

## Spread of parasitoses of the gastrointestinal tract of ruminants in the farms of the Kirovohrad and Dnipropetrovsk regions

I. Bondarevskiy 

### Article info

Correspondence Author

I. Bondarevskiy

E-mail:

[bondarevskiy.ivan.2017@gmail.com](mailto:bondarevskiy.ivan.2017@gmail.com)Poltava State Agrarian  
University,  
1/3 Skovorody St., Poltava,  
36003, Ukraine

**Citation:** Bondarevskiy, I. (2024). Spread of parasitoses of the gastrointestinal tract of ruminants in the farms of the Kirovohrad and Dnipropetrovsk regions. *Scientific Progress & Innovations*, 27 (1), 139–143. doi: 10.31210/spi2024.27.01.23

Parasitoses of the gastrointestinal tract of ruminants are quite common all over the world, in particular in Ukraine, as they cause significant economic losses to livestock farms. Animals of all age groups are infected with pathogens of invasions, they often form mixed infections, which are in a complex relationship with the host's organism. Among the helminthiasis of the gastrointestinal tract of cattle, sheep and goats, strongylidoses of the digestive organs became the most widespread. The aim of the work was to investigate the distribution and peculiarities of the course of parasitosis of the gastrointestinal tract of cattle, sheep and goats in the farms of Dnipropetrovsk and Kirovohrad regions. According to the results of the conducted research, it was established that the average extent of invasion of animals by causative agents of gastrointestinal parasitoses was 59.5 %. Invasive diseases of ruminants are widespread in Dnipropetrovsk (55.2 %) and Kirovohrad (62.5 %) regions. In cattle, the highest rates of EI were in the case of parasitism of strongylides of the gastrointestinal tract (15.8 %) and dicrocoelias (7.7 %). In sheep, the highest incidence was in case of parasitism of gastrointestinal strongylides (14.8 %), strongylides and dicrocoelias (11.7 %), strongylides and eimerias (9.2 %), and strongylides and trichuriasis (8.1 %). The largest share among affected goats is animals with parasitism of strongylidoses of the gastrointestinal tract (16.3 %) and strongylides and trichuriasis (11.9 %) and strongylides and dicrocoelias (9.8 %). The results of the conducted studies show that parasitoses of the gastrointestinal tract of cattle, sheep and goats more often occur as mixed infections. The obtained data on the parasitofauna of ruminants and the peculiarities of the course of invasions will allow to increase the effectiveness of measures to combat and prevent them.

**Keywords:** cattle, sheep, goats, parasites, distribution, extent of infestation.

## Поширення паразитозів шлунково-кишкового каналу жуйних у господарствах Кіровоградської та Дніпропетровської областей

I. Л. Бондаревський

Полтавський державний  
аграрний університет,  
м. Полтава, Україна

Паразитози шлунково-кишкового каналу жуйних досить поширені в усьому світі, зокрема і в Україні, оскільки завдають значних економічних збитків тваринницьким господарствам. Збудниками інвазій заражаються тварини всіх вікових груп, вони часто формують мікстинвазії, які перебувають у складних взаємовідносинах з організмом хазяїна. Найбільшого поширення серед гельмінтозів шлунково-кишкового каналу великої рогатої худоби, овець та кіз набули стронгілідози органів травлення. Метою роботи було дослідити поширення та особливості перебігу паразитозів шлунково-кишкового каналу великої рогатої худоби, овець та кіз у господарствах Дніпропетровської та Кіровоградської областей. Дослідження виконували в лабораторії кафедри паразитології та ветеринарно-санітарної експертизи Полтавського державного аграрного університету та в умовах одноосібних селянських і фермерських господарств Дніпропетровської та Кіровоградської областей. Проведено визначення складу збудників інвазій, що паразитують у шлунково-кишковому каналі жуйних, ступеня їх ураження та особливостей перебігу паразитозів. За результатами проведених досліджень встановлено, що середня екстенсивність інвазії у тварин збудниками шлунково-кишкових паразитозів становила 59,5 %. Інвазійні хвороби жуйних значно поширені на території Дніпропетровської (55,2 %) і Кіровоградської (62,5 %) областей. У великої рогатої худоби найвищі показники ЕІ були у разі паразитування стронгілід шлунково-кишкового тракту (15,8 %) й дикроцелій (7,7 %). У овець найвища ураженість була у разі паразитування шлунково-кишкових стронгілід (14,8 %), стронгілід і дикроцелій (11,7 %), стронгілід і еймерій (9,2 %) та стронгілід і трихурисів (8,1 %). Найбільшу частку серед уражених кіз становлять тварини за наявності паразитування стронгілідозів шлунково-кишкового тракту (16,3 %) і стронгілід, і трихурисів (11,9 %) та стронгілід і дикроцелій (9,8 %). Результати проведених досліджень свідчать, що паразитози шлунково-кишкового каналу великої рогатої худоби, овець і кіз частіше перебігають як мікстинвазії. Отримані дані щодо паразитофауни жуйних та особливостей перебігу інвазій дозволять підвищити ефективність заходів із боротьби та профілактики з ними.

**Ключові слова:** велика рогата худоба, вівці, кози, паразити, поширення, екстенсивність інвазії.

**Бібліографічний опис для цитування:** Бондаревський І. Л. Поширення паразитозів шлунково-кишкового каналу жуйних у господарствах Кіровоградської та Дніпропетровської областей. *Scientific Progress & Innovations*. 2024. № 27 (1). С. 139–143.

## Вступ

Паразитози шлунково-кишкового каналу жуйних надзвичайно поширені в багатьох країнах світу. Водночас епізоотичні особливості більшості з них характеризуються хронічним перебігом і невираженими клінічними ознаками. З паразитозами також пов'язані суттєві економічні втрати, що проявляються зменшенням виробництва молока, зниженням маси тіла тварин, недоотриманням приплоду, вибракуванням уражених туш і органів. Не зважаючи на лікувальні і профілактичні заходи, гельмінтози шлунково-кишкового тракту жуйних значно поширені [3, 15, 17].

Науковці зазначають, що паразитофауна травного тракту жуйних достатньо різноманітна і її склад залежить від багатьох чинників, а саме: кліматичних особливостей регіону, умов утримання тварин, дотримання зоогігієнічних і ветеринарних заходів. а допомогою проведених досліджень з'ясовано, що велика рогата худоба та вівці в колумбійських північно-східних горах були заражені гельмінтами та кокцидіями. У овець екстенсивність інвазії була дещо вищою (63 %), ніж у великої рогатої худоби (50,5 %) [13].

За даними науковців, на півдні Африки у кіз паразитують: *Trichuris* spp., *Strongyloides papillosus*, *Moniezia* spp., та ряд Strongylida. В середньому ЕІ не перевищувала 37,1 % [11]. З'ясовано, що на території Єгипту у великої рогатої худоби ураженість гельмінтами в середньому становила 47,5 %, у буйволів – 30,0 %, а у овець – 50,3 %, де домінуючими виявилися нематоди родини *Trichostrongylidae* [1]. Із 478-ми досліджених кіз 82,4 % були інвазовані шлунково-кишковими гельмінтами, а 82 % виділяли яйця нематод стронгілід, причому 90 % личинок стронгілід були ідентифіковані як *Haemonchus* spp. [10]. За даними науковців, зараження декількома паразитами, три і більше видів, було зареєстровано приблизно у 68 % досліджених кіз і 85 % овець [9].

На території південно-західної частини Сербії виявлені такі роди нематод у овець: *Ostertagia*, *Trichostrongylus*, *Nematodirus*, *Haemonchus contortus*, *Oesophagostomum*, *Chabertia ovina*, *Cooperia*, *Marshallagia*, *Skrjabinema* and *Bunostomum*. Паразитози зареєстровано у 82,63 % тварин [12].

З-поміж 15-ти публікацій, включених до мета-аналізу, було доведено, що загальна поширеність гельмінтозів шлунково-кишкового тракту на території України становила 56,75 % (95 % ДІ: 56,23–57,28) [7].

Отже, встановлення поширення, видового складу та особливостей розподілу збудників в організмі великої рогатої худоби, овець та кіз за наявності

паразитозів у різних клімато-географічних регіонів є актуальним напрямом досліджень [4, 16, 18].

## Мета дослідження

*Метою* досліджень було дослідити поширення та особливості перебігу паразитозів шлунково-кишкового каналу великої рогатої худоби, овець та кіз у господарствах Кіровоградської та Дніпропетровської областей.

Для досягнення мети необхідно розв'язати такі *задачі*: встановити паразитофауну збудників шлунково-кишкового каналу жуйних; визначити показники ураженості великої рогатої худоби, овець та кіз збудниками паразитозів; дослідити особливості перебігу паразитозів жуйних.

## Матеріали і методи

Роботу виконували упродовж 2022–2024 рр. у лабораторії кафедри паразитології та ветеринарно-санітарної експертизи Полтавського державного аграрного університету та в умовах одноосібних селянських та фермерських господарств Кіровоградської та Дніпропетровської областей (Кропивницький та Криворізький райони).

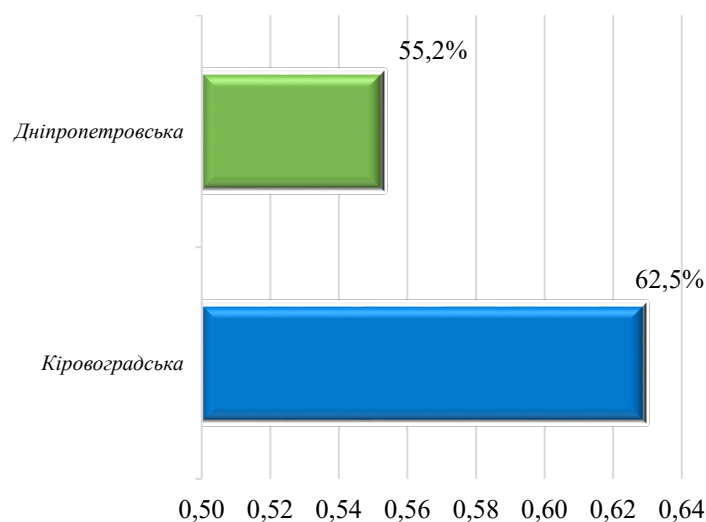
Досліджували жуйних місцевих порід: велику рогату худобу (чорно-ряба та червона степова), овець (асканійська та романівська) і кіз (альпійська, зааненська та змішані) віком від 4-х міс. до 8-ми років. Гельмінтоооскопію проб проводили за кількісним методом [19], вираховували кількість яєць або ооцист у 1 г фекалій (яєць/г, ооцист/г).

Дослідження тварин на ураженість яйцями трематод проводили за допомоги стандартизованого методу послідовних змивів [2]. Основним показником ураження жуйних тварин збудниками паразитозів була екстенсивність інвазії (ЕІ, %).

Усього досліджено 773 голів жуйних, із них на території Кіровоградської області 454, а на території Дніпропетровської – 319. Щодо видової приналежності, то було відібрано проби фекалій від 323-х голів великої рогатої худоби, 358-ми овець і 92-х кіз.

## Результати та їх обговорення

Загалом ми з'ясували, що 59,5 % тварин були уражені паразитами. У результаті проведених досліджень виявлено, що на території Дніпропетровської області 55,2 % жуйних виявились ураженими збудниками паразитозів шлунково-кишкового каналу, тоді як на території Кіровоградської області цей показник становив, відповідно 62,5 % (рис. 1).



**Рис. 1.** Показники екстенсивності інвазій (%) жуйних у господарствах Дніпропетровської та Кіровоградської областей

Загалом серед великої рогатої худоби ураженість паразитами не перевищувала 57,9 %. З'ясовано, що згідно з даними табл. 1. ми виявили як моноінвазії, так і поліінвазії. Найвищі показники ЕІ були за паразитування стронгілід шлунково-кишкового тракту (15,8 %).

**Таблиця 1**

Екстенсивність ураження великої рогатої худоби збудниками паразитозів у Дніпропетровській та Кіровоградській областях України, n=323

№ з/п	Різновиди паразитозів	Уражено, гол.	ЕІ, %
1.	еймерії	4	1,2
2.	дикроцелії	25	7,7
3.	параμφістони	14	4,3
4.	фасціоли	11	3,4
5.	стронгілідози	51	15,8
6.	трихуриси	16	4,9
7.	стронгілідози+дикроцелії+токсокари	13	4,0
8.	стронгілідози+фасціоли	15	4,6
9.	стронгілідози+параμφістони	12	3,7
10.	стронгілідози+дикроцелії	19	5,9
11.	стронгілідози+еймерії	7	2,2

*Примітки:* дані копроовоскопічних досліджень, 2022–2024 рр.

З-поміж трематод найчисельнішими були дикроцелії (7,7%), тоді як яйця парамфістоматид і фасціол не перевищували 4,3% і 3,4%. Найменша кількість тварин була носієм еймерій (1,2%). Серед моноінвазій також виявляли яйця трихурисів (4,9%).

Також ми виявляли дво- і трикомпонентні мікстинвазії. Встановлено, що при паразитуванні стронгілід і дикроцелій та стронгілід і парамфістом були найвищі показники ЕІ.

Аналізуючи показники ураженості овець на території Дніпропетровської та Кіровоградської областей встановлено, що 59,8% від загальної кількості досліджених тварин були уражені мікстинвазіями (табл. 2).

**Таблиця 2**

Екстенсивність ураження овець шлунково-кишковими паразитами у Дніпропетровській та Кіровоградській областях, n=358

№ з/п	Різновиди паразитозів	Уражено, гол.	ЕІ, %
1.	стронгілідози+трихуриси	29	8,1
2.	стронгілідози+еймерії	33	9,2
3.	стронгілідози	53	14,8
4.	стронгілідози+дикроцелії	42	11,7
5.	стронгілідози+трихуриси+еймерії	11	3,1
6.	стронгілідози+трихуриси+монієзії	17	4,7
7.	стронгілідози+дикроцелії+монієзії	8	2,2
8.	стронгілідози+еймерії+дикроцелії	21	5,9

*Примітки:* дані копроовоскопічних досліджень за 2022–2024 рр.

Слід зазначити, що найвищі показники ЕІ були при паразитуванні шлунково-кишкових стронгілід (14,8%), стронгілід і дикроцелій (11,7%), стронгілід і еймерій (9,2%) та стронгілід і трихурисів (8,1%).

Аналізуючи показники ураженості кіз на території Дніпропетровської та Кіровоградської областей збудниками шлунково-кишкових паразитозів, нами встановлено певні особливості їх перебігу у даного виду тварин (табл. 3).

**Таблиця 3**

Екстенсивність ураження кіз збудниками паразитозів у Дніпропетровській та Кіровоградській областях, n=92

№ п/п	Різновиди паразитозів	Уражено, гол.	ЕІ, %
1.	стронгілідози+трихуриси	11	11,9
2.	стронгілідози+еймерії	7	7,6
3.	стронгілідози	15	16,3
4.	стронгілідози+дикроцелії	9	9,8
5.	стронгілідози+трихуриси+еймерії	6	6,5
6.	стронгілідози+трихуриси+монієзії	4	4,3
7.	стронгілідози+дикроцелії+монієзії	2	2,2
8.	стронгілідози+еймерії+дикроцелії	5	5,4

*Примітки:* дані копроовоскопічних досліджень за 2022–2024 рр.

Згідно з даними таблиці 3 щодо паразитування у кіз гельмінтів і найпростіших з'ясовано, що найбільшу частку серед уражених становлять тварини за наявності паразитування стронгілідозів шлунково-кишкового тракту (16,3 %) і стронгілід і трихурисів (11,9 %) та стронгілід і дикроцелій (9,8 %). Загалом із 92-х досліджених тварин у 59-ти було виявлено паразитів, що склало 64,1 %.

Відповідно до даних науковців, що проводили паразитологічні дослідження у господарствах на території центрального регіону України встановлено, що у корів віком від 3-х до 8-ми років зареєстровано найвищі показники екстенсивності інвазії (24,1 %) за шлунково-кишкових стронгілід із родів: *Haemonchus*, *Bunostomum* і *Oesophagostomum* [8]. Ці дані збігаються з нашими дослідженнями, оскільки у великої рогатої худоби, овець і кіз представники стронгілід шлунково-кишкового тракту також є найбільш чисельною групою паразитів. Інші дослідження свідчать, що велика рогата худоба уражена збудниками трихуридозу, фасціольозу та еймеріозу, а середня екстенсивність інвазії паразитозами водночас становить 75,0 % [20]. Ми виявили, що 59,5 % жуйних тварин були уражені паразитами. На території Дніпропетровської області 55,2 % жуйних виявились ураженими збудниками паразитозів шлунково-кишкового каналу, тоді як на території Кіровоградської області цей показник становив, відповідно 62,5 %.

Паразитози шлунково-кишкового каналу кіз є поширеними захворюваннями цих тварин у господарствах Полтавської області, (EI=62,96%). Також встановлено, що переважно вони мають асоціативний перебіг [14]. Інші дослідження вказують на те, що у овець домінували стронгілідози травного тракту, а EI становила 96,68 %, інтенсивність інвазії – 210,93 яєць/г [21].

Результати мета-аналізу показали, що загальна поширеність фасціольозу великої рогатої худоби становила 6,41 %, тоді як у дрібних жуйних лише 2,03 %. У великої рогатої худоби захворювання реєстрували в 1,48 раза частіше, ніж у овець і кіз [5]. У наших дослідженнях серед великої рогатої худоби фасціольоз реєстрували у 3,4 % тварин, тоді як у овець і кіз взагалі збудника *Fasciola* spp. не виявлено. *Dicrocoelium dendriticum* (Rudolphi, 1819) у Полтавській та Кіровоградській областях України є досить поширеним серед жуйних. Зокрема, 26,9 % у великої рогатої худоби, 28,42 % у овець і 24,5 % у кіз [6]. Отримані дані узгоджуються з іншими науковцями, які проводили дослідження щодо поширення паразитів у жуйних тварин.

## Висновки

Інвазійні хвороби жуйних тварин, спричинені шлунково-кишковими паразитами, мають значне поширення на території Дніпропетровської (55,2 %) й Кіровоградської (62,5 %) областей, середня екстенсивність інвазії сягає 59,5 %.

Серед великої рогатої худоби ураженість паразитами не перевищує 57,9 %. Найвищі показники EI були за наявності паразитування стронгілід

шлунково-кишкового тракту (15,8 %). З-поміж трематод найчисельнішими є дикроцелії (7,7 %). Встановлено, що при паразитуванні стронгілід і дикроцелій та стронгілід і парамфістом найвищі показники екстенсивності інвазії. Мікстінвазії зареєстровані у 59,8 % овець Дніпропетровської та Кіровоградської областей. Найвищі показники були при паразитуванні шлунково-кишкових стронгілід (14,8 %), стронгілід і дикроцелій (11,7 %), стронгілід і еймерій (9,2 %) та стронгілід і трихурисів (8,1 %).

Найбільшу частку серед уражених кіз мають тварини за паразитування стронгілідозів шлунково-кишкового тракту (16,3 %) й стронгілід і трихурисів (11,9 %) та стронгілід і дикроцелій (9,8 %). У середньому кози у двох областях уражені на 64,1%.

*Перспективи подальших досліджень.* У подальших дослідженнях плануємо вивчити видовий склад збудників паразитозів шлунково-кишкового каналу кіз за результатами гельмінтологічного розтину.

## Конфлікт інтересів

Автори стверджують про відсутність конфлікту інтересів щодо їхнього викладу та результатів досліджень.

## References

1. Al-Albudī, M., & Omar, M. (2017). Prevalence of gastrointestinal nematodes of farm animals by copro-culture. *Russian Journal of Parasitology*, 3 (2), 168–174. <https://doi.org/10.12737/20059>
2. Dakhno, I. S., & Dakhno, Yu. I. (2010). *Ekolohichna helmintolohiia: navchalnyi posibnyk*. Sumy: Kozatskyi val [in Ukrainian]
3. Karshima, S. N., Maikai, B. V., & Kwaga, J. (2018). Helminths of veterinary and zoonotic importance in Nigerian ruminants: a 46-year meta-analysis (1970–2016) of their prevalence and distribution. *Infectious Diseases of Poverty*, 7 (1), 52. <https://doi.org/10.1186/s40249-018-0438-z>
4. Krishnamoorthy, P., Lakshmi, H. K., Jacob, S. S., Suresh, K. P., & Shome, B. R. (2023). Scientometric analysis of gastrointestinal parasites prevalence in sheep and goats of India. *Acta Parasitologica*, 68 (3), 496–519. <https://doi.org/10.1007/s11686-023-00687-w>
5. Kruchynenko, O. V., Mykhailiutenko, S. M., & Petrenko, M. O. (2022). Prevalence of Fascioliasis in ruminants of the world – meta-analysis. *Zoodiversity*, 56 (5), 419–428. <https://doi.org/10.15407/zoo2022.05.419>
6. Kruchynenko, O. V., Mykhailiutenko, S. M., Klymenko, O. S., Kanivets, N. S., & Korchan, L. M. (2020). Morphological characteristics of *Dicrocoelium dendriticum* (Digenea, Dicrocoeliidae), parasitizing three host species in the central regions of Ukraine. *Zoodiversity*, 54 (5), 403–410. <https://doi.org/10.15407/zoo2020.05.403>
7. Kruchynenko, O. V., Mykhailiutenko, S. M., Petrenko, M. A., Kuzmenko, L. M. (2021). Prevalence of gastrointestinal helminths in ruminants in Ukraine: A 5-year meta-analysis. *Biosystems Diversity*, 29 (3), 251–257. <https://doi.org/10.15421/012131>
8. Kruchynenko, O. V., Prus, M. P., & Mykhailiutenko, S. M. (2020). *Parasitocenoses of cattle in the central region of Ukraine*. Kyiv: Komprint.
9. Mohammed, N., Taye, M., Asha, A., & Sheferaw, D. (2014). Epizootological study of small ruminant gastrointestinal strongyles in Gamo-Gofa Zone, Southern Ethiopia. *Journal of Parasitic Diseases*, 40 (2), 469–474. <https://doi.org/10.1007/s12639-014-0528-1>

10. Mohammedsalih, K. M., Khalafalla, A., Bashar, A., Abakar, A., Hessain, A., Juma, F.-R., Coles, G., Krücken, J., & von Samson-Himmelstjerna, G. (2019). Epidemiology of strongyle nematode infections and first report of benzimidazole resistance in *Haemonchus contortus* in goats in South Darfur State, Sudan. *BMC Veterinary Research*, 15 (1), 184. <https://doi.org/10.1186/s12917-019-1937-2>
11. Mpofo, T. J., Nephawe, K. A., & Mtileni, B. (2020). Prevalence of gastrointestinal parasites in communal goats from different agro-ecological zones of South Africa. *Veterinary World*, 13 (1), 26–32. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2020.26-32>
12. Pavlović, I., Ivanović, S., Čirković, D., Petrović, M. P., Caro Petrović, V., Maksimović, N., & Ivanovic, D. (2017). Gastrointestinal helminths of sheep reared in Southwest Serbia. *Bulgarian Journal of Veterinary Medicine*, 20(1), 402–406.
13. Pinilla León, J. C., Delgado, N. U., & Florez, A. A. (2019). Prevalence of gastrointestinal parasites in cattle and sheep in three municipalities in the Colombian Northeastern Mountain. *Veterinary world*, 12(1), 48–54. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2019.48-54>
14. Prima, O. B., & Dmytrenko, N. I. (2021). Spreading parasitoses of goats' gastro-intestinal tract on farms of Poltava region. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*, 3, 230–235. <https://doi.org/10.31210/visnyk2021.03.28>
15. Ruano, Z. M., Cortinhas, A., Carolino, N., Gomes, J., Costa, M., & Mateus, T. L. (2019). Gastrointestinal parasites as a possible threat to an endangered autochthonous Portuguese sheep breed. *Journal of Helminthology*, 94. <https://doi.org/10.1017/s0022149x19000968>
16. Singh, E., Kaur, P., Singla, L. D., & Bal, M. S. (2017). Prevalence of gastrointestinal parasitism in small ruminants in western zone of Punjab, India. *Veterinary World*, 10 (1), 61–66. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2017.61-66>
17. Squire, S. A., Yang, R., Robertson, I., Ayi, I., Squire, D. S., & Ryan, U. (2018). Gastrointestinal helminths in farmers and their ruminant livestock from the Coastal Savannah zone of Ghana. *Parasitology Research*, 117 (10), 3183–3194. <https://doi.org/10.1007/s00436-018-6017-1>
18. Tiele, D., Sebro, E., H/Meskel, D., & Mathewos, M. (2023). Epidemiology of gastrointestinal parasites of cattle in and Around Hosanna Town, Southern Ethiopia. *Veterinary Medicine: Research and Reports*, 14, 1–9. <https://doi.org/10.2147/vmrr.s389787>
19. Trach, V. N. (1992). *Rekomendacii po primeneniju novogo metoda ucheta jaic gelmintov i cistprosteshnih v fekalijah zivotnyh*. Kiev: Gosagroprom USSR [in Russian]
20. Yevstafieva, V., Kruchynenko, O., Melnychuk, V., Mykhailiutenko, S., Korchan, L., Shcherbakova, N., & Dolhin, O. (2020). Epizootological peculiarities of the course of cattle and sheep parasitoses in the summer pasture period. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*, 3, 205–212. <https://doi.org/10.31210/visnyk2020.03.23>
21. Yevstafieva, V., Kruchynenko, O., Melnychuk, V., Mykhailiutenko, S., & Korchan, L. (2020). Peculiarities of sheep parasitoses spreading in the autumn-pasture period. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*, 4, 163–169. <https://doi.org/10.31210/visnyk2020.04.20>

#### ORCID

I. Bondarevskiy  <https://orcid.org/0000-0001-6903-4186>



© 2024 Bondarevskiy I. This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.