

DOI: 10.5281/zenodo.4321400

УДК: 63:551.55(478)

## ПРОВЕРКА ГИПОТЕЗЫ СТАТИСТИЧЕСКОЙ НЕРАЗЛИЧИМОСТИ СРЕДНЕСУТОЧНЫХ ЗНАЧЕНИЙ СКОРОСТЕЙ ВЕТРА АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОН ПРИДНЕСТРОВЬЯ

*Алла КИРСАНОВА, Онорин ВОЛКОНОВИЧ, Корина ГУЦУ-КЕТРУШКА  
Елена СКРИПНИК, Ина ВОЛКОНОВИЧ*

**Abstract.** This article uses mathematical statistics and mathematical modeling methods to present the results of a study to test the hypothesis of statistical indistinguishability of average daily wind speeds in various agroclimatic zones of Transnistria. Based on the available statistical data of average daily wind speeds for the five-year period 01.01.2014-31.12.2018, the article presents the results of applying statistical and mathematical modeling methods to solve the problem. It is proved that the hypothesis of statistical indistinguishability of average daily values of wind speeds in various agroclimatic zones of Transnistria is not confirmed.

**Key words:** Agroclimatic zones; Wind speed; Distribution laws; Statistical indistinguishability.

**Реферат.** В данной статье на основе методов математической статистики и математического моделирования приводятся результаты исследования по проверке гипотезы статистической неразличимости среднесуточных значений скоростей ветра в различных агроклиматических зонах Приднестровья. В статье на основе имеющихся статистических данных среднесуточных скоростей ветра за пятилетний период 01.01.2014-31.12.2018 гг. подробно изложены результаты применения методов статистического, математического моделирования для решения поставленной задачи. Доказано, что гипотеза о статистической неразличимости среднесуточных значений скоростей ветра в различных агроклиматических зонах Приднестровья не подтверждается.

**Ключевые слова:** Агроклиматические зоны; Скорость ветра; Законы распределения; Статистическая неразличимость.

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время проблема повышения эффективности энергосберегающих систем является особенно актуальной. Поэтому прогрессивные технологии хранения фруктов и овощей должны быть энергетически экономичными, что естественно предполагает использование установок природного (естественного) холода. Для Приднестровья эта проблема также должна быть решена наиболее рациональным способом.

Расчет продолжительности использования установок естественного холода (аккумуляторов с водой) для хранения фруктов и овощей на территории Приднестровья, а также расчет продолжительности намораживания льда в льдохранилище, связаны с исследованием данных систематических метеонаблюдений для периодов, когда наружные среднесуточные температуры находятся в интервале температур, установленных для хранения фруктов и овощей. То есть естественной является задача исследования таких метеоусловий Приднестровья как температура, скорость ветра и т.д. Исследования среднесуточных температур при обосновании деления территории Приднестровья на агроклиматические зоны проведены нами ранее.

В настоящем исследовании проводится проверка статистической гипотезы о неразличимости среднесуточных скоростей ветра в различных районах Приднестровья.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Задачи исследования решаются с помощью методов исследования энергосберегающих систем хранения фруктов и овощей с применением естественного и искусственного холода (Волконович, Л. 2017; Волконович, Л. 2019). А также обработки исходных данных на основе существующих методик и методов математической статистики и математического моделирования (Долгов, Ю. 2011; Долгов, Ю. 2015) и результатов исследования по выделению агроклиматических зон Приднестровья (Кирсанова, А., Волконович, О. 2019).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Исследование проводится на основе данных систематических метеонаблюдений. Исходные данные настоящего исследования касаются среднесуточных значений скоростей ветра, полученных на метеостанциях, установленных в городах Каменка, Рыбница, Тирасполь и Дубоссары за пятилетний период 01.01.2014-31.12.2018 гг. В Григориопольском и Слободзейском районах имеются только пункты, на которых измеряется ограниченный набор метеоданных. Значения среднесуточных скоростей ветра получены в Гидрометцентре Приднестровья.

Исследована статистическая неразличимость средних арифметических значений среднесуточных скоростей ветра для каждого из 12 месяцев в отдельности и для каждого года в целом по пятилетнему периоду 01.01.2014 – 31.12.2018 гг. для городов: Каменка и Рыбница; Каменка и Дубоссары; Рыбница и Дубоссары; Дубоссары и Тирасполь.

Применены статистические критерии:

1) критерий Стьюдента:

$$t = \frac{|\bar{X}_1 - \bar{X}_2|}{\sqrt{S^2}} \cdot \sqrt{\frac{N_1 N_2}{N_1 + N_2}} \quad (1)$$

где  $N_1$  и  $N_2$  – объемы выборок,  $\bar{X}_1$  и  $\bar{X}_2$  – средние арифметические выборок,  $S_1^2$  и  $S_2^2$  – эмпирические дисперсии,  $S^2$  – средневзвешенная дисперсия с числом степеней свободы  $\nu = N_1 + N_2 - 2$ , рассчитываемая по формуле:

$$S^2 = \frac{(N_1 - 1)S_1^2 + (N_2 - 1)S_2^2}{(N_1 - 1) + (N_2 - 1)} \quad (2)$$

2) критерий Тьюки:

$$T \cdot S = Q(q; k; \nu) \cdot \sqrt{\frac{S^2}{N}}, \quad (3)$$

где  $Q(q; k; \nu)$  – стьюдентизированный размах (табличное значение),

$S^2$  – средняя выборочная дисперсия с числом степеней свободы  $\nu = k(N - 1)$ :

$$S^2 = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k S_j^2, \quad (4)$$

3) критерий Крамера-Уэлча:

$$T = \frac{\sqrt{N_1 N_2} (\bar{X}_1 - \bar{X}_2)}{\sqrt{N_1 S_1^2 + N_2 S_2^2}}, \quad (5)$$

где  $N_1$  и  $N_2$  – объемы выборок,  $\bar{X}_1$  и  $\bar{X}_2$  – средние арифметические выборок,  $S_1^2$  и  $S_2^2$  – эмпирические дисперсии.

Критические значения для критерия Крамера-Уэлча зависят только от уровня значимости  $\alpha$ . При  $T_{\text{эмп}} < \Phi(1-\alpha/2)$  гипотеза принимается. Если  $\alpha = 0,05$ , то  $\Phi(1-\alpha/2) = 1,96$ . То есть, если  $T_{\text{эмп}} < 1,96$ , то характеристики сравниваемых выборок совпадают на уровне значимости 0,05.

Наиболее достоверными считаются результаты, полученные по критерию Крамера-Уэлча, так как данный критерий, являясь непараметрическим, не требует подчинения выборки какому-либо закону распределения, а также не требует равенства (неразличимости) дисперсий.

Таблицы, содержащие необходимые для расчета данные и результаты расчетов приведены ниже. В таблицах обозначены:  $\bar{O}$  – среднее арифметическое значение выборки скоростей ветра,

$S_j^2$  – эмпирическая дисперсия,  $S^2$  – средневзвешенная дисперсия.

Таблица 1. Средние арифметические значения скоростей ветра и дисперсий по г. Каменка и г. Рыбница

район	параметр	год	месяц												год
			I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Каменка	$\bar{O}$	2014	3,05	2,29	3,40	2,68	2,22	1,94	2,01	1,70	2,18	2,17	2,66	2,44	2,40
		2015	2,98	2,65	2,85	3,59	2,23	2,41	1,78	1,93	2,66	2,16	2,35	2,14	2,47
		2016	2,75	3,44	3,23	2,52	2,08	2,10	1,77	1,73	1,54	2,86	2,97	2,57	2,46
		2017	2,40	2,20	3,04	3,35	2,04	1,81	1,93	1,73	2,33	2,09	1,90	2,66	2,29
		2018	2,14	1,93	2,23	2,41	1,70	1,33	0,93	1,47	1,71	2,09	2,50	2,35	1,90
	$S_j^2$	2014	1,59	1,13	1,87	1,19	2,21	1,15	0,50	0,61	1,14	1,28	1,15	1,57	1,25
		2015	2,07	2,33	1,84	2,83	0,95	0,93	0,33	0,23	1,16	1,56	1,40	1,91	1,41
		2016	1,89	2,63	3,08	1,60	0,66	1,14	0,59	0,50	0,49	2,51	2,26	1,46	1,52
		2017	2,37	1,66	1,00	2,19	0,59	0,72	0,96	0,40	0,86	2,29	2,01	1,60	1,34
		2018	1,82	1,45	2,82	1,38	1,22	0,49	0,21	0,28	0,39	1,24	1,02	1,05	1,08
Рыбница	$\bar{O}$	2014	2,60	1,07	2,62	1,89	1,38	1,88	1,76	1,55	1,86	1,43	1,87	1,76	1,81
		2015	2,05	2,05	2,16	2,78	1,81	2,03	1,70	1,47	1,87	1,61	1,92	1,61	1,92
		2016	2,02	2,20	2,20	1,76	1,55	1,80	1,74	1,41	1,14	2,12	2,32	2,18	1,87
		2017	1,78	1,85	2,38	2,51	1,97	1,95	1,72	1,65	1,71	1,93	1,58	2,15	1,93
		2018	1,78	2,02	2,11	2,04	1,97	1,67	1,33	1,43	1,63	1,52	2,03	1,95	1,79
	$S_j^2$	2014	1,23	0,57	1,55	0,74	0,63	0,56	0,64	0,51	1,06	0,91	0,58	1,10	0,82
		2015	1,20	1,35	0,87	2,28	0,69	1,00	0,51	0,37	0,85	1,04	1,41	1,09	1,02
		2016	1,56	0,84	1,01	0,88	0,41	0,52	0,78	0,58	0,75	1,40	0,98	1,23	0,88
		2017	1,63	0,99	0,72	1,27	0,67	0,45	0,53	1,12	0,28	1,34	0,89	0,64	0,85
		2018	1,23	0,59	1,47	0,77	0,79	0,41	0,32	0,50	0,73	0,85	1,31	1,13	0,82
$S^2$	2014	1,4081	0,8492	1,7087	0,9637	1,4227	0,8512	0,5702	0,5613	1,1004	1,0923	0,8662	1,3341	1,0316	
	2015	1,6343	1,8400	1,3575	2,5544	0,8181	0,9620	0,4176	0,3017	1,0023	1,3017	1,4044	1,5013	1,2127	
	2016	1,7281	1,7348	2,0458	1,2376	0,5382	0,8296	0,6823	0,5386	0,6194	1,9522	1,6198	1,3460	1,2011	
	2017	2,0002	1,3252	0,8607	1,7300	0,6279	0,5846	0,7455	0,7619	0,5708	1,8154	1,4496	1,1182	1,0972	
	2018	1,5219	1,0161	2,1459	1,0768	1,0058	0,4498	0,2661	0,3891	0,5576	1,0441	1,1644	1,0919	0,9494	
Каменка-Рыбница	$S^2$	2014	1,4081	0,8492	1,7087	0,9637	1,4227	0,8512	0,5702	0,5613	1,1004	1,0923	0,8662	1,3341	1,0316
		2015	1,6343	1,8400	1,3575	2,5544	0,8181	0,9620	0,4176	0,3017	1,0023	1,3017	1,4044	1,5013	1,2127
		2016	1,7281	1,7348	2,0458	1,2376	0,5382	0,8296	0,6823	0,5386	0,6194	1,9522	1,6198	1,3460	1,2011
		2017	2,0002	1,3252	0,8607	1,7300	0,6279	0,5846	0,7455	0,7619	0,5708	1,8154	1,4496	1,1182	1,0972
		2018	1,5219	1,0161	2,1459	1,0768	1,0058	0,4498	0,2661	0,3891	0,5576	1,0441	1,1644	1,0919	0,9494

Таблица 2. Статистические критерии по г. Каменка и г. Рыбница

Критерий	год	месяц												год
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Табличное значение $t$ критерия		2,0003	2,0049	2,0003	2,0017	2,0003	2,0017	2,0003	2,0003	2,0017	2,0003	2,0017	2,0003	1,9632
критерий Стьюдента $t$	2014	1,5198	4,9450	2,3512	3,1430	2,7790	0,2799	1,3287	0,7628	1,1691	2,7706	3,2875	2,2981	7,7908
	2015	1,6343	1,8400	1,3575	2,5544	0,8181	0,9620	0,4176	0,3017	1,0023	1,3017	1,4044	1,5013	1,2127
	2016	2,2027	3,5790	2,8324	2,6458	2,8391	1,2756	0,1384	1,6786	1,9520	2,1088	1,9780	1,3245	7,2880
	2017	2,0002	1,3252	0,8607	1,7300	0,6279	0,5846	0,7455	0,7619	0,5708	1,8154	1,4496	1,1182	1,0972
	2018	1,1221	0,3314	0,3294	1,3934	1,0511	1,9441	3,0777	0,2647	0,3976	2,2123	1,6869	1,5071	1,5346
Доверительный интервал критерия Тьюки $T_S$	2014	0,6029	0,4942	0,6642	0,5076	0,6061	0,4770	0,3837	0,3807	0,5424	0,5310	0,4812	0,5869	0,1474
	2015	0,6496	0,7274	0,5920	0,8263	0,4596	0,5071	0,3283	0,2791	0,5176	0,5797	0,6127	0,6226	0,1598
	2016	0,6679	0,6941	0,7268	0,5752	0,3728	0,4709	0,4197	0,3729	0,4069	0,7099	0,6580	0,5895	0,1588
	2017	0,7186	0,6173	0,4714	0,6801	0,4026	0,3953	0,4387	0,4435	0,3906	0,6846	0,6225	0,5373	0,1520
	2018	0,6268	0,5406	0,7443	0,5365	0,5096	0,3468	0,2621	0,3170	0,3861	0,5192	0,5579	0,5309	0,1414
критерий Крамера-Уэлча $T$	2014	1,5198	4,9450	2,3512	3,1430	2,7790	0,2799	1,3287	0,7628	1,1691	2,7706	3,2875	2,2981	7,7908
	2015	2,8611	1,6452	2,3109	1,9467	1,8113	1,4874	0,4717	3,2600	3,0304	1,8923	1,4162	1,6895	6,7656
	2016	2,2027	3,5790	2,8324	2,6458	2,8391	1,2756	0,1384	1,6786	1,9520	2,1088	1,9780	1,3245	7,2880
	2017	1,7241	1,1608	2,7790	2,4636	0,3205	0,7091	0,9414	0,3637	3,2125	0,4713	1,0186	1,9096	4,6111
	2018	1,1221	0,3314	0,3294	1,3934	1,0511	1,9441	3,0777	0,2647	0,3976	2,2123	1,6869	1,5071	1,5346

Выводы, сделанные на основе таблиц 1 и 2:

1) практически для всех рассчитанных значений критерия Стьюдента  $t$  больше  $t_{табл}$  в таблице 1, значит гипотеза о неразличимости средних арифметических значений среднесуточных скоростей ветра за каждый месяц и за каждый год исследуемого периода по Каменке и Рыбнице опровергается;

2) сопоставление найденных доверительных интервалов (метод Тьюки) в таблице 2 с данными таблицы 1 позволяет заключить, что средние арифметические значения среднесуточных скоростей ветра за каждый месяц и за каждый год исследуемого периода по Каменке и Рыбнице статистически различимы;

3) рассчитанные значения критерия Крамера-Уэлча  $T$  за каждый год больше критического  $T_{кр} = 1,96$ , что опровергает гипотезу о статистической неразличимости средних арифметических значений среднесуточных скоростей ветра по Каменке и Рыбнице.

Установлено, что в каждом из пяти лет исследованного периода средние арифметические значения среднесуточных скоростей ветра по г. Каменка и г. Рыбница не являются статистически неразличимыми. Таким образом, статистически доказано, что гипотеза о статистической неразличимости среднесуточных скоростей ветра в Каменском и Рыбницком районах опровергается. При исследовании рельефа местности указанных районов становится понятным географическое обоснование сделанного вывода.

Ниже приведены результаты аналогичных расчетов для проверки гипотезы о неразличимости средних арифметических значений среднесуточных скоростей для пар районов и городов Тирасполь - Дубоссары, Рыбница - Дубоссары, Каменка - Дубоссары.

Таблицы, подобные таблицам 1 и 2, не приводятся в данной статье в виду громоздкости.

Выводы, сделанные на основе данных расчетов:

1) для всех рассчитанных значений критерия Стьюдента  $t$  за год оказались большими по величине, чем  $t_{табл}$ , значит гипотеза о неразличимости средних арифметических среднесуточных скоростей ветра за каждый год исследуемого периода по Каменскому и Дубоссарскому району не подтверждается; равно как и по Рыбницкому и Дубоссарскому району;

2) сопоставление найденных доверительных интервалов (метод Тьюки) с данными таблиц 1 и 3 позволяет заключить, что гипотеза о неразличимости средних арифметических значений среднесуточных скоростей ветра за каждый год исследуемого периода по Каменскому и Дубоссарскому району не подтверждается; равно как по Рыбницкому и Дубоссарскому району;

3) все рассчитанные значения критерия Крамера-Уэлча  $T$  за каждый год больше критического  $T_{кр} = 1,96$ , что опровергает гипотезу о статистической неразличимости средних арифметических значений среднесуточных скоростей ветра по Каменскому и Дубоссарскому району, а также по Рыбницкому и Дубоссарскому району;

4) для всего исследуемого периода рассчитанные значения критерия Стьюдента  $t < t_{табл}$ , значит гипотеза о неразличимости средних арифметических среднесуточных скоростей ветра за каждый год исследуемого периода по г. Тирасполь и г. Дубоссары не подтверждается;

5) сопоставление найденных доверительных интервалов (метод Тьюки) с данными таблицы 3 позволяет заключить, что гипотеза о неразличимости средних арифметических значений среднесуточных скоростей ветра за каждый год исследуемого периода по г. Тирасполь и г. Дубоссары не подтверждается;

6) все рассчитанные значения критерия Крамера-Уэлча  $T$  за каждый год меньше критического  $T_{кр} = 1,96$ , что не подтверждает гипотезу о статистической неразличимости средних арифметических значений среднесуточных скоростей ветра по г. Тирасполь и г. Дубоссары.

Для удобства средние арифметические значения скоростей ветра за каждый год пятилетнего периода и за пять лет в целом приведены в таблице 3.

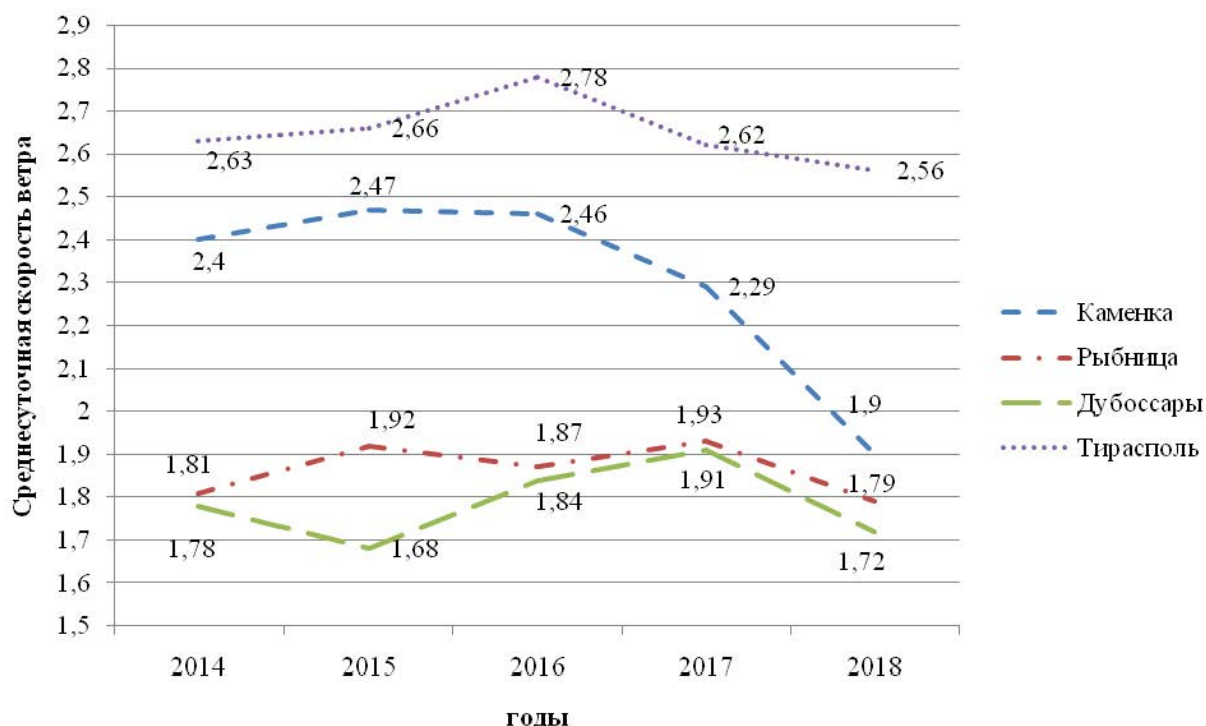
Полученные выше выводы подтверждаются графиками зависимости среднего арифметического значения среднесуточных скоростей ветра за каждый год в течение пятилетнего периода 01.01.2014-31.12.2018 гг. (Табл. 3, Рис. 1).

На основании таблицы 3, построены графики зависимости среднего арифметического значения среднесуточных скоростей ветра за год в течение указанного периода.

**Таблица 3.** Среднее арифметическое значение среднесуточных скоростей ветра(м/с) за год в течение пятилетнего периода 01.01.2014-31.12.2018 гг.

	2014	2015	2016	2017	2018	5 лет
Каменка	2,40	2,47	2,46	2,29	1,90	2,30
Рыбница	1,81	1,92	1,87	1,93	1,79	1,86
Дубоссары	1,78	1,68	1,84	1,91	1,72	1,79
Тирасполь	2,63	2,66	2,78	2,62	2,56	2,65

### Изменение среднесуточной скорости ветра за период 01.01.2014-31.12.2018 гг.

**Рисунок 1.** Графики зависимости среднего арифметического значения среднесуточной скорости ветра за год в течение пятилетнего периода 01.01.2014-31.12.2018 гг.

Графики косвенно подтверждают результаты, полученные при проверке гипотез о статистической неразличимости среднего арифметического значения среднесуточных скоростей ветра пар городов: Каменка-Рыбница (различимы), Дубоссары-Тирасполь (различимы), Каменка-Дубоссары (различимы), Рыбница-Дубоссары (различимы).

### ВЫВОДЫ

На основании проведенного исследования можно утверждать, что для каждой пары районов в каждом из пяти лет исследованного периода 01.01.2014-31.12.2018 г. гипотеза о статистической неразличимости средних арифметических значений среднесуточных скоростей ветра не подтверждается. Полученный результат необходимо исследовать дополнительно, поскольку ключевую роль при выделении агроклиматических зон Приднестровья играет среднесуточная температура. Статистическое доказательство обоснованности выделения Каменского и Рыбницкого района в одну агроклиматическую северную зону Приднестровья, а Дубоссарского и Григориопольского района – в другую приведено в статье (Кирсанова, А., Волконович, О. 2019).


Результат настоящего исследования нацелен на расчет параметров продолжительности


использования установок естественного холода (аккумуляторов с водой) для хранения фруктов и овощей на территории Приднестровья, а также на расчет продолжительности намораживания льда в льдохранилище. Поэтому дальнейшая работа будет направлена на выяснение критичности того, что гипотеза о статистической неразличимости среднесуточных значений скоростей ветра не подтвердилась.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК


1. ВОЛКОНОВИЧ, Л., ЧЕРНЕЙ, М., ВОЛКОНОВИЧ, А. (2019). Применение холода для охлаждения молока и хранения плодоовощной продукции. Кишинев. 228 с. ISBN 978-9975-56-625-4.
2. ВОЛКОНОВИЧ, Л., ВОЛКОНОВИЧ, А.Л., КУШНИР, М.Г., ПОПА, А.Г., СЛИПЕНКИ, В.Е., ДАЙКУ, А.С., ВОЛКОНОВИЧ, О.Л., КИРИЯК, И.И. (2017). Разработка алгоритмов управления процесса хранения фруктов и овощей с применением естественного холода. В: Инновации в сельском хозяйстве, № 2 (23), с. 67-72. ISSN 2304-4926.
3. ДОЛГОВ, Ю. (2015). Случайные числа. Тирасполь. 692 с. ISBN 978-9975-3010-2-2.
4. ДОЛГОВ, Ю. (2011). Статистическое моделирование. Тирасполь. 352 с. ISBN 9975-9630-1-3.
5. КИРСАНОВА, А., ВОЛКОНОВИЧ, О. (2019). Анализ температур воздуха для идентификации зон применения установок искусственного и естественного холода для охлаждения молока и хранения фруктов и овощей на территории Приднестровья. В: Știința Agricolă, № 2, с. 114-120. ISSN 1857-0003.


### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**КИРСАНОВА Алла**  <https://orcid.org/0000-0001-6541-5678>  
кандидат педагогических наук, Государственный Аграрный Университет Молдовы  
*E-mail:* avki@mail.ru

**ВОЛКОНОВИЧ Онорин**  <https://orcid.org/0000-0003-1623-2028>  
докторант, Государственный Аграрный Университет Молдовы  
*E-mail:* onorin.volconovici@gmail.com

**ГУЦУ-КЕТРУШКА Корина**  
доктор технических наук, Технический университет Молдовы

**СКРИПНИК Елена**  <https://orcid.org/0000-0002-6813-6102>  
доктор сельскохозяйственных наук, доцент, Государственный Аграрный Университет Молдовы  
*E-mail:* e.scripnic@uasmd.md

**ВОЛКОНОВИЧ Ина**  <https://orcid.org/0000-0002-4907-7944>  
докторант, Государственный Аграрный Университет Молдовы  
*E-mail:* globa.ina95@gmail.com

Data prezentării articolului: 12.10.2020

Data acceptării articolului: 20.11.2020