

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
ИНСТИТУТ ГЕОГРАФИИ РАН  
ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ РАН  
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ЭКОЛОГИИ И ЭВОЛЮЦИИ ИМ. А.Н. СЕВЕРЦОВА РАН  
КОМИССИЯ ПО ЭВОЛЮЦИИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ МЕЖДУНАРОДНОГО ГЕОГРАФИЧЕСКОГО СОЮЗА

---

**Материалы V Всероссийской конференции  
с международным участием  
«ДИНАМИКА ЭКОСИСТЕМ В ГОЛОЦЕНЕ»  
(К 100-ЛЕТИЮ Л. Г. ДИНЕСМАНА)**

**Москва, 11–15 ноября 2019 г.**

Москва  
Медиа-ПРЕСС  
2019

## О ВВЕДЕНИИ НОВЫХ ИНДЕКСОВ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ И ТРАНСФОРМАЦИИ ЭКОСИСТЕМ ГОЛОЦЕНА ПО ВИДОВОМУ РАЗНООБРАЗИЮ МИКРОМАММАЛИЙ

Д.Л. Иванов

Белорусский государственный университет, 220030, Беларусь, г. Минск, пр. Независимости, д. 4,  
geoivanov@mail.ru

Среди множества методов индикации состояния особое место занимают методы биоиндикации, в т.ч. с использованием индексов видового разнообразия. Использование индексов видового разнообразия при оценке состояния биотопов представляется наиболее объективным. Поскольку это позволяет дать оценку состояния и оценить благоприятность среды не с точки зрения жизни и хозяйственной деятельности человека, а, прежде всего, с точки зрения благоприятности условий конкретного биотопа для той или иной группы животных.

Эффективность данной группы методов определяется также и возможностью дать не только качественную, но и количественную оценку состояния среды, а

также определить степень трансформации условий среды по видовому разнообразию.

При определении благоприятности условий среды по данным видового разнообразия использовались общепринятые показатели разнообразия: *общее видовое разнообразие* ( $H$ ) (индекс Шеннона), *видовое богатство* ( $d$ ), индекс выравненности Пиелу ( $e$ ), индекс *сходства видового состава* Серенсена ( $S$ ), индекс *доминирования* Симпсона ( $c$ ), анализ которых приводится в [1–3].

В ходе исследований изучалась динамика видового разнообразия мелких млекопитающих приречных биотопов территории Беларуси. Изучение видового разнообразия, реконструкция условий среды проводилась по 10 временным срезам позднеледниковья-голоцена (табл. 1).

Таблица 1. Показатели видового разнообразия сообществ мелких млекопитающих Беларуси в позднеледниковье – голоцене \*

Индексы разнообразия	Максимум позерского похолодания	Позднеледниковье		Голоцен						
		Аллердский интерстадиал (AL)	Позднедрисовый стадиал (DR-3)	PВ-1	PВ-2	ВО-1	ВО-2	АТ	SB	Рецентные (Беларусь)**
Общее количество особей ( $N$ )	515	125	13	1135	396	649	1102	2096	409	9005
Среднее количество видов в местонахождении (биотопе) ( $S$ )	10	11	5	12,5	10,25	9,25	10,75	15	10,5	9,81
Индекс доминирования Симпсона $c = \sum (ni / N)^2$	0,373	0,192	0,396	0,215	0,214	0,232	0,243	0,175	0,258	0,317
Индекс разнообразия Симпсона $1 - c$ ;	0,627	0,808	0,604	0,785	0,786	0,768	0,757	0,825	0,742	0,683
Индекс разнообразия Шеннона $H = - \sum (ni / N) \log (ni / N)$	0,54	0,72	0,418	0,773	0,776	0,651	0,708	0,859	0,718	0,627
$H = - \sum (ni / N) \ln (ni / N)$	1,244	1,658	0,963	1,779	1,787	1,599	1,631	1,977	1,654	1,397
Индекс выравнивания Пиелу $e = H / \log S$	0,54	0,691	0,598	0,675	0,796	0,78	0,76	0,815	0,704	0,644
Индекс видового богатства $d = (S-1) / \log N$	3,319	4,769	3,591	4,656	4,573	3,641	4,178	5,011	4,116	3,469
$d = (S-1) / \ln N$	1,441	2,071	1,559	2,022	1,986	1,81	1,814	2,176	1,787	1,507

\*показатели разнообразия рассчитаны как среднее арифметическое по местонахождениям для каждого этапа позднеледниковья – голоцена

\*\* показатели разнообразия для современных рецентных сообществ рассчитаны как средние для 21 выборки из 4-х регионов территории Беларуси

В ходе исследования изучалась и современная фауна мелких млекопитающих территории Беларуси (всего 21 биотоп). Общее количество рецентных животных превысило 9 тыс. экземпляров, ископаемая фауна представлена более чем 6,5 тыс. определимыми остатками.

Палеоэкологические реконструкции природной среды, основанные на разработанной применительно к территории Беларуси методике оценки состояния условий среды по данным показателей видового разнообразия микромаммалий, позволили дать качественную и количественную оценку благоприятности среды и антропогенной трансформации приречных биотопов по хроносрезам позднеледниковья – голоцена [5, 8 2, 3].

Анализ динамики показателей видового разнообразия мелких млекопитающих (см. табл. 1) свидетельствует, что для среднего голоцена характерны самый низкий за весь рассматриваемый период индекс доминирова-

ния и самые высокие показатели остальных индексов видового разнообразия.

Начиная с суббореального периода среднего голоцена, значения этих индексов неуклонно снижаются. Для рецентных сообществ микромаммалий региона характерны одни из самых высоких значений индекса доминирования и одни из самых низких индексы разнообразия, выравнивания, видового богатства за всю позднее-последледниковую историю их развития (табл. 1). Значения индексов видового разнообразия современных микротериокомплексов заметно уступают аналогичным показателям практически всего голоцена, что свидетельствует об ухудшении условий среды. Наиболее разителен контраст по значениям индекса видового богатства, который в рецентных сообществах самый низкий за весь голоцен (3,47) и сопоставим с аналогичным показателем позднедрисового похолодания позднеледниковья (3,59).

По интегрированным показателям индексов видо-  
вого разнообразия дана оценка благоприятности усло-  
вий среды для сообществ мелких млекопитающих. Ко-  
личественную оценку благоприятности среды отражает  
отражает индекс благоприятности среды ( $I_{bc}$ ), расчи-  
танный на основе *индекса Пиелу* ( $e$ ) [9, 10, 13 4-6]. На  
основании которого определялась благоприятность ус-  
ловий среды существования каждой фауны в градиен-  
те между крайними положениями (при экстремальных  
условиях  $e = 0$ ; при наиболее оптимальных  $e = 1$ ) (рис. 1).

Установлено [5,8,9 2-4], что условия среды для со-  
обществ мелких млекопитающих позднеледниковья  
можно оценить как «умеренные», при этом во время  
позднеледникового стадийного похолодания они при-  
ближались к «суровым» ( $e = 0,598$ ). В направлении от  
позднего дриаса к среднему голоцену благоприятность  
среды улучшалась. В раннем голоцене эти показатели  
соответствуют средним значениям градации «мягкие».  
В атлантическое время среднего голоцена условия сре-  
ды были наиболее благоприятны и оцениваются как  
«мягкие», приближенные к «оптимальным», а в суббо-  
реале – к «умеренным». Начиная со второй половины  
среднего голоцена, показатели благоприятности сре-  
ды снижаются, достигая самых низких значений у ре-  
центных сообществ микромаммалий. Низкие значения  
индексов разнообразия, в том числе и индекса вырав-

ненности, позволяют отнести условия среды для совре-  
менных сообществ мелких млекопитающих к градации  
«умеренные» ( $e = 0,644$ ), однако по своему значению  
они более чем для других этапов смещены в сторону  
«суровых».

Изучение эволюции микротериокомплексов терри-  
тории Беларуси [5,11,12 2, 7, 8] показало, что фауна  
микромаммалий, по сравнению с крупными животны-  
ми, значительно меньше подвержена прямому антропо-  
генному воздействию и испытывает на себе в основном  
косвенное влияние деятельности человека через измене-  
ние растительных формаций и ландшафтов в целом.  
Поэтому практически до эпохи позднего неолита, т.е.  
второй половины среднего голоцена (суббореал) [7 9]  
изменение структуры и видового состава зооценозов  
определялось изменением климата и естественным хо-  
дом сукцессионной динамики ландшафтов, т.е. развитие  
микротериокомплексов до оптимума голоцена включи-  
тельно (атлантический период голоцена) можно считать  
автохтонным, не зависящим от деятельности человека,  
а условия среды наиболее благоприятными и, фактиче-  
ски, эталонными по отношению к современным.

Начиная с эпохи позднего неолита (SB-SA) посте-  
пенно складывается система подсечного, а впоследст-  
вии и подсечно-огневого земледелия. Неуклонное уве-  
личение площади пашни, развитие земледелия и живот-

Горизонт (подгоризонт), зона по [1]	Условия среды ( $e = 0,0 - 1$ )									
	Опти- мальные	Мягкие		Умеренные		Суровые		Близкие к экстремальным		Экстре- мальные
	0,9–1,0	0,8–0,89	0,7–0,79	0,6–0,69	0,5–0,59	0,4–0,49	0,3–0,39	0,2–0,29	0,1–0,19	0,0–0,09
sd Y (SA) – совр.					0,644					
sd IY (SB)				0,704						
sd III (AT)			0,815							
sd II (BO)	sd II-2			0,76						
	sd II-1			0,78						
sd I (PB)	sd I-2			0,796						
	sd I-1				0,675					
IIIpz	(pz-n5) DR-3					0,598				
	(pz-n4) AL				0,691					
	IIIpz *					0,54				

\*Оршанский мегастадиал (макс).

Рис.1. Динамика значений индекса благоприятности условий среды ( $I_{bc}$ ) в позднеледниковье – голоцене по данным видового разнообразия микромаммалий

новодства обусловили деградацию широколиственных лесов [5,8 3, 5] и повлекло трансформацию условий среды обитания микротериофауны. При этом приречные биотопы оказались наиболее преобразованными хозяйственной деятельностью человека, т.к. их освоение началось раньше по сравнению с водораздельными участками, поскольку расселение древнего человека эпох финального палеолита и мезолита проходило именно по долинам рек.

Проведенные исследования [6,7, 9,10] дают основание утверждать, что наиболее высокие показатели видового разнообразия микромаммалей на территории Беларуси характерны для приречных биотопов Полесья. Именно здесь сохранились светлохвойно-широколиственные и широколиственные леса, получившие широкое распространение в атлантическое время голоцена. Это позволило сопоставить благоприятность условий среды в биотопах Полесского региона с эталонными атлантического времени по показателям видового разнообразия и установить степень их трансформации.

На основании полученных результатов по благоприятности условий среды [8, 9 3, 4] нами выполнена оценка трансформации современных приречных биотопов по видовому разнообразию микромаммалей. С этой целью нами предложен новый показатель – *индекс трансформации биотопов* ( $I_{mb}$ ) по видовому разнообразию, который отражает величину обратную индексу благоприятности ( $e$ ) по отношению к соответствующим значениям «эталонных биотопов» выраженную в процентах. В качестве «эталона», взяты показатели индекса благоприятности = выравнивания среды ( $e$ ) в оптимуме голоцена (АТ), среднее значение которых по местонахождениям этого этапа составляет 0,796 (0,765) (табл. 1).

Значения благоприятности условий среды ( $e$ ) атлантического времени рассматриваются как эталонные, по отношению к ним трансформация условий среды современных приречных биотопов Полесья по видовому разнообразию рассчитывалась как:

$$\left(1 - \frac{e_{совр.}}{e_{атл.}}\right) * 100 \%$$

где:  $e_{совр.}$  - показатель благоприятности условий среды современных биотопов;

$e_{атл.}$  – показатель благоприятности условий среды приречных биотопов климатического оптимума голоцена (АТ)

Проведенная таким образом оценка трансформации биотопов по видовому разнообразию, показала, что значения ( $I_{mb}$ ) для изученных рецентных биотопов варьируют от 6,2 (8,8%) до 30,4 (34,1%), среднее значение

показателя трансформации составило 17,1 (19,4%). В целом наиболее трансформированными по видовому разнообразию оказались биотопы пойм и надпойменных террас, представленные лесными широколиственными дубовыми и дубово-грабовыми формациями молодого возраста.

Таким образом, полученные данные количественной оценки условий среды по видовому разнообразию микромаммалей, объективно отражают направленность динамики природных процессов в экосистемах голоцена. Введение *индекса трансформации биотопов* ( $I_{mb}$ ) по видовому разнообразию, позволяет установить степень трансформации современных экосистем по отношению к их эталонному состоянию в атлантическом периоде среднего голоцена до начала активного воздействия на экосистемы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов Д.Л. Видовое разнообразие микротериокомплексов позднеледниковья – голоцена Беларуси как индикатор условий среды // Литосфера. 2005. № 2 (23). С. 45–53.
2. Иванов Д.Л. Микротериофауна позднеледниковья-голоцена Беларуси. Минск: Университетское, 2008. 215 с.
3. Иванов Д.Л. Эволюция сообществ микромаммалей территории Беларуси в позднеледниковье и голоцене: автореф. дисс. ... д-ра геогр. наук. Минск, 2011. 44 с.
4. Иванов Д.Л. Экологическая хроностратиграфия как новое направление изучения сообществ микромаммалей позднеледниковья – голоцена территории Беларуси // Фундаментальные проблемы квартера, итоги изучения и основные направления дальнейших исследований. Ростов-на-Дону, 2013. С. 235–237.
5. Песенко Ю.А. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. М., 1982. 288 с.
6. Popov V., Gerasimov V. Multivariate analysis of small fossil assemblages: two examples from Middle and Upper Pleistocene cave profiles in North Bulgaria // Ekologia. V. 21. 1988. P. 34–46.
7. Ivanov D.L. Chronology of micromammal assemblages on the territory of Belarus in the late glacial and Holocene // Slupskie Prace Geograficzne. 2016. V. 12. P. 79–96.
8. Motuzko A., Ivanov D. Holocene micromammal complexes of Belarus: a model of faunal development during Interglacial epochs // Acta zoologica cracoviensia. Neogene and Quaternary Mammals of the Palaearctic. 1996. Vol. 39(1). P. 381–386.
9. Иванов Д.Л. Микротериокомплексы климатического оптимума голоцена как эталоны видового разнообразия при оценке трансформации рецентных биотопов Беларуси // Вестник Карагандинского университета. Сер. «Биология. Медицина. География». 2011. № 1(61). С. 3–7.
10. Иванов Д.Л. Оценка трансформации приречных биотопов за исторический период по данным изучения видового разнообразия микромаммалей // Вестник БГУ. Сер. 2. 2010. №3. С. 63–70.