

УДК 631.861

doi: 10.34655/bgsha.2021.63.2.002

**Т.В. Зубкова, Д.В. Виноградов, С.М. Мотылева, О.А. Дубровина****МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НОВЫХ УДОБРЕНИЙ  
И ПРИМЕНЕНИЕ ИХ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ РАПСА****Ключевые слова:** цеолиты, рапс, органические отходы, урожайность, микроэлементы.

Представлены результаты работы по всестороннему и углубленному изучению совместного использования цеолитсодержащей породы и отходов птицефабрик. Изучение морфологических свойств природного цеолита Тербунского месторождения показало, что данный минерал обладает множеством извилистых пор различных размеров от макро- до микро- и мезопор, благодаря которым осуществляются транспортные и фильтрационные свойства по отношению к веществам, содержащимся в органических отходах птицефабрик. Куриный помёт содержит в своём составе комплекс макро- и микроэлементов, благодаря чему является ценным органическим удобрением. Результаты ЭДС спектров показали, что в составе цеолита преобладающим элементом является Si, а в составе отходов птицефабрики основную долю составляют P и Ca. Содержание основных питательных элементов – Na, Mg, P, K и Ca – в образцах отходов птицефабрики в 13; 6; 18; 3 и 14 раз, соответственно, выше, чем в образцах цеолита. В изучаемых образцах удобрений установлено наличие высокомолекулярных веществ. Использование удобрений на основе органических отходов совместно с цеолитом обеспечивало прибавку в урожае по сравнению с контролем. Максимальная урожайность отмечалась на вариантах куриный помёт 5 т/га + цеолит 3 т/га и куриный помёт 10 т/га+цеолит 3 т/га, которая составила 30,5 ц/га и 30,7 ц/га соответственно. В опыте установлена средняя положительная корреляционная зависимость между урожайностью ярового рапса и такими микроэлементами, как Ca, Mg, Na, K, и P ( $r=0,68$ ;  $r=0,55$ ;  $r=0,57$ ;  $r=0,61$ ;  $r=0,74$ ).

**T. Zubkova, D. Vinogradov, S. Motyleva, O. Dubrovina****MORPHOLOGICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF NEW FERTILIZERS  
AND THEIR APPLICATION IN THE CULTIVATION OF RAPESEED****Keywords:** Zeolites, rapeseed, organic waste, yield, trace elements.

The article presents the results of a comprehensive and in-depth study of the joint use of zeolite-containing rocks and poultry farm waste. The study of the morphological properties of the natural zeolite of the Terbunsky deposit has shown that this mineral has many sinuous pores of various sizes from macro to micro and mesopores, thanks to which transport and filtration properties are carried out in relation to substances contained in organic waste from poultry farms. Chicken manure contains a complex of macro and microelements, which makes it a valuable organic fertilizer. The results of the EMF spectra showed that Si is the predominant element in the zeolite composition, while P and Ca make up the main part of the poultry farm waste. The content of the main nutrients-Na, Mg, P, K and Ca-in the samples of poultry farm waste is 13, 6, 18, 3 and 14 times higher, respectively, than in the samples of zeolite. The presence of high-molecular substances was found in the studied samples of fertilizers. The use of fertilizers based on organic waste together with zeolite provided an increase in yield compared to the control. The maximum yield was observed on the variants chicken manure 5t / ha + zeolite 3t / ha and chicken manure 10t / ha+zeolite 3t / ha, which was 30.5 c / ha and 30.7 c / ha, respectively. In the experience of the average set a positive correlation between the productivity of spring rape and trace elements such as CA, mg, Na, K, and P ( $r=0.68$ ;  $r=0.55$ ;  $r=0.57$ ;  $r=0,61$ ;  $r=0.74$ ).

**Зубкова Татьяна Владимировна**<sup>1</sup>, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующая кафедрой технологии хранения и переработки сельскохозяйственной продукции, zubkovatanua@yandex.ru

*Tatyana V. Zubkova, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Head of the Storage Technology and Processing of Agricultural Product Chair, zubkovatanua@yandex.ru*

**Виноградов Дмитрий Валериевич**<sup>2</sup>, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой агрономии и агротехнологии, vdvrzn@mail.ru

*Dmitry V. Vinogradov, Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Agronomy and Agrotechnology, vdvrzn@mail.ru*

**Мотылева Светлана Михайловна**<sup>3</sup>, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующая лабораторией физиологии и биохимии растений, motyleva\_svetlana@mail.ru

*Svetlana M. Motyleva, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Head of the Laboratory of Plant Physiology and Biochemistry, motyleva\_svetlana@mail.ru*

**Дубровина Ольга Алексеевна**<sup>1</sup>, заведующая научно-исследовательской агрохимической лабораторией, laboratoria101@mail.ru

*Olga A. Dubrovina, Head of the Agrochemical Research Laboratory, laboratoria101@mail.ru*

<sup>1</sup>Елецкий государственный университет имени И.А. Бунина, Елец, Россия

*<sup>1</sup>Bunin Yelets State University, Yelets, Russia*

<sup>2</sup>Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, Рязань, Россия

*<sup>2</sup>Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia*

<sup>3</sup>Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства, Москва,

*<sup>3</sup>Federal Scientific Selection and Technological Center of Horticulture and Nursery, Moscow, Russia*

**Введение.** Цеолиты представляют собой высокопористые кристаллические адсорбенты с фиксированными и однородными размерами поровых отверстий. Поверхность для адсорбции полностью внутренняя, благодаря каналам и полостям, которые равномерно проникают во всем объеме адсорбента. Свойства поглощения цеолитов определяются их диаметрами пор. Цеолиты являются избирательными по сорбированию отдельных компонентов из смеси молекул, каждая из которых способна проникать в цеолит целиком [6, 9].

Природные минералы используются во многих сельскохозяйственных, коммерческих и экологических целях [5, 8].

Цеолиты в агрономическом отношении являются ценным удобрением, так как характеризуются высоким микроэлементным составом. Внесение минералов в почву приводит к снижению тяжелых металлов и нитратов в растениях [3, 4, 10].

Последнее время происходит интенсивное развитие отрасли птицеводства, которое способствует значительному уве-

личению доли птичьего помета в общем объеме производства органических удобрений. Отходы птицеводства представляют собой природный источник азота, фосфора, калия и комплекса микроэлементов [5, 7, 8]. Очень часто предприятия используют необдуманное внесение органических отходов в дозах, превышающих нормы, что может привести к негативным последствиям. Интенсивное использование куриного помета способствует увеличению микроэлементов в почве и в дальнейшем приводит к накоплению тяжелых металлов. Поэтому весьма перспективным является применение нанопористых природных минералов в качестве сорбентов пролонгированного действия и инaktivаторов негативных примесей, содержащихся в органических отходах птицефабрик.

В этом аспекте актуальным является всестороннее и углубленное изучение совместного использования цеолитсодержащей породы и отходов птицеводства.

Целью проведенных исследований являлся анализ морфологических, хими-

ческих свойств новых удобрений и оценка их эффективности влияния на урожайность семян ярового рапса в условиях Липецкой области.

#### **Условия и методы исследования.**

Эффективность влияния органоминеральных удобрений на урожайность ярового рапса проводили в 2019-2020 годах на базе опытного поля Елецкого государственного университета им. И.А. Бунина.

Перед закладкой полевого опыта была проведена его агрохимическая оценка: рН – 5,6-5,7; содержание гумуса – 5,6 - 5,7 %, фосфора – 193,2 - 195,3 мг/кг, калия – 113,7-116,0 мг/кг.

Объект исследований – образцы куриного подстилочного помета птицефабрики ООО «Светлый путь» Елецкого района Липецкой области, природный цеолит (Тербунское месторождение Липецкой области), растения ярового рапса сорта «Риф». Дозы удобрений являлись расчетными для почвенных условий участка под планируемую урожайность.

Агрохимический состав куриного подстилочного помета: рН – 8,0, общий азот – 26 г/кг, фосфор – 9 г/кг, калий – 2,6 г/кг. По макроэлементному составу и санитарно-бактериологическим показателям подстилочный помет соответствовал требованиям ГОСТ 31461-2012. Содержание тяжелых металлов в помете было не выше или на уровне норм ПДК для почв региона.

Опыты были заложены в 4-кратной повторности. Площадь опытных делянок составляла 25 м<sup>2</sup>. Технология производства ярового рапса общепринятая для зоны.

Схема опыта: 1. контроль (без удобрений); 2. цеолит 3 т/га; 3. цеолит 5 т/га; 4. цеолит 3 т/га + куриный помет 2,5 т/га; 5. цеолит 3 т/га + куриный помет 5 т/га; 6. цеолит 3 т/га + куриный помет 10 т/га; 7. цеолит 5 т/га + куриный помет 2,5 т/га; 8. цеолит 5 т/га + куриный помет 5 т/га; 9. цеолит 5 т/га + куриный помет 10 т/га.

Высевали рапс в III декаде апреля на глубину 2-3 см, норма посева – 2,5 млн шт./га, способ посева – рядовой.

Климатические условия за годы исследований сложились благоприятными для развития ярового рапса, ГТК в 2019 г. – 0,98, в 2020 г. – 1,28.

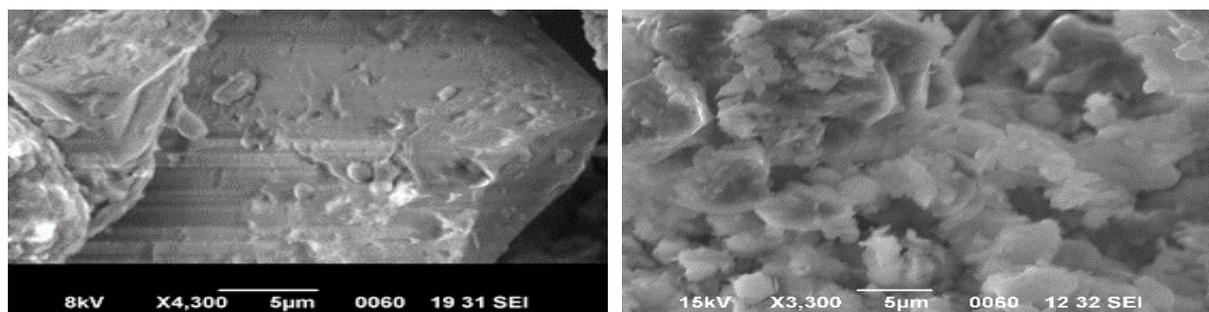
Исследования проводили согласно методическим рекомендациям Б.А. Доспехова [2].

Для исследования морфологических и химико-аналитических свойств цеолит-содержащей породы, отходов птицефабрики и композиционных смесей на их основе использовали электронно-микроскопический анализ, дисперсность образцов цеолита составляла 2,5-0,25 мм.

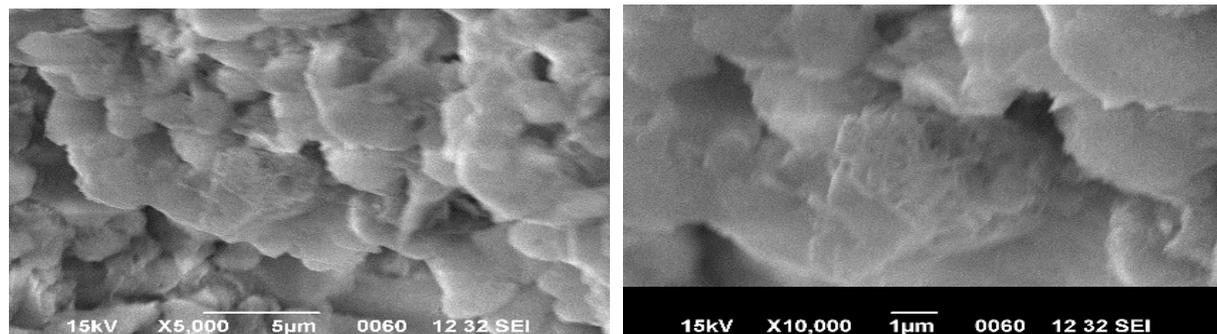
Методом спектрофотометрии были определены химические свойства образцов цеолита и композиционных смесей – антиоксидантная активность (ингибирование 0,025% раствора DPPH,  $\lambda$ - 517 нм) в водных и спиртовых экстрактах; сумма фенольных соединений, которую определяли методом Фолина-Чокальтеу, –  $\lambda$ -750.

Агрохимические показатели почвы определяли в научно-исследовательской агрохимической лаборатории ЕГУ им. И.А. Бунина. Морфологические и химико-аналитические свойства образцов цеолита и подстилочного помета определяли в лаборатории физиологии и биохимии растений Всероссийского селекционно-технологического института садоводства и питомниководства.

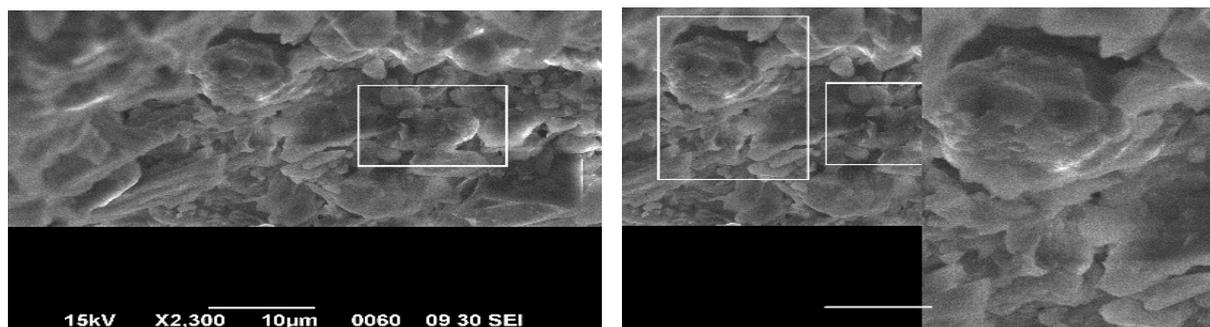
**Результаты исследований и их обсуждение.** При анализе текстурно-скульптурных особенностей образцов цеолит-содержащей породы Тербунского месторождения было отмечено наличие областей с пластинчатой изометрической структурой в виде удлиненных или неправильной формы блоков и менее агрегированными, пористыми частицами (рис. а). Наличие плотнопористых частиц с глубокими извилистыми порами менее 1 мкм (рис. б) и плотнослоистых или чешуйчатых частиц с порами менее 0,2 мкм (рис. в). Отмечалась плотная структура цеолита с высоким содержанием серы, калия и кальция. Хорошо видны окремненные органические включения (остатки) – 0,2-10 мкм (рис. г).



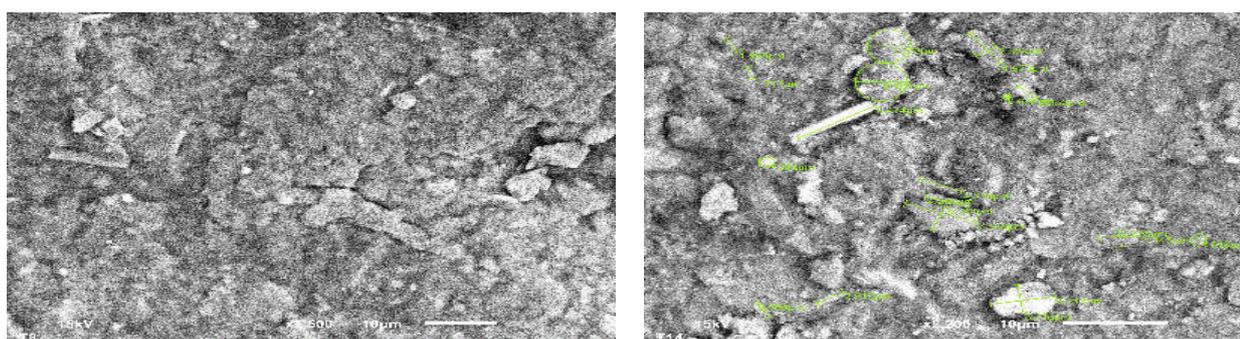
а)



б)



в)



г)

Рисунок 1. Морфологические особенности образцов цеолитсодержащей породы Тербунского месторождения

В цеолите отмечено наличие макро-, микро- и мезопор, размер которых колеблется от 360-270 нм (рис. 2, фото справа) до 760-530 нм (рис. 2, фото слева).

Анализ микроскульптуры отходов пти-

цеводства показал, что она имеет рыхлую, реже – пластинообразную структуру (рис. 3).

Были установлены различия компонентного состава элементов в цеолите

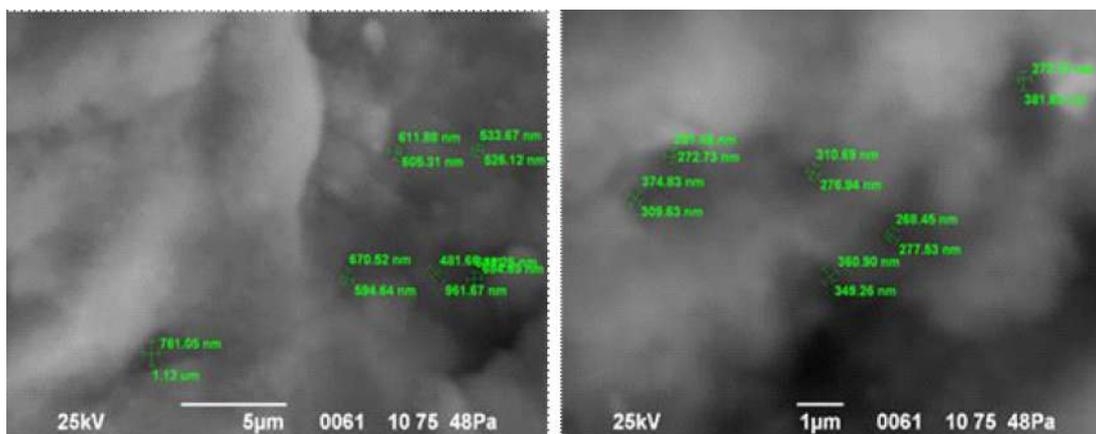


Рисунок 2. Размер и среднее количество пор в образцах цеолита

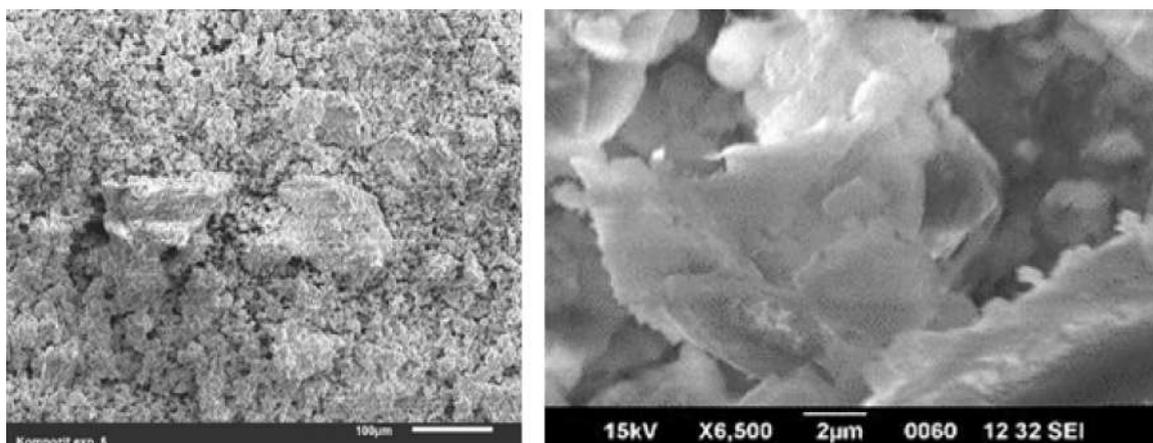


Рисунок 3. Микроскульптура отходов птицефабрики

и отходах птицефабрики, которые представлены на рисунках 4 и 5. Результаты ЭДС-спектров показали, что в составе цеолита преобладают Si, O, Al и Ca. В составе отходов птицефабрики основную долю составляют P, Mg, Ca.

Содержание основных питательных элементов – Na, Mg, P, K и Ca в образцах отходов птицефабрики в 13; 6; 18; 3 и 14 раз, соответственно, выше, чем в образцах цеолита.

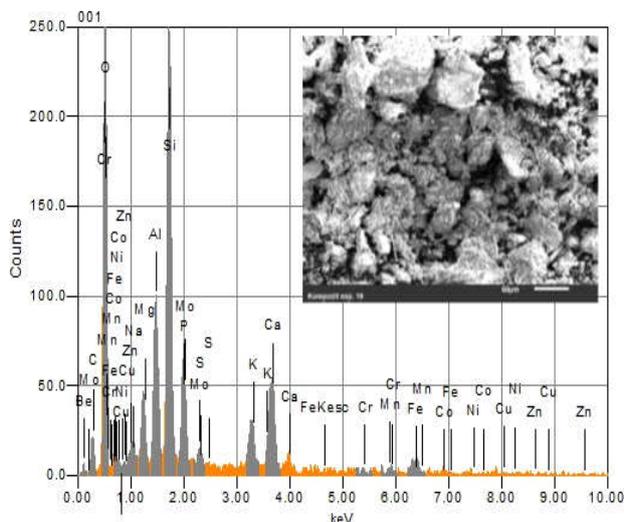


Рисунок 4. Минеральный состав цеолита

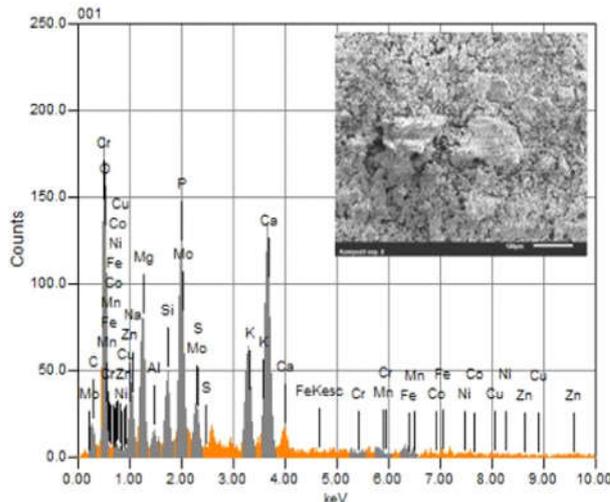


Рисунок 5. Минеральный состав отходов птицефабрики

Изучение микроэлементного состава (Al, Si, Mo, Na, Mg, P, S, K, Ca) цеолитов, отходов птицефабрик и их композиционных смесей в отношениях цеолит + куриный помет: 1. цеолит; 2. куриный помет; 3. цеолит 3 т/га + куриный помет 2,5 т/га; 4. цеолит 3 т/га + куриный помет 5 т/га; 5. цеолит 3 т/га + куриный помет 10 т/га; 6. цеолит 5 т/га + куриный помет 2,5 т/га; 7. цеолит 5 т/га + куриный помет 5 т/га; 8. цеолит 5 т/га + куриный помет 10 т/га позволило получить сведения об их количественном накоплении.

Убывающий ряд содержания данных элементов в цеолите имеет следующий вид: Si>Al>Mo>K>Mg>Ca>P>S>Na; в органических отходах: Ca>P>Mg>K>Mo>Si>Na>S>Al.

На рисунке 7 представлены сравнительные данные содержания Al, Si и Mo в удобрениях. Установлено высокое содержание кремния в цеолитах, поэтому использование его в качестве удобрений может оптимизировать питание растений по данному элементу, наличие которого

приводит к увеличению массы корневой системы, их объема и общей активно поглощающей поверхности. Кремниевые удобрения увеличивают высоту растений, количество продуктивных стеблей и площадь ассимиляционной поверхности листьев в целом способствуют росту продуктивности сельскохозяйственных культур.

Алюминий является нежелательным элементом для растений, т.к. его избыток приводит к деформации вегетативных органов растений. Минимальное содержание данного элемента отмечалось в вариантах, где использовался чистый куриный навоз и с применением цеолита в дозе 3 т/га. Снижение Al, в среднем, по вариантам в виде композиционных смесей по отношению к цеолиту в чистом виде составляло на 8,7 масс%.

Нехватка молибдена приводит к нарушению азотного обмена. Насыщение данным микроэлементом происходило за счет введения в удобрения природного минерала, среднее содержание которого в смесях составило 3,04 масс%.

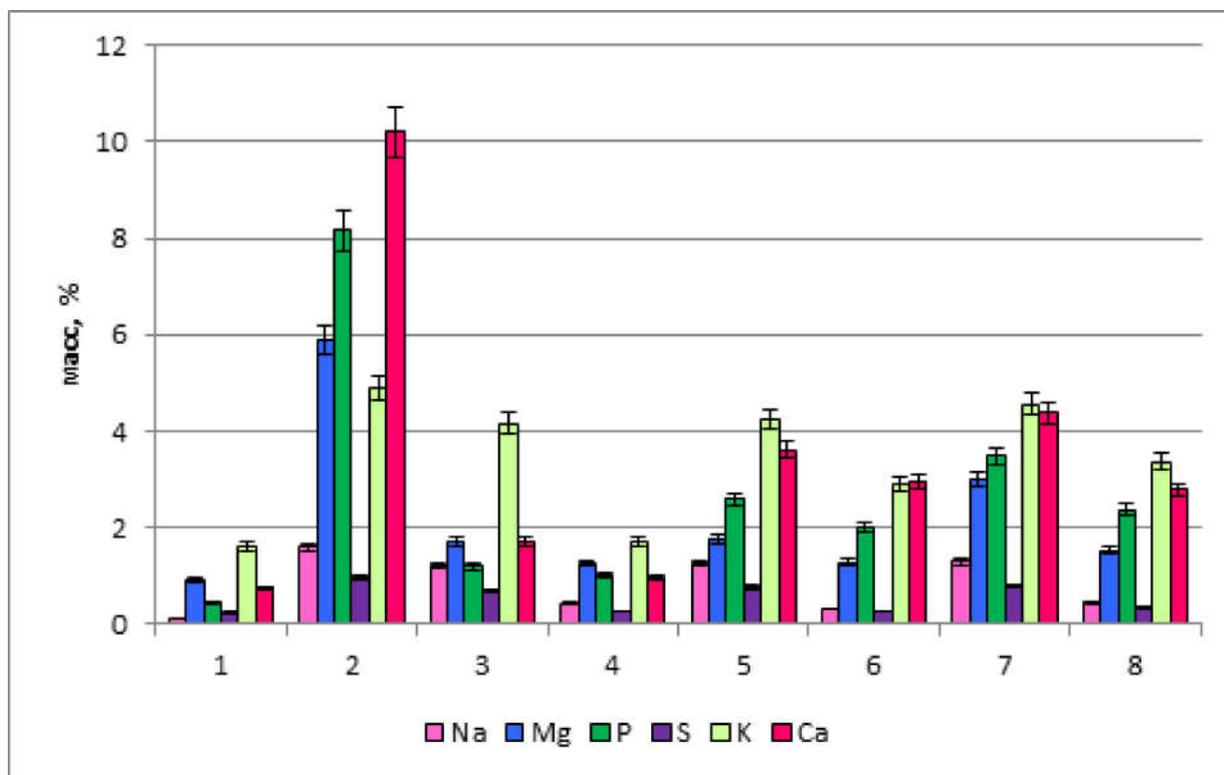


Рисунок 6. Содержание Na, Mg, P, S, K и Ca в цеолитсодержащей породе Тербунского месторождения, органических отходах и их композитных смесей, масс %

Высокая антиоксидантная активность водных экстрактов и сумма фенольных

соединений отходов птицефабрики и смесей на их основе свидетельствует о нали-

чи растворимых биологически активных веществ (рис. 8). В природных цеолитах также отмечается незначительное наличие антиоксидантной активности и фенольных соединений, поэтому можно отметить небольшое присутствие органических примесей и в них.

Установлено, что для спиртового экстракта основные области поглощения

38-45 нм и 600-700 нм. Это, вероятно, свидетельствует о наличии высокомолекулярных веществ в изучаемых образцах удобрений, которые приводят к стимулированию всех биохимических процессов в организме растений не только на стадии прорастания семян, но и дальнейшего роста и развития растений.

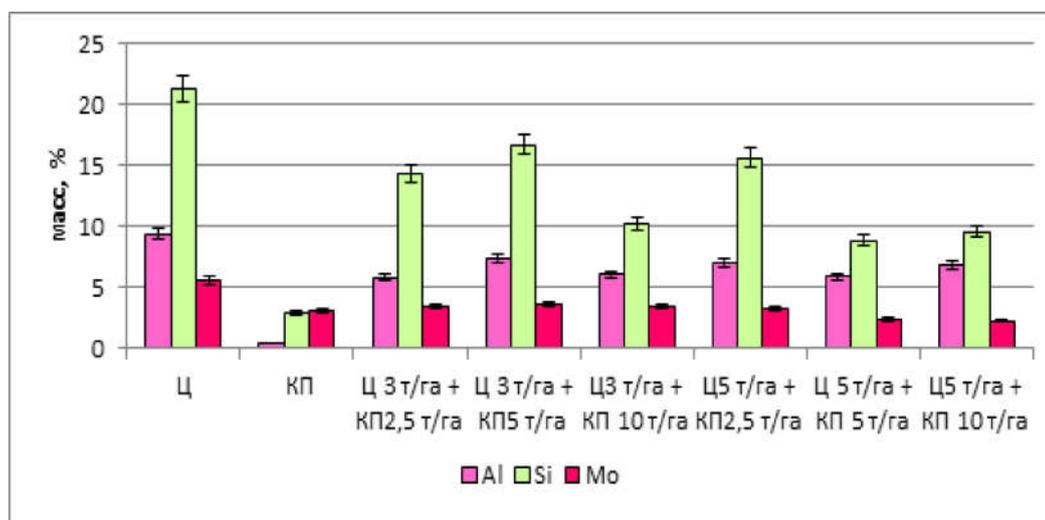


Рисунок 7. Содержание Al, Si и Mo в цеолитсодержащей породе Тербунского месторождения, органических отходах и их композитных смесей, масс %

Кальций влияет на обмен углеводов и белков, поэтому он является необходимым элементом на самых ранних сроках развития. Максимальное его количество отмечалось в органических отходах в чистом виде 10,21 масс%. На изучаемых вариантах происходило его снижение за счёт введения природного минерала, в среднем, на 7,6 масс%.

Фосфор способствует увеличению урожайности, повышает устойчивость к неблагоприятным условиям. В среднем по изучаемым вариантам происходило насыщение по фосфору за счёт высокого процентного содержания его в органике (8,16 масс%), превышение по изучаемым вариантам по сравнению с цеолитом в чистом виде составило 1,67 масс%.

Помимо микроэлементов куриный помет является источником азота, который необходим растениям для полноценного развития, особенно во время активного роста стеблей и листьев. Введение отхо-

дов птицефабрики приводило к насыщению композиционных смесей данным макроэлементом. Данный элемент для ярового рапса является важным в минеральном питании. Установлено, что наибольший эффект от внесения удобрения получали на вариантах с внесением куриный помет 5 т/га + цеолит 3 т/га и куриный помет 10 т/га+цеолит 3 т/га, урожайность на данных вариантах составила 30,5 ц/га и 30,7 ц/га соответственно (рис.9).

В то же время избыток азота провоцирует интенсивный рост, полегание растений и задерживает созревание семян [1]. В наших вариантах внесение цеолита по 5 т/га совместно с органическими удобрениями приводило к снижению урожайности по сравнению с внесением цеолита по 3 т/га с органикой. Следовательно, можно предположить, что растения при внесении цеолита по 5 т/га совместно с отходами птицефабрики были обеспечены большим количеством азота.

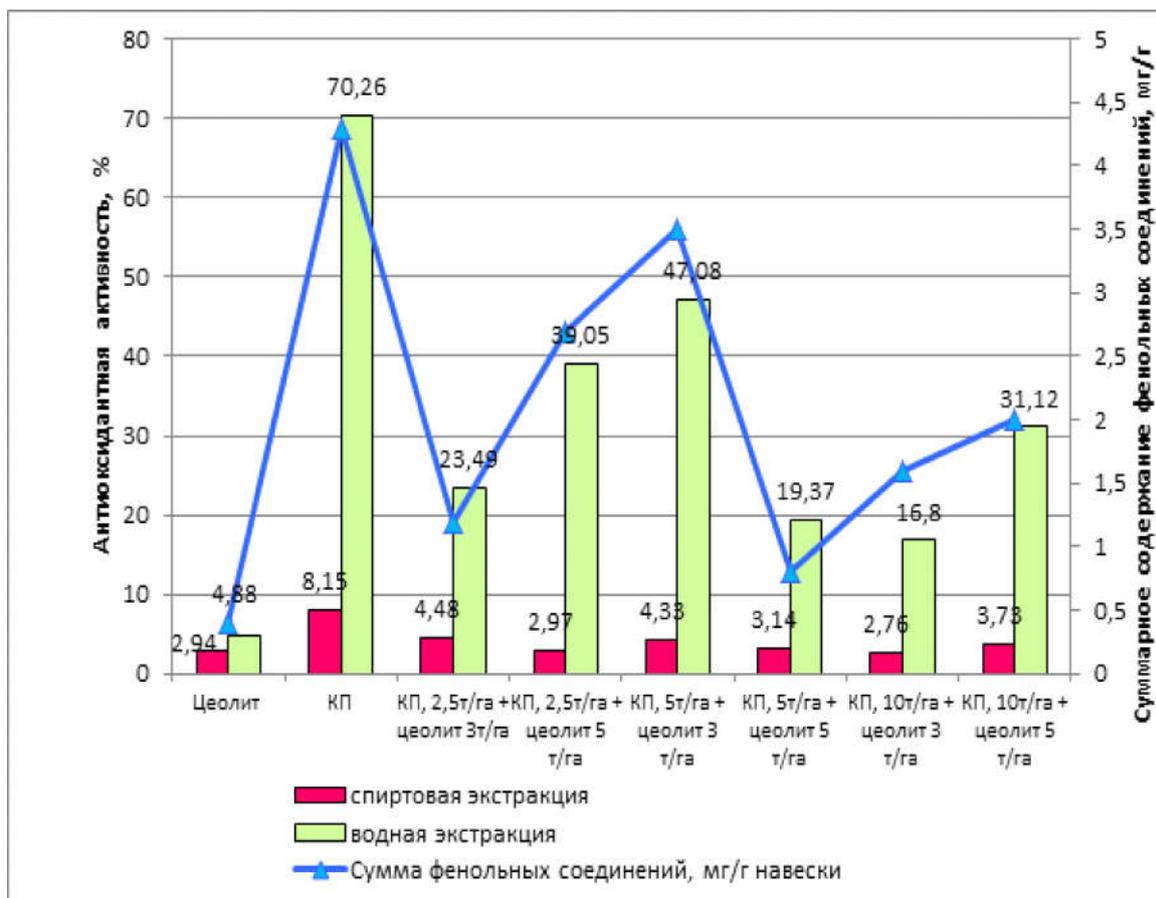


Рисунок 8. Антиоксидантная активность и сумма фенольных соединений цеолита, отходов птицефабрики и композиционных смесей на их основе

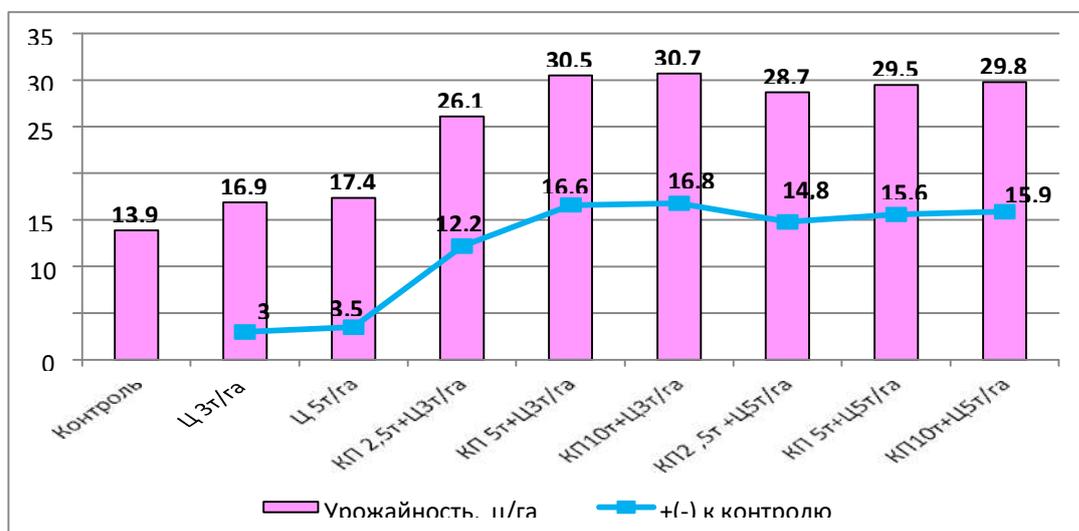


Рисунок 9. Урожайность ярового рапса сорта «Риф» в зависимости от внесения удобрений, ц/га (2019-2020)

**Заключение.** Установлен высокий микроэлементный состав новых удобрений на основе отходов птицефабрики и природного цеолита Тербунского месторождения, что позволяет их использовать в качестве удобрений в виде композиционных смесей.

Максимальную продуктивность полу-

чали на вариантах с внесением куриный помет 5т/га + цеолит 3т/га и куриный помет 10т/га+цеолит 3т/га, урожайность на данных вариантах составила 30,5 ц/га и 30,7 ц/га соответственно.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и администрации Липецкой об-*

лапти в рамках научного проекта № 19-44-480003

### Список источников

1. Бочкарев Н.И., Пивень В.Т., Семеренко С.А. Потребность рапса в элементах питания // *Агроном*. 2019. №-3. URL: <https://www.agronom.com.ua/potrebnost-rapsa-v-elementah-pytanyya/>.
2. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учебник для высших сельскохозяйственных учебных заведений. Москва: Альянс, 2014. 351 с.
3. Дубровина О.А., Зубкова Т.В., Виноградов Д.В. Накопление микроэлементов растениями ярового рапса при использовании куриного помета и цеолита // *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева*. 2020. № 4 (44). С.17-23.
4. Перспективы использования органоминеральных удобрений на посевах ярового рапса / Зубкова Т.В., Дубровина О.А., Виноградов Д.В., Мотылева С.М., Захаров В.Л. // *Вестник Мичуринского государственного аграрного университета*. 2020. № 4 (63). С. 35-40.
5. Chipera S.J., John A.A. Geochemical Stability of Natural Zeolites // *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*. 2001. № 45 (1). pp. 117–161. URL: <https://doi.org/10.2138/rmg.2001.45.3>.
6. Dessau R.M. Selective Sorption Properties of Zeolites. Adsorption and Ion Exchange with Synthetic Zeolites // *ACS Symposium Series*. 1980. Vol. 135. pp. 123-135. URL: <https://doi.org/10.1021/bk-1980-0135.ch006>.
7. Gulidova V.A., Zbukova T.V., Kravchenko V.A., Dubrovina O.A. The dependence of photosynthetic indices and the yield of spring rape on foliar fertilization with microfertilizers / *OnLine Journal of Biological Sciences*. 2017. Vol. 17. № 4. pp. 404-407.
8. Pansini M. Natural zeolites as cation exchangers for environmental protection // *Mineral*. 1996. № 31. pp. 563–575. URL: <https://doi.org/10.1007/BF00196137/>
9. Zbukova T.V., Motyleva S.M., Dubrovina O.A. The study of rape seed plants development in the rosette phase in the face of organic fertilizers and natural zeolite. *Ecology, Environment and Conservation*. 2020. Vol 26. No1. pp. 465-470.
10. Zbukova T., Motyleva S., Dubrovina O., & Brindza J. The study of rapeseeds ash composition in the conditions of the agroecological experiment // *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2021. 15:156–161. URL: <https://doi.org/10.5219/1356>
1. Bochkaryov N.I., Piven V.T., Semerenko S.A. The need for rapeseed in food elements. *Agronom*. 2019;3. URL: <https://www.agronom.com.ua/potrebnost-rapsa-v-elementah-pytanyya/> (in Russ.).
2. Dospekhov B.A. Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results): textbook. Moscow: Alliance; 2014. 351 p. (in Russ.).
3. Dubrovina O.A., Zbukova T.V., Vinogradov D.V. The accumulation of microelements in plants of spring rape with the use of chicken manure, and zeolite. *Vestnik of Ryazan state agrotechnological University named after P.A. Kostycheva*. 2020; 4(44): 17-23 (in Russ.).
4. Zbukova T.V., Dubrovina O.A., Vinogradov D.V., Motyleva S.M., Zakharov V.L. Prospects for the use of organomineral fertilizers on the rapeseed crops. *Journal of Michurinsk state agrarian University*. 2020; 4(63): 35-40 (in Russ.).
5. Chipera S.J., John A.A. Geochemical Stability of Natural Zeolites. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*. 2001;45 (1): 117–161. URL: <https://doi.org/10.2138/rmg.2001.45.3>.
6. Dessau R.M. Selective Sorption Properties of Zeolites. Adsorption and Ion Exchange with Synthetic Zeolites. *ACS Symposium Series*. 1980; 135: 123-135. URL: <https://doi.org/10.1021/bk-1980-0135.ch006>.
7. Gulidova V.A., Zbukova T.V., Kravchenko V.A., Dubrovina O.A. The dependence of photosynthetic indices and the yield of spring rape on foliar fertilization with microfertilizers. *OnLine Journal of Biological Sciences*. 2017. Vol. 17 (4): 404-407.
8. Pansini M. Natural zeolites as cation exchangers for environmental protection *Mineral*. 1996;31: 563–575. URL: <https://doi.org/10.1007/BF00196137/>
9. Zbukova T.V., Motyleva S.M., Dubrovina O.A. The study of rape seed plants development in the rosette phase in the face of organic fertilizers and natural zeolite. *Ecology, Environment and Conservation*. 2020; 26(1): 465-470.
10. Zbukova T., Motyleva S., Dubrovina O., & Brindza J. The study of rapeseeds ash composition in the conditions of the agroecological experiment. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2021; 15:156–161. URL: <https://doi.org/10.5219/1356>