

УДК 613.9:502.1:[303.723+001.86]

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОРРЕЛЯЦИОННОГО АНАЛИЗА И МЕТОДОВ РАСЧЕТА УРОВНЕЙ КОНКОРДАЦИИ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ВЛИЯНИЯ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА СОСТОЯНИЕ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ

¹С.А.Лаптёнок, ¹А.А.Кологривко, ¹О.И.Родькин, ¹Ю.В.Кляусова, ²У.М.Тураев

¹Белорусский национальный технический университет,
проспект Независимости, 65, 220013, г. Минск, Республика Беларусь

²Каршинский инженерно-экономический институт, проспект Мустакиллик, 225,
180100, г. Карши, Кашкадарьинская область, Республика Узбекистан

Показано, что при необходимости методы парного корреляционного анализа могут использоваться для экспресс-моделирования с определенной степенью точности результатов расчета коэффициентов конкордации в процессе оценки статистической связи двух выборочных совокупностей.

Ключевые слова: геоэкологические факторы; влияние на состояние здоровья; корреляционный анализ; методы расчета уровней конкордации; эффективность применения; сравнительная оценка.

В процессе исследования комбинированного воздействия некоторых природных и антропогенных геоэкологических факторов на состояние здоровья населения Воложинского и Столбцовского районов Минской области Республики Беларусь [1; 2] использовался метод расчета коэффициентов конкордации (классической и по Кэндаллу) для оценки согласованности структуры заболеваемости злокачественными новообразованиями по их локализации в пределах ряда временных периодов с 1953 по 2003 гг. Были выделены следующие периоды: 01.01.1953–31.12.1964 гг. (кодовое обозначение «1959»); 01.01.1965–31.12.1974 гг. («1970»); 01.01.1975–30.06.1984 гг. («1979»); 01.07.1984–30.06.1994 гг. (1989»); 01.07.1994–31.12.2003 гг. («1999»).

Коэффициент конкордации используется для определения уровня статистической связи между произвольным количеством показателей. В упомянутом выше исследовании коэффициенты конкордации были рассчитаны для пяти, трех и двух выделенных периодов (01.01.1953–31.12.2003, 01.01.1975–31.12.2003 и 01.07.1984–31.12.2003 соответственно). Оценка уровня статистической связи между двумя показателями также может осуществляться с использованием корреляционного анализа. Таким образом, целью данной работы явилась сравнительная оценка эффективности использования различных методов корреляционного анализа и расчета коэффициентов кон-

кордации при анализе динамики структуры заболеваемости.

По признаку изолированного и комбинированного воздействия геоэкологических факторов исследуемые населенные пункты были разделены на категории. Населенные пункты, находящиеся в зоне, расположенной над Украинско-Балтийским линеаментом, не загрязненной радионуклидами ¹³⁷Cs, были обозначены кодом «101», а при наличии загрязнения – кодом «102». Населенные пункты, находящиеся в зоне, расположенной над разломами, образующими Украинско-Балтийский линеамент, не загрязненной радионуклидами ¹³⁷Cs – кодом «111», при наличии загрязнения – кодом «112». Населенные пункты, находящиеся в зоне, расположенной вне Украинско-Балтийского линеамента, не загрязненной радионуклидами ¹³⁷Cs, были обозначены кодом «200», при наличии загрязнения – кодом «202». Населенные пункты, входящие в «Перечень населенных пунктов и объектов, находящихся в зонах радиоактивного загрязнения», утвержденный постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 01.02.2010 №132, обозначены кодом «300» [1; 2].

Коэффициенты конкордации структур заболеваемости для периодов «1989» и «1999» были оценены ранее [2]. Их согласованность дополнительно оценивалась также методом расчета коэффициентов корреляции по Пирсону, Кэндаллу и Спирмэну.

В табл. 1 приведены коэффициенты корреляции и конкордации, рассчитанные по различным методикам, для каждой из категорий населенных пунктов между двумя периодами («1989» и «1999»).

Для сравнения оценок согласованности структур заболеваемости, осуществленных различными методами, использовался критерий знаков [3; 4]. Результаты его применения приведены в табл. 2–8.

Анализ приведенных таблиц позволил заключить следующее.

Статистические различия количественных оценок согласованности структур заболеваемости достоверны с уровнем значимости $P < 0.05$ при сравнении между собой результатов применения практически всего ансамбля методов (расчета коэффициента конкордации, расчета коэффициен-

та конкордации по Кэндаллу, расчета коэффициентов корреляции по Кэндаллу и Спирмэну) (табл. 3, 4, 6–8). При сравнении результатов использования метода расчета коэффициента корреляции по Пирсону с результатами расчета коэффициентов конкордации (классического и по Кэндаллу) гипотезы о достоверности различий были отвергнуты (табл. 2, 5).

Имея ряды оценок уровней статистической связи между структурами заболеваемости для различных категорий населенных пунктов, полученных в результате применения различных методов, целесообразным представляется анализ уровней статистических связей между ними с использованием классических методов корреляционного анализа – расчета коэффициентов корреляции по Пирсону, Кэндаллу и Спирмэну. Результаты данных расчетов представлены в табл. 9–11.

Таблица 1

Значения коэффициентов корреляции и конкордации, характеризующих согласованность структур заболеваемости за периоды 01.07.1984–30.06.1994 и 01.07.1994–31.12.2003

	Корреляция по Пирсону		Корреляция по Кэндаллу		Корреляция по Спирмэну		Конкордация		Конкордация по Кэндаллу	
	группы	МКБ	группы	МКБ	группы	МКБ	группы	МКБ	группы	МКБ
111	0.864**	0.744**	0.531*	0.585**	0.634*	0.631**	0.817	0.815	0.806	0.627
112	-0.205	-0.060	- 0.221	- 0.060	- 0.231	- 0.060	0.358	0.470	0.179	0.076
101	0.939**	0.859**	0.728**	0.627**	0.852**	0.717**	0.926	0.859	0.920	0.778
102	0.909**	0.848**	0.692**	0.582**	0.868**	0.703**	0.934	0.852	0.934	0.812
202	0.851**	0.745**	0.526*	0.444**	0.648*	0.487**	0.824	0.744	0.786	0.566
200	0.993**	0.991**	0.890**	0.698**	0.957**	0.840**	0.979	0.920	0.977	0.917
300	0.924**	0.848**	0.838**	0.519**	0.924**	0.619**	0.962	0.809	0,950	0.740

* Корреляция значима на уровне 0.05.

** Корреляция значима на уровне 0.01.

Таблица 2

Сравнение результатов оценки статистической связи структур заболеваемости с использованием расчета коэффициента корреляции по Пирсону и коэффициента конкордации

	Корреляция по Пирсону	Конкордация	Знак разности
1	0,864	0.817	-
2	- 0,205	0.358	+
3	0,939	0.926	-
4	0,909	0.934	+
5	0,851	0.824	-
6	0,993	0.979	-
7	0,924	0.962	+
8	0,744	0.817	+
9	- 0,060	0.358	+
10	0,859	0.926	+
11	0,848	0.934	+
12	0,745	0.824	+
13	0,991	0.979	-
14	0,848	0.962	+

Таблица 3

Сравнение результатов оценки статистической связи структур заболеваемости с использованием расчета коэффициента корреляции по Кэндаллу и коэффициента конкордации

	Корреляция по Кэндаллу	Конкордация	Знак разности
1	0.531	0.817	+
2	- 0.228	0.358	+
3	0.728	0.926	+
4	0.692	0.934	+
5	0.526	0.824	+
6	0.890	0.979	+
7	0.838	0.962	+
8	0.585	0.817	+
9	- 0.060	0.358	+
10	0.627	0.926	+
11	0.582	0.934	+
12	0.444	0.824	+
13	0.698	0.979	+
14	0.519	0.962	+

Таблица 4

Сравнение результатов оценки статистической связи структур заболеваемости с использованием расчета коэффициента корреляции по Спирмэну и коэффициента конкордации

	Корреляция по Спирмэну	Конкордация	Знак разности
1	0.634	0.817	+
2	- 0.233	0.358	+
3	0.852	0.926	+
4	0.868	0.934	+
5	0.648	0.824	+
6	0.957	0.979	+
7	0.924	0.962	+
8	0.631	0.817	+
9	- 0.060	0.358	+
10	0.717	0.926	+
11	0.703	0.934	+
12	0.487	0.824	+
13	0.840	0.979	+
14	0.619	0.962	+

Результаты корреляционного анализа по Пирсону, Кэндаллу и Спирмэну демонстрируют высокий и крайне высокий (значения коэффициентов корреляции 0.75–0.99) (табл. 9–11) уровень статистической связи между всеми парами оценок, полученных с применением методов корреляционного анализа и расчета коэффициентов конкордации, что, особенно в случае метода расчета коэффициента корреляции по Пирсону (отсутствие достоверных различий между результатами использования данного метода и результатами использования методов расчета коэффициентов конкордации), позволяет при необходимости утверждать о возможности экспресс-моделирования ре-

зультатов оценки уровня конкордации результатами корреляционного анализа.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие **выводы**:

1. Методы расчета коэффициентов конкордации, предназначенные для количественной оценки статистической связи (уровня согласованности) нескольких выборочных совокупностей (более двух), могут при необходимости эффективно использоваться при оценке двух выборок.

2. Методы расчета коэффициентов парной корреляции (по Пирсону, Кэндаллу и Спирмэну) могут эффективно применяться в качестве инстру-

Таблица 5

Сравнение результатов оценки статистической связи структур заболеваемости с использованием расчета коэффициента корреляции по Пирсону и коэффициента конкордации по Кэндаллу

	Корреляция по Пирсону	Конкордация по Кэндаллу	Знак разности
1	0.864	0,806	-
2	- 0.205	0,179	+
3	0.939	0,920	-
4	0.909	0,934	+
5	0.851	0,786	-
6	0.993	0,977	-
7	0.924	0,950	+
8	0.744	0,627	-
9	- 0.060	0,076	+
10	0.859	0,778	-
11	0.848	0,812	-
12	0.745	0,566	-
13	0.991	0,917	-
14	0.848	0,740	-

Таблица 6

Сравнение результатов оценки статистической связи структур заболеваемости с использованием расчета коэффициента корреляции по Кэндаллу и коэффициента конкордации по Кэндаллу

	Корреляция по Кэндаллу	Конкордация по Кэндаллу	Знак разности
1	0.531	0.806	+
2	- 0.228	0.179	+
3	0.728	0.920	+
4	0.692	0.934	+
5	0.526	0.786	+
6	0.890	0.977	+
7	0.838	0,950	+
8	0.585	0.627	+
9	- 0.060	0.076	+
10	0.627	0.778	+
11	0.582	0.812	+
12	0.444	0.566	+
13	0.698	0,917	+
14	0.519	0.740	+

ментария контроля качества полученных результатов при использовании методов расчета коэффициентов конкордации для двух выборочных совокупностей.

3. При необходимости, методы парного корреляционного анализа могут использоваться для экспресс-моделирования с определенной степенью точности результатов расчета коэффициентов конкордации в процессе оценки статистической связи двух выборочных совокупностей. Эффективность моделирования предполагается оценить в дальнейшем на выборочных совокупностях большего объема.

Литература

1. Лаптёнок, С.А. Системный анализ геоэкологических данных в целях митигации чрезвычайных ситуаций / С.А.Лаптёнок. – Минск: БНТУ, 2013. – 287 с.
2. Оценка влияния некоторых геоэкологических факторов на структуру заболеваемости злокачественными новообразованиями с применением методов расчета коэффициентов конкордации / С.А.Лаптёнок [и др.] // Вопросы организации и информатизации здравоохранения. – 2021. – №2. – С.88–97.
3. Johnson, R. Elementary Statistics. 4th edition / R.Johnson. – Boston: Duxbury Press, 1984. – 557 p.
4. Бубнов, В.П. Решение задач экологического менеджмента с использованием методологии систем-

Таблица 7

Сравнение результатов оценки статистической связи структур заболеваемости с использованием расчета коэффициента корреляции по Спирмэну и коэффициента конкордации по Кэндаллу

	Корреляция по Спирмэну	Конкордация по Кэндаллу	Знак разности
1	0.634	0.806	+
2	- 0.233	0.179	+
3	0.852	0.920	+
4	0.868	0.934	+
5	0.648	0.786	+
6	0.957	0.977	+
7	0.924	0,950	+
8	0.631	0.627	-
9	- 0.060	0.076	+
10	0.717	0.778	+
11	0.703	0.812	+
12	0.487	0.566	+
13	0.840	0,917	+
14	0.619	0.740	+

Таблица 8

Сравнение результатов оценки статистической связи структур заболеваемости с использованием расчета классического коэффициента конкордации и коэффициента конкордации по Кэндаллу

	Конкордация	Конкордация по Кэндаллу	Знак разности
1	0.817	0.806	-
2	0.358	0.179	-
3	0.926	0.920	-
4	0.934	0.934	0
5	0.824	0.786	-
6	0.979	0.977	-
7	0.962	0,950	-
8	0.817	0.627	-
9	0.358	0.076	-
10	0.926	0.778	-
11	0.934	0.812	-
12	0.824	0.566	-
13	0.979	0,917	-
14	0.962	0.740	-

Таблица 9

Корреляционная матрица (по Пирсону) результатов оценки статистической связи структур заболеваемости с использованием различных методик

	Корреляция (Пирсон)	Корреляция (Кэндалл)	Корреляция (Спирмэн)	Конкордация (классическая)	Конкордация (Кэндалл)
Корреляция (Пирсон)	1	0.944**	0.961**	0.982**	0.969**
Корреляция (Кэндалл)	0.944**	1	0.992**	0.939**	0.964**
Корреляция (Спирмэн)	0.961**	0.992**	1	0.953**	0.985**
Конкордация (классическая)	0.982**	0.939**	0.953**	1	0.950**
Конкордация (Кэндалл)	0.969**	0.964**	0.985**	0.950**	1

** Корреляция значима на уровне 0.01.

Таблица 10

Корреляционная матрица (по Кэндаллу) результатов оценки статистической связи структур заболеваемости с использованием различных методик

	Корреляция (Пирсон)	Корреляция (Кэндалл)	Корреляция (Спирмэн)	Конкордация (классическая)	Конкордация (Кэндалл)
Корреляция (Пирсон)	1	0.749**	0.749**	0.636**	0.767**
Корреляция (Кэндалл)	0.749**	1	0.867**	0.575**	0.796**
Корреляция (Спирмэн)	0.749**	0.867**	1	0.644**	0.884**
Конкордация (классическая)	0.636**	0.575**	0.644**	1	0.618**
Конкордация (Кэндалл)	0.767**	0.796**	0.884**	0.618**	1

** Корреляция значима на уровне 0.01.

Таблица 11

Корреляционная матрица (по Спирмэну) результатов оценки статистической связи структур заболеваемости с использованием различных методик

	Корреляция (Пирсон)	Корреляция (Кэндалл)	Корреляция (Спирмэн)	Конкордация (классическая)	Конкордация (Кэндалл)
Корреляция (Пирсон)	1	0.884**	0.908**	0.759**	0.916**
Корреляция (Кэндалл)	0.884**	1	0.956**	0.718**	0.902**
Корреляция (Спирмэн)	0.908**	0.956**	1	0.754**	0.964**
Конкордация (классическая)	0.759**	0.718**	0.754**	1	0.762**
Конкордация (Кэндалл)	0.916**	0.902**	0.964**	0.762**	1

** Корреляция значима на уровне 0.01.

ного анализа / В.П.Бубнов, С.В.Дорошко, С.А.Лап-тёнок. – Минск: БНТУ, 2009. – 266 с.

COMPARATIVE EVALUATION OF EFFECTIVENESS OF CORRELATION ANALYSIS AND METHODS FOR CONCORDANCE COEFFICIENTS CALCULATING USE IN STUDY OF GEOECOLOGICAL FACTORS INFLUENCE ON POPULATION HEALTH STATUS

¹S.A.Laptyonok, ¹A.A.Kologrivko, ¹O.I.Rodzkin, ¹Yu.V.Klyausova, ²U.M.Turaev

¹Belarusian National Technical University, 65, Nezavisimosti Ave., 220013, Minsk, Republic of Belarus

²Karshi Engineering Economics Institute, 225, Mustakillik Ave., 180100, Karshi, Kashkadarya Region, Republic of Uzbekistan

The authors identified, that, if necessary, methods of paired correlation analysis can be used for express modeling, with a certain degree of accuracy, the

results of concordance coefficients calculating in process of two samples statistical relationship assessing.

Keywords: geoecological factors; influence on health status; correlation analysis; methods for concordance coefficients calculating; effectiveness of use; comparative evaluation.

Сведения об авторах:

Лаптёнок Сергей Антонович, канд. техн. наук, доцент; Белорусский национальный технический университет, факультет горного дела и инженерной экологии, доцент кафедры «Инженерная экология»; тел.: (+37529) 6257828; e-mail: 267413@mail.ru.

Кологривко Андрей Андреевич, канд. техн. наук, доцент; Белорусский национальный технический университет, декан факультета горного дела и инженерной экологии; тел.: (+37529) 6840510; e-mail: kologrivko@tut.by.

Родькин Олег Иванович, д-р биол. наук, доцент; Белорусский национальный технический университет, факультет горного дела и инженерной экологии, зав. кафедрой «Инженерная экология»; тел.: (+37529) 3871501; e-mail: aleh.rodzkin@rambler.ru.

Кляусова Юлия Владимировна, канд. с.-х. наук, доцент; Белорусский национальный тех-

нический университет, факультет горного дела и инженерной экологии, доцент кафедры «Инженерная экология»; тел.: (+37529) 1679237; e-mail: yuliya-klaus@mail.ru.

Тураев Улугбек Муртазович; Каршинский инженерно-экономический институт, аспирант; тел.: (+99891) 9539977; e-mail: u.m.turaev7@mail.ru.

Поступила 19.02.2022 г.