

## ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО ГЛАУКОНИТА НА УЛУЧШЕНИЕ ПОЧВЕННОЙ СТРУКТУРЫ

Л. М.-Х. Биккинина, Е. А. Прищепенко, Ш. А. Алиев, И. М. Суханова, М. М. Ильясов

*Татарский научно-исследовательский институт агрохимии и почвоведения,*

*ФИЦ Казанский научный центр РАН,*

*420059, г. Казань, Оренбургский тракт, д. 20а*

*E-mail: liliyaagro@mail.ru*

*Поступила в редакцию 04 марта 2020 г., принята к печати 26 августа 2020 г.*

В работе представлены результаты исследования влияния различных доз и форм глауконита на изменение структурно-агрегатного состава серой лесной среднесуглинистой почвы и её устойчивости к водной эрозии. Установлено, что глаукониты, обладающие ионообменной способностью, являются хорошими биологическими и химическими мобилизаторами, оказывающими положительное влияние на структуру почв. Результаты исследований, проведенных в 2014–2016 гг. в мелкоделяночном полевом опыте с использованием модифицированного глауконита и его макроаналога, свидетельствуют о повышении доли почвенных агрегатов агрономически ценного диапазона размером от 0,25 до 10,0 мм на 11,9–13,7% и 1,5–1,7% соответственно. Оценка водопрочности структуры почвы по количеству почвенных агрегатов размером >0,25 мм показала повышение её водоустойчивости под влиянием модифицированного глауконита на 13,9–15,9%, макроаналога – на 3,4–3,8% к контролю. Значения коэффициента структурности ( $K_c$  1,54–2,05) исследуемой почвы характеризовали её агрегатное состояние как отличное, а коэффициента водопрочности ( $K_w$  0,60–1,03) – как хорошее.

**Ключевые слова:** модифицированный глауконит, минерал, структурно-агрегатный состав, водоустойчивость, почва.

## INFLUENCE OF MODIFIED GLAUCONITES ON SOIL STRUCTURE IMPROVEMENT

L. M.-Kh. Bikkinina, E. A. Prishchepenko, Sh. A. Aliev, I. M. Sukhanova, M. M. Ilyasov

*Tatar Scientific Research Institute of Agrochemistry and Soil Science, FRC Kazan Scientific Center,*

*Russian Academy of Sciences,*

*20a, Orenburgskiy highway, Kazan, Russia, 420059*

*E-mail: liliyaagro@mail.ru*

The paper presents the results of a study of the effect of glauconites, applied at different rates and in different forms, on the structural and aggregate composition of a gray forest sandy loam soil and the soil resistance to water erosion. Glauconites, which have quite high ion-exchange capability, are good biological and chemical mobilizers that have a positive effect on soil structure. Results of the studies carried out in 2014–2016 in a small-scale field experiment using modified glauconite and its macro-analogue, indicate an increase in the proportion of soil aggregates of the agronomically valuable range with a size from 0.25 to 10.0 mm by 11.9–13.7% and 1.5–1.7%, respectively. Evaluation of the water resistance of the soil structure by the number of soil aggregates with a size of >0.25 mm showed an increase in the soil water resistance under the influence of modified glauconite by 13.9–15.9%, macro-analogue – by 3.4–3.8% compared to the control. The values of the structure coefficient ( $K_c$  1.54–2.05) of the studied soil characterized the aggregate state of the soil as excellent, and the coefficient of water resistance ( $K_w$  0.60–1.03) – as good.

**Keywords:** modified glauconite, mineral, structural and aggregate composition, water resistance, soil.

## ВВЕДЕНИЕ

Плодородные почвы характеризуются необходимым запасом усвояемых растениями питательных элементов. Наиболее благоприятной для сельскохозяйственного производства является комковато-зернистая макроструктура почвы с размером агрегатов от 0,25 до 10,0 мм. Рыхлое сложение структурных почв обеспечивает их воздухо- и водопроницаемость, а также устойчивость к водной и ветровой эрозии. Важным свойством структуры почвы является водопрочность, которая препятствует разрушению почвенных агрегатов до размеров менее 0,25 мм (<0,25 мм) при быстром погружении в воду.

Утрата почвенной структуры происходит в результате механического воздействия (культивации, боронования, вспашки), а также вымывания кальция с атмосферными осадками в нижние горизонты. Разрушительное действие оказывают микроорганизмы, переводящие органическое вещество и гумус в минеральные продукты. К ухудшению структурного состояния приводит также ежегодное отчуждение органического вещества почвы с урожаем сельскохозяйственных культур (Белюченко, Славгородская, 2013).

В литературе имеются сведения об улучшении почвенной структуры при использовании различных

структурообразующих веществ – нефтяной битум, торфяной клей (Вершинин, 1958). Однако кратковременность их действия и необходимость внесения значительного количества (более  $10 \text{ т га}^{-1}$ ) для создания водопропрочной структуры стали причиной того, что они не нашли широкого применения в производственных условиях.

Проводились эксперименты с использованием высокомолекулярных полимеров и сополимеров – крилиумов, состоящих из метакриловой и акриловой кислот, действие которых было направлено на улучшение почвенной структуры. Структурообразующие крилиумы способствовали улучшению водопроницаемости почвы. Однако высокая стоимость изготовления химических полимеров и сополимеров, содержащих в своем составе питательные вещества, стала препятствием для их масштабного применения в сельскохозяйственном производстве. Глинистые и суглинистые почвы сохраняли созданную под их влиянием водопропрочную структуру в течение трех-пяти лет, песчаные и супесчаные – один год.

Об изменении структурно-функциональных свойств почв при использовании нетрадиционных источников минеральных сырьевых ресурсов природного происхождения (агроминералов) свидетельствуют результаты исследования Ш. А. Алиева (2009). Автор отмечал увеличение активности поверхности частиц природных минералов в результате тонкого измельчения (фракция менее  $0,1 \text{ мм}$ ), что способствовало повышению продуктивности пахотного слоя. На сорбционные и адсорбционные особенности агроминералов указывал А. Х. Яппаров (2015). Высокая емкость поглощения изучаемых пород оказывала значительное влияние на изменение ионного равновесия в почве, в результате чего увеличивалась ее поглотительная способность.

Наибольший интерес среди агроминералов вызывает глауконит – минерал из группы гидрослюд слоистых силикатов. В значительных количествах он содержится в кварцево-глауконитовых породах (в частности песках), сопутствующих месторождениям конкреционных фосфоритовых руд. Наличие кристаллической структуры с наноразмерными порами и легкоизвлекаемых форм двух- и трехвалентных катионов кальция, магния, калия, железа и микроэлементов придает минералу высокую способность к ионному обмену (Сушеница, 2007).

Зависимость потенциала окультуренных почв от использования агрохимического минерального сырья, обладающего не только богатым составом питательных элементов, но и уникальными физико-химическими свойствами, выявлена в исследованиях M. Rudmin (2017). Об агрономической ценности модифицированных природных ископаемых свидетельствуют выводы, полученные в работах (Borges, 2015; Khan, 2017). По данным R. Singla (2020), механическая активация глауконита способствовала повышению катионообменной способности минерала.

Повышение ионообменной способности глауконита в кислой среде отмечалось в результате механохимической трансформации кальциевой формы

минерала при механической активации с использованием планетарной мельницы при частоте вращения  $100\text{--}600 \text{ мин}^{-1}$  (Куанышева и др., 2014).

Целью исследования являлось изучение влияния модифицированного глауконита на улучшение почвенной структуры в сравнении с его макроаналогом.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились в 2014–2016 гг. в мелкоделяночном полевом опыте в условиях Предволжского агропочвенного района Республики Татарстан (РТ) на серой лесной почве среднесуглинистого гранулометрического состава. Агрохимическая характеристика почвы перед закладкой опыта: содержание гумуса –  $3,3\%$ , подвижного фосфора ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) –  $133,0 \text{ мг кг}^{-1}$ , обменного калия ( $\text{K}_2\text{O}$ ) –  $108,0 \text{ мг кг}^{-1}$ ;  $\text{pH}_{\text{сол.}}$  –  $5,2$ ; гидролитическая кислотность ( $\text{H}_\text{T}$ ) и сумма поглощенных оснований ( $\text{S}_{\text{обм.}}$ ) –  $1,9$  и  $17,8 \text{ ммоль (экв)} 100 \text{ г}^{-1}$  почвы соответственно.

Структурно-агрегатный состав почвы при сухом просеивании характеризовался наличием крупных комков и мелких глыбок (фракция  $>10 \text{ мм}$ ) в количестве  $40,9\%$ , комковато-зернистой макроструктуры размером  $0,25\text{--}10,0 \text{ мм}$  –  $55,5\%$ , пылеватой (фракция  $<0,25 \text{ мм}$ ) –  $3,6\%$ .

В качестве структуроформирующего модифицированного мелиоранта использовался глауконит (кварцево-глауконитовый песок) из Сюндюковского месторождения (РТ), идущий в отвал при выработке фосфоритового слоя.

Химический состав глауконита характеризовался наличием целого ряда элементов питания:  $\text{P}_2\text{O}_5$  –  $2,5\text{--}4,8$ ;  $\text{K}_2\text{O}$  –  $2,0\text{--}8,0$ ; S – до  $1,0$ ; CaO –  $7,9\text{--}20,0$ ; Fe –  $4,7\text{--}7,0$ ; MgO –  $1,2\text{--}4,7\%$ . Минералогический состав: глауконит, кварц, полевой шпат и глинистые минералы – до  $90,0\text{--}95,0\%$ , цеолит –  $5,0\text{--}10,0\%$ . Содержание глауконита в породе варьировалось от  $20$  до  $40\%$  и более.

Модифицированный глауконит был изготовлен в научно-исследовательском инновационно-прикладном центре «Наноматериалы и нанотехнологии» (Казань). Для этого при комнатной температуре готовилась смесь из глауконита, измельченного до порошкообразного состояния (фракция  $<0,25 \text{ мм}$ ), и воды в соотношении  $1:5$ . Затем полученная суспензия подвергалась воздействию ультразвука (УЗУ-0,25). С целью исключения коагуляции агрегатов для диспергации применялась деионизированная вода. Диапазон времени ультразвуковой обработки минерала составил  $5\text{--}20$  минут при амплитуде колебаний ультразвукового волновода  $5,0 \text{ мкм}$ , мощности  $80 \text{ Вт}$  и частоте  $18,5 \text{ кГц}$ . Приготовленная таким образом модифицированная водная суспензия глауконита с размерами частиц от  $80,0$  до  $120,0 \text{ нм}$  применялась в качестве структуроформирующего мелиоранта.

Исследования проводились согласно следующей схеме опыта: I – контроль; II – глауконит в дозе  $15 \text{ т га}^{-1}$ ; III – глауконит в дозе  $20 \text{ т га}^{-1}$ ; IV – модифицированный глауконит в дозе  $30 \text{ кг га}^{-1}$ ;

V – модифицированный глауконит в дозе 40 кг га<sup>-1</sup>;  
VI – модифицированный глауконит в дозе 50 кг га<sup>-1</sup>.

Модифицированный глауконит и его макроаналог вносились в почву весной в первый год опыта, заделка проводилась по вспаханной почве под культивацию на глубину 12–14 см.

Повторность опыта трехкратная. Площадь делянок составляла 20 м<sup>2</sup>, расположение – рендомизированное.

Образцы почв для определения структурно-агрегатного состояния отбирались из пахотного слоя (0–20 см) перед закладкой опыта и ежегодно осенью. Массовая доля почвенных фракций различных размеров определялась методами «сухого» и «мокрого» агрегатного анализа в соответствии с методикой, описанной в работе (Медведев, 2008).

Определение содержания агрегатов по методу «сухого» агрегатного анализа заключалось в просеивании приготовленной воздушно-сухой почвы без сильных встряхиваний через колонку сит диаметром 10,0; 7,0; 5,0; 3,0; 2,0; 1,0; 0,5 и 0,25 мм. Полученные фракции частиц различных размеров (>10,0; 10,0–7,0; 7,0–5,0; 5,0–3,0; 3,0–2,0; 2,0–1,0; 1,0–0,5; 0,5–0,25 и <0,25 мм) взвешивались на технических весах, затем рассчитывались их массовые доли в процентах от исходной массы (1 кг) навески почвы, взятой для анализа.

Определение водопрочных агрегатов в средней пробе из фракций, полученных при «сухом» просеивании (за исключением частиц размером менее 0,25 мм), проводилось методом «мокрого» агрегатного анализа. Почвенные агрегаты под водой пропускались через набор сит с отверстиями 5,0; 3,0; 2,0; 1,0; 0,5 и 0,25 мм. Содержание фракций размером <0,25 мм определялось по разности суммы агрегатов: 100% –  $\sum$  всех фракций >0,25 мм, %.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Выбор глауконита в качестве активнорействующего структурообразующего

вещества был обусловлен его значительными запасами как на территории Российской Федерации, так и РТ, низкой себестоимостью и доступностью месторождений.

При изучении топографической поверхности глауконита и его модифицированного аналога визуально отмечались существенные различия. Поверхность измельченного макроаналога представляла собой тонкодисперсный порошок с различной структурой строения и размерами отдельностей 200,0–300,0 нм. Визуализирована система частиц, имеющих плоскую лепесткообразную и овальную формы (рис. 1).

Ультразвуковое воздействие способствовало изменению данной системы (разделению на составляющие частицы, распределению по размерам, геометрической и удельной поверхности) и получению ультракристаллического порошка с размерами частиц 80,0–120,0 нм. Модифицированный глауконит характеризовался высокой активностью. Диспергированные частицы минерала существенно отличались по форме и величине от исходного макроаналога, имели продолговатую, косточкообразную и сферическую формы (рис. 2). При этом многократно увеличивались емкость поглощения и поверхность натяжения по сравнению с обычной формой, а также улучшались сорбционные и каталитические свойства глауконита, что способствовало ускорению процессов обмена элементами (ионами) в почве и реакции в почвенно-поглощающем комплексе.

В табл. 1 представлены результаты структурного анализа почвы методом фракционирования на ситах в воздушно-сухом состоянии. Под влиянием обычного глауконита, внесенного в дозах 15 и 20 т га<sup>-1</sup>, количество агрегатов агрономически ценного диапазона с размером частиц 0,25–10,0 мм повысилось на 1,7 и 1,5% соответственно по отношению к контролю.

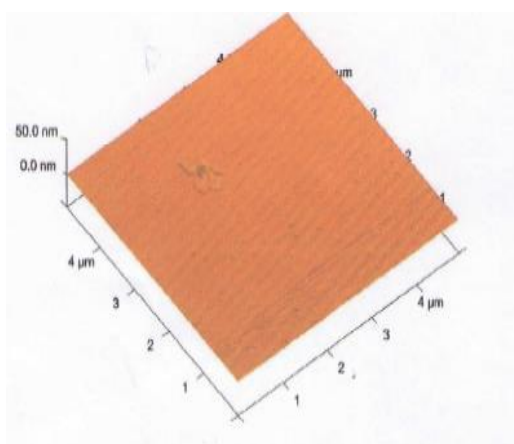


Рис. 1. АСМ. Изображение топографии поверхности глауконита, размер частиц 200,0–320,0 нм

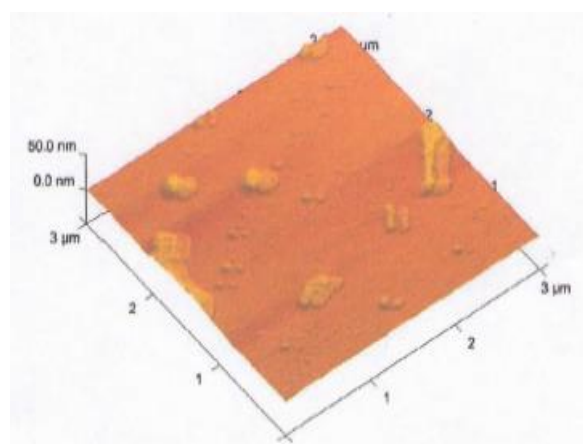


Рис. 2. АСМ. Изображение топографии поверхности модифицированного глауконита, размер частиц 80,0–120,0 нм

Таблица 1. Влияние модифицированного глауконита и его макроаналога на структурно-агрегатное состояние серой лесной среднесуглинистой почвы

| Варианты                                            | Массовая<br>доля частиц<br>(%) 0,25–10,0 мм | Кс   | Массовая<br>доля частиц<br>(%) >0,25 мм | Кв   |
|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------|------|-----------------------------------------|------|
| Контроль                                            | 55,5                                        | 1,40 | 34,9                                    | 0,54 |
| Глауконит – 15 т га <sup>-1</sup>                   | 57,2                                        | 1,54 | 38,3                                    | 0,62 |
| Глауконит – 20 т га <sup>-1</sup>                   | 57,0                                        | 1,55 | 38,7                                    | 0,63 |
| Модифицированный глауконит – 30 кг га <sup>-1</sup> | 67,4                                        | 2,02 | 48,8                                    | 0,95 |
| Модифицированный глауконит – 40 кг га <sup>-1</sup> | 69,0                                        | 2,05 | 50,7                                    | 1,03 |
| Модифицированный глауконит – 50 кг га <sup>-1</sup> | 69,2                                        | 2,04 | 50,8                                    | 1,03 |
| НСП <sub>05</sub>                                   | 0,13                                        | 0,02 | 0,14                                    | 0,02 |

При использовании модифицированного глауконита увеличение содержания ценной фракции почвы в зависимости от внесенных доз минерала составило: 30 кг га<sup>-1</sup> – 11,9%, 40 кг га<sup>-1</sup> – 13,5%, 50 кг га<sup>-1</sup> – 13,7%.

Коэффициент структурности почвы, рассчитанный как отношение числа агрономически ценных агрегатов к суммарному количеству частиц размером >10,0 мм и <0,25 мм, свидетельствовал об улучшении почвенной структуры. Его значения характеризовали агрегатное состояние почвы как отличное (>1,5). Высокие показатели коэффициента структурности (К<sub>с</sub>) почвы (2,02; 2,05 и 2,04) отмечены в вариантах с внесением модифицированного глауконита в дозах 30, 40 и 50 кг га<sup>-1</sup> соответственно.

Качественная характеристика водоустойчивости почвенной структуры проводилась методом «мокрого» просеивания по суммарному количеству почвенных фракций размером >0,25 мм. Коэффициент водопрочности агрегатов (К<sub>в</sub>) возрастал пропорционально дозам внесения глауконита и его модифицированного аналога.

В контрольном варианте по суммарному количеству почвенных агрегатов (34,9%) водоустойчивость почвы характеризовалась как удовлетворительная. Под влиянием глауконита, внесенного в дозах 15 и 20 т га<sup>-1</sup>, увеличение массовой доли агрегатов составило 3,4% и 3,8% соответственно по отношению к контролю. Согласно классификации, водопрочность почвы в указанных вариантах опыта сохранялась на уровне удовлетворительного состояния.

Внесение модифицированного глауконита в дозах 30, 40 и 50 кг га<sup>-1</sup> способствовало повышению водоустойчивости структуры почвы на 13,9; 15,8 и 15,9%, что соответствовало хорошему состоянию.

Повышение устойчивости почвы к водной эрозии за короткий срок, по мнению авторов, связано с более активным насыщением почвенных коллоидов двух- и трехвалентными катионами модифицированного глауконита, что способствовало образованию прочных структурных отдельностей, не размываемых водой. Высокая эффективность диспергированного глауконита объясняется

образованием избыточной свободной энергии более развитой поверхности гетерофазного взаимодействия по сравнению с макроаналогом.

### ВЫВОДЫ

1. В первый же год опыта было отмечено увеличение количества агрономически ценных почвенных агрегатов комковато-зернистой структуры размером 0,25–10,0 мм под влиянием модифицированного глауконита, действие которого сохранялось в течение трех лет.

2. При сухом просеивании выявлено, что доля агрономически ценных почвенных отдельностей под влиянием модифицированного глауконита увеличилась на 11,9–13,7%, макроаналога – на 1,5–1,7% в сравнении с контролем. Результаты определения водоустойчивости почвенных агрегатов методом мокрого просеивания свидетельствуют об увеличении содержания фракций (>0,25 мм), способных противостоять размыванию в почве: под влиянием модифицированного глауконита – на 13,9–15,9%, макроаналога – на 3,4–3,8% по отношению к контролю.

4. Высокий структурообразующий эффект модифицированного глауконита объясняется образованием более развитой удельной поверхности высокодисперсных агломератов и агрегатов (ассоциации первичных частиц и кристаллитов), что способствовало повышению числа активных центров, стимулирующих процессы взаимодействия окружающих частиц с увеличением числа их контактов, в том числе в гетерофазном состоянии.

5. Наилучший результат был достигнут при применении модифицированного глауконита, что позволяет рекомендовать его к использованию в качестве структуроформирующего мелиоранта для улучшения структурно-агрегатного состояния почвы.

## Список литературы

- Алиев Ш. А., Ишкаев Т. Х., Яппаров А. Х. Приемы применения местных агоруд в качестве удобрений в земледелии Среднего Поволжья. Казань: Центр инновационных технологий, 2009. 240 с.
- Белюченко И. С., Славгородская Д. А. Изменение агрегатного состояния чернозёма обыкновенного при внесении органоминерального компоста // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2013. № 4. С. 23–25.
- Вершинин П. В. Почвенная структура. М.: Издательство академии наук СССР, 1958. С. 148–151.
- Куанышева Г. С., Балгышева Б. Д., Уракаев Ф. Х. Модифицированные глаукониты и их сорбционные свойства // Химия в интересах устойчивого развития. 2014. № 22. С. 39–44.
- Медведев В. В. Структура почвы (методы, генезис, классификация). Харьков: Изд. «13 типография», 2008. С. 402–405.
- Сушеница Б. А. Фосфатный уровень почв и его регулирование. М.: Колос, 2007. 376 с.
- Яппаров А. Х., Биккинина Л. М.-Х., Яппаров И. А., Алиев Ш. А., Ежкова А. М., Ежков В. О., Газизов Р. Р. Изменение свойств и продуктивности почв чернозема выщелоченного и серой лесной почвы под влиянием мелиорантов // Почвоведение. 2015. № 10. С. 1267–1276. DOI: 10.7868/S0032180X15100135.
- Borges R., Brunatto S. F., Leitao A. A., De Carvalho G. S. G., Wypych F. Solid-state mechano-chemical activation of clay minerals and soluble phosphate mixtures to obtain slow release fertilizers // Clay minerals, 2015. v. 50. pp. 153–162.
- Rudmin M., Banerjee S., Mazurov A., Makarov B., Martemyanov D. Economic potential of glauconitic rocks in Bakchar deposit (S-E Western Siberia) for alternate potash fertilizer // Applied Clay Science, 2017, [y](#). 12, pp. 225–233.
- Khan M. R., Rizvi T. F., Ghorbanpour M., Manika K., Varma A. Application of nanofertilizer and nanopesticides for improvements in crop production and protection // Nano science and Plant Soil Systems, 2017, v. 48, pp. 405–427.
- Singla R., Alex T. C., Kumar R. On mechanical activation of glauconite: Physicochemical changes, alterations in exchange capacity and mechanisms // Powder Technology, 2020, pp. 337–351.

## References

- Aliyev Sh. A., Ishkayev T. Kh., Yapparov A. Kh. *Priyemy primeneniya mestnykh agorud v kachestve udobreniy v zemledelii Srednego Povolzh'ya* [Methods of using local agro-ores as fertilizers in agriculture of the Middle Volga region]. Kazan: Innovation Technology Center Publishing House, 2009, 240 p.
- Belyuchenko I. S., Slavgorodskaya D. A. *Izmeneniye agregatnogo sostoyaniya chernozema obyknovennogo pri vnesenii organo-mineral'nogo komposta* [Changes in the aggregate state of ordinary chernozem when adding organomineral compost] // *Doklady Rossiyskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk*, 2013, no. 4, pp. 23–25.
- Vershinin P. V. *Pochvennaya struktura* [Soil structure]. Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1958, pp. 148–151.
- Kuanysheva G. S., Balgysheva B. D., Urakaev F. Kh. *Modifitsirovannyye glaukonity i ikh sorbtionnyye svoystva* [Modified glauconites and their sorption properties] // *Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya*, 2014, no. 22, pp. 39–44.
- Medvedev V. V. *Struktura pochvy (metody, genezis, klassifikatsiya)* [Soil structure (methods, genesis, classification)]. Khar'kov: Publishing House «13 tipografiya», 2008, pp. 402–405.
- Sushenitsa B. A. *Fosfatnyy uroven' pochv i yego regulirovaniye* [Soil phosphate level and its regulation]. Moscow: Publishing House Kolos, 2007, 376 p.
- Yapparov A. Kh., Bikkinina L. M.-Kh., Yapparov I. A., Aliyev Sh. A., Ezhkova A. M., Ezhkov V. O., Gazizov R. R. *Izmeneniye svoystv i produktivnosti pochv chernozema vyshchelochennogo i seroy lesnoy pochvy pod vliyaniyem meliorantov* [Changes in the properties and productivity of soils leached chernozem and gray forest soil under the influence of meliorants] // *Pochvovedeniye*, 2015, no. 10, pp. 1267–1276. DOI: 10.7868/S0032180X15100135.
- Borges R., Brunatto S. F., Leitao A. A., De Carvalho G. S. G., Wypych F. Solid-state mechano-chemical activation of clay minerals and soluble phosphate mixtures to obtain slow release fertilizers // Clay minerals, 2015. v. 50. pp. 153–162.
- Rudmin M., Banerjee S., Mazurov A., Makarov B., Martemyanov D. Economic potential of glauconitic rocks in Bakchar deposit (S-E Western Siberia) for alternate potash fertilizer // Applied Clay Science, 2017, [y](#). 12, pp. 225–233.
- Khan M. R., Rizvi T. F., Ghorbanpour M., Manika K., Varma A. Application of nanofertilizer and nanopesticides for improvements in crop production and protection // Nano science and Plant Soil Systems, 2017, v. 48, pp. 405–427.
- Singla R., Alex T. C., Kumar R. On mechanical activation of glauconite: Physicochemical changes, alterations in exchange capacity and mechanisms // Powder Technology, 2020, pp. 337–351.