

О ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ СОДЕРЖАНИЕМ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И ГУМУСА В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЕ

В. Б. ВОРОБЬЕВ, Н. А. КАЗАКЕВИЧ

УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции
и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»,
г. Горки, Республика Беларусь, 213407

(Поступила в редакцию 22.09.2022)

В статье представлены результаты изучения взаимосвязей между содержанием в почве подвижных соединений меди, цинка, железа, кадмия, свинца и марганца с одной стороны и содержанием в почве гумуса с другой. Приведены трендовые модели изменения содержания подвижных соединений тяжелых металлов в почве в зависимости от ее гумусированности. Показано, что в интервале гумусированности автоморфной дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы от 1,5 до 5,0 % линия тренда, характеризующая взаимосвязь между содержанием в почве подвижной меди и гумуса имела вид перевернутой параболы. При этом наименьшее содержание в почве подвижных соединений меди (2,54 мг/кг) приходилось на учетные площадки с содержанием в почве гумуса 2,5–2,6 %, максимальное (5,42 мг/кг) – с содержанием гумуса около 5,0 %. В этом же интервале гумусированности почвы увеличение содержания гумуса на каждый 1,0 % сопровождалось увеличением содержания подвижных соединений цинка на 2,9 мг/кг ($Y=0,9116X^2-3,0296X+7,0857$, при $R^2=0,27$), уменьшением содержания подвижных соединений железа в среднем на 2134,1 мг/кг ($Y=-2134,1X+26030$, при $R^2=0,27$), а также увеличением содержания подвижных соединений кадмия на 0,0094 мг/кг ($Y=0,0094X+0,0055$, при $R^2=0,35$).

В интервале гумусированности почвы от 1,5 до 5,0 % содержание подвижных соединений свинца находилось в пределах от 5,07 до 7,28, марганца от 41 до 178 мг/кг, при этом корреляционных зависимостей данных показателей от содержания в почве гумуса выявлено не было.

Ключевые слова: тяжелые металлы, гумусированность почвы, пахотный горизонт, трендовая модель, коэффициент корреляции, уравнение регрессии.

The article presents the results of studying the relationship between the content of mobile compounds of copper, zinc, iron, cadmium, lead and manganese in the soil, on the one hand, and the content of humus in the soil, on the other. Trend models of changes in the content of mobile compounds of heavy metals in the soil depending on its humus content are presented. It is shown that in the range of humus content of automorphic soddy-podzolic light loamy soil from 1.5 to 5.0 %, the trend line characterizing the relationship between the content of mobile copper and humus in the soil looked like an inverted parabola. At the same time, the lowest content of mobile copper compounds in the soil (2.54 mg/kg) fell on the accounting plots with a humus content of 2.5–2.6 % in the soil, the maximum (5.42 mg/kg) – with a humus content of about 5.0 %. In the same interval of soil humus content, an increase in humus content by every 1.0 % was accompanied by an increase in the content of mobile zinc compounds by 2.9 mg/kg ($Y=0.9116X^2-3.0296X+7.0857$, at $R^2=0.27$), a decrease in the content of mobile iron compounds by an average of 2134.1 mg/kg ($Y=-2134.1X+26030$, at $R^2=0.27$), as well as an increase in the content of mobile cadmium compounds by 0.0094 mg/kg ($Y=0.0094X+0.0055$, with $R^2=0.35$).

In the range of soil humus content from 1.5 to 5.0 %, the content of mobile compounds of lead was in the range from 5.07 to 7.28, manganese – from 41 to 178 mg/kg, while there were no correlation dependences of these indicators on the content of humus in the soil.

Key words: heavy metals, soil humus content, plow horizon, trend model, correlation coefficient, regression equation.

Введение

К тяжелым металлам относятся химические элементы с атомной массой более 50 атомных единиц и удельным весом свыше 5 г/см³ [1]. Среди них довольно много микроэлементов, являющихся необходимыми и незаменимыми компонентами живых организмов. Такие элементы называются эссенциальными [2]. Они ускоряют и регулируют физиологические процессы и являются токсичными лишь при высоких концентрациях. В условиях Республики Беларусь наиболее распространенными являются такие эссенциальные элементы как медь, цинк, марганец, железо. При этом первые три из них используются в качестве микроудобрений. Их дефицит или избыток в организме человека снижает его устойчивость к неблагоприятным факторам окружающей среды, нарушает работу иммунной и антиоксидантной защиты, повышает риск развития распространенных заболеваний, снижает качества жизни и эффективность лечебных мероприятий. Среди не эссенциальных загрязнителей окружающей среды широко встречаются свинец и кадмий, относящиеся к первому, то есть к высшему классу опасности.

Подавляющее большинство тяжелых металлов закрепляются в гумусово-аккумулятивном горизонте почвы. Они поглощаются поверхностью почвенных частиц, входят в состав кристаллических решеток глинистых минералов, находятся в растворенном и в газообразном состояниях, связываются органическим веществом и почвенными микроорганизмами [3].

Накопление в почве тяжелых металлов во многом зависит от уровня химизации земледелия, в частности от применения микроудобрений, минеральных и органических удобрений, средств защиты растений, известкования. При этом в Республике Беларусь минеральные удобрения производятся, как правило, из относительно чистого сырья и существенного влияния на накопление тяжелых металлов

не оказывают [4]. Что касается органических удобрений, то накоплению тяжелых металлов в почве способствуют лишь длительное систематическое применение высоких доз навоза и в первую очередь бесподстилочного. При этом на фоне регулярного применения больших доз органических удобрений происходит значительное изменение агрохимических свойств почвы. Меняется реакция среды, увеличивается содержание гумуса, изменяются концентрация и состав почвенного раствора, соотношение поглощенных катионов, образуются органоминеральные соединения, существенно отличающиеся миграционной способностью, что в конечном итоге сказывается на содержании в пахотном горизонте микроэлементов и тяжелых металлов в целом. Именно поэтому одной из задач наших исследований явилось определение взаимосвязей между содержанием в почве гумуса и содержанием подвижных соединений некоторых тяжелых металлов, а также выявление количественных показателей, характеризующих зависимость содержания тяжелых металлов от гумусового состояния почвы.

Основная часть

Исследования проводились методом учетных площадок [5]. Для этого в производственных посевах УКСП «Совхоз-комбинат «Горки» Горьковского района Могилевской области было подобрано поле, расположенное вблизи животноводческой фермы. Данное поле имеет ширину около 400 м и длину более 2 км, оно расположено вдоль автомобильной трассы на дерново-подзолистой почве, имеющей одинаковую историю, отличающуюся выровненным рельефом и автоморфным типом увлажнения. На этом поле длительное время регулярно вносятся органические удобрения. Из-за более высоких доз внесения органических удобрений вблизи животноводческой фермы и значительно меньших на удалении от неё в разных концах поля выделены участки со значительными различиями в гумусированности пахотного горизонта. На этих участках нами были заложено 29 учетных площадок, с которых отбирались образцы почвы для анализа на содержание гумуса и тяжелых металлов. Полученные результаты подвергнуты корреляционно-регрессионному анализу.

В наших исследованиях содержание гумуса в пахотном горизонте учетных делянок находилось в пределах от 1,59 до 5,3 %. При этом содержание подвижных соединений меди (имеющих особое значение в питании растений) колебалось от 2,12 до 5,95 мг/кг (рис. 1) и было максимальным на делянках с высоким содержанием гумуса, что в первую очередь объясняется большими дозами органических удобрений, а соответственно и большим количеством меди, поступающей с ними в почву. Взаимосвязь между содержанием в почве гумуса и содержанием подвижных форм меди характеризовалась коэффициентом аппроксимации (R^2) равном 0,79 и подчинялась уравнению регрессии $Y=0,4866X^2-2,4963X+5,7382$ (рис. 1).

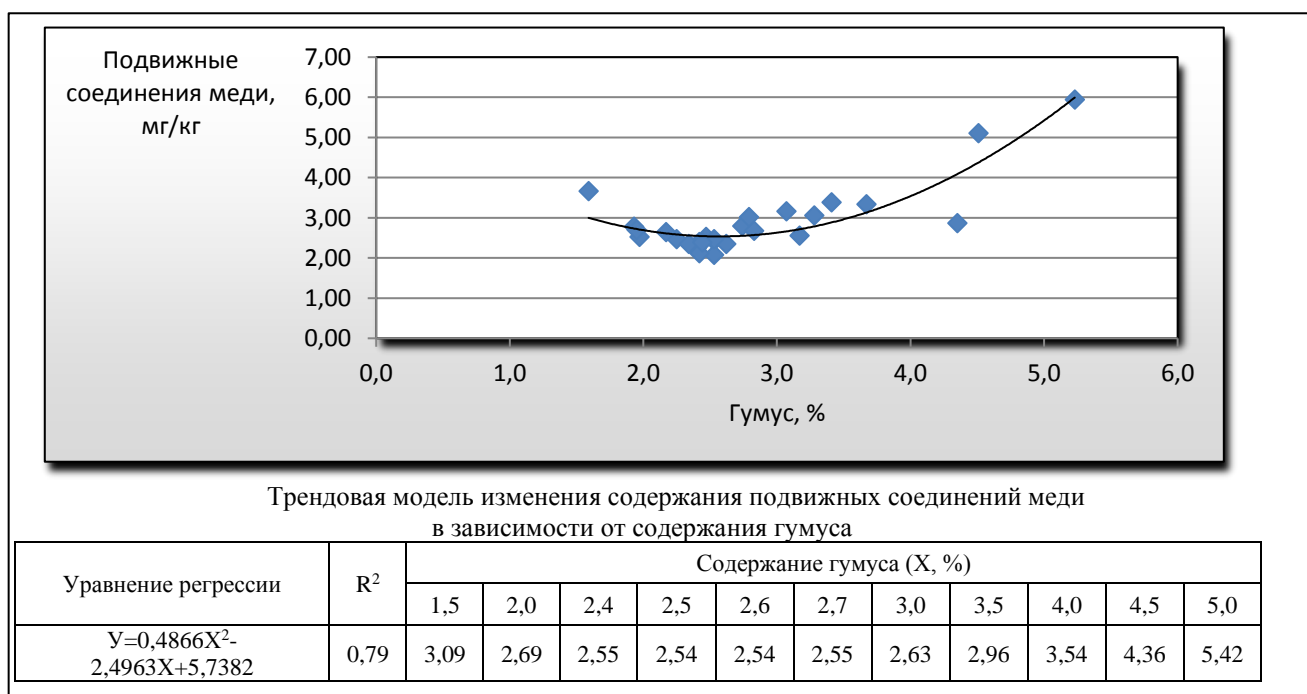
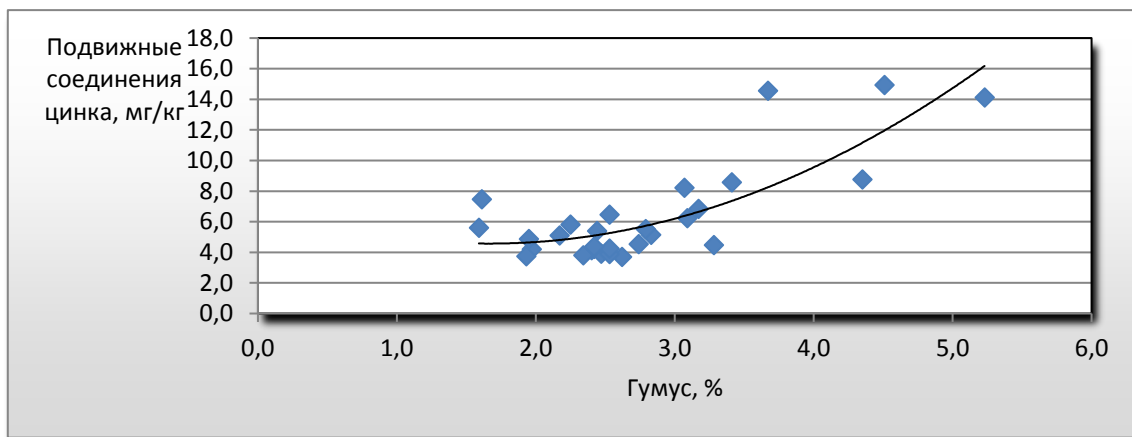


Рис. 1. Взаимосвязь между содержанием подвижных соединений меди (Y, мг/кг) и гумуса (X, %) в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве

Линия тренда, характеризующая взаимосвязь между содержанием в почве подвижной меди и гумуса имела вид перевернутой параболы. При этом наименьшее содержание в почве подвижных соединений меди приходилось на учетные площадки с содержанием в почве гумуса 2,5–2,6 %. Объяс-

няется это тем, что почва с таким содержанием гумуса отличается наибольшей продуктивностью [6, 7], а соответственно и более высоким выносом подвижных соединений меди с отчуждаемой с поля продукцией.

На этих же учетных площадках содержание в почве подвижных соединений цинка находилось в пределах от 4,59 до 14,73 мг/кг. Прослеживается четкая зависимость увеличения данного показателя по мере возрастания содержания в почве гумуса (рис. 2). Эта зависимость подчинялась уравнению регрессии $Y=0,9116X^2-3,0296X+7,0857$. В интервале гумусированности от 1,5 до 5,0 % увеличение содержания гумуса в пахотном горизонте почвы на 1 % сопровождалось увеличением содержания подвижного цинка в среднем на 2,9 мг/кг.

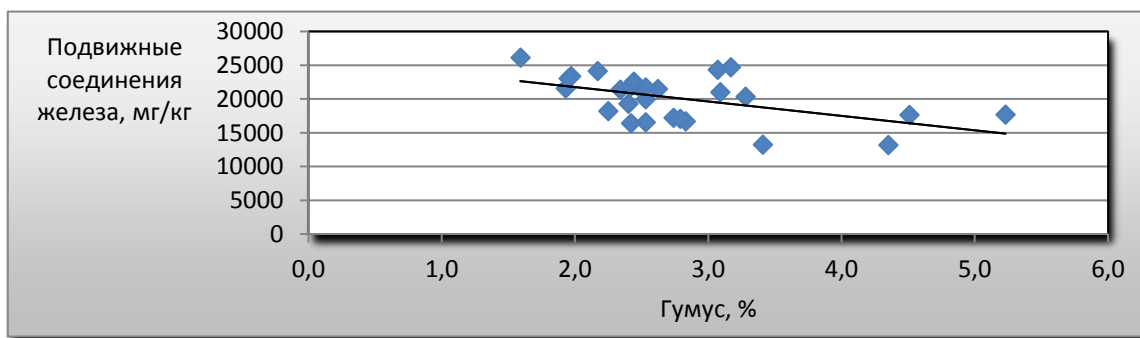


Трендовая модель изменения содержания подвижных соединений цинка в зависимости от содержания гумуса

Уравнение регрессии	R ²	Содержание гумуса (X, %)										
		1,5	1,6	1,7	1,8	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
$Y=0,9116X^2-3,0296X+7,0857$	0,67	4,59	4,57	4,57	4,59	4,67	5,21	6,20	7,65	9,55	11,91	14,73

Рис. 2. Взаимосвязь между содержанием подвижных соединений цинка (Y, мг/кг) и гумуса (X, %) в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве

В этом же интервале гумусированности почвы суммарное содержание подвижных соединений двух-трехвалентного железа находилось в пределах от 22829 до 15360 мг/кг. Корреляционная связь данного показателя с содержанием в почве гумуса оказалась средней и отрицательной. Она характеризовалась коэффициентом корреляции равном $-0,52$ и подчинялась уравнению регрессии $Y=-2134,1X+26030$ (рис. 3).



Трендовая модель изменения содержания подвижных соединений железа в зависимости от содержания гумуса

Уравнение регрессии	R ²	Содержание гумуса (X, %)							
		1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
$Y=-2134,1X+26030$	0,27	22829	21762	20695	19628	18561	17494	16427	15360

Рис. 3. Взаимосвязь между содержанием подвижных соединений железа (Y, мг/кг) и гумуса (X, %) в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве

Анализ этой связи показывает, что при содержании в почве гумуса от 1,5 до 5,0 % увеличение гумусированности почвы на 1 % сопровождалось уменьшением содержания в почве подвижных соединений железа в среднем на 2134,1 мг/кг.

Одной из возможных причин существенного снижения содержания подвижных соединений железа в почве по мере увеличения ее гумусированности является образование большего количества его органо-минеральных соединений, в том числе нерастворимых в воде гуматов и фульватов железа. Последние способны растворяться в воде лишь при кислой реакции среды. В этом случае они мигрируют за пределы пахотного горизонта с нисходящими токами воды и аккумулируются в иллювиальном горизонте. Кроме того, по мере увеличения содержания в почве гумуса возрастает биологическая активность почвы, увеличивается выделение почвенной биотой углекислого газа, что способствует снижению окислительно-восстановительного потенциала почвы и формированию большего количества закисных соединений железа, способных также вымываться из пахотного горизонта.

В наших исследованиях содержание подвижных соединений кадмия колебалось от 0,01 до 0,06 % и возрастало по мере увеличения содержания гумуса в почве (рис. 4). Кадмий образует умеренно устойчивые комплексы с разнообразными органическими соединениями. При этом в комплексе с фульвокислотами и гуминовыми кислотами связано от 4 до 40 % кадмия. Кроме того, от 2 до 27 % этого элемента мигрирует в почве в составе органических соединений типа липидов.

В нашем случае корреляционная связь между значением данного показателя и содержанием в почве гумуса была средней прямолинейной. Она характеризовалась коэффициентом корреляции 0,59 и уравнением регрессии $Y = 0,0094X + 0,0055$.

В интервале гумусированности почвы от 1,5 до 5,0 % при увеличении содержания в почве гумуса на 1 % содержание подвижных соединений кадмия возрастало в среднем на 0,0094 мг/кг.

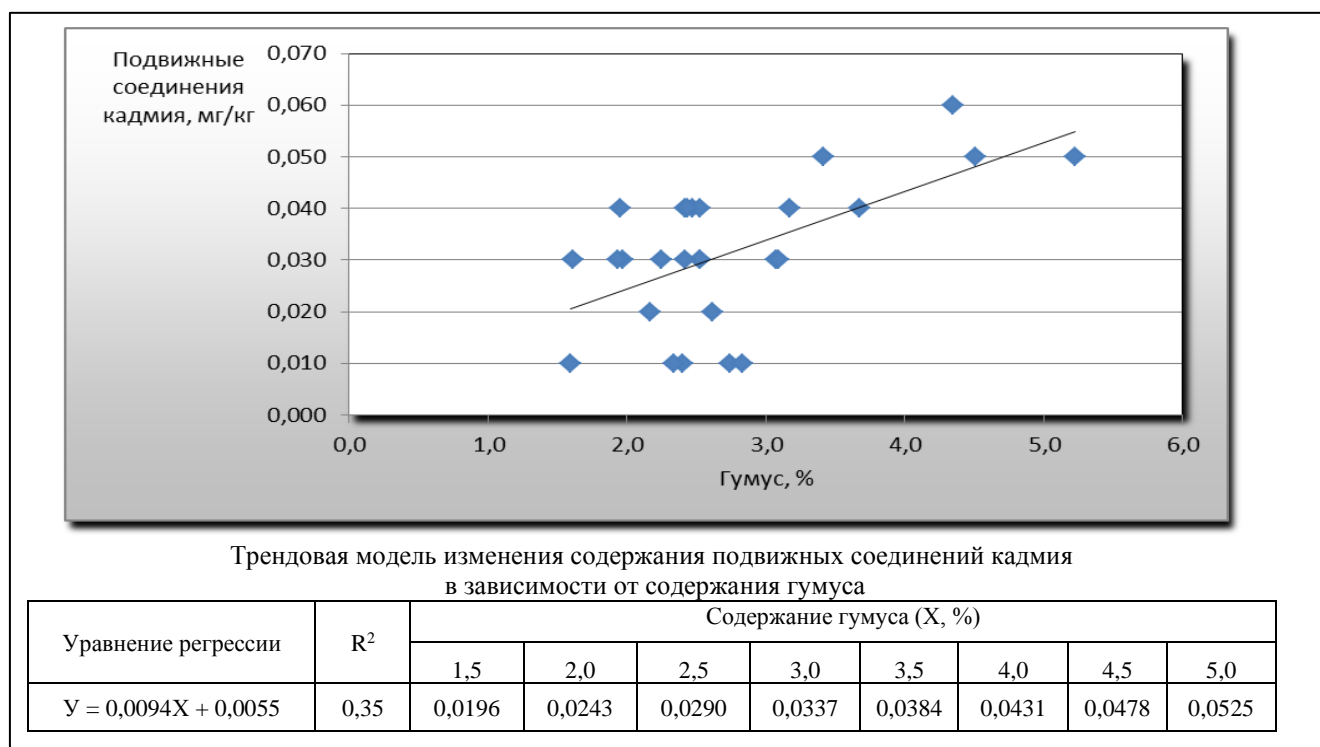


Рис. 4. Взаимосвязь между содержанием подвижных соединений кадмия (Y, мг/кг) и гумуса (X, %) в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве

Следует отметить, что в интервале гумусированности почвы от 1,5 до 5,0 % содержание подвижных соединений свинца находилось в пределах от 5,07 до 7,28, марганца от 41 до 178 мг/кг. При этом корреляционных зависимостей данных показателей от содержания в почве гумуса выявлено не было.

Заключение

В интервале гумусированности автоморфной дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы от 1,5 до 5,0 % линия тренда, характеризующая взаимосвязь между содержанием в почве подвижных соединений меди и гумуса имела вид перевернутой параболы. При этом наименьшее содержание в почве подвижных соединений меди (2,54 мг/кг) приходилось на учетные площадки с содержанием в почве гумуса 2,5–2,6 %, максимальное (5,42 мг/кг) – с содержанием гумуса около 5,0 %.

В этом же интервале гумусированности почвы увеличение содержания гумуса на каждый 1,0 % сопровождалось увеличением содержания подвижных соединений цинка на 2,9 мг/кг ($Y=0,9116X^2-3,0296X+7,0857$, при $R^2=0,27$), уменьшением содержания подвижных соединений железа в среднем на 2134,1 мг/кг ($Y=-2134,1X+26030$, при $R^2=0,27$), а также увеличением содержания подвижных соединений кадмия на 0,0094 мг/кг ($Y = 0,0094X + 0,0055$, при $R^2=0,35$).

В интервале гумусированности почвы от 1,5 до 5,0 % содержание подвижных соединений свинца находилось в пределах от 5,07 до 7,28, марганца от 41 до 178 мг/кг, при этом корреляционная связь данных показателей с содержанием в почве гумуса отсутствовала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Водяницкий, Ю. Н. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах / Ю. Н. Водяницкий. – Москва: ГНУ Почвенный институт им. В. В. Докучаева РАСХН, 2008. – 86 с.
2. Оберлис, Д. Биологическая роль макро- и микроэлементов у человека и животных: монография / Д. Оберлис, Б. Харланд, А. В. Скальный. – СПб.: Наука, 2008. – 544 с.
3. Шеуджен, А. Х. Биогеохимия / А. Х. Шеуджен. – Майкоп, 2003. – 1027 с.
4. Агрохимия: учебник / И. Р. Вильдфлуш [и др.]; под ред. И. Р. Вильдфлуша. – Минск: ИВЦ Минфина, 2013. – 704 с.
5. Воробьев, В. Б. Методика закладки полевого опыта на почве с различным уровнем содержания гумуса: рекомендации для научных сотрудников, преподавателей, аспирантов, магистрантов, студентов учебных заведений агроэкологического профиля / В. Б. Воробьев, Г. В. Седукова. – 2018, Горки, РИО БГСХА. – 20 с.
6. Грищенко, И. Ю. Эффективность азотного удобрения в посевах ячменя при различных уровнях гумусированности агродерново-подзолистой легкосуглинистой почвы / И. Ю. Грищенко, В. Б. Воробьев, С. Д. Курганская / Земляробства і ахова раслін. – № 4. – 2015. – С. 45–49.
7. Воробьев, В. Б. Трендовая модель изменения урожайности озимой пшеницы, возделываемой при разных дозах азотного удобрения на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с различным содержанием гумуса / В. Б. Воробьев, В. В. Козлова // Вестник БГСХА. – 2017. – №3. – С. 100–104.