характеристики спермопродукции / В. В. Соляник, С. В. Соляник // Зоотехническая наука Беларуси : сб. науч. тр. – Жодино, 2016. – Т. 51, ч. 2. – С. 256-265. 3. Соляник, С. В. Сезон начала полового использования хряков-производителей центра по селекции и генетике в свиноводстве и качество их спермопродукции / С. В. Соляник // Научно-практический журнал : в 2 т. – Ставрополь : АГРУС Ставропольского гос. аграрного ун-та, 2018. – № 2(11). – Т. 1.– С. 478-482. 4. Соляник, В. В. Моделирование количества получаемых спермодоз в зависимости от месяца начала половой эксплуатации хряков-производителей / В. В. Соляник, С. В. Соляник // Zootechnycal science – an important factor for the European type of the agriculture. – Maximovca: S. n., 2016 (Tipogr. "Print Caro"). – P. 714-719 . 5. Соляник, С. В. Компьютерная программа моделирования продолжительности использования хряков-производителей в зависимости от месяца начала их полового использования / С. В. Соляник // Сб. науч. статей. – Ставрополь : АГРУС Ставропольского гос. аграрного ун-та, 2018. – С. 314 - 319. 6. Соляник, С. В. Расчетный способ определения количества изготовленных спермодоз из одного эякулята полученного от хряка-производителя / Роль наукових досліджень в забезпеченні процесів інноваційного розвитку аграрного виробництва / С. В. Соляник // НААН, ДУ ІЗК НААН, М-во аграр. політики та прод. України, Укр. ін-т експертизи сортів рослин. – Вінниця : ТОВ «Нілан-ЛТД, 2016. – С. 101-102. 7. Соляник, С. В. Экспресс-расчет для контроля спермопродукции хряков-производителей / С. В. Соляник // Матеріали XIV всеукраіськоі наукової конференції. – Чубинск, 2016. – С. 60-61. 8. Соляник, С. В. Уровень зоотехнической продуктивности хряков-производителей зарубежной селекции / С. В. Соляник // Сб. науч. статей. – Житомир : ЖАЭУ, Издатель А. А. Евенок, 2016. – С. 237-241. 9. Соляник, С. В. Зоотехнический анализ экономической эффективности оборота племенных хряков-производителей импортной селекции / С. В. Соляник // Сб. науч. статей. – Кокино : ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, 2016 г. – С. 189-193. 10. Соляник, С. В. Эффективность использования импортных хряков-производителей мясных генотипов / С. В. Соляник, Л. А. Танана // Сб. науч. статей. – Гродно, 2016. – Издательско-полиграфический отдел УО «ГГАУ». – С.336-338.

Статья передана в печать 15.04.2019 г.

УДК 631.4

ОТМИРАНИЕ САНИТАРНО-ПОКАЗАТЕЛЬНЫХ БАКТЕРИЙ В ПОЧВЕ ПРИ ОРОШЕНИИ СТОЧНЫМИ ВОДАМИ СВИНОВОДЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ВО ВНЕВЕГЕТАЦИОННЫЙ ПЕРИОД

Чезлова О.Е., Волчек А.А.
Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси, г. Брест, Республика Беларусь

При вневегетационном поливе (ранней весной) сельхозугодий свиноводческими сточными водами динамика количества E. coli и энтерококков в почве описывается моделью экспоненциального отмирания во времени. Для адекватного описания динамики бактерий группы кишечной палочки (БГКП) необходимо оценить ее зависимость от почвенно-климатических факторов. Для условий теплого года определены скорость отмирания и время 10-кратного сокращения численности БГКП, E.coli и энтерококков в почве. Наибольшие константы отмирания наблюдались у энтерококков – от 0,033 до 0,045 день$^{-1}$, у БГКП – 0,03 день$^{-1}$, E.coli – от 0,017 до 0,019 день$^{-1}$. Срок 90%-ной элиминации бактерий наибольшим был у БГКП – 122 дня, у E.coli – 33–48 дня, у энтерококков – от 13,3 до 33,5 дней. ***Ключевые слова:*** *санитарно-показательные бактерии, полив сточными водами, качество почвы, модели.*

DIE-OFF OF FECAL INDICATOR BACTERIA IN THE SOIL DURING IRRIGATION WITH WASTEWATER FROM THE PIG-BREEDING COMPLEX DURING THE NON-GROWING SEASON

Chezlova O.E., Volchak A.A.
The Polesie Agrarian Ecological Institute of the NAS of Belarus, Brest, Republic of Belarus

At non-vegetative irrigation (in early spring) of farmland by pig-breeding wastewater, the dynamics of the amount of E. coli and enterococci in the soil is described by the model of exponential dying off in time. To adequately describe the dynamics of coliform bacteria, it is necessary to evaluate its dependence on soil and climatic factors. For the conditions of a warm year, the rate of dying off and the time of a 10-fold reduction in the number of E. coli, enterococci, and coliform bacteria in the soil were determined. The highest die-off rate coefficients out was observed in enterococci – from 0.033 to 0.045 day $^{-1}$, coliform bacteria – 0.03 day $^{-1}$, E.coli – from 0.017 to 0.019 day $^{-1}$. The duration of the 90% elimination of bacteria was the highest in coliform bacteria – 122 days, E. coli – 33–48 days, i enterococci – from 13.3 to 33.5 days. ***Keywords:*** *sanitary-indicative bacteria, sewage irrigation, soil quality, models.*

Введение. Промышленное животноводство выдвинуло ряд серьезных проблем, связанных с охраной окружающей среды. При высокой концентрации поголовья скота на небольших территориях, бесподстилочном содержании животных, гидросмывном удалении навоза возникает угроза загрязнения атмосферного воздуха, почвы, сельскохозяйственных культур и водоисточников отходами животноводства. По расчету исследователей, одна свинья по количеству выделяемых отходов приравнивается к 21 человек-эквиваленту. На существующих в Беларуси комплексах ежегодно накапливается свыше 20 млн м^3 жидкого навоза и навозных стоков [1, 2,

РЕПОЗИТОРИЙ УО ВГАВМ

3]. Известно, что данный субстрат может быть фактором передачи более 100 инфекционных и паразитарных заболеваний животных, в том числе опасных и для человека: брюшной тиф, паратифы, сальмонеллезы, дизентерия, холера, бруцеллезы, лептоспирозы, листериозы, кампилобактериоз, кишечные иерсиниозы, инфекционный гепатит, полиомиелит, кишечные энтеровирусные инфекции и др. [1, 4, 5, 6]. Однако жидкие навозные стоки являются не только потенциальным источником загрязнения природных сред, но и ценным органическим удобрением, возвращающим в естественный биологический круговорот биогенные элементы. Использование сточных вод (СВ) на земледельческих полях орошения (ЗПО) является одним из широко распространенных способов очистки и утилизации стоков [4]. Нормативная документация предполагает, что оросительные системы, предназначенные для использования СВ животноводческих комплексов, должны проектироваться из условия приема всего годового объема стоков для полива в теплый период года (ТКП 45-3.04-8-2005). Однако зачастую вследствие нехватки навозоранилищ возникает необходимость утилизации СВ во вневегетационный период. Считается, что внесение жидкой органики поздней осенью или зимой приносит значительный урон биогеоценозу [7], однако природная зона Брестской области, а также тенденция потепления климата позволяют вносить их ранней весной.

На данный момент недостаточно изучено влияние микробиологических нагрузок на компоненты окружающей среды при разных технологиях внесения СВ в различные сезоны года.

Целью данного исследования явилась оценка динамики отмирания бактерий группы кишечной палочки (БГКП), *E. coli* и энтерококков в почвах сельхозугодий при поливе ее животноводческими СВ селекционно-гибридного центра (СЦГ) «Западный» до начала вегетационного сезона (ранней весной).

Материалы и методы исследований. Объектами исследования явились СВ и почвы сельхозугодий свиноводческого комплекса «Западный», а также микроорганизмы СВ и почв. СЦГ «Западный» является крупным свиноводческим комплексом, на котором образуется около 1000 м^3 стоков в день. Степень бактериального загрязнения данных стоков после шестисуточного отстаивания: общие колиформные бактерии – 6,67x10^5, термотолерантные колиформные бактерии – 5x10^5, энтерококки – 10^6 колониеобразующих единиц (КОЕ)/100 мл, общее микробное число – 5,4x10^6 КОЕ/мл. В СВ содержались следующие представители сем. *Enterobacteriaceae: E. coli, Kl. pneumonia sub sp pneumonia, Citr. freundii, Pr. mirabilis, Pr. vulgaris, Enerobacter spp.* в титрах 0,00001, 0,0001, 0,0001, 0,0001, 0,001, 0,001 мл соответственно.

Процессы вневегетационного орошения СВ исследовали в полевом опыте на дерново-подзолистой временно избыточно увлажненной супесчаной почве в 2014 году. По погодно-климатическим факторам год был теплым. Возделываемая культура – ячмень. Стоки вносились в середине марта. Фактический объем полива по вариантам опыта составил 540, 320 и 180 м^3/га. Для оценки динамики самоочищения почв выделены 2 контрольных участка: сельхозугодия, не охваченные поливом СВ, и залежь. Пробы почв отбирались в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02-84 перед началом орошения (фон), спустя 3 дня после внесения стоков, далее через 2 и 4 недели, а затем - 1 раз в месяц до окончания вегетационного периода в трехкратной повторности.

Определение бактериологических показателей почвы проводилось по стандартным методикам, принятым на территории Республики Беларусь [8, 9]. При учете количества микроорганизмов производился расчет на 1 г абсолютно сухой почвы.

Результаты исследований. Характер динамики БГКП и *E. coli* в почвах различался для всех политых СВ участков. В течение первых двух недель в количестве колиформ наблюдалось снижение, что связано с вымыванием автохтонных видов, о чем свидетельствует меньшее значение количества БГКП при большей норме полива СВ, а также с отмиранием чувствительных видов в результате межгрупповых конкурентных взаимоотношений и значительным изменением условий существования микроорганизмов (рисунок 1).

В мае, после адаптации микрофлоры СВ к почвенным условиям, наблюдался пик численности колиформных бактерий (полив 540 м^3/га – 6,48x10^3 КОЕ/г, 360 м^3/га – 2,04x10^3 КОЕ/г, 180 м^3/га – 1,9x10^3 КОЕ/г), затем численность бактерий снижалась и к концу вегетационного сезона в почвах всех исследуемых участков показатель соответствовал норме (<10 КОЕ/г).

В динамике *E. coli,* напротив, максимум численности наблюдался непосредственно после полива СВ (полив 540 м^3 /га – 2,28x10^2 КОЕ/г, 360 м^3/га – 1,39x10^2 КОЕ/г, 180 м^3/га – 1,18x10^2 КОЕ/г). Через две недели количество бактерий снижалось до уровня 10 КОЕ/г и до конца вегетационного сезона не превышало этого значения (рисунок 1).

www.vsavm.by

РЕПОЗИТОРИЙ УО ВГАВМ

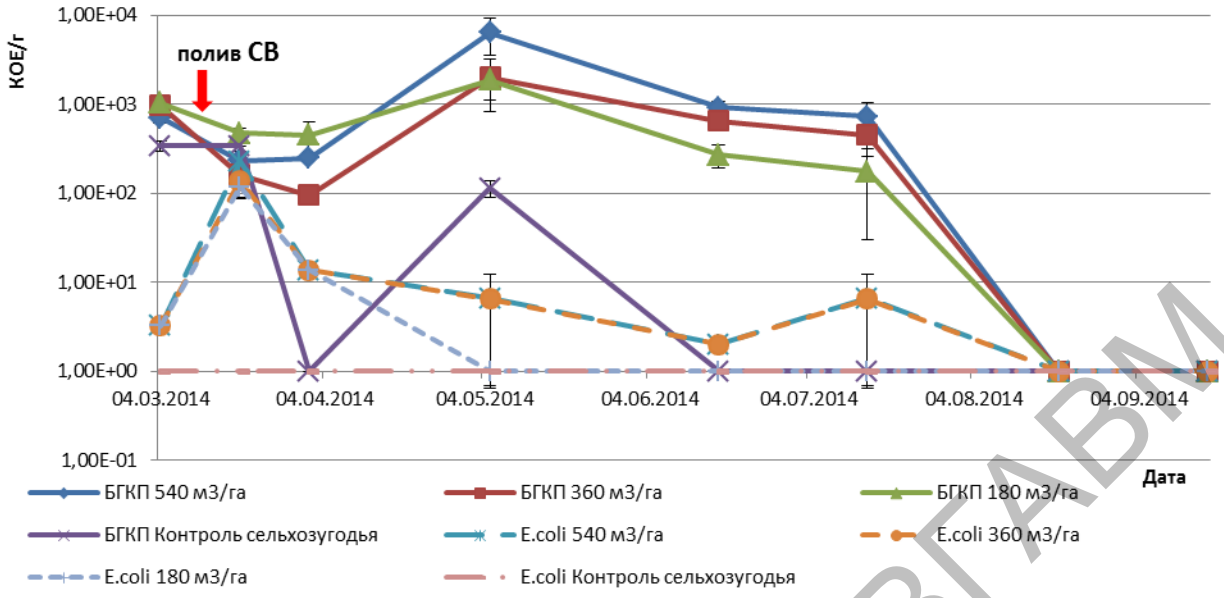

Рисунок 1 – Динамика БГКП и *E.coli* в почвах исследуемых участков

Фоновое содержание энтерококков в исследуемых почвах (39 КОЕ/г) превышало норму для «чистой» почвы (1 – 9 КОЕ/г). После полива СВ в динамике энтерококков наблюдалась следующая закономерность – резкое увеличение количества бактерий данной группы после внесения стоков (максимум при поливе 540 м^3 /га – 8,64х10^4 КОЕ/г, 360 м^3 /га – 6,30х10^4 КОЕ/г, 180 м^3 /га – 4,87х10^4 КОЕ/г), затем через 1-2 месяца происходило снижение бактерий данной группы до фонового содержания. Тенденция к снижению сохранялась до конца вегетационного сезона с небольшим подъемом количества энтерококков в июле (рисунок 2).

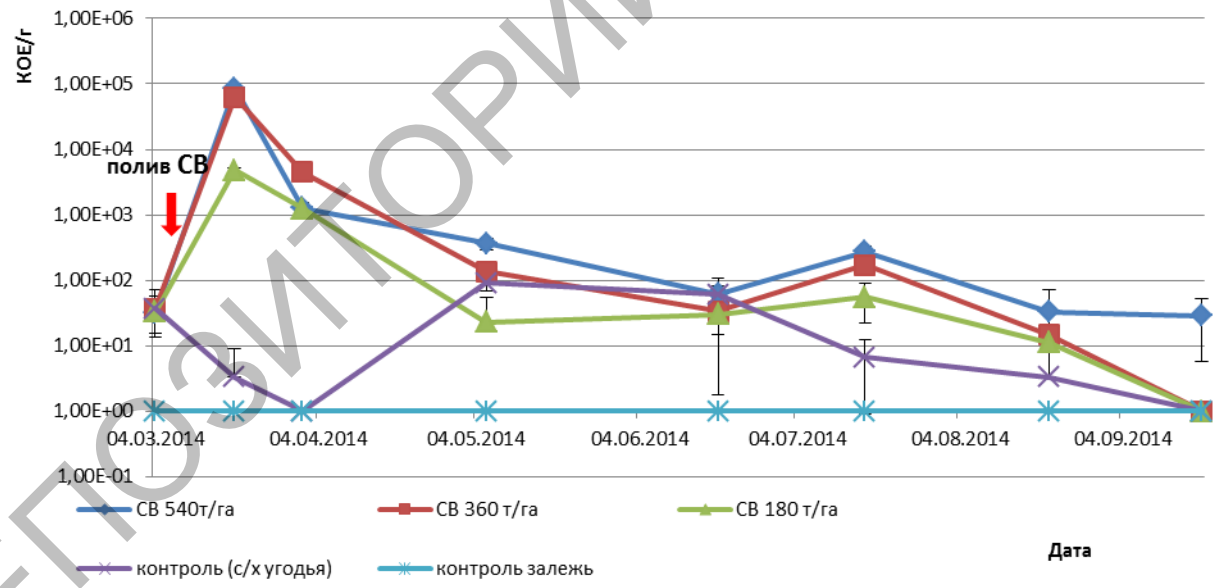

Рисунок 2 – Динамика энтерококков в почвах исследуемых участков

В конце вегетационного сезона существенная разница (α=0,05) количества энтерококков в почвах политых СВ и контрольных делянок наблюдалась только при поливе СВ 540 м^3/га.

Ранее было показано [10], что при поливе СВ в вегетационный период к его окончанию почвы не успевали очиститься от основных санитарно-показательных бактерий – количество БГКП и энтерококков в почвах превышало значение этих показателей для «чистой» почвы на 2–3 порядка. Наши исследования показали, что при вневегетационном (в марте) поливе СВ процессы самоочищения почвы идут интенсивнее и полнее.

РЕПОЗИТОРИЙ УО ВГАВМ

Для описания полученных данных концентрации бактерий были трансформированы в виде натуральных логарифмов и подобраны как функция линейной регрессии от времени [11, 12]:

$$N_t = N_o \exp(-kt) \quad (1)$$

где N_t – количество бактерий в момент времени t (КОЕ/г);
N_o – количество бактерий в почве после полива СВ (КОЕ/г);
k – константа отмирания первого порядка (день$^{-1}$);
t – прошедшее время (день).

Для оценки интенсивности отмирания бактерий были оценены константы k и рассчитано время 10-кратного сокращения численности микроорганизмов (D-значение). D-значение или «время десятичного сокращения» – это время, необходимое для достижения гибели 90% (или 1 lg) бактерий при данном наборе условий [12, 13].

Визуальный анализ тенденций изменения количества БГКП с течением времени после полива СВ указывает, что аппроксимация первого порядка не будет в достаточной степени описывать динамику бактерий – зачастую после периода спада численности наблюдались периоды повторного роста (рисунок 1). Для данного показателя была получена только одна удовлетворительная зависимость для варианта с поливом СВ 180 м^3/га (таблица). Следовательно, для адекватного описания динамики БГКП необходимо оценить ее зависимость от ряда почвенно-климатических факторов.

Характер динамики численности кишечной палочки в почве после внесения стоков, как и БГКП, обнаруживал повторный рост (рисунки 1, 2), однако позволял использовать модель распада 1-го порядка. Константы скорости отмирания *E. coli*, полученные как функция времени линейной регрессии, можно использовать в уравнении 1 для прогнозирования количества *E. coli* в почвах ЗПО. Данные позволили получить уравнения экспоненциальной зависимости количества бактерий от времени со средней степенью аппроксимации (R^2=0,55–0,65). Результаты представлены в таблице.

Таблица – Коэффициенты отмирания и D-значения БГКП, *E. coli* и энтерококков

Вариант опыта	Коэффициент отмирания *k*, день$^{-1}$	R^2	Значимость F-критерия	D-значения, дни
БГКП				
Полив СВ 180 м^3/га	0,03	0,74	0,012	122
E. coli				
Полив СВ 540 м^3/га	0,019	0,62	0,035	33
Полив СВ 320 м^3/га	0,018	0,65	0,028	48
Полив СВ 180 м^3/га	0,017	0,55	0,056	36
энтерококки				
Полив СВ 540 м^3/га,	0,033	0,71	0,018	-
Полив СВ 320 м^3/га,	0,045	0,83	0,004	13,3
Полив СВ 180 м^3/га,	0,034	0,79	0,008	33,5

Оценивая скорость отмирания *E. coli*, можно сказать, что при большей норме полива СВ она была выше: коэффициент отмирания при норме 540 м^3/га был 0,019 день$^{-1}$, при норме 320 м^3/га –0,018 день$^{-1}$, при норме 180 м^3/га – 0,017 день$^{-1}$. Количество дней, необходимых для 90%-ного уменьшения количества микроорганизмов варьировало от 33 до 48 дней. Ван Донсел и др. [14] обнаружили гораздо меньшее время 90%-ного сокращения количества *E. coli*, когда бактерии были культивированы в лаборатории, а затем суспензии вылиты на участки открытого грунта – от 3,3 дней летом до 13,4 дней осенью. В другом лабораторном исследовании Mubiru et al. [15] инокулировали *E. coli* в двух типах почв и определяли ее концентрации еженедельно в течение 8-недельного периода. Константы отмирания составляли от 0,09 до 0,17 день$^{-1}$. Таким образом, в наших исследованиях питательные вещества стоков, а также защита от инсоляции растительностью способствовали более длительному существованию *E. coli* в почвах ЗПО.

Литературные данные о выживаемости энтерококков свидетельствуют о достаточно высокой скорости их отмирания после попадания в природные условия. Было обнаружено, что

РЕПОЗИТОРИЙ УО ВГАВМ

время 90%-ного уменьшения численности энтерококков, культивированных в лаборатории, суспендированных и вылитых на открытый грунт, составляет от 2,7 дней летом до 20,1 дня зимой [14]. В навозе на пастбище скорость отмирания данного микроорганизма уменьшалась и была 0,0978 день$^{-1}$ в летние месяцы и 0,0557 день$^{-1}$ в осенние и зимние. Значения D были наибольшими в период осеннего мониторинга – 41 день [11].

В наших исследованиях были получены уравнения экспоненциального отмирания энтерококков с достаточно высокой степенью аппроксимации (R^2=0,71–0,83). Скорость отмирания микроорганизмов варьировала от 0,033 до 0,045 день$^{-1}$. Сокращение численности бактерий на 90% находилось в пределах от 13,3 до 33,5 дней. Как и при описании динамики показателя *E. coli,* наблюдалось увеличение срока 10-кратного сокращения численности энтерококков при снижении нормы полива СВ: при норме 320 м^3/га – 13,3 дней, при норме 180 м^3/га – 33,5 дня.

Заключение.

1. При вневегетационном поливе (ранней весной) сельхозугодий свиноводческими сточными водами нормами 540, 320, 180 м^3/га к концу вегетационного сезона количество БГКП соответствовало норме (<10 КОЕ/г); количество энтерококков при нормах 320, 180 м^3/га соответствовало, а при норме 540 м^3/га немного превышало ее (30 КОЕ/г) при существенной разнице с контролем (α=0,05).

2. Для описания динамики *E. coli* и энтерококков в почве адекватна модель экспоненциального отмирания во времени. Для адекватного описания динамики бактерий группы кишечной палочки необходимо оценить ее зависимость от почвенно-климатических факторов.

3. Для условий теплого года определены скорость отмирания и время 10-кратного сокращения численности БГКП, *E. coli* и энтерококков в почве ЗПО. Наибольшие константы отмирания наблюдалась у энтерококков – от 0,033 до 0,045 день$^{-1}$, у БГКП – 0,03 день$^{-1}$, *E. coli* – от 0,017 до 0,019 день$^{-1}$. Срок 90%-ной элиминации бактерий наибольшим был у БГКП – 122 дня, у *E. coli* – 33–48 дня, у энтерококков – от 13,3 до 33,5 дней.

Литература. *1. Медведский, В. А. Сельскохозяйственная экология : учеб. пособие / В. А. Медведский, Т. В. Медведская.– Витебск, ВГАВМ, 2003. – 246 с. 2. Железко, В. И. Использование бесподстилочного навоза на мелиорируемых агроландшафтах. Теория и практика. / В. И. Железко, П. Ф. Тиво. – Мн.: ИООО «Право и экономика, 2006. – 296 с. 3. Тиво, П. Ф. Снижение загрязнения окружающей среды при внесении бесподстилочного навоза / П. Ф. Тиво, А. С. Анженков, Л. А. Саскевич // Мелиорация. – 2015.– №1(73). – С. 137–149. 4. Анализ методов обеззараживания животноводческих стоков и помета с ферм / И. А. Болоцкий и др. // Ветеринария Кубани. – 2008. – №3. – С. 20 – 22. 5. Микробиологическая характеристика сточных вод в процессе их очистки и обеззараживания : Обзор / А. А. Адарченко и др // Здравоохранение. – 2000.– № 2. – С. 34–37. 6. Трешкова, Т. С. Изучение микробиологического состава сточных вод, образующихся с объектов и территорий различного социально-экономического использования / Т. С. Трешкова, В. И. Ключенович // Здоровье и окружающая среда: сб. науч.тр. / Респ. Науч.-практ.центр гигиены; гл. ред. В. П. Филонов. – Минск, 2009. – Вып. 13. – С. 205–209. 7. Кадырова, А. М. Животноводческие комплексы и их влияние на биогеоценоз / А. М. Кадырова // Научный вестник Технологического института – филиала ФГБОУ ВПО Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина. – 2016.– № 15. – С. 59–62. 8. Инструкция 4.2.10-12-9-2006. Методы санитарно-микробиологических исследований почвы : утв. пост. Гл. гос. санит. врача 29 мая 2006 г., № 67. – Минск, 2006. – 32 с. 9. Инструкция по применению № 026–0309 Микробиологическая диагностика заболеваний, вызываемых энтеробактериями.: утв. Гл. гос. санитар. врачом Респ. Беларусь 08.05.09. – Минск, 2009. – 103 с. 10. Волчек, А. А. Влияние орошения сточными водами свинокомплекса на содержание санитарно-показательных бактерий в почве сельхозугодий / А. А. Волчек, О. Е. Чезлова // Современные энерго- и ресурсосберегающие, экологически устойчивые технологии и системы сельскохозяйственного производства : сб. науч. тр./ ФГБОУ ВПО РГАТУ, под ред. Н. В. Бышова. – Рязань, 2014.– Вып.11.– С. 150–155. 11. Crane, S. R. Modeling enteric bacterial die-off: A review / S. R. Crane, J. A. Moore // Water Air Soil Poll. – 1986. – Vol. 27, iss. 3/4. – P. 411–439. 12. Soupir, M. L. Die-off of E. coli and enterococci in dairy cowpats / M. L. Soupir, S. Mostaghimi, J. Lou // Transactions of the ASABE.– 2008.– Vol. 51 (6).– P. 1987–1996. 13. Mazzola, P. Determination of decimal reduction time (D value) of chemical agents used in hospitals for disinfection purposes / P. Mazzola, T. C. Penna, A. M da S Martins // BMC infectious diseases. – 2003. – P. 3–24. 14. Van Donsel, D. J. Seasonal variations in survival of indicator bacteria in soil and their contribution to storm water pollution / D. J. Van Donsel, E. E. Geldreich, N. A. Clarke // Appl. Microbiol. – 1967. – Vol.15, iss.6. – P. 1362–1370. 15. Mubiru, D. N. Mortality of Escherichia coli O157:H7 in two soils with different physical and chemical properties / D. N. Mubiru, M. S. Coyne, J. H. Grove // J. Environ. Qual. – 2000. – Vol. 29, iss. 6. – P. 1821–1825.*

Статья передана в печать 23.04.2019 г.

РЕПОЗИТОРИЙ УО ВГАВМ