

## ЗООТЕХНИЯ

УДК 636.4.03:546.48:615.9

### ОСОБЕННОСТИ ЭКОТОКСИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ КАДМИЯ НА НЕКОТОРЫЕ БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ АГРОБИОЦЕНОЗОВ

**О. С. ЧАЛАЯ**

Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П. Василенко,  
г. Харьков, Украина, e-mail: chaliolisobol@gmail.com

**А. И. ЧАЛЫЙ**

Харьковская государственная зооветеринарная академия,  
г. Харьков, Украина, e-mail: chaliolisobol@gmail.com

(Поступила в редакцию 11.04.2019)

Увеличение антропогенного влияния на биосферу, а также отсутствие эффективных методов экологической безопасности привело к интенсивному загрязнению окружающей среды различными хемотоксикантами. Особую группу среди этих загрязнителей занимают тяжелые металлы, а наиболее токсичным из них является кадмий. Путем создания в производственных условиях искусственной модели экоцидного влияния, смоделирован процесс интоксикации биологического объекта (свиньи) кадмием, что может произойти вследствие загрязнения окружающей среды. В этих условиях проведено изучение направления и степени влияния разных доз кадмия на показатели роста и развития животных, гематологические показатели, интенсивности его накопления в продукции свиноводства. Установлено, что кадмий имеет существенное влияние на интенсивность роста животных и сила влияния увеличивается с дозой. Так, живая масса животных, которым скармливали кадмий с 10- и 20- кратным превышением его предельно допустимых концентраций на 1 кг корма, снижалась в конце опыта соответственно на 5,5 % та 8,6 %. Такой же характер изменений наблюдался и по показателям промеров животных, наибольшие изменения были характерны для обхвата пясти. Под действием кадмия резко ухудшалась формула крови, снижалось количество общего белка и альбуминов, что может свидетельствовать о поражении печени и общем ухудшении состояния организма. Поступление в организм свиней повышенных доз кадмия (10ПДК и 20ПДК) приводило к накоплению его в органах (почки, печень) и мясе животных, при этом наибольшее количество его наблюдалось в почках, а наименьшее – в мышцах. Превышение содержания кадмия в почках у животных II и III групп по сравнению с контролем было в 34,2 и в 41,5 раза ( $P > 0,999$ ) соответственно, в печени – в 13,2–17,8 раза ( $P > 0,999$ ) и в мышцах спины – в 1,8–2,3 раза ( $P > 0,999$ ) и эти концентрации превышали установленные предельно допустимые для этих органов и мышечной ткани.

Полученные данные дают представление про направление и степень действия кадмия на биологические объекты, а также возможность предугадывать влияние кадмия на продуктивность свиней, их физиологическое состояние, перераспределение в организме, концентрацию во внутренних органах, что необходимо знать при проведении экологической экспертизы технологий и установлении границ стойкости экологических систем и их компонентов к разным техногенно-антропогенным нагрузкам.

**Ключевые слова:** кадмий, молодняк свиней, живая масса, среднесуточный прирост, промеры, гематологические показатели, концентрация, почки, печень.

An increase in the anthropogenic impact on biosphere, as well as the lack of effective environmental safety methods, has led to intense environmental pollution by various chemotoxicants. Heavy metals occupy a special group among these pollutants, and cadmium is the most toxic of them. By creating an artificial model of ecocidal effect in an industrial environment, the process of intoxication of a biological object (pig) with cadmium is modeled, which may occur due to environmental pollution. Under these conditions, the direction and degree of influence of different doses of cadmium on growth and development indicators of animals, hematological indicators, and the intensity of its accumulation in pig products were studied. It has been established that cadmium has a significant effect on the growth rate of animals and the strength of influence increases with the dose. Thus, the live weight of animals fed cadmium with a 10- and 20-fold excess of its maximum permissible concentrations per 1 kg of feed decreased at the end of experiment by 5.5% and 8.6%, respectively. The same nature of changes was observed in terms of measurements of animals, the largest changes were characteristic for the circumference of metacarpus. Under the influence of cadmium, the blood formula sharply worsened, the amount of total protein and albumin decreased, which may indicate liver damage and a general deterioration of the body. The intake of high doses of cadmium (10 and 20 maximally admissible levels) in pigs led to its accumulation in organs (kidneys, liver) and meat of animals, with the largest amount observed in kidneys and the smallest in muscles. The excess of cadmium content in the kidneys in animals of groups II and III compared with the control was 34.2 and 41.5 times ( $P > 0.999$ ), respectively, in the liver 13.2-17.8 times ( $P > 0.999$ ) and in the muscles of the back - 1.8-2.3 times ( $P > 0.999$ ) and these concentrations exceeded the established maximum allowable for these organs and muscle tissue.

The data obtained give an idea about the direction and degree of influence of cadmium on biological objects, as well as the ability to predict the effect of cadmium on pig productivity, their physiological state, redistribution in the body, concentration in

*internal organs, which is necessary to know when conducting an assessment of environmental impact of technologies and establishing limits of stability of ecological systems and their components to various technogenic and anthropogenic loads.*

**Key words:** *cadmium, young pigs, live weight, daily average gain, measurements, hematological parameters, concentration, kidneys, liver.*

## **Введение**

Исследования последних лет свидетельствуют о критическом состоянии окружающей среды, которое обусловлено увеличением количества различных загрязнителей в биосфере, не свойственных ей ранее [1]. Среди этих загрязнителей особую группу занимают тяжелые металлы. Под условным названием «тяжелые металлы» понимают группу металлов, имеющих плотность более 6 г / см<sup>3</sup> и относительную атомную массу более 50 а. о. м., [2] большинство из которых являются токсичными [3]. Эти ксенобиотики быстро мигрируют и накапливаются в компонентах биосферы (воздух, вода, почва – растения – животные), тем самым затрудняют производство экологически безопасной сельскохозяйственной продукции [4]. К одним из наиболее токсичных тяжелых металлов относят и Кадмий, опасность загрязнения которым возникла сравнительно недавно. Этот хемотоксикант широко применяется в металлургической промышленности, входит в состав некоторых красок, мазута, дизтоплива, фосфорных удобрений и биогенных осадков. Основная масса этого элемента поступает в окружающую среду при сжигании кадмийсодержащих пластмассовых отходов (до 52 %) и топлива.

Кадмий не подвергается разложению, поэтому, с каждым разом поступая в окружающую среду, накапливаются в ней, циркулирует по пищевым цепям, усиливая свое негативное воздействие на объекты экосистем.

Известно, что кадмий блокирует работу важных для жизнедеятельности организма ферментов. Кроме того, он повреждает печень, почки, поджелудочную железу, способен вызвать эмфизему или даже рак легких. Соединения кадмия снижают резистентность организма к болезням. Как мутаген, кадмий негативно влияет на наследственность, разрушает эритроциты крови, способствует возникновению заболеваний половых желез, гастрит и анемию [5, 6]. Кадмий играет негативную роль в развитии сердечно-сосудистых заболеваний, повышает кровяное давление, влияет на фосфорно-кальциевый обмен в организме, а также обмен железа, меди, цинка.

Кадмий негативно влияет на продуктивность животных, изменяет химический состав и биологическую ценность животноводческой продукции, тем самым ухудшает ее экологическую безопасность, что негативно отражается на здоровье населения [7, 8, 9].

Большинство исследований по влиянию кадмия на организм животных сводятся к изучению его накопления в органах [10] и физиологического статуса животных при незначительном превышении его концентрации в кормах. Влияние же чрезмерных доз кадмия чаще всего проводят на лабораторных животных, которые не имеют производственного значения [11]. Остается актуальным вопрос по изучению степени и характера влияния токсических доз хемотоксикантов на организм сельскохозяйственных животных. Изучение механизма воздействия кадмия, а также интенсивности его миграции по пищевым цепям имеет большое практическое значение. Это актуально и при производстве свинины.

## **Основная часть**

Целью работы является исследование направления и степени влияния токсических доз кадмия на организм молодняка свиней. Для достижения отмеченной цели на решение были поставлены следующие задачи: определить степень влияния токсических доз кадмия на показатели роста и развития животных в течение опыта; определить характер влияния токсических доз кадмия на гематологические показатели; определить степень накопления кадмия во внутренних органах и мясе молодняка свиней на откорме при разных его дозах в кормах.

Исследование процесса биогенной миграции кадмия в системе «корма – организм свиней – продукция (мясо)», а так же степень и характер его влияния на организм животных проводили путем создания искусственной модели экоцидного влияния в условиях хозяйства Полтавской области (Украина). Научно-производственный опыт выполняли на хрячках кастратах крупной белой породы в возрасте 3,5 месяцев. Начальная живая масса составляла 30 кг. По принципу пар-аналогов были сформированы 3 группы по 10 голов в каждой. Первая группа была контрольной. После 15-дневного сравнительного периода в рацион свиней опытных групп вводили соли кадмия, в дозах которые превышают предельно допустимые концентрации в комбикормах для свиней в 10 и 20 раз соответственно, создавая тем самым модель экоцидного влияния, которая отображает уровень загрязнения техногенных зон (табл. 1).

Таблица 1. Схема исследования

| Группа                  | Количество, голов | Условия исследования |
|-------------------------|-------------------|----------------------|
| Подготовительный период |                   |                      |

|                          |    |                                                         |
|--------------------------|----|---------------------------------------------------------|
| I–III                    | 10 | ОР (основной рацион) (содержание в кормах Cd<0,4 мг/кг) |
| Основной период 138 дней |    |                                                         |
| I (контроль)             | 10 | ОР (содержание в кормах Cd<0,4 мг/кг)                   |
| II (опытная)             |    | ОР+Cd (10ГДК) 4 мг/кг корма                             |
| III (опытная)            |    | ОР+Cd (20ГДК) 8 мг/кг корма                             |

Примечание: ОР – основной рацион.

Кормление подопытных животных была групповой, двукратной. Рацион по уровню энергетического питания и питательным веществам отвечал установленным нормам. Содержание кадмия в комбикорме не превышало ПДК. К основному рациону ежедневно добавляли уксуснокислые соли кадмия в дозах, согласно методике исследований, с учетом содержания этого элемента в комбикормах. В комбикормах содержание кадмия было меньше предельно допустимой концентрации – 0,109 мг/кг (ПДК – 0,4 мг/кг).

Рост и развитие опытных животных изучали, исходя из динамики их живой массы, абсолютного и среднесуточного прироста, а также по изменениям их линейных размеров. Опытных животных ежемесячно взвешивали индивидуально и брали 4 основных линейных промера: высота в холке, длина туловища, обхват груди за лопатками и обхват пясти.

На 30 день исследования из хвостовой вены отбирали кровь для гематологических анализов.

С целью исследования интенсивности накопления кадмия во внутренних органах и тканях, в конце опыта был проведен контрольный убой животных по три головы из каждой группы. Концентрацию кадмия в кормах и биологическом материале устанавливали на атомно-абсорбционном спектрофотометре типа ААС-30 (Германия).

Материалы исследований обрабатывались математико-статистическими методами с применением пакетов прикладных программ «Excel-2010» (фирмы Microsoft) [12, 13].

При постановке на откорм по живой массе подсвинки подопытных групп не различались (табл. 2).

Таблица 2. Живая масса молодняка свиней,  $M \pm m$  (n=10)

| Показатели                             | Группы     |              |               |
|----------------------------------------|------------|--------------|---------------|
|                                        | I          | II           | III           |
| Живая масса при постановке на опыт, кг | 30,04±0,12 | 29,99±0,09   | 30,27±0,20    |
| Живая масса при снятии с опыта, кг     | 106,05±1,1 | 100,18±1,2** | 96,93±0,74*** |
| Среднесуточный прирост, г              | 550,8±7,5  | 509,0±8,17** | 480,0±4,16*** |
| Абсолютный прирост за период опыта, кг | 76,01±1,03 | 70,2±1,13**  | 66,66±0,58*** |

\* –  $P \geq 0,95$ , \*\* –  $P \geq 0,99$ , \*\*\* –  $P \geq 0,999$ .

Однако при снятии животных с откорма четко прослеживалось межгрупповое различие, что было обусловлено влиянием солей кадмия. Наименьшую живую массу при снятии с откорма имели подсвинки III группы – 96,93 кг, что было на 8,6 % ( $P \geq 0,999$ ) меньше в сравнении с контролем. Это говорит о высокой токсичности кадмия и усилении его негативного влияния на рост молодняка свиней с увеличением дозы. Такая же тенденция влияния токсических доз кадмия сохранялась и для других показателей роста и развития животных. Так, показатели среднесуточного прироста свиней снижались в сравнении с контролем соответственно во II группе на 7,6 % ( $P \geq 0,99$ ), в III на 12,8 % ( $P \geq 0,999$ ); абсолютного прироста соответственно на 7,6 % ( $P \geq 0,99$ ) и 12,3 % ( $P \geq 0,999$ ).

Показатели промеров подопытных животных в начале опыта между группами не имели достоверных различий и были в контрольной группе на уровне: по длине туловища – 74,04 см, обхвату груди – 71,05 см, высоте в холке – 39,18 см и обхвату пясти – 12,0 см. По окончании откорма, животные контрольной группы имели следующие показатели основных промеров: длина туловища – 123,54 см, высота в холке – 66,27 см, обхват груди – 118,6 см, обхват пясти – 18,33 см. Показатели промеров II и III опытных групп животных были меньше в сравнении с контрольной группой (рисунок), с увеличением дозы ощутимо снижались и показатели промеров. Так, обхват груди в этих группах в конце опыта был меньше показателя контроля соответственно на 4,9 % ( $P > 0,999$ ) и 7,1 % ( $P > 0,999$ ), высота в холке – на 4,5 % ( $P > 0,99$ ) и 6,4 % ( $P > 0,999$ ), длина туловища – 4,7 % ( $P > 0,999$ ) и 6,6 % ( $P > 0,999$ ) и обхват пясти – 6,2 % ( $P > 0,99$ ) и 10,5 % ( $P > 0,99$ ). Наиболее существенные изменения обхвата пясти под действием токсических доз кадмия, можно объяснить его негативным влиянием на обмен кальция и фосфора в организме.

Установлено, что поступление в организм молодняка свиней повышенных доз кадмия влияет на гематологические показатели крови (табл. 3). Во всех опытных группах, где животным скармливали хемотоксикат в установленных методикой дозах, наблюдалось ухудшение гематологических показателей крови.

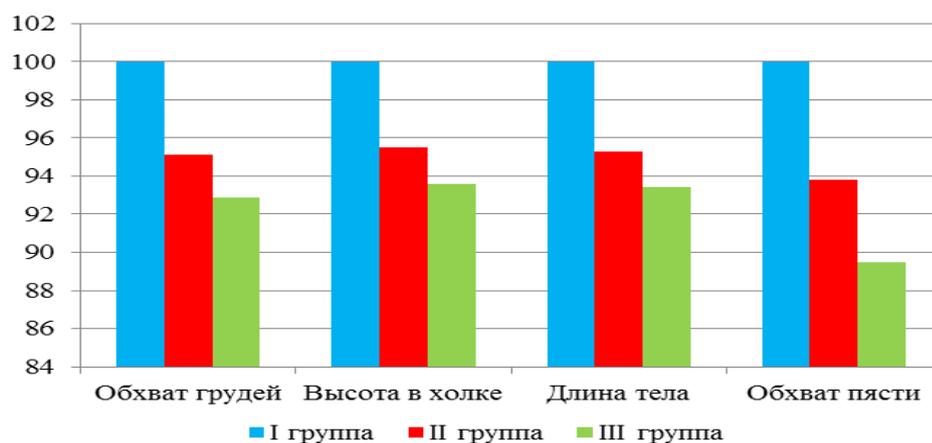


Рис. Изменение показателей промеров животных под действием токсических доз кадмия в конце опыта (в % к контролю)

Таблица 3. Гематологические показатели крови молодняка свиней,  $M \pm m$ ,  $n=5$

| Показатели              | Группы животных |               |               |
|-------------------------|-----------------|---------------|---------------|
|                         | I               | II            | III           |
| Гемоглобин, г/л         | 117,36±1,94     | 90,42±0,6***  | 83,50±1,02*** |
| Эритроциты, $10^{12}/л$ | 8,26±0,13       | 6,82±0,22***  | 6,38±0,08***  |
| Лейкоциты, $10^9/л$     | 8,38±0,24       | 6,8±0,2**     | 6,64±0,11***  |
| Альбумин, г/л           | 40,72±0,66      | 32,04±1,48*** | 31,86±1,46*** |
| Общий белок, г/л        | 76,22±0,71      | 64,84±0,66*** | 63,54±0,45*** |

\*\*\* –  $P>0,999$ , \*\* –  $P>0,99$ .

Так, количество гемоглобина, эритроцитов и лейкоцитов у свиней второй группы снизилось соответственно на 22,9 % ( $P>0,999$ ), 17,4 % ( $P>0,999$ ) и 18,8 % ( $P>0,99$ ), третьей группы – на 28,8 % ( $P>0,999$ ), 22,8 % ( $P>0,999$ ) и 20,7 % ( $P>0,99$ ) в сравнении с контролем. Отмечается также снижение концентрации общего белка и альбуминов, что может быть признаком поражения печени. На фоне контрольной группы количество альбуминов во второй и третьей опытных группах снижалось соответственно на 21,3 % ( $P>0,999$ ) и 21,7 % ( $P>0,999$ ), а общего белка – на 14,9 % ( $P>0,999$ ) и 16,6 % ( $P>0,999$ ).

При проведении контрольного убоя от каждого животного отбирали среднюю пробу мышечной ткани длиннейшей мышцы спины и внутренние органы – печень и почки. Введение в рацион молодняка свиней разных доз кадмия повлияло на характер накопления этого металла в органах и тканях. Анализ полученных результатов показывает, что с увеличением дозы кадмия в кормах степень его накопления в органах и тканях также возрастает, при этом он распределялся в организме свиней следующим образом: почки > печень > длиннейшая мышца спины. Превышение содержания кадмия в почках у животных II и III групп по сравнению с контролем было в 34,2 и в 41,5 раза ( $P>0,999$ ) соответственно, в печени – в 13,2–17,8 раза ( $P>0,999$ ) и в мышцах спины – в 1,8–2,3 раза ( $P>0,999$ ) и эти концентрации превышали установленные предельно допустимые для этих органов и мышечной ткани. Таким образом, проведенные нами исследования подтверждают, что влияние тяжелых металлов, а именно кадмия, является токсичным для организма животных, при этом токсичность возрастает с увеличением дозы. Нашими исследованиями показано, что повышенное содержание кадмия в комбикормах для свиней приводит к снижению продуктивности животных, их роста и развития, гематологических показателей, а также приводит к увеличению накопления этого хемотоксиканта во внутренних органах и мясе.

Большинство исследований подобного характера с применением тяжелых металлов проводятся либо на лабораторных животных или с введением в корма незначительных доз тяжелых металлов, а иногда даже на уровне предельно допустимых концентраций [14, 15, 16]. Отличительной особенностью наших исследования является то, что они проведены в производственных условиях, с введением в корма токсических доз кадмия (превышение ПДК в кормах в 10 и 20 раз). При этом установлено, что скармливание молодняку свиней повышенных доз кадмия приводит к изменению показателей телосложения животных (промеров тела), в большей степени обхвата пясти, что может говорить о нарушении фосфорно-кальциевого обмена под действием этого хемотоксиканта. Кроме того, под действием кадмия резко ухудшалась формула крови, снижалось количество общего белка и альбуминов, что может свидетельствовать о поражении печени и общем ухудшении состояния организма. Поступление в организм свиней повышенных доз кадмия (10ПДК и 20ПДК) приводило к накоплению его в органах (почки, печень) и мясе животных, при этом наибольшее количество его наблюдалось в почках, а наименьшее – в мышцах.

## Заключение

В результате проведенных исследований было установлено:

– угнетение роста и развития молодняка свиней под действием токсических доз кадмия, при этом с увеличением дозы токсиканта интенсивность роста и развитие животных замедлялось. Так, живая масса животных, которым скармливали кадмий с 10- и 20-кратным превышением его предельно допустимых концентраций на 1 кг корма, снижалась в конце опыта соответственно на 5,5 % та 8,6 %. Такой же характер изменений наблюдался и по показателям промеров животных, наибольшие изменения были характерны для обхвата пясти;

– ухудшение формулы крови, а именно количество гемоглобина, эритроцитов и лейкоцитов у свиней второй группы снизилось соответственно на 22,9 % ( $P>0,999$ ), 17,4 % ( $P>0,999$ ) и 18,8 % ( $P>0,99$ ), третьей группы – на 28,8 % ( $P>0,999$ ), 22,8 % ( $P>0,999$ ) и 20,7 % ( $P>0,99$ ) в сравнении с контролем. Отмечается также снижение концентрации общего белка и альбуминов, что может быть признаком поражения печени;

– усиление степени накопления кадмия в органах и тканях опытных животных с увеличением его дозы в кормах, при этом токсин распределялся в организме свиней следующим образом: почки > печень > длинная мышца спины. Превышение содержания кадмия в почках у животных II и III групп по сравнению с контролем было в 34,2 и в 41,5 раза ( $P>0,999$ ) соответственно, в печени – в 13,2–17,8 раза ( $P>0,999$ ) и в мышцах спины – в 1,8–2,3 раза ( $P>0,999$ ) и эти концентрации превышали установленные предельно допустимые для этих органов и мышечной ткани.

Полученные данные дают возможность предугадывать влияние кадмия на продуктивность свиней, их физиологическое состояние, перераспределение в организме, концентрацию во внутренних органах, что необходимо знать при проведении экологической экспертизы технологий и установлении границ стойкости экологических систем и их компонентов к разным техногенно-антропогенным нагрузкам.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кроїк, Г. А. Токсикологічні аспекти накопичення та розподілу важких металів у ґрунтах промислових агломерацій / Г. А. Кроїк // Біорізноманіття та роль тварин в екосистемах: матеріали VI міжнародної наукової конференції. – Дніпропетровськ: вид-во дну, 2011. – С. 15–18.
2. Ashok Kumar G. Effects of Heavy Metals and Preventive Measures / RRJEES. – Vol. 3, Issue 1, 2015, p. 10 – 20.
3. Микроэлементозы человека: этиология, классификация, органопатология / А. П. Авцын [и др.]. – М.: Медицина, 1991. – 496 с.
4. Куранова, А. П., Иванова Е. Б Тяжёлые металлы как экотоксиканты / А. П. Куранова, Е. Б. Иванова // Прикладная токсикология. – 2010, Т. 1. – № 2. – С. 14–17.
5. Дeterгенти сучасності: монографія / В. А. Бурлака [та ін.]; за ред. В. А. Бурлаки. – Житомир: Вид-во «Житомирський національний агроекотологічний університет», 2012. – 652 с.
6. Бокова, Т. И. Экологические основы инновационного совершенствования пищевых продуктов: монография; Новосиб. гос. аграр. ун-т, СибНИИ переработки с.-х. продукции / Т. И. Бокова. – Новосибирск: Изд-во НГАУ, 2011. – 284 с.
7. Гонохова, М. Влияние на свиней тяжелых металлов в кормах / М. Гонохова // Животноводство России. – 2008. – № 12. – С. 25–26.
8. Вплив несприятливих факторів довкілля (солі важких металів) на імунну систему (огляд літератури) / А. М. Романюк [та ін.] // Вісник СумДУ:, серія «Медицина». – 2012. – № 2. – С. 36–41.
9. Чалая, О. С. Рост и развитие свиней на откорме при высоких дозах кадмия и свинца в рационе / О. С. Чалая // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – Оренбург. – 2013. – Вып. 2(40). – С. 158–160.
10. Sharamok T. S., Esipova N. B., Fedonenko O. V., Biletska O. V. Ecological and hematological characteristics of common roach (*rutilus rutilus linnaeus, 1758*) in the zaporozhye reservoir / Biologičnij visnik melitopolskogo deržavnogo pedagogičnogo universitetu imeni bogdana hmelnickogo. 2016; 6(2): 303–310. Doi: 10.15421/201661.
11. S. Selorm Fiati Kenston, Hong Su., Zhou Li, Lu Kong, Y. Wang Xin Song, Yuanliang Gu, Tabatha Barber, Joni Aldinger, Qihang Hua, Zhen Li, Min Ding, Jinshun Zhao, Xialu Lin. The systemic toxicity of heavy metal mixtures in rats / Toxicology Research 2018, 7, 396-407. DOI: 10.1039/C7TX00260B.
12. Барановський, Д. І. Біометрія в програмному середовищі MS Excel: навчальний посібник / Д. І. Барановський, О. М. Гетманець, А. М. Хохлов. – Х.: СПД ФО Бровін О.В., 2017. – 90 с.
13. Биометрия в Excel / Е. Я. Лебедько [та ін.]. – СПб.: ЭБС Лань, 2018. – 172 с.
14. Lane E. A., Canty M. J., More S. J. (2015) Cadmium exposure and consequence for the health and productivity of farmed ruminants / Research in Veterinary Science. – Vol. 101, August, P. 132 – 139. Doi.org/10.1016/j.rvsc.2015.06.004.
15. Maclachlan D. J., Budd K., Connolly J., Derrick J., Tobin T. (2016) Arsenic, cadmium, cobalt, copper, lead, mercury, molybdenum, selenium and zinc concentrations in liver, kidney and muscle in Australian sheep / Journal of Food Composition and Analysis, Vol. 50, P. 97 – 107. Doi:10.1016/j.jfca.2016.05.015.
16. S.Selorm Fiati Kenston, Hong Su., Zhou Li, Lu Kong, Y. Wang Xin Song, Yuanliang Gu, Tabatha Barber, Joni Aldinger, Qihang Hua, Zhen Li, Min Ding, Jinshun Zhao, Xialu Lin . (2018) The systemic toxicity of heavy metal mixtures in rats / Toxicology Research, № 7, 396 - 407. DOI: 10.1039/C7TX00260B.