

## ВОЗДЕЙСТВИЕ ПРИРОДНОГО МИНЕРАЛА НА СВОЙСТВА И УРОЖАЙНОСТЬ ЯРОВОГО РАПСА

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

**Виноградов Дмитрий Валериевич**<sup>2</sup>, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой агрономии и агротехнологий

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Елецкий государственный университет имени И. А. Бунина»

399770, г. Елец, ул. Коммунаров, д. 28, тел.: 8-(47467)- 6-59-71, e-mail: ZubkovaTania@yandex.ru

<sup>2</sup>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева»

390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1, тел.: 8-(4912)-35-35-16, e-mail: vdv-rz@rambler.ru

**Ключевые слова:** яровой рапс, природный цеолит, микроэлементы, микроморфология, фотосинтетические пигменты, урожайность.

Данное исследование было направлено на изучение микроморфологических и биохимических особенностей растений ярового рапса сорта Риф в течение 2018-2020 годов. Изучали растения, выращенные в условиях опытного поля ЕГУ им. И.А. Бунина, согласно схеме: 1. контроль; 2.  $N_{60}P_{60}K_{60}$ ; 3. Цеолит 5 т/га; 4.  $N_{60}P_{60}K_{60}$  + Цеолит 3 т/га. Максимальное количество устьиц отмечалось на варианте с использованием природного цеолита и минерального удобрения. На адаксиальной поверхности их в среднем было 537 шт/мм<sup>2</sup>, а на абаксиальной - 480 шт/мм<sup>2</sup>. Внесение минеральных удобрений отдельно и в комплексе с природным мелиорантом способствовало увеличению фотосинтетических пигментов. Данное превышение относительно контроля составляло около 22 %. В ходе проведенных исследований по определению содержания микроэлементов в растениях по фазам развития рапса установлено, что содержание исследуемых микроэлементов Mn, Fe, Zn и Ni снижалось к фазе уборки. Исключением был только Co, содержание которого увеличилось к моменту созревания рапса. Накопление исследуемых элементов в растениях ярового рапса в фазу полного созревания можно представить в виде следующего убывающего ряда:  $Fe > Mn > Zn > Cu > Ni > Co$ . Рассчитанные коэффициенты корреляции показывают высокую взаимосвязь между всеми исследуемыми элементами. Установлена высокая корреляция между урожайностью и суммой фотосинтетических пигментов ( $r=0,95$ ).

**Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и администрации Липецкой области в рамках научного проекта № 19-44-480003**

### Введение

Рапс является одной из самых распространенных масличных культур, возделываемых в мире. Именно создание селекционерами беззрковых низкоглюкозинолатных сортов способствовало значительному развитию потенциала данной культуры в мировом производстве [1, 2, 3]. В агропромышленном секторе рапс в настоящее время является незаменимым компонентом севооборотов в таких крупных регионах выращивания, как Австралия, Западная Канада, Центральный Китай и многие страны Европейского Союза [4].

Рапс является сырьем для производства растительного масла и экстракционного шрота [5, 6]. Масло рапса характеризуется высоким содержанием олеиновой кислоты (около 60 %) и полиненасыщенной линоленовой кислоты (около 10%). Также рапсовое масло используется в качестве топлива для дизельных автомобилей и тракторов, особенно в Германии и Европе [7].

Развитие семенного фонда требует посто-

янного совершенствования технологии выращивания данной культуры в конкретных почвенно-климатических условиях с учетом особенностей сорта и реакции на различные технологические элементы [8, 9].

Удобрения являются неизбежным фактором повышения плодородия почвы и продуктивности сельскохозяйственных культур независимо от характера последовательности возделывания или условий окружающей среды.

Использование цеолитсодержащих пород в растениеводстве сегодня является весьма актуальным агроприемом [10]. По экспериментальным данным в опытах, проведенных в условиях Нечерноземной зоны России, выявлена высокая эффективность осадков сточных вод в смеси с цеолитом на урожай сельскохозяйственных культур. Применение цеолитов возможно на различных типах почв. Это безопасное с экологической точки зрения удобрение, которое насыщает почву микроэлементами, делает её

воздухопроницаемой и влагоёмкой. Особенностью природных цеолитов является улучшение режима азотного питания, уменьшение содержания тяжелых металлов и радионуклидов. Отметим низкую экономическую затратность внесения цеолитов в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур при высокой отдаче чистой прибыли [11].

Цеолиты можно использовать как в качестве носителей питательных веществ, так и в качестве среды для их высвобождения [12]. Но, несмотря на значительный прогресс в исследованиях, необходимо провести дальнейшее изучение для их эффективного использования в сельском хозяйстве.

Фотосинтез является важным процессом, оказывающим положительное влияние на продуктивность сельскохозяйственных культур [13] [14]. Одним из показателей, который способствует увеличению фотосинтетического потенциала растений, является наличие устьиц на листовых пластинках [15].

Чем больше устьиц на единицу площади, тем выше интенсивность устьичной транспирации, которая может заставить воду подняться внутри растения по всей его высоте, верхние листочки которых благодаря рассматриваемому процессу могут получать необходимое количество влаги и питательных веществ [16].

Одним из идеальных условий для фотосинтеза является достаточный запас воды и питательных веществ у растений.

Главное свойство цеолитов поглощать, а потом постепенно отдавать воду при заданных параметрах температуры и влажности. Учёными установлено, что применение цеолита повышает фотосинтетическую активность, а, следовательно, и биологическую урожайность сельскохозяйственных культур [17].

В последние годы большое внимание уделяется вопросам полноценного питания растений, а именно микроэлементами. Только сбалансированный микроэлементный состав обеспечивает полноценные физиологические процессы в растениях, а их недостаток может спровоцировать заболевание и угнетение растений. К числу жизненно необходимых микроэлементов для рапса относят: марганец, цинк, медь, железо и др. [18,19].

Доказано, что сбалансированный состав микроэлементов в растении обеспечивает высокие и стабильные урожаи, а также повышает качество готовой продукции [20].

Микроэлементы в растениях могут образовывать органоминеральные комплексы, от ко-

торых напрямую зависит формирование высоких урожаев сельскохозяйственных культур, в частности, продуктивности ярового рапса.

Следовательно, определение количественных параметров накопления микроэлементов растениями рапса и его урожайности, выращенного в условиях модельного опыта при внесении природной цеолитсодержащей породы и минеральных удобрений является, также весьма актуальным.

#### **Материалы и методы исследований**

Опыты в агроценозах ярового рапса по выявлению эффективности минеральных удобрений и природного цеолита проводили в 2018-2020 годах на базе опытного поля Елецкого государственного университета им. И.А. Бунина по методике Б.А. Доспехова [21].

В целом за вегетационный период развития рапса погодные условия для формирования урожайности наиболее благоприятно складывались в 2019 и 2020 гг. (рис. 1). В 2018, 2019 и 2020 гг. за май-август среднесуточная температура воздуха была равна 19,4°C, 18,5°C и 17,9°C; сумма осадков - 137,0 мм, 214,8 мм и 227,0 мм; ГТК (по Селянинову) - 0,58, 0,94 и 1,28, при средне-многолетнем ГТК 1,21.

Эксперимент выполнен, согласно следующей схеме: 1. контроль; 2.  $N_{60}P_{60}K_{60}$ ; 3. Цеолит 5 т/га; 4.  $N_{60}P_{60}K_{60}$  + Цеолит 3 т/га. Объектом исследования был сорт ярового рапса Риф. Данный сорт создан методом гибридизации сортов Рубеж x Magnum. Риф является высокоурожайным, устойчив к болезням, характеризуется отсутствием эруковой кислоты в семенах. Высота растений достигает 120 см. Средняя масса 1000 семян составляет 2,8-3,5 грамм.

Почва опытного поля - чернозем выщелоченный, со следующей агрохимической характеристикой: содержание гумуса 5,70-5,80%, общее содержание азота - 0,285-0,292%, фосфора - 196,2-198,3 мг/кг, калия - 114,7-115,0 мг/кг, pH 5,6.

В эксперименте посев рапса проводили в третьей декаде апреля на глубину 2 см с шириной междурядий 12,5 см и нормой высева 2,0 млн. шт./га. Предшественником рапса в опытах являлась озимая пшеница. Уход за посевами складывался из обработки посевов против сорняков препаратом Галион, 0,3 л/га (действующее вещество – клопиралид, 300 г/л + пиклорам, 75 г/л). Против крестоцветной блошки и рапсового цветоеда растения рапса обрабатывали препаратом Карате Зеон, 0,15 л/га (действующее вещество - лямбда-цигалотрин, 50 г/л). Удобрение

ния и природный цеолит вносили весной перед предпосевной культивацией. Площадь опытных делянок составляла 50 м<sup>2</sup>, учётных 40 м<sup>2</sup>. Повторность опыта -четырёхкратная. Уборку ярового рапса проводили в третьей декаде августа.

Микроморфологические особенности листьев были изучены в фазу полного цветения (июль), а биохимические особенности растений - в фазу розетки (май), цветения (июль) и созревания (август) ярового рапса. Микроструктура адаксиальной и абаксиальной поверхностей листьев, количество и размер устьиц были определены с помощью аналитического электронного микроскопа "EVO 50 XVP". Для изучения морфологии абаксиальной и адаксиальной поверхности листа были взяты срезы размером 5 мм × 5 мм слева и справа от центральных средних ребер 10 листьев и помещены на углеродный скотч, установленный на столе для микроскопа. Поперечные сечения листьев имели толщину 0,5–1 мм и были закреплены на клеящей основе. Листья не подвергались предварительной обработке, поскольку микроскопия проводилась в условиях низкого вакуума (60 Па), и деформация поперечных срезов не была значительной. Содержания пигментов в листьях рапса определяли с помощью фотоэлектронного колориметра. Определение микроэлементов растений ярового рапса проводили атомно-абсорбционным методом на приборе спектрофотометр «Спектр-5» в пламени ацетилен-воздух.

#### Результаты исследований

Микрорельеф поверхности листьев ярового рапса заметно отличалась в вариантах опыта (рис. 1). В вариантах, где использовали в качестве удобрений цеолит (рис. 1 С, D) и цеолит в комплексе с минеральным удобрением (рис. 1 E, F), поверхность листьев была более ровная по сравнению с контрольным вариантом, где она была более складчатая и морщинистая.

Важным свойством природных минералов является их способность удерживать и рационально расходовать в течение вегетации влагу, элементы питания, создавая тем самым благоприятные условия в системе взаимодействия почва – растение.

Исследованиями Xiubin et al. (2001) было установлено, что при внесении в почву клиноптилолита водоудерживающая способность на склоновых почвах возрастала на 50 %, а на расположенных в низменности – на 70 % [22].

Следовательно, растения, выращенные с применением цеолита, были обеспечены влагой на протяжении всего вегетационного пери-

ода, что отразилось на структуре поверхности листа. Кроме этого на вариантах опыта с внесением природного цеолита устьица были более крупные, чем на контроле, устьичные валики были хорошо очерчены, устьичная щель четко просматривалась (рис. 1 G, H). Учёными Pallas и др. (1967) были проведены исследования по влиянию последствий уменьшения потенциала почвенной влаги на растения, в результате было установлено, что устьица восстановили первоначальный уровень активности и вид только через несколько дней [23].

В пределах одного вида растения различные листья могут иметь различные свойства поверхности листа и на одном листе эти свойства могут варьироваться между адаксиальной и абаксиальной сторонами листа [24].

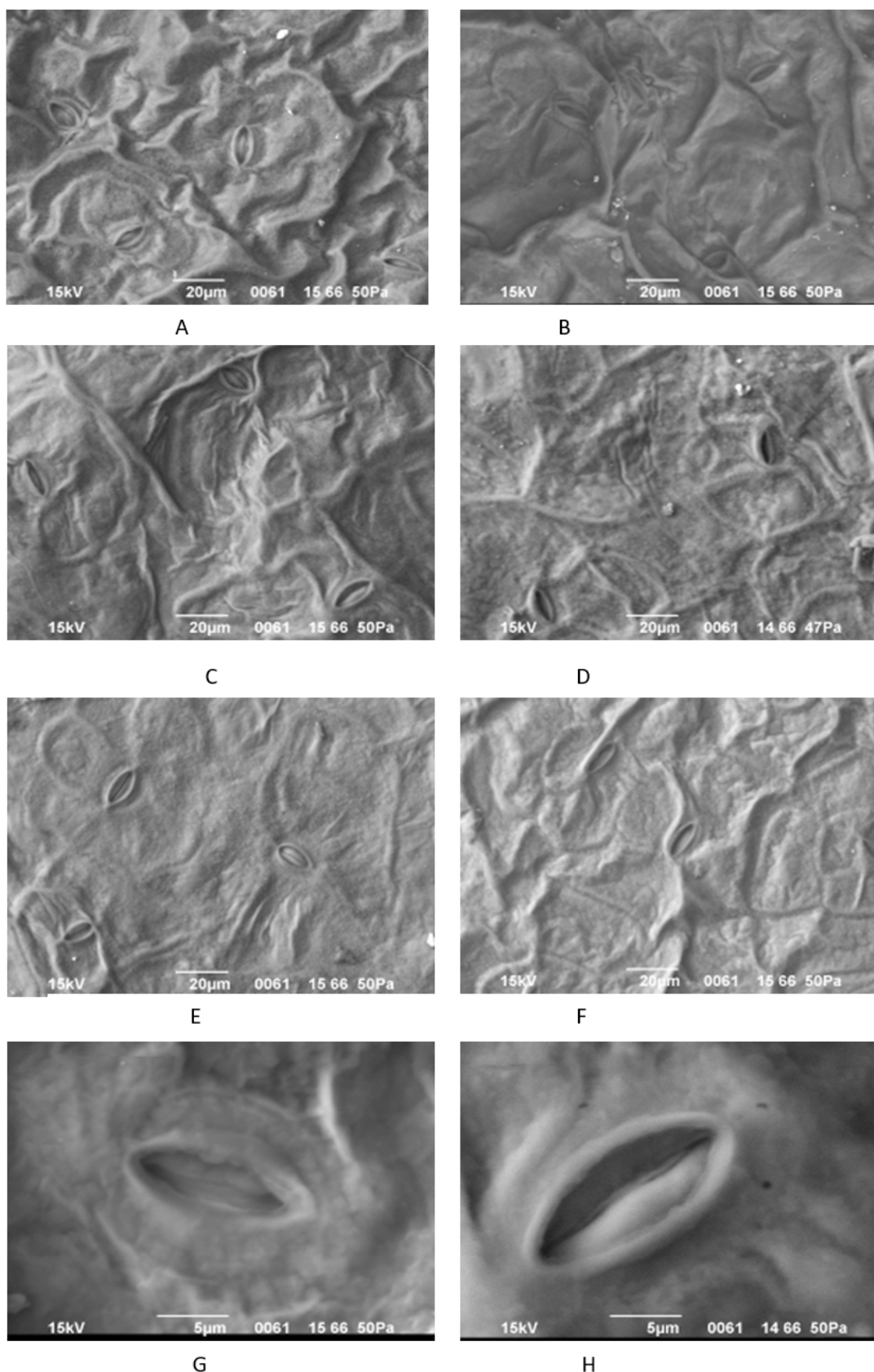
Адаксиальная сторона листа ярового рапса в опытах характеризовалась большим количеством устьиц, чем абаксиальная (рис. 2). Максимальное количество устьиц отмечалось на варианте с использованием природного цеолита и минерального удобрения. На адаксиальной поверхности их, в среднем, было 537 шт./мм<sup>2</sup>, а на абаксиальной - 480 шт./мм<sup>2</sup>. Данный показатель увеличивался на вариантах с применением цеолита благодаря тому, что вероятно связано с более ровной поверхностью листьев.

Известно, что параметры фотосинтеза значительно улучшаются за счет использования различных видов питания растений [25]. В исследованиях, установлено, что внесение минеральных удобрений отдельно и в комплексе с природным мелиорантом способствовало увеличению фотосинтетических пигментов. Данное превышение относительно контроля составляло около 22 % (рис. 3).

Каратиноиды - широко распространённый класс пигментов. Их функция в природе не ограничивается работой со светом, они играют большую роль в обмене веществ [26, 27].

В наших опытах максимальное количество каратиноидов отмечалось на варианте, где использовали цеолит с N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> - 0,374 мг/грамм сырой массы. Минимальное количество данного пигмента отмечалось на варианте с цеолитом 5т/га - 0,270 мг/грамм сырой массы.

Содержание хлорофилла а в растениях рапса находилось в пределах от 1,057 мг/грамм сырой массы (контроль) до 1,265 мг/грамм сырой массы (N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> + цеолит 5 т/га). Отмечена высокая корреляция между хлорофиллом а и количеством устьиц на абаксиальной стороне листа (r=0,95) и хлорофиллом а и количеством устьиц на адаксиальной стороне листа (r=0,98).



(Фото Мотылёвой С.М.)

Рис. 1. - Особенности микроскульптуры абаксиальной (А,С,Е) и адаксиальной (В, D, F) сторон листа рапса. А и В – лист контрольного варианта; С и D – листья с делянок 5т/га природного минерала; Е и F-листья с делянок NPK+5т/га природного минерала; G и H – устьице адаксиальной стороны листа (G-контроль, H - NPK+5т/га)



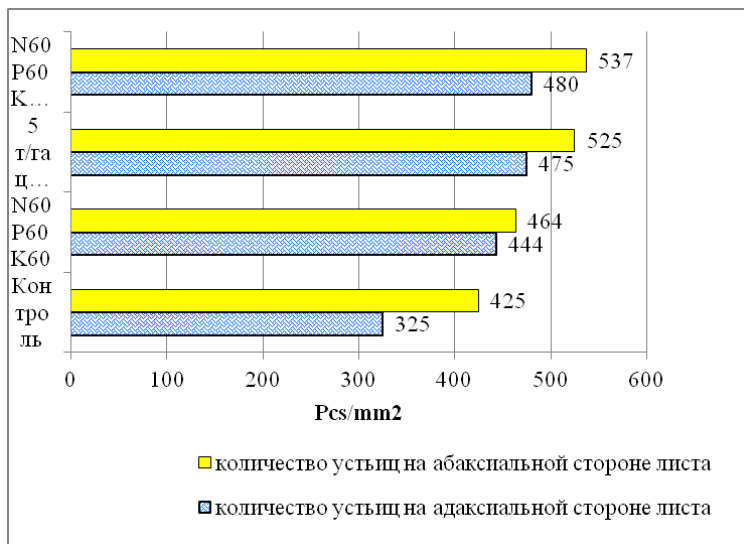


Рис. 2 - Количество устьиц на листьях рапса

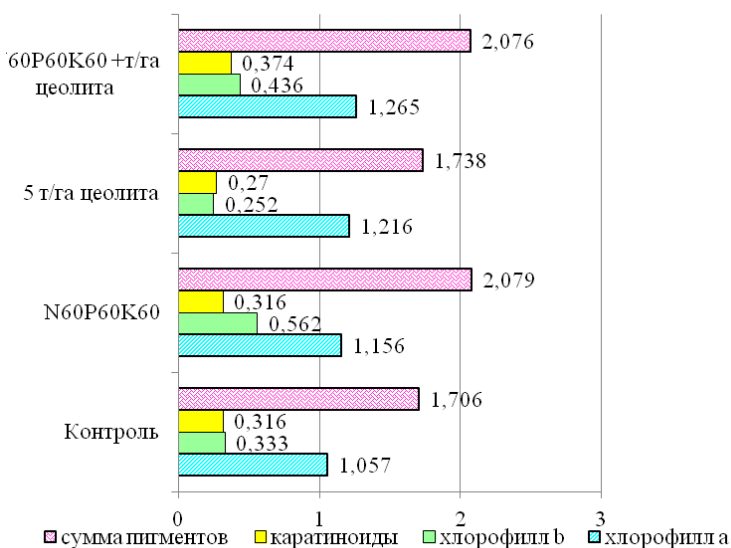


Рис. 3 - Содержание фотосинтетических пигментов в растениях рапса, мг/грамм сырой массы

Доказано, что сбалансированный состав по микроэлементам в растении обеспечивает высокие и стабильные урожаи. При этом, следует отметить, что избыточное накопление микроэлементов в растительных клетках может привести к проявлению их токсичности. Поэтому содержание микроэлементов также следует контролировать в растительных объектах. Следует отметить, что цеолит проявлял адсорбционную активность по отношению к исследуемым микроэлементам (Mn, Fe, Zn, Ni, Co). Их максимальное количество отмечалось на варианте с применением  $N_{60}P_{60}K_{60}$  и снижалось при добавлении природного цеолита.

В ходе проведённых исследований по определению содержания микроэлементов в

растениях по фазам развития рапса установлено, что содержание исследуемых микроэлементов Mn, Fe, Zn и Ni снижалось к фазе уборки.

Исключением был кобальт, содержание которого увеличилось к моменту созревания рапса. Наши данные согласуются с ранее проведёнными исследованиями, где доказано, что рапс относится к растениям-концентраторам в отношении Co, поглощая его на протяжении всего вегетационного периода, достигая максимума в фазу спелости. Кобальт принимает участие в процессах роста растений, участвует в клеточной репродукции листьев и повышает общее содержание воды в растениях [28].

В фазу розетки концентрация данного элемента составляла от 0,058 грамм/кг сухой массы (контроль) до 0,158 грамм/кг сухой массы ( $N_{60}P_{60}K_{60}$  + цеолит 5 т/га). К моменту созревания содержание  $C_o$  увеличилось на данных вариантах соответственно на 36,2 % и на 76,9 %.

При недостатке никеля происходит накопление мочевины в тканях листа, что сопровождается разрушением клеток. Дефицит никеля в культурных растениях наступает при его содержании менее 0,10 мг/кг сухого вещества. В исследованиях недостатка Ni по вариантам исследования не обнаружено (рис. 4).

Марганец (Mn) является важным микроэлементом, играющим важную функциональную роль в метаболизме растений. Mn принимает участие в спектре реакций, катализируемых ферментами, включая окислительно-восстановительные реакции, фосфорилирование, декарбоксилирование и гидролиз [29]. Содержание Mn в зависимости от вариантов опыта и фаз развития рапса находилось в пределах от 19,4 до 24,75 гр/кг сухой массы.

Важность железа для роста растений была установлена примерно на 50 лет раньше, чем открытие других микроэлементов. Дефицит железа характеризуется желтым цветом на молодых листьях [30].

Количество Fe составляло от 39,98 мг/кг сухой массы (контроль-фаза полной спелости) до 54,48 мг/кг сухой массы ( $N_{60}P_{60}K_{60}$  + цеолит 5т/га - фаза розетки). Высокое количество Fe к моменту созревания отмечалось на варианте  $N_{60}P_{60}K_{60}$  - 52,11 мг/кг сухой массы, что превышало на 30,3

% - контроль и на 2,5 % -  $N_{60}P_{60}K_{60}$  + цеолит 5т/га (рис. 5).

Zn является жизненно необходимым микроэлементом для растений, который активно участвует во многих биохимических процессах. Максимальная концентрация цинка, отмечалась в растениях в фазу розетки ярового рапса и находилась в пределах от 8,65 мг/кг сухой массы ( $N_{60}P_{60}K_{60}$  + цеолит 5т/га) до 9,74 мг/кг сухой массы ( $N_{60}P_{60}K_{60}$ ). В фазу полной спелости содержание Zn в растениях снизилось и составило от 4,37 мг/кг сухой массы (контроль) до 8,90 мг/кг сухой массы ( $N_{60}P_{60}K_{60}$ ) (рис. 6).

Накопление исследуемых элементов в растениях ярового рапса в фазу полного созревания можно представить в виде следующего убывающего ряда:  $Fe > Mn > Zn > Cu > Ni > Co$ .

Расчитанные коэффициенты корреляции показывают высокую взаимосвязь между всеми исследуемыми элементами (табл.1).

Таблица 1

Корреляционная матрица для 6 элементов в растениях ярового рапса в фазу созревания

| Элемент | Fe   | Cu   | Zn   | Ni   | Co   |
|---------|------|------|------|------|------|
| Mn      | 0,94 | 0,84 | 0,92 | 0,94 | 0,92 |
| Fe      |      | 0,93 | 0,96 | 0,99 | 0,99 |
| Cu      |      |      | 0,99 | 0,89 | 0,93 |
| Zn      |      |      |      | 0,93 | 0,95 |
| Ni      |      |      |      |      | 0,99 |

Применение всех вариантов использованных удобрений способствовало получению дополнительного урожая семян ярового рапса. Природный цеолит в чистом виде в дозе 5 т/га обеспечивал прирост дополнительной продуктивности растений на 0,35 т/га, вариант  $N_{60}P_{60}K_{60}$  – на 0,91 т/га, а использование цеолита в комплексе с  $N_{60}P_{60}K_{60}$  – на 1,26 т/га по сравнению с контролем (НСР<sub>05</sub> 0,22 т/га) (рис. 7).

Установлено, что существует высокая корреляция между урожайностью и суммой фотосинтетических пигментов ( $r=0,95$ ). Средняя корреляция определена между урожайностью и количеством устьиц на абаксиальной стороне листа ( $r=0,73$ ), а также между урожайностью и количеством устьиц на адаксиальной стороне листа ( $r=0,60$ ).

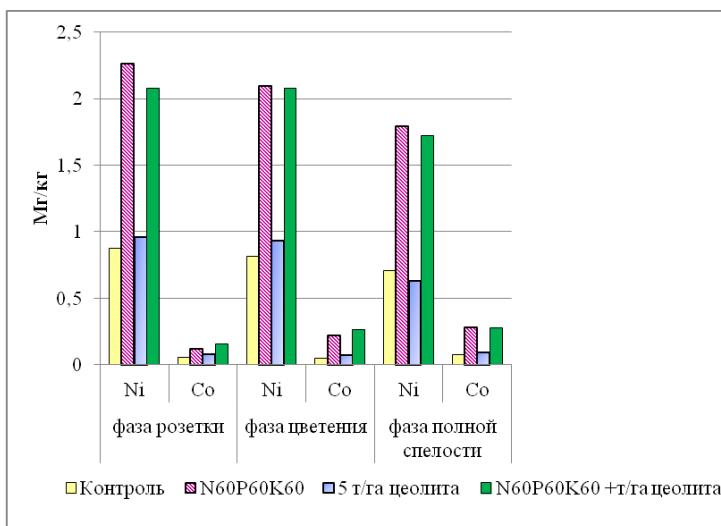


Рис. 4 - Содержание Ni и Co в растениях рапса ярового

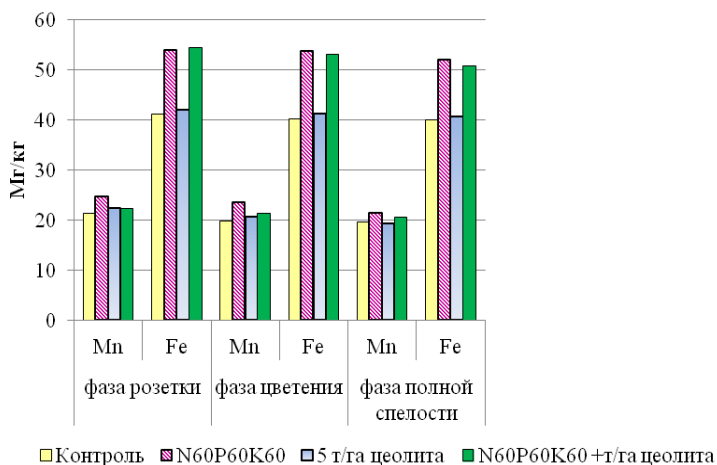


Рис. 5 - Содержание Mn и Fe в растениях рапса

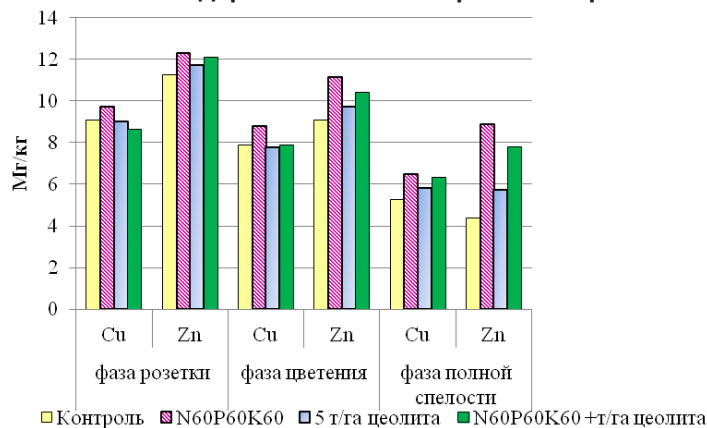
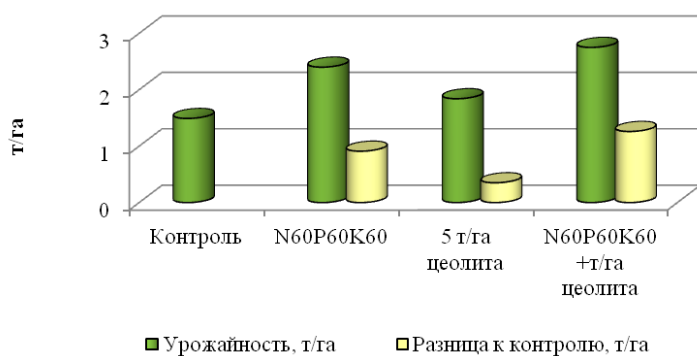


Рис. 6 - Содержание Cu и Zn в растениях рапса

### Заключение

Таким образом, в исследованиях с применением сканирующей электронной микроскопии было установлено, что листья рапса имели более ровную поверхность на вариантах, где применяли природный цеолит в чистом виде и



#### НСР05 взаимодействия факторов АВ – 0,22 т/га

**Рис. 7 - Урожайность ярового рапса (среднее за 2018-2020 гг.), т/га**

в комплексе с минеральными удобрениями.

Установлено, влияние условий выращивания ярового рапса на накопление микроэлементов в растениях по фазам развития культуры.

Адаксиальная сторона листа рапса в опытах характеризовалась большим количеством устьиц, чем абаксиальная. Максимальное количество устьиц отмечалось на варианте с использованием природного цеолита и минерального удобрения. Отмечена высокая корреляция между хлорофиллом а и количеством устьиц на абаксиальной стороне листа ( $r=0,95$ ) и хлорофиллом а и количеством устьиц на адаксиальной стороне листа ( $r=0,98$ ).

Микроэлементный анализ растений позволил установить влияние цеолита на адсорбционную активность по отношению к исследуемым микроэлементам (Mn, Fe, Zn, Ni, Co). Их максимальное количество отмечалось на варианте с применением  $N_{60}P_{60}K_{60}$  и снижалось при добавлении природного цеолита.

Максимальная урожайность ярового рапса была зафиксирована на варианте, где использовали цеолит в комплексе с минеральным удобрением, которая составила 2,75 т/га, превысив контроль на 1,26 т/га, что констатирует высокую эффективность применения цеолитосодержащих удобрений в условиях Липецкой области. Установлена высокая корреляция между урожайностью и суммой фотосинтетических пигментов ( $r=0,95$ ).

**Благодарность.** Авторы благодарны доценту С.М. Мотылевой за проведение электронно-микроскопических исследований.

#### Библиографический список

1. Девяткина, Т.Ф. Применение гербицидов - резерв улучшения качества маслосемян ярового рапса в условиях Юга Нечерноземной зоны / Т.Ф.

Девяткина, С.А. , Девяткин, Д.В. Бочкарев, А.Н. Никольский, Е.О. Обмолова // Нива Поволжья. - 2022. - № 1 (61) .С. 01001

2. Зубкова, Т. В. Влияние применения цеолита на урожайность рапса и качество масла, полученного из его семян / Т. В. Зубкова, Д. В. Виноградов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2021. - № 5 (199). - С. 23-29.

3. Перспективы использования органо-минеральных удобрений на посевах ярового рапса / Т. В. Зубкова, О. А. Дубровина, Д. В. Виноградов, С. М. Мотылёва, В. Л. Захаров // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. - 2020. - № 4(63). - С. 35-40.

4.Carre, P. Rapeseed market, worldwide and in Europe / P. Carre, A. Pouzet // OCL –Oilseeds and fats, Crops and Lipids. - 2014. - № 21(1). - P. 12.

5.Vinogradov, D. V. Accumulation of heavy metals by soil and agricultural plants in the zone of technogenic impact Indian / D. V. Vinogradov, T. V. Zubkova // Journal of Agricultural Research. - 2022. - P. 1-7.

6.Vinogradov, D. V. Ways to increase the productivity of crop rotation in the forest-steppe conditions of the European part of Russia / D. V. Vinogradov, T. V. Zubkova // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 979. - 2022. – P. 12060.

7. Zubkova, T. V. Microelement composition of spring rape plants depending on the specified experimental conditions / T. V. Zubkova, D. V. Vinogradov, V. L. Zakharov // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 979. - 2022. – P. 12094.

8.Pin Koh, L. Biofuels, biodiversity, and people: Understanding the conflicts and finding opportunities / L. Pin Koh, J. Ghazoul // Biological Conservation. - 2008. - № 141(10). - P. 2450-2460.

9.Global trends of rapeseed grain yield stability and rapeseed-to-wheat yield ratio in the last four decades / D. P. Rondanini, N. V. Gomez, M. B. Agosti, D. J. Miralles // European Journal of Agronomy. - 2012. - № 37(1). - P. 56-65.

10.Loboda, B. P. Application of a zeolite-containing mineral raw materials in crop production / B. P. Loboda // Agrochimija. - 2000. - № 6. - P. 78-91.

11. Factor analysis models in enterprise costs management / G. Bakulina, V. Fedoskin, M. Pikushina, V. Kukhar, E. Kot // International Journal of Circuits, Systems and Signal Processing. - 2020. - № 14. - P. 232-240.

12. Sangeetha, C. Zeolite and its potential uses in agriculture / C. Sangeetha, P. Baskar // Agricultural Reviews. - 2016. - № 37(101). – P. 108.

13. Термочувствительность липоксигеназы

и пигментов фотосинтеза озимой пшеницы / И. В. Косаковская, Л. М. Бабенко, Т. Д. Скатерная, А. Ю. Устинова // *Biotechnologia acta*. - 2014. - № 5. - С. 101–107.

14. Каташов, Д. А. Влияние фитогормонов и селената натрия на содержание пигментов и продуктивность растений рапса сорта Ратник (*Brassica napus*) / Д. А. Каташов, В. Н. Хрянин // *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки*. - 2014. - № 1(5). - С. 25–34.

15. Woodward, F. I. Do Plants Really Need Stomata? / F. I. Woodward // *Journal of Experimental Botany*. - 1998. - № 49. - P. 471–80. 16. Мушинская, О. А. Транспирация как составная часть водного режима растений и ее изучение у видов рода *Populus* L / О. А. Мушинская, З. Н. Рябинина, Н. И. Мушинская // *Вестник ОГУ*. - 2007. - № 6. - С. 95–99.

17. Троц, Н.М. Оценка эффективности фосфогипса в агроценозах ярового ячменя / Троц Н.М., Боровкова Н.В., Соловьев А.А. // *Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии*. - 2022. - №1. - С.3-11

18. Лупова, Е.И. Биологическая активность серой лесной почвы и урожайность масличных культур при использовании способов основной обработки / Е.И. Лупова, Д.В. Виноградов // *Нива Поволжья*. - 2021. №1 (58) С.37-41

19. Щур, А. В. Целлюлозолитическая активность почв при различных уровнях агротехнического воздействия / А. В. Щур, Д. В. Виноградов, В. П. Валько // *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*. - 2015. - № 7(106). - С. 45–49.

20. Deficiency of Essential Elements in Crop Plants / S. Tiwari, A. Patel, N. Pandey, A. Raju, M. Singh, S. M. Prasad // *Sustainable Solutions for Elemental Deficiency and Excess in Crop Plants*. - 2020. - P. 19–52.

21. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) : учебник для высших сельскохозяйственных учебных заведений / Б. А. Доспехов. – Изд. стер., перепеч. с 5-го изд. 1985 г. – Москва : Альянс, 2014. - 351 с.

22. Xiubin, H. Zeolite application for

enhancing water infiltration and retention in loess soil / H. Xiubin, H. Zhanbin // *Resources, conservation and recycling*. - 2001. - № 34(4). - P. 45–52.

23. Pallas, J. E. Photosynthesis, Transpiration, Leaf Temperature, and Stomatal Activity of Cotton Plants under Varying Water Potentials / J. E. Pallas, B. E. Michel, D. G. Harris // *Plant Physiology*. - 1967. - № 42(1). - P. 76–88.

24. Eglinton, G. Leaf Epicuticular Waxes: The waxy outer surfaces of most plants display a wide diversity of fine structure and chemical constituents / G. Eglinton, R. J. Hamilton, 1967.

25. Responding of Long Green Pepper Plants to Different Sources of Foliar Potassium Fertiliser / M. M. El-Mogy, A. M. Salama, H. F. Y. Mohamed, K. F. Abdelgavad, E. A. Abdeldaym // *Agriculture (Poľnohospodárstvo)*. - 2019. - № 65. - P. 59–76.

26. Борисенко, В. В. Изучение влияния обогащенного биогумата «Экокс» на работу фотосинтетического комплекса растений редиса / В. В. Борисенко, В. В. Жолобова // *Научный журнал КубГАУ*. - 2015. - № 03(107). - С. 1–9.

27. Ладыгин, В. Г. Современные представления о функциональной роли каротиноидов в хлоропластах эукариот / В. Г. Ладыгин, Г. Н. Ширшикова // *Журнал общей биологии*. - 2006. - № 67(3). - С. 163–189.

28. Ушаков, Р. Н. Физико-химический блок плодородия агросерой почвы / Р. Н. Ушаков, Д. В. Виноградов, Н. А. Головина // *Агрехимический вестник*. - 2013. - № 5. - С. 12–13.

29. Фадькин, Г. Н. Зависимость баланса элементов питания в системе «Почва-удобрение-растение» от форм азотных удобрений в условиях Нечерноземья / Г. Н. Фадькин, Д. В. Виноградов // *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*. - 2015. - № 6. - С. 13–18.

30. Влияние органоминеральных удобрений на накопление Cu и Zn в растениях ярового рапса / Т. В. Зубкова, Д. В. Виноградов, О. А. Дубровина, В. Л. Захаров // *Вестник КрасГАУ*. - 2021. - № 9 (174). - С. 10–15.

## INFLUENCE OF A NATURAL MINERAL ON THE PROPERTIES AND YIELD OF SPRING RAPESEED

Zubkova T.V.<sup>1</sup>, Vinogradov D.V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Elets State University named after I. A. Bunin" 399770, Elets, Kommunarov st., 28, phone: 8-(47467)-6-59-71, e-mail: ZubkovaTanua@yandex.ru

<sup>2</sup> Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev 390044, Ryazan, Kostycheva st., 1, phone: 8-(4912)-35-35-16, e-mail: vdv-rz@rambler.ru

**Key words:** Spring rapeseed, natural zeolite, microelements, micromorphology, photosynthetic pigments, yield.

This study was aimed at studying the micromorphological and biochemical characteristics of spring rapeseed plants of Rif variety from 2018 to 2020. The plants cultivated in the conditions of the experimental field of Elets State University named after I.A. Bunin were studied, according to the following scheme: 1.



control; 2. N60P60K60; 3. Zeolite 5 t/ha; 4. N60P60K60 + Zeolite 3 t/ha. The maximum number of stomata was noted in the variant with application of natural zeolite and mineral fertilizer. There were, on average, 537 pcs/mm<sup>2</sup> of stomata on the adaxial surface and 480 pcs/mm<sup>2</sup> on the abaxial surface. The application of mineral fertilizers alone and in combination with a natural ameliorant contributed to an increase of photosynthetic pigments. This excess was about 22% in relation to the control. In the course of the studies on specification of the content of microelements in plants by rapeseed development phases, it was found that the content of the studied microelements Mn, Fe, Zn and Ni decreased by the harvesting phase. The only exception was Co, the content of which increased by the time the rapeseed ripened. Accumulation of the studied elements in spring rapeseed plants at the full ripeness phase can be represented as the following decreasing series: Fe>Mn>Zn>Cu>Ni>Co. The calculated correlation coefficients show a high relation among all the studied elements. A high correlation was established between the yield and the amount of photosynthetic pigments ( $r=0.95$ ).

#### Bibliography:

1. Devyatkina, T.F. Application of herbicides is a reserve to improve the quality of spring rapeseed oil seeds under conditions in south areas of the Non-black Earth zone / T.F. Devyatkina, D.V. Bochkarev, A.N. Nikolsky, E.V. Tyukina // *Volga Region Farmland*. - 2022. - № 1 (61). P. 01001. DOI 10.36461/NP.2022.61.1.0052.
2. Zubkova, T.V. Influence of zeolite application on productivity of rapeseed and oil quality obtained from its seeds / T. V. Zubkova, D. V. Vinogradov // *Vestnik of the Altai State Agrarian University*. - 2021. - № 5 (199). - P. 23-29.
3. Prospects for application of organomineral fertilizers on spring rapeseed / T. V. Zubkova, O. A. Dubrovina, D. V. Vinogradov, S. M. Motilyova, V. L. Zakharov // *Vestnik of Michurinsk State Agrarian University*. - 2020. - № 4(63). - P. 35-40.
4. Carre, P. Rapeseed market, worldwide and in Europe / P. Carre, A. Pouzet // *OCL – Oilseeds and fats, Crops and Lipids*. - 2014. - № 21(1). - P. 12.
5. Vinogradov, D. V. Accumulation of heavy metals by soil and agricultural plants in the zone of technogenic impact Indian / D. V. Vinogradov, T. V. Zubkova // *Journal of Agricultural Research*. - 2022. - P. 1-7.
6. Vinogradov, D. V. Ways to increase the productivity of crop rotation in the forest-steppe conditions of the European part of Russia / D. V. Vinogradov, T. V. Zubkova // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 979. - 2022. - P. 12060.
7. Zubkova, T. V. Microelement composition of spring rape experimental plants depending on the specified conditions / T. V. Zubkova, D. V. Vinogradov, V. L. Zakharov // *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. sci.* 979. - 2022. - P. 12094.
8. Pin Koh, L. Biofuels, biodiversity, and people: Understanding the conflicts and finding opportunities / L. Pin Koh, J. Ghazoul // *Biological Conservation*. - 2008. - № 141(10). - P. 2450-2460.
9. Global trends of rapeseed grain yield stability and rapeseed-to-wheat yield ratio in the last four decades / D. P. Rondanini, N. V. Gomez, M. B. Agosti, D. J. Miralles // *European Journal of Agronomy*. - 2012. - № 37(1). - P. 56-65.
10. Loboda, B. P. Application of a zeolite-containing mineral raw materials in crop production / B. P. Loboda // *Agrochimija*. - 2000. - № 6. - P. 78-91.
11. Factor analysis models in enterprise costs management / G. Bakulina, V. Fedoskin, M. Pikushina, V. Kukhar, E. Kot // *International Journal of Circuits, Systems and Signal Processing*. - 2020. - № 14. - P. 232-240.
12. Sangeetha, C. Zeolite and its potential uses in agriculture / C. Sangeetha, P. Baskar // *Agricultural Reviews*. - 2016. - № 37(101). - P. 108.
13. Thermal sensitivity of lipoxygenase and photosynthesis pigments of winter wheat / I. V. Kosakovskaya, L. M. Babenko, T. D. Skaternaya, A. Yu. Ustinova // *Biotechnologia acta*. - 2014. - № 5. - P. 101–107.
14. Katashov, D. A. Influence of phytohormones and sodium selenate on pigment content and productivity of Ratnik (*Brassica napus*) rapeseed plants / D. A. Katashov, V. N. Khryanin // *Izvestiya of higher educational institutions. Volga region. Natural Sciences*. - 2014. - № 1(5). - P. 25–34.
15. Woodward, F. I. Do Plants Really Need Stomata? / F. I. Woodward // *Journal of Experimental Botany*. - 1998. - № 49. - P. 471–80.
16. Mushinskaya, O. A. Transpiration as an integral part of the water regime of plants and its study in species of *Populus L* genus / O. A. Mushinskaya, Z. N. Ryabinina, N. I. Mushinskaya // *Vestnik of OSU*. - 2007. - № 6. - P. 95-99.
17. Trots N. M. Efficiency of phosphogypsum in agrocenosis of spring barley / N. M. Trots, N. V. Borovkova, A. A. Soloviev // *Bulletin Samara State Agricultural Academy* / - 2022. - №1. - P. 3–11. doi: 10.55471/19973225\_2022\_7\_1\_3
18. Lupova, E.I. Biological activity of grey forest soils and oil-plant yields when using the methods of basic cultivation / E.I. Lupova, D.V. Vinogradov // *Volga Region Farmland*. - 2021. - №1 (58). - C.37-4119. Shchur, A. V. Cellulolytic activity of soils at different levels of agrotechnical impact / A. V. Shchur, D. V. Vinogradov, V. P. Valko // *Vestnik of Krasnoyarsk State Agrarian University*. - 2015. - № 7 (106). - P. 45-49.
20. Deficiency of Essential Elements in Crop Plants / S. Tiwari, A. Patel, N. Pandey, A. Raju, M. Singh, S. M. Prasad // *Sustainable Solutions for Elemental Deficiency and Excess in Crop Plants*. - 2020. - P. 19-52.
21. Dospikhov, B. A. Methods of field experiment (with the basics of statistical processing of research results): a textbook for higher agricultural educational institutions / B. A. Dospikhov. – Ed. ster., reprinted from 5th ed. 1985 - Moscow: Alliance, 2014. - 351 p.
22. Xiubin, H. Zeolite application for enhancing water infiltration and retention in loess soil / H. Xiubin, H. Zhanbin // *Resources, conservation and recycling*. - 2001. - № 34(4). - P. 45-52.
23. Pallas, J. E. Photosynthesis, Transpiration, Leaf Temperature, and Stomatal Activity of Cotton Plants under Varying Water Potentials / J. E. Pallas, B. E. Michel, D. G. Harris // *Plant Physiology*. - 1967. - № 42(1). - P. 76–88.
24. Eglinton, G. Leaf Epicuticular Waxes: The waxy outer surfaces of most plants display a wide diversity of fine structure and chemical constituents / G. Eglinton, R. J. Hamilton, 1967.
25. Responding of Long Green Pepper Plants to Different Sources of Foliar Potassium Fertiliser / M. M. El-Mogy, A. M. Salama, H. F. Y. Mohamed, K. F. Abdelgavad, E. A. Abdeldaym // *Agriculture (Polnohospodarstvo)*. - 2019. - № 65. - P. 59–76.
26. Borisenko, V. V. Study of the effect of enriched biohumate "Ecoass" on work of the photosynthetic complex of radish plants / V. V. Borisenko, V. V. Zholobova // *Scientific journal of KubSAU*. - 2015. - № 03(107). - P. 1–9.
27. Ladygin, V. G. Modern ideas about the functional role of carotenoids in eukaryotic chloroplasts / V. G. Ladygin, G. N. Shirshikova // *Journal of General Biology*. - 2006. - № 67(3). - P. 163–189.
28. Ushakov, R.N. Physical and chemical unit of agro-gray soil fertility // R. N. Ushakov, D. V. Vinogradov, N. A. Golovina // *Agrochemical Vestnik*. - 2013. - № 5. - P. 12-13.
29. Fadkin, G. N. Dependence of the balance of nutrients in the "Soil-fertilizer-plant" system on the forms of nitrogen fertilizers in the conditions of the Non-Black Soil Region / G. N. Fadkin, D. V. Vinogradov // *Vestnik of Krasnoyarsk State Agrarian University*. - 2015. - № 6. - P. 13-18.
30. Influence of organomineral fertilizers on accumulation of Cu and Zn in spring rapeseed plants / T. V. Zubkova, D. V. Vinogradov, O. A. Dubrovina, V. L. Zakharov // *Vestnik of KrasSAU*. - 2021. - № 9 (174). - P. 10-15.