

Эффекты стабилизации гумусовых соединений под действием бентонитовой породы как критерии экологической устойчивости агроэкосистемы дерново-подзолистых почв

© 2021. А. В. Козлов¹, к. б. н., доцент, зав. лабораторией,
А. Х. Куликова², д. с.-х. н., профессор, зав. кафедрой,
И. П. Уромова¹, д. с.-х. н., доцент, зав. науч.-обр. центром,
Р. И. Румянцев¹, магистрант,

¹Нижегородский государственный педагогический университет имени К. Минина,
603950, Россия, г. Нижний Новгород, ул. Ульянова, д. 1,

²Ульяновский государственный аграрный университет имени П. А. Столыпина,
432017, Россия, г. Ульяновск, бульвар Новый Венец, д. 1,
e-mail: a_v_kozlov@mail.ru

Статья содержит анализ физико-химических изменений в системе «гумусовые вещества – бентонит», произошедших в иловой и коллоидной фракциях дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы в течение трёх лет взаимодействия с бентонитовой глиной (Зырянское месторождение) в условиях агроэкосистемы (северная подзона смешанных лесов, Нижегородская область). Опыт – 3-летний микрополевой эксперимент (2015–2017 гг.), проведённый на территории ООО «Элитхоз» (Борский муниципальный район). Бентонит вносили на делянки (учётная площадь каждой – 1 м²) в июле 2014 г. в дозах из расчёта 3, 6 и 12 т/га, на которых впоследствии выращивали районированные по Волго-Вятскому региону сорта озимой пшеницы, ячменя и гороха посевного. Инфракрасный анализ коллоидной составляющей почвы показал наличие в исследуемых образцах новых кремнийсодержащих органоминеральных комплексов, а выявленные типы химических соединений прямым образом указывают на участие кремния в их образовании. Применение бентонита способствовало сохранению в почве естественного содержания гумуса, что также может подтверждать присутствие взаимодействия кремниевых веществ породы (моно- и поликремниевые кислоты, кремнекислородные пакеты) с органической частью и, как следствие, удержанию её от минерализации. Описанные в работе физико-химические эффекты превращения кремниевых веществ с органическим веществом почвенно-поглощающего комплекса, приводящие к упрочнению элементарных гумусовых частиц и повышению их устойчивости к деградации, возможно расценивать в качестве критериев экологической устойчивости подзолистых агропочв в условиях применения бентонитов в качестве мелиорантов комплексного стабилизирующего воздействия.

Ключевые слова: дерново-подзолистая почва, бентонит, почвенные коллоиды, кремнийсодержащие реакционно-активные центры, стабилизация органического вещества, экологическая устойчивость агроэкосистемы.

Effects of humus compounds stabilization by influence of bentonite rock as criteria for environmental sustainability of sod-podsolic soil agroecosystems

© 2021. A. V. Kozlov¹ ORCID: 0000-0003-3034-6566, A. H. Kulikova² ORCID: 0000-0002-7327-3742,
I. P. Uromova¹ ORCID: 0000-0003-1000-3603, R. I. Rumyantsev¹ ORCID: 0000-0003-2452-5584

¹Minin Nizhny Novgorod State Pedagogical University,
1, Ulyanova St., Nizhny Novgorod, Russia, 603950,

²Stolypin Ulyanovsk State Agrarian University,
1, Novyy Venets Boulevard, Ulyanovsk, Russia, 432017,
e-mail: a_v_kozlov@mail.ru

The article contains an analysis of physical and chemical changes in system of “humus substances – bentonite”, which occurred in sludge and colloidal fractions of sod-podsolic light loamy soil during 3 years of interaction with bentonite clay (Zyryan deposit) in the conditions of the agroecosystem (northern subzone of forests, Nizhny Novgorod region). The 3-year microfield experiment (2015–2017) has been conducted on the territory of Elitkhoz LLC in the Borsky municipal district. Bentonite was added to the divisions (accounting area of each is 1 m²) during July of 2014 in doses at rate of 3, 6 and 12 ton/ha, on which varieties of winter wheat, barley and seed peas adapted for the Volga-Viatka region were

grown. Infrared analysis of soil colloidal component showed presence of new silicon-containing organomineral complexes in studied samples, and identified types of chemical compounds directly indicate participation of silicon in their formation. The use of bentonite contributed to preservation of natural content of humus in soil, which can also confirm presence of silicon substances interaction of the rock (mono- and polysilicic acids, silicic-oxygen packets) with the organic part and, as a result, to keep it from mineralization. The physicochemical effects of silicon substances interaction with organic substance of soil-absorbing complex described in work, leading to strengthening of elementary humus particles and increasing their resistance to degradation, can be regarded as criteria for environmental stability of podzolic agrosols under conditions of using bentonites as meliorants of complex stabilizing effect.

Keywords: sod-podzolic soil, bentonite, soil colloids, silicon-containing reaction-active centers, stabilization of organic matter, ecological stability of the agroecosystem.

Органическое вещество почвы является главной экологически функциональной частью почвенного покрова любого ландшафта. Множество компонентов органической матрицы формируют устойчивый биохимический статус и активность физико-химического взаимодействия вещества в почвенном профиле, впоследствии оказывающие решающее воздействие на эволюцию всех генетических горизонтов тела почвы [1, 2].

В почвах естественных и агроэкосистем состав и свойства гумусовых компонентов определяют уровень их потенциального и эффективного плодородия, необходимого для экологической стабильности естественных фитоценозов и устойчивой продуктивности агрофитоценозов. В частности, органическое вещество почв формирует мобильный фонд элементов питания для растений и микробиоты, который высвобождается при минерализации лёгких фракций гумуса, а также при ионнообменных процессах между почвенным раствором и гуминовыми коллоидами. Сильный оструктурирующий эффект органо-минеральной матрицы в дневных горизонтах и удержание в ней нейтральной реакции почвенной жидкости происходит за счёт Са- и Mg-гуматов [3–5]. В связи с этим содержание и состав гумусовых соединений в почве является одним из ключевых критериев экологической пластичности и устойчивости почвенного покрова, а стратегически значимым направлением развития современной агроэкологии является сохранение естественного органического вещества в пахотных землях и его стабилизация за счёт агрохимических средств и мелиоративных приёмов [4, 6, 7].

Генезис почв подзолистого типа характеризуется достаточно низким содержанием органического вещества, в том числе и специфической (гумусовой) природы, которое в большей доле представлено фульвокислотами и негидролизующим гуминовым остатком [8]. По этой причине удержание уровня гумусированности подзолистых почв при их сельскохо-

зяйственном использовании является ключевым вопросом агрономического почвоведения.

Современным отечественным агроэкосистемам, как правило, не хватает обеспечения сельскохозяйственных ландшафтов научно обоснованным количеством известковых мелиорантов и органических удобрений, которые, по сути, являются единственными веществами, выполняющими экологическую функцию сохранения естественного органического вещества почвенного покрова от деградации [9]. Вследствие таких тенденций в настоящее время идёт активный поиск и апробация альтернативных веществ, которые способствовали бы длительной стабилизации свойств органической матрицы почвы и оптимизации её плодородия. К таковым, в частности, относятся различные глины и породы цеолитового ряда. Рядом исследований выявлено, что данные материалы представляют собой носители специфических активных кремниевых соединений, в том числе каркасного и аморфного строения [10–12], применение которых в условиях агроэкосистем в качестве мелиорантов пролонгированного действия способствует стабилизации ионообменной активности и кислотно-основной буферности почв, восполнению почвенного раствора биогенными элементами питания, повышению физиологической устойчивости растений к фитопатогенам и снижению степени подвижности ряда экотоксикантов [13–18].

В настоящее время одним из нераскрытых вопросов остаётся изучение эффектов от взаимодействия рассматриваемых пород с органической частью почвы. По причине того, что почвенный гумус формирует большинство биогеоценотических и экологических функций в агроэкосистеме, решение вопросов о мерах стабилизации органической составляющей почвы позволит не только дополнить понятие о её устойчивости критериями механизмов органо-минерального взаимодействия рассматриваемых материалов с почвенно-поглощающим комплексом, но и предложить

агропромышленному сектору один из способов по усилению стабильности почвенного плодородия в агроэкосистемах, что является одним из приоритетных вопросов охраны почв [4, 9, 17].

Цель работы – изучение воздействия бентонитовой глины на состояние гумусовых веществ в иловой и коллоидной фракциях дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы при помощи инфракрасного спектрального анализа с последующим определением эффектов стабилизации почвенного органического вещества в качестве возможных критериев экологической устойчивости почвы на основе анализа физико-химического механизма взаимодействия в системе «почва-порода».

Объекты и методы исследования

Объектами исследования явились бентонит сыромолотый, просеянный и подсушенный Зырянского месторождения (Курганская область, ООО «Бентонит Кургана») и дерново-подзолистая легкосуглинистая почва Нижегородской области. Опыт был заложен в 2014 г. на одном из полей картофелеводческого предприятия ООО «Элитхоз» (д. Филипповское, Борский муниципальный район Нижегородской области, координаты: 56°31'13,00" с. ш. 44°06'57,37" в. д.). В опыте изучали бентонитовую породу, однократно внесённую в гумусо-аккумулятивный слой почвы в июле 2014 г. В начале сентября на делянки высевали озимую пшеницу сорта Московская 39, урожайность которой учитывали на следующий (2015) год. В 2016 г. на эти же делянки высевали ячмень сорта Велес, в 2017 г. – горох посевной сорта Чишминский 95. Исследование представляло собой 3-х летний 4-х вариантный микрополевой опыт. Варианты опыта: 1. Контроль; 2. Бентонит в дозе 3 т/га – Б₃; 3. Бентонит в дозе 6 т/га – Б₆; 4. Бентонит в дозе 12 т/га – Б₁₂. Размер учётной площади делянки – 1 м², по-

вторность – 4-х кратная, расположение всех делянок опыта было рандомизированным.

Почва опытного участка дерново-подзолистая среднедерновая неглубокоподзоленная неоглеенная легкосуглинистая, сформированная на покровном суглинке. По Международной классификации почв WRB – Umbric ALBELUVISOLS, по КиДПП [8] – тип дерново-элювозём типичный: AY-EL-BEL-BT-D (C). На момент начала исследований почва имела средний уровень физико-химических и агрохимических показателей.

Бентонит – рыхлая мелкопористая полиминеральная глинистая порода сизо-серого цвета вулканогенно-осадочного генезиса, которая состоит из Са-Mg-монтмориллонита, карбонатов лёгких металлов, каолинита и иных минералов [19]. Некоторые химические свойства Курганского бентонита представлены в таблице 1.

Вследствие активной физико-химической реакционной способности бентонитов и их податливости к биохимической минерализации глины расцениваются как вещества, стабилизирующие кислотно-основные и ионообменные свойства почв, а также как повышающие эффективное плодородие почвенного покрова и агроэкологическую устойчивость агроэкосистем [12, 13, 20].

Почвенные образцы отбирали ежегодно в течение трёх лет в дни уборки урожая сельскохозяйственных культур. Из образцов выделяли илово-коллоидную фракцию (частицы размером менее 0,001 мм) методом пипетки по варианту Качинского и анализировали на ИК-Фурье-спектрометре ФСМ 2201 (ООО «Инфраспек», Россия). Качественная оценка функционального состава илово-коллоидной фракции проводилась по общепринятым справочникам [21, 22]. Также в образцах почвы определяли содержание гумуса по методике Тюрина (ГОСТ 26213-91) спектрофотометрическим способом на спектрофотометре ПЭ-5400ВИ (ООО «Экротхим», Россия).

Таблица 1 / Table 1

Химический состав бентонитовой глины Курганского месторождения
Chemical composition of bentonite clay of the Kurgan deposit

Форма соединения в породе Compound form in rock	Ионообменная ёмкость, мг-экв./100 г Ion-exchange capacity, mg-eq./100 g	Элемент в оксидной форме (% на абс.-сух. вещество) / Element in oxide form (% on absolute dry substance)				
		CaO	MgO	P ₂ O ₅	K ₂ O	SiO ₂
Подвижная форма, мг/100 г Mobile form, mg/100 g	80–150	27,89	30,18	1,65	0,87	1050
Валовая форма, % Total form, %		1,82– 2,20	1,42– 4,56	0,04– 0,12	0,69– 1,41	54,8– 69,3

Исследование проводили на базе Эколого-аналитической лаборатории мониторинга и защиты окружающей среды и научно-образовательного центра «Химия молекул и материалов» НГПУ им. К. Минина (2014–2017 гг.). Статистическую обработку результатов выполняли методом дисперсионного анализа данных по [23] с использованием пакета Ms. Excel 2007.

Результаты и обсуждение

Идентификация индивидуальных соединений на основе инфракрасного анализа (ИК-анализа) позволяет изучить органоминеральные взаимодействия в почвенном веществе и, как следствие, предположить возможные направления протекания элементарных процессов на разных этапах эволюции почвенного покрова [21].

В таблице 2 представлен набор и интенсивность зафиксированных инфракрасных спектров иловой и коллоидной фракций, экстрагированных из дерново-подзолистой почвы с делянок варианта Б₆ (бентонит в дозе 6 т/га).

ИК-анализ коллоидной составляющей почвы показал наличие новых кремнийсо-

держащих органоминеральных комплексов в исследуемых образцах. Взаимодействие бентонита и тонкодисперсных фракций почвы привело к появлению органосиланов (R_nSiH_{4-n}) в небольшой концентрации (935 cm^{-1} – слабый пик) и сопряжённых колец пиридинов и хинолинов (слабая полоса поглощения – двойной пик 1219 cm^{-1} , средняя полоса – пик 1552 cm^{-1}). Выявленные типы химических соединений прямым образом указывают на формирование органоминеральных кремнийсодержащих комплексов в исследуемой почве, а также на участие кремния в их образовании.

В образцах почвы варианта с внесением бентонитовой глины в дозе 6 т/га были обнаружены кремнийсодержащие соединения: цикло-формы $(R_2SiO)_4$ в низких концентрациях (очень слабая полоса поглощения – пик 1065 cm^{-1}), а также выявлено наличие эфирных $(Si-O-CH_3)$ связей (очень слабая полоса поглощения – пик 1108 cm^{-1}). Появление полос поглощения в 2958 cm^{-1} и 1466 cm^{-1} указывает на наличие в исследуемых образцах почвы азотсодержащих соединений, в частности, нитрозаминов.

В образцах также были идентифицированы двойные пики поглощения в области 533 cm^{-1}

Таблица 2 / Table 2

ИК-спектральные полосы поглощения иловой и коллоидной фракций дерново-подзолистой почвы, обработанной бентонитом (вариант Б₆, 6 т/га) / IR-spectral bands of absorption of silt and colloidal fractions of sod-podsolic soil, treated with bentonite (variant B₆, 6 ton/ha)

Длина волны (cm^{-1}) Wave length (cm^{-1})	Интенсивность поглощения Uptake rate	Возможные химические связи (вещества) Possible chemical linkages (substances)
533	очень слабая полоса	неорганические вещества / inorganic matters
633	very weak strip	алкины / alkynes
935	слабая полоса weak strip	R_nSiH_{4-n} (органосиланы) / organosilanes
978		HRC=CR'H
1003		R-O-O-R (перекиси) / peroxides
1065	очень слабая полоса	цикло-формы $(R_2SiO)_4$ / cyclo-forms
1108	very weak strip	Si-O-CH ₃
1219	слабая полоса	пиридины и хинолины (сопряжённые кольца) pyridines and quinolines (conjugated rings)
1256	weak strip	Si-CH ₃
1466	очень слабая полоса very weak strip	N-N=O (нитрозамины) / nitrosamines
1552	средняя полоса midland strip	пиридины и хинолины (сопряжённые кольца) pyridines and quinolines (conjugated rings)
1755	очень слабая полоса very weak strip	циклические ангидриды / cyclic anhydrides
2859	слабая полоса weak strip	-CH ₂ -
2927		-CH ₂ -
2958		RNH ₃ ⁺ -

Таблица 3 / Table 3

Содержание гумуса в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в зависимости от дозы бентонитовой глины (2015–2017 гг.) / Humus content in sod-podsolic sandy loamy soil depending on bentonite clay dose (2015–2017)

Вариант Variant	2015 год 2015 year		2016 год 2016 year		2017 год 2017 year		В среднем за 3 года Average of 3 years	
	H*	± ch.**	H	± ch.**	H	± ch.**	H	± ch.**
Контроль Control	1,21	–	1,24	–	1,22	–	1,22	–
B ₃ / B ₃	1,23	0,02	1,27	0,03	1,26	0,04	1,25	0,03
B ₆ / B ₆	1,26	0,05	1,29	0,05	1,28	0,06	1,27	0,05
B ₁₂ / B ₁₂	1,27	0,06	1,29	0,05	1,27	0,05	1,27	0,05
Фиш.f ₀₅ /НСР ₀₅ Fish. ₀₅ /LSD ₀₅ ***	6,65/0,04		4,18/0,04		6,37/0,03		–	–

Примечание: * – содержание гумуса в почве, %; ** – изменение содержания гумуса в почве опытного варианта по отношению к контрольному, %; *** – Фиш.f₀₅ – расчётный критерий Фишера в сравнении вариантов при статистическом уровне значимости $p < 0,05$ ($F_1 = 3,86$ – теоретический критерий Фишера при $n_1 = 3$ и $p < 0,05$) и НСР₀₅ – наименьшая существенная разность при статистическом уровне значимости $p < 0,05$.

Note: * – humus content in soil, %; ** – change of humus content in soil of test variant relative to control version, %; Fish.₀₅ is the calculated Fisher criterion in the comparison of variants with a statistical significance level of $p < 0.05$ ($F_1 = 3.86$ is the theoretical Fisher criterion with $n_1 = 3$ and $p < 0.05$) and LSD₀₅ – is the least significant difference at statistical significance level $p < 0.05$.

и 633 см^{-1} , которые указывают на неорганическую часть почвенных коллоидов и наличие в них неопредельных бескислородных органических соединений.

Данные таблицы 3 отражают содержание специфического органического вещества (гумуса) в почве в зависимости от дозы бентонита.

Было установлено, что в течение трёх лет взаимодействия бентонита с почвой содержание гумуса, как минимум, сохранялось на исходном (контрольном) уровне, а в некоторых вариантах имело статистически подтверждённое увеличение. В частности, в вариантах с дозами в 6 и 12 т/га (B₆ и B₁₂) содержание гумуса в почве незначительно повышалось относительно контрольных значений. В среднем за три года проведения эксперимента был выявлен стабилизирующий эффект в накоплении гумусовых компонентов в почве.

Исходная бентонитовая порода практически не содержит органических компонентов, а в проведённом опыте какие-либо сторонние органосодержащие вещества не участвовали. В связи с этим предполагается, что за счёт взаимодействия активных кремнийсодержащих агентов и, в частности, каркасных пакетов минералов породы и поликремниевых кислот, высвобождающихся при химической деструкции вещества бентонита в почве, с её органической частью активизируются процессы стабилизации гуминовых кислот в гумусо-аккумулятивном горизонте, вследствие чего происходит ингибирование процес-

сов физико-химического разрушения гумуса. Данная гипотеза может быть подтверждена удержанием концентрации гумуса в почве в течение трёх лет ведения опыта.

Физико-химические эффекты взаимодействия минеральной составляющей бентонитовой глины с тонкодисперсной частью дерново-подзолистой почвы, очевидно, подтверждают стабилизацию её органического вещества, тем самым удерживая её от разрушения. В связи с этим наличие данных превращений позволяет расценивать их как критерии экологической устойчивости почв подзолистого ряда в условиях агроэкосистем, а применение бентонита – в качестве мелиоранта комплексного стабилизирующего действия.

Заключение

В проведённом исследовании выявлены эффекты стабилизирующего воздействия бентонитовой глины на содержание гумусовых компонентов, которое выражалось в сохранении их концентраций на уровне контрольной почвы за счёт образования различных связей между гуматами и минералами породы, а также за счёт поликонденсации кремния на органоминеральной матрице за счёт образования кремнийорганических связей (Si–CH₃; Si–O–CH₃).

Выявленное физико-химическое взаимодействие между активной частью вещества бентонита и тонкодисперсной фракцией

дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы приводит к упрочнению элементарных гумусовых частиц и повышению их устойчивости к деградации. Данные эффекты возможно расценивать в качестве критериев экологической устойчивости исследуемых подзолистых агропочв в условиях применения бентонитов в качестве мелиорантов комплексного стабилизирующего воздействия.

References

1. Chukov S.N. Formation and role of humic substances in the biosphere // *Theoretical and Applied Ecology*. 2015. No. 1. P. 8–12 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2015-1-008-012
2. Griffiths B.S., Bonkowski M., Roy J., Ritz K. Functional stability, substrate utilisation and biological indicators of soils following environmental impacts // *Applied Soil Ecology*. 2001. V. 16. No. 1. P. 49–61. doi: 10.1016/S0929-1393(00)00081-0
3. Bezuglova O.S., Gorbov S.N., Polienko E.A., Tagiverdiev S.S., Karpushova A.V., Chursinova K.V. Monitoring of humus state and determination of humus content in cells of different genesis biosphere // *Theoretical and Applied Ecology*. 2015. No. 1. P. 104–108 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2015-1-106-109
4. Dobrovolskiy G.V., Nikitin E.D. Ecology of soils. Teaching about environmental functions of soils. Moskva: Izdatelstvo Moskovskogo universiteta, 2012. 412 p. (in Russian).
5. Nortcliff S. Standardization of soil quality attributes // *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2002. V. 88. No. 2. P. 161–168. doi: 10.1016/S0167-8809(01)00253-5
6. Cornelis J.T., Delvaux B., Georg R.B., Lucas Y., Ranger J., Opfergelt S. Tracing the origin of dissolved silicon transferred from various soil–plant systems towards rivers: a review // *Biogeosciences*. 2011. V. 8. No. 1. P. 89–112. doi: 10.5194/bg-8-89-2011
7. Kuan H.L., Hallett P.D., Griffiths B.S., Gregory A.S., Watts C.W., Whitmore A.P. The biological and physical stability and resilience of a selection of Scottish soils to stresses // *European Journal of Soil Science*. 2007. V. 58. No. 3. P. 811–824. doi: 10.1111/j.1365-2389.2006.00871.x
8. Naumov V.D. Geography of soils. Soils of Russia. Moskva: Prospekt, 2016. 344 p. (in Russian).
9. Akanova N.I., Shilnikov I.A., Efremova S.Yu., Avakov M.S. Importance of chemical reclamation in farming and loss of calcium and magnesium from soil // *Problemy agrokhimii i ekologii*. 2017. No. 1. P. 28–35 (in Russian).
10. Bocharnikova E.A., Matychenkov V.V., Matychenkov I.V. Silicon fertilizers and meliorants: history of study, theory and practice of application // *Agrokhimiya*. 2011. No. 7. P. 84–96 (in Russian).
11. Kozlov A.V., Kulikova A.Kh., Yashin E.A. Role and importance of silicon and silicon-containing substances in agroecosystems // *Vestnik of Minin University*. 2015. No. 2 (10). P. 23 (in Russian).
12. Perry C.C., Keeling-Rucker T. Biosilicification: the role of the organic matrix in structure control // *Journal of Biological Inorganic Chemistry*. 2000. V. 5. P. 537–550. doi: 10.1007/s007750000130
13. Agafonov E.V., Khovanskiy M.V. The effect of bentonite on the improvement of the fertility of ordinary chernozem // *Pochvovedenie*. 2014. No. 5. P. 597–601 (in Russian). doi: 10.7868/s0032180x14050025
14. Vasileva N.G. Evaluation of the effectiveness of trepitation as a soil meliorant // *Problemy agrokhimii i ekologii*. 2017. No. 3. P. 24–30 (in Russian).
15. Loboda B.P., Bagdasarov V.R., Fitsuro D.D. Influence of fertilizer based on zeolite-containing trepels of Khotynecki deposit on potato yield and quality // *Agrokhimiya*. 2014. No. 3. P. 28–35 (in Russian).
16. Kulikova A.Kh., Dozorov A.V., Kozlov A.V., Yashin E.A., Naumov A.Yu. Influence of zeolite on soil acid regime // *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2018. V. 9. No. 5. P. 2189–2193.
17. Kozlov A.V., Uromova I.P., Kuposova N.N., Novik I.R., Vershinina I.V., Avdeev Y.M., Hamitova S.M., Naliukhin A.N., Kostin A.E., Mokretsov Y.V. Optimization of the productivity of agricultural crops at application of natural minerals as ameliorants and mineral fertilizers on sod-podzolic soils // *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. 2018. V. 10. No. 3. P. 677–680.
18. Pirzad A., Mohammadzadeh S. Zeolite use efficiency variation under water deficit stress in grass pea and lentil // *Zhurnal Sibirskogo federalnogo universiteta. Seriya: Biologiya*. 2016. No. 9 (3). P. 291–303 (in Russian).
19. Mostalygina L.V., Elizarova S.N., Kostin A.V. Bentonite clays of Zauria: ecology and human health. Kurgan: Izd-vo Kurganskogo gosudarstvennogo universiteta, 2010. 148 p. (in Russian).
20. Baldock J.A., Skjemstad J.O. Role of the soil matrix and minerals in protecting natural organic materials against biological attack // *Organic Geochemistry*. 2000. V. 31. No. 7–8. P. 697–710. doi: 10.1016/S0146-6380(00)00049-8
21. Orlov D.S., Osipova N.N. Infrared spectra of soils and soil components. Moskva: Izd-vo Moskovskogo universiteta, 1988. 89 p. (in Russian).
22. Tarasevich B.N. IR spectra of basic classes of organic compounds. Reference materials. Moskva: MGU im. M.V. Lomonosova, 2012. 55 p. (in Russian).
23. Dospekhov B.A. A technique of field experiment (with bases of statistical processing of results of researches). Moskva: ID Alyans, 2011. 352 p. (in Russian).