 240 с.
- Фёдоров В. Д.** Устойчивость экологических систем и её измерение // Изв. АН СССР. Сер. Биол., 1974. – № 3. – С. 402–415.
- Semkin B. I., Gorshkov M. V.** Statistical estimators of multiple-site similarity measures // Pattern Recognition and Image Analysis: New Information Technologies (PRIA-11-2013), 2013. – Vol. 1. – P. 122–125.
- Semkin B. I., Gorshkov M. V.** Statistical Estimation of Multiple Measures of Similarity // Pattern Recognition and Image Analysis, 2014. – Vol. 2. – P. 372–376.