

- PND F 14.1:2:4.4-95. Kolichestvennyj himicheskij analiz vod. Metodika izmerenij massovoj koncentracii nitrat-ionov v pit'evyh, poverhnostnyh i stochnyh vo-dah fotometricheskim metodom s salicilovoj kislotoj* [ER F 14.1:2:4.4-95 The quantitative chemical analysis of water. Methods for measuring the mass concentration of nitrate ions in drinking, natural and waste water samples by the method with salicylic acid]. Moscow, 2011. 18 p.
- PND F 14.1:2:4.3-95. Kolichestvennyj himicheskij analiz vod. Metodika izmerenij massovoj koncentracii nitrit-ionov v pit'evyh, poverhnostnyh i stochnyh vo-dah fotometricheskim metodom s reaktivom Grissa* [ER F 14.1:2:4.3-95 The quantitative chemical analysis of water. Methods for measuring the mass concentration of nitrate ions in drinking, natural and waste water samples by the Griess reagent method]. Moscow, 1995 (izdanie 2011). 22 p.
- Poligon TBO OOO «Novyj Svet-EHKO»* [The solid waste landfill OOO «Novyy Svet-EKO»]. <http://www.nseco.ru/0,1/tipovoj-dogovor>. 2018.
- Rekomendacii po sboru, oчитке i otvedeniyu stochnyh vod poligonov zahoroneniya tverdyh bytovyh othodov razrabotany v sootvetstvii s normativnymi materia-lami po ohrane okruzhayushchej sredy* [Recommendations for the collection, treatment and disposal of waste water of landfills for solid waste burial are developed in accordance with the regulatory materials on environmental protection]. Moscow, 2003. 49 p.
- Skvorcov L. S., Varshavskij V. Ya., Kamrukov A. S., Seliverstov A. F. Oчистка fil't-rata poligonov tverdyh bytovyh othodov [Purification of municipal solid waste landfills filtrate] // *CHistyj gorod*, 1998, no. 2, pp. 2–7.
- SP 11-102-97. Inženerno-ehkologicheskie izyskaniya dlya stroitel'stva* [Environmental engineering surveys for construction]. Prinyat i vveden v dejstvie s 15 avgusta 1997 g. Moscow: Gosstroj Rossii, GUP SPP, 1997. 42 p.
- Stepanenko E. E., Pospelova O. A., Zelenskaya T. G. Issledovanie himicheskogo sostava fil'tracionnyh vod poligona tverdyh bytovyh othodov [The study of the chemical composition of the solid waste landfill regenerated flow] // *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk*, 2009, v. 11, no. 1(3), pp. 525–327.
- Shubnikov V.L. *Informacionnaya spravka o sushchestvuyushchej praktike obrashcheniya ehner-gosberegayushchih lyuminescentnyh rtut'soderzhashchih lamp v Moskovskom regione i predlozheniya po ee sovershenstvovaniyu* [The briefing note of the current practice of handling energy-saving fluorescent mercury-containing lamps in the Moscow region and proposals for its improvement]. Moscow, 2014. http://ecologcontrol.ru/wp-content/uploads/2014/08/inf_spravka_o_rtutnyh_lampah_27_04_11.pdf.
- CV 3.04.53-2004. Metodika vypolneniya izmerenij massovoj koncentracii obshchego fosfora i fosfora fosfatov v probah pit'evyh, prirodnyh i stochnyh vod fo-tometricheskim metodom* [Methods for measuring the mass concentration of total phosphorus and phosphorus phosphates in drinking, natural and waste water samples by the photometric method]. Saint-Petersburg, 2005. 14 p.
- Yanin E. P. *Rtutnye lampy kak istochnik zagryazneniya okruzhayushchej sredy* [Mercury lamps as a source of environmental pollution]. Moscow, IMGREH, 2005. 28 p.
- Qasim S. R., Chiang W. *Sanitary Landfill Leachate. Generation, Control and Treatment*. CRC Press, 1994. 323 p.

УДК 552.52: 631.823: 631.415.12

DOI: 10.25695/AGRPH.2019.01.02

ВЛИЯНИЕ БЕНТОНИТОВОЙ ГЛИНЫ НА СВОЙСТВА КИСЛОТНО-ОСНОВНОЙ БУФЕРНОСТИ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ В УСЛОВИЯХ НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

А. В. Козлов¹, А. Х. Куликова², И. П. Уромова¹

¹ ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный педагогический университет им. К. Минина»
603950, г. Нижний Новгород, ул. Ульянова, 1;

² ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный аграрный университет им. П. А. Столыпина»
432017, г. Ульяновск, б-р Новый Венец, 1
E-mail: a_v_kozlov@mail.ru

Поступила в редакцию 10 сентября 2018 г., принята к печати 26 февраля 2019 г.

В трехлетнем микрополевым эксперименте изучено влияние бентонитовой глины на показатели кислотности-основности буферности дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы. Проведены лабораторные исследования по изучению буферных характеристик исходной породы. Установлено, что бентонит отличается высоким содержанием обменных соединений Ca^{++} и Mg^{++} и проявляет буферные свойства против подщелачивания (S_b 7,87 см²) и — в большей степени — против подкисления (S_b 20,74 см²). Степень его естественной буферной емкости является высокой и также выражена в кислотном интервале (E_b 79%), а индекс $[\text{H}^+]/[\text{OH}^-]$ -равновесия сильно смещен в щелочную сторону (2,63). Данные характеристики объясняют полученные закономерности влияния бентонитовой глины на свойства буферности почвы. Интенсивность ее основной буферности сильно возрастает в результате внесения материала в зависимости от его дозы, что приводит к увеличению площади буферности к кислоте почти в два раза. Максимальный

эффект от изменения I_B в зависимости от дозы внесения глины наблюдается только в первый год, однако пролонгированное действие на другие показатели сохраняется вплоть до третьего года. Вследствие усиления буферной способности почвы к подкислению под действием бентонитовой глины, повышается степень естественной буферной емкости самой почвы (с 19% до 37% в $[H^+]$ -интервале и с 34% до 58% в $[OH^-]$ -интервале). При этом степень буферности почвы по щелочному диапазону меняется с низкой на среднюю. Насыщение ППК почвы основными катионами является оптимальным при внесении наименьшей из изученных доз материала, поскольку индекс кислотно-основного равновесия почвы в данном случае является наиболее высоким.

Ключевые слова: бентонитовая глина, дерново-подзолистая легкосуглинистая почва, свойства кислотно-основной буферности и их стабилизация.

INFLUENCE OF BENTONITE CLAY ON PROPERTIES OF ACID AND ALKALINE BUFFER ACTION OF PODSOLIC SOIL IN CONDITIONS OF NIZHNY NOVGOROD REGION

A. V. Kozlov¹, A. H. Kulikova², I. P. Uromova¹

¹ *Minin Nizhny Novgorod State Pedagogical University*

1, Ulyanova St., Nizhnyi Novgorod, 603950;

² *Stolypin Ulyanovsk State Agricultural University*

1, Novy Venets b-d, Ulyanovsk, 432017

E-mail: a_v_kozlov@mail.ru

In a three-year micro-field experiment the influence of bentonite clay on some indicators of the buffer action of the podsolic sandy loamy soil has been studied. Buffer characteristics of the bentonite clay have been measured in a laboratory. It was found that bentonite had high content of the exchangeable Ca^{++} and Mg^{++} and was showing buffer properties against alkalification (S_B 7,87 cm^2) and even more – against acidulation (S_B 20,74 cm^2). The degree of the bentonite clay natural buffer capacity is high and expressed in an acid interval (E_B of 79%), and the index of $[H^+]/[OH^-]$ -balance is strongly shifted to the alkaline side (2,63). These characteristics of the material have allowed to explain the obtained patterns of bentonite clay influence on the buffer properties of the soil. The intensity of the soil alkaline buffer actions significantly increases as a result of bentonite clay application depending on the ameliorant rate. Application of bentonite almost doubles the area of buffer action to acid. The maximum effect of I_B change depends on the clay application rate and is mainly observed only in the first year, but the prolonged effect on the other indicators persists until the third year. Due to the increase in the soil buffering ability to acidulation under the influence of the bentonite clay application, the degree of natural buffer capacity of the soil increases (from 19% to 37% in $[H^+]$ -interval and from 34% to 58% in $[OH^-]$ -interval). At the same time, the degree of soil buffering in the alkaline range changes from low to medium. The saturation of the soil with the alkaline cations is optimal at the lowest of the studied rates of bentonite clay, since the index of the acid-alkaline balance of soil in this case is the highest.

Keywords: bentonite clay, podsolic sandy loamy soil, properties of acid-alkaline buffer action and their stabilization.

ВВЕДЕНИЕ

Кислотно-основное состояние обеспечивает протекание всех редокс-процессов в почвенном покрове, определяет режимы трансформации органического вещества и минеральных элементов, а также формирует уровень элювиально-иллювиальной подвижности большинства химических соединений в почвенном профиле (Назырова, 2002; Осипов, 2012; Надточий, Мыслыва, 2014; Салаев, Литвинович, 2018). При этом почва как четырехфазная гетерогенная полидисперсная система обладает рядом кислотно-основных характеристик, обеспечивающих ее естественную эволюцию и биогеохимическое поддержание во времени и пространстве (буферность). Основу буферных свойств почв составляет динамическое равновесие химических реакций и процессов превращения продуктов почвообразования, протекающих между почвенным раствором, газовой фазой и микробиоценозами с

одной стороны и органо-минеральной матрицей – с другой.

Несмотря на отсутствие систематических наблюдений за изменением показателей кислотно-основной буферности почвенного покрова в условиях агроэкосистем нашей страны, множество авторов (Мотузова, 1994; Надточий, 1998; Кудярова, Семенюк, 1999; Хабиров и др., 2001; Соколова и др., 2012; Didur et al., 2013; Ереско, 2014; Ушаков, Головина, 2018) подчеркивают ее первоочередное значение как для мониторинга агроэкологической устойчивости пахотных земель, так и для анализа геохимической устойчивости почвенного покрова естественных и техногенных территорий.

В современной научной литературе представлены результаты исследований, свидетельствующие о положительном влиянии на почву различных неклассических удобрительных и мелиорирующих веществ, к которым относятся в том числе глины, цеолиты, отходы строительного

производства и многие другие (Матыченков и др., 2002; Бочарникова и др., 2011; Агафонов, Хованский, 2014; Козлов и др., 2015). На фоне действия таких веществ увеличивается доля водопрочных агрегатов в почве, повышается содержание в ней некоторых элементов питания и улучшаются условия жизнедеятельности педомикробиоты. Многие из указанных веществ обладают выраженными сорбционными свойствами в отношении остаточных количеств пестицидов и тяжелых металлов в почвах (Костин и др., 2011; Панова и др., 2012), а также ионообменными и каталитическими свойствами при взаимодействии с ППК.

Вместе с тем сведения об оценке состояния почвенно-поглощающего комплекса и, в частности, состояния его кислотно-основной буферности при взаимодействии таких природных материалов с почвой практически отсутствуют. В связи с этим целями настоящего исследования являлись анализ изменений показателей кислотно-основной буферности дерново-подзолистой почвы при ее взаимодействии с бентонитовой глиной и оценка стабилизационных эффектов в системе «почва–порода».

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследований являлась дерново-подзолистая легкосуглинистая почва, образованная на покровном суглинке, со следующими исходными физико-химическими характеристиками: pH_{KCl} – 4,83 ед. pH; N_T – 2,83 мг-экв. 100 г^{-1} ; Ca^{2+} – 5,10 и Mg^{2+} – 1,17 мг-экв. 100 г^{-1} ; V_S – 69%. В 2014 г. был заложен трехлетний микрополевого опыт. Схема опыта включала контрольный вариант без внесения в почву бентонита и удобрений, а также варианты с внесением глины в дозах 3, 6 и 12 т $га^{-1}$ (варианты Б-1, Б-2 и Б-3 соответственно). Учетный размер делянки составлял 1 м², расположение – рендомизированное, повторность опыта – четырехкратная. Глина вносилась однократно в летний период 2014 г. при разбивке участка на делянки, на которых в последующие годы выращивались озимая пшеница сорта *Московская 39* (2015 г.), ячмень сорта *Велес* (2016 г.) и горох посевной сорта *Чимшинский 95* (2017 г.). Опыт проведен с соблюдением всех методических требований, агротехника выращивания культур является общепринятой для микрополевых экспериментов, все работы проводились вручную.

Бентонитовая глина Зырянского месторождения исторически образована по осадочному типу, она сложена более чем на 65% кальциево-магниевым монтмориллонитом и содержит свыше 10% карбонатов (Соколов, 2000; Мосталыгина и др., 2010). В валовом составе бентонита в среднем содержится (%): SiO_2 – 57,4; CaO – 1,81; MgO – 3,01; P_2O_5 – 0,04; K_2O – 1,03; Na_2O – 0,78; SO_3 – 0,10; Al_2O_3 – 19,4; $FeO + Fe_2O_3$ – 6,91; TiO_2 – 0,15; ППП – 9,4. Катионообменный комплекс породы характеризуется высоким содержанием обменных соединений кальция (Ca^{2+} – 27,89 мг-экв. 100 г^{-1}) и еще более высоким содержанием магния (Mg^{2+} – 30,18 мг-экв. 100 г^{-1}), а также достаточно высоким содержанием обменных соединений щелочных металлов (Na^+ – 5,46 мг-экв.

100 г^{-1} ; K^+ – 0,87 мг-экв. 100 г^{-1}), что определяет высокий коэффициент щелочности породы (0,11) и емкость катионного обмена (ЕКО), которая, по данным разных авторов, может достигать 80–150 мг-экв.

100 г^{-1} породы.

Лабораторным испытаниям подвергались образцы почвы, отбираемые с глубины обрабатываемого слоя после уборки урожая культур. Почва высушивалась, измельчалась и просеивалась через сито (1 мм). Далее в образцах определялся сдвиг pH суспензии в зависимости от концентрации добавляемой кислоты (0,1 Н раствор HCl) или щелочи (0,1 Н раствор NaOH) потенциометрическим методом по Аррениусу в модификации Надточего (Надточий, 1993; Надточий, Мыслыва, 2014) при помощи pH-метра-милливольтметра МАРК-903. На основе полученных значений рассчитывались площади буферности почвы в кислотном и щелочном интервалах (S_B , см²) и интенсивность буферности (I_B , моль(экв) 100 г^{-1}) как количество кислоты (щелочи), необходимое для сдвига pH суспензии почвы на единицу. В качестве общих критериев оценки буферности почвы выступали степень ее буферной емкости (E_B , %) и индекс кислотно-основного равновесия системы ($ИНД_{[H^+]/[OH^-]}$, усл. ед.). Исследования проведены на базе Эколого-аналитической лаборатории мониторинга и защиты окружающей среды Мининского университета. Также были определены и рассчитаны по аналогичной методике показатели буферности исходной бентонитовой глины, которая предварительно просушивалась, размалывалась и просеивалась через сито.

Математическая обработка полученных данных осуществлялась по методу вариационного анализа (среднее арифметическое, ошибка среднего значения, коэффициент вариации) и расчета критерия Фишера (Доспехов, 2011) с использованием программного обеспечения Microsoft Office Excel 2007.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Растворимость и связывание различных ионов между почвенным раствором и почвенно-поглощающим комплексом (ППК) являются ключевыми процессами, определяющими окислительно-восстановительный потенциал почвы и, как следствие, жизнеобеспеченность почвообитающих организмов, в том числе их микроскопических форм, а также высших растений. Поэтому кислотно-основное равновесие в профиле почвенного тела является основным объектом изучения при исследовании влияния на почву различных агромероприятий. Данное равновесие в почве определяется по совокупности показателей ее буферности, изменение которых под действием бентонитовой глины представлено ниже.

На рис. 1 показаны кривые, визуально описывающие буферные свойства исследуемой дерново-подзолистой почвы и бентонита.

Почва закономерно обладает исходной буферной силой за счет наличия в составе ППК определенного количества ионов H^+ и Al^{+++} , а также

за счет катионов Ca^{++} и Mg^{++} . Бентонитовая глина существенно отличалась от почвенных показателей также проявляла буферные свойства, которые, однако, (табл. 1).

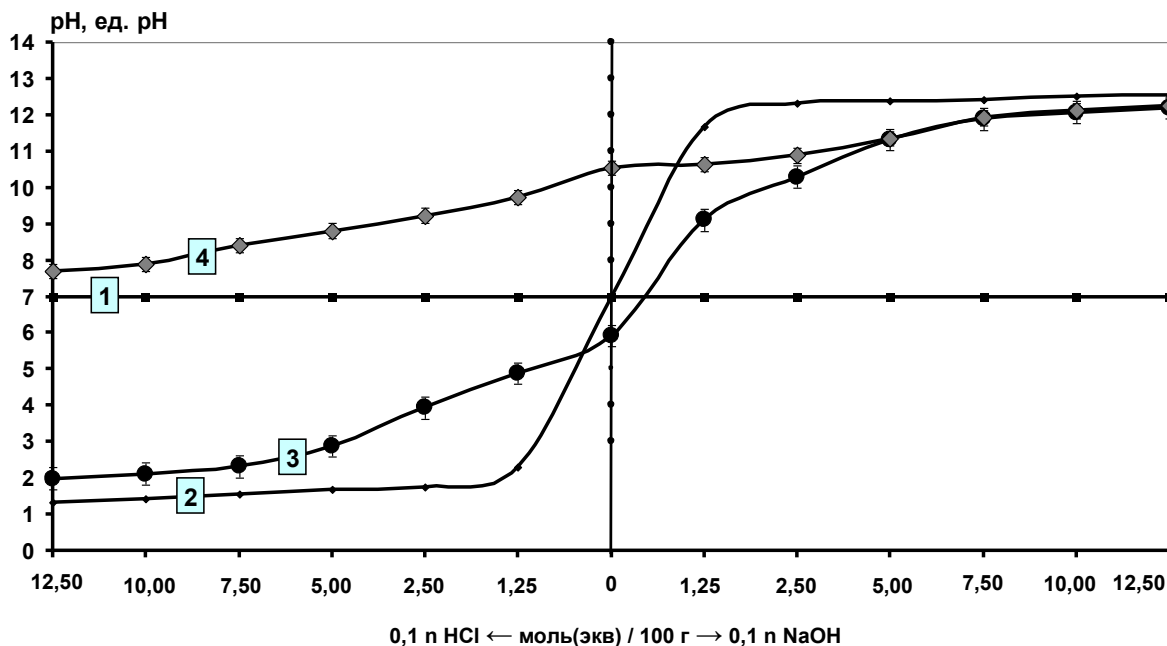


Рис. 1. Диаграмма кислотно-основной буферности объектов исследования: 1 – линия буферности условного абсолютно буферного эталона (кварцевый песок); 2 – условная кривая зависимости pH растворов HCl и NaOH от изменения концентраций (ΔC); 3 – кривая буферности исходной дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы; 4 – кривая буферности бентонитовой глины

Таблица 1. Показатели буферности бентонитовой глины Зырянского месторождения

Площадь буферности, cm^2		Интенсивность буферности, моль(экв) 10 г^{-1} породы		Степень естественной буферной емкости, %		Индекс $[\text{H}^+]/[\text{OH}^-]$ -равновесия
$[\text{H}^+]$ -интервал	$[\text{OH}^-]$ -интервал	$[\text{H}^+]$ -интервал	$[\text{OH}^-]$ -интервал	$[\text{H}^+]$ -интервал	$[\text{OH}^-]$ -интервал	
20,74	7,87	1,52	15,63	79	30	2,63

Установлено, что порода проявляет высокую буферность против подкисления, о чем свидетельствует 10-кратное повышение интенсивности буферности в $[\text{OH}^-]$ -интервале по отношению к $[\text{H}^+]$ -интервалу, а также величина S_B в кислотном интервале, которая почти в 3 раза больше соответствующей величины в щелочном интервале. Вследствие этого степень естественной буферной емкости материала в кислотном диапазоне в 2,6 раза больше, чем в щелочном, а коэффициент кислотно-основного равновесия сильно смещен в щелочную сторону ($\text{ИНД}_{[\text{H}^+]/[\text{OH}^-]} > 1$).

Данные характеристики, по-видимому, объясняют существенные изменения показателей буферности дерново-подзолистой почвы в течение периода исследований. Установлено, что взаимодействие почвы с бентонитом привело не только к сдвигу показателей буферности почвы в сторону нейтрализации ее избыточной кислотности, но и к формированию определенного основнокатионного запаса, способного сдерживать естественное подкисление почвы в результате сельскохозяйственного использования.

Данные табл. 2 отражают изменения показателя площади буферности почвы, произошедшие под действием бентонитовой глины.

Под действием бентонитовой глины уже в 1-й год исследований произошло увеличение площади буферности в $[\text{H}^+]$ -интервале: в варианте с 3 т га^{-1} – на 37%, с 6 т га^{-1} – на 62%, с 12 т га^{-1} – на 95%, т. е. эффект увеличивался пропорционально дозе материала. В $[\text{OH}^-]$ -интервале площадь буферности увеличивалась, однако интенсивность увеличения была меньше. В среднем за 3 года исследований максимальное увеличение показателя отмечено в варианте с внесением материала в дозе 12 т га^{-1} , которое составило 73% по отношению к контролю.

Аналогичные закономерности сохранялись в течение последующих 2-х лет исследований. Также следует отметить, что если в $[\text{H}^+]$ -интервале эффект от внесения каждой дозы глины не только сохранялся, но и несколько увеличивался по годам исследований, то в $[\text{OH}^-]$ -интервале максимальный эффект наблюдался на 1-й и 2-й годы, а к 3-му году начал ослабевать. Причиной столь существенного увеличения площади буферности почвы явилось взаимобратное аналогичное изменение показателей интенсивности ее буферности (табл. 3).

Таблица 2. Изменение площади буферности дерново-подзолистой почвы под действием бентонитовой глины

Вариант	Динамика площади буферности почвы						В среднем за 3 года
	2015 г.		2016 г.		2017 г.		
	$M \pm m$	V, %	$M \pm m$	V, %	$M \pm m$	V, %	
<i>площадь буферности в кислотном интервале (S_B), см²</i>							
Контроль	4,79 ± 0,06	3	4,96 ± 0,03	1	4,80 ± 0,04	2	4,85
Б-1	6,54 ± 0,06	2	6,82 ± 0,08	2	6,94 ± 0,06	2	6,77
Б-2	7,75 ± 0,07	2	8,17 ± 0,06	1	8,35 ± 0,03	1	8,09
Б-3	9,32 ± 0,06	1	9,72 ± 0,05	1	9,80 ± 0,05	1	9,61
F_f	1078,19		1226,33		2187,42		–
<i>площадь буферности в щелочном интервале (S_B), см²</i>							
Контроль	8,85 ± 0,39	9	8,65 ± 0,22	5	9,03 ± 0,14	3	8,84
Б-1	10,25 ± 0,21	4	10,22 ± 0,21	4	10,16 ± 0,23	5	10,21
Б-2	13,67 ± 0,12	2	13,50 ± 0,17	3	13,18 ± 0,30	5	13,45
Б-3	15,37 ± 0,20	3	15,28 ± 0,13	2	15,26 ± 0,22	3	15,30
F_f	127,51		723,60		128,78		–

Примечание. Здесь и далее: $M \pm m$ – средняя арифметическая \pm ошибка среднего значения; V – коэффициент вариации (%); F_f – расчетный критерий Фишера в сравнении вариантов при статистическом уровне значимости $p < 0,05$; $F_t = 3,86$ – теоретический критерий Фишера при $n_1 = 3$ и $p < 0,05$.

Таблица 3. Изменение интенсивности буферности дерново-подзолистой почвы под действием бентонитовой глины

Вариант	Динамика интенсивности буферности почвы						В среднем за 3 года
	2015 г.		2016 г.		2017 г.		
	$M \pm m$	V, %	$M \pm m$	V, %	$M \pm m$	V, %	
<i>интенсивность буферности в кислотном интервале (I_B), моль(экв) 100 г⁻¹ почвы</i>							
Контроль	1,26 ± 0,12	19	1,19 ± 0,07	12	1,29 ± 0,18	27	1,25
Б-1	0,70 ± 0,03	9	0,73 ± 0,03	8	0,74 ± 0,03	9	0,72
Б-2	0,88 ± 0,09	20	0,92 ± 0,04	8	0,98 ± 0,08	16	0,93
Б-3	1,30 ± 0,18	28	1,32 ± 0,05	8	1,44 ± 0,11	15	1,35
F_f	5,81		57,57		6,22		–
<i>интенсивность буферности в щелочном интервале (I_B), моль(экв) 100 г⁻¹ почвы</i>							
Контроль	0,38 ± 0,02	9	0,40 ± 0,02	8	0,41 ± 0,02	8	0,40
Б-1	0,57 ± 0,02	9	0,55 ± 0,02	8	0,55 ± 0,02	8	0,56
Б-2	0,70 ± 0,05	14	0,66 ± 0,04	11	0,71 ± 0,07	19	0,69
Б-3	0,72 ± 0,04	10	0,77 ± 0,07	17	0,73 ± 0,05	14	0,74
F_f	17,31		15,93		9,53		–

Если в $[H^+]$ -интервале наблюдалось заметное снижение показателя (варианты Б-1 и Б-2) как относительно контроля, так и в среднем за годы исследований, что свидетельствует о том, что для сдвига рН обработанной бентонитом почвы на единицу в начале титрования необходимо меньшее количество протонов, то в $[OH^-]$ -интервале эффект от внесения бентонитовой глины оказался существенным, но несколько ослабевал к концу исследований. Здесь в среднем за 3 года увеличение дозы внесения материала привело к повышению I_B соответственно на 40%, 73% и 85%.

Таким образом, за счет внесения бентонитовой глины в высоких дозах в почве формируется весомый запас основного катионообменного пула против ее подкисления.

Вследствие изменения показателей I_B и S_B стабилизировалась естественная буферная емкость почвы (рис. 2). Здесь максимальный эффект также наблюдался в варианте с внесением бентонита в дозе 12 т га⁻¹ (увеличение до 20% на 3-й год в $[H^+]$ -интервале и до 25% на 2-й год в $[OH^-]$ -интервале по сравнению с контрольными значениями), однако степень влияния породы на показатель E_B в щелочном диапазоне снижалась, что, вероятно, связано с естественным элювированием ионов Ca^{++} Mg^{++} за пределы корнеобитаемого слоя дерново-подзолистой почвы вследствие ее исходно низкой емкости поглощения и промывного типа водного режима местности.

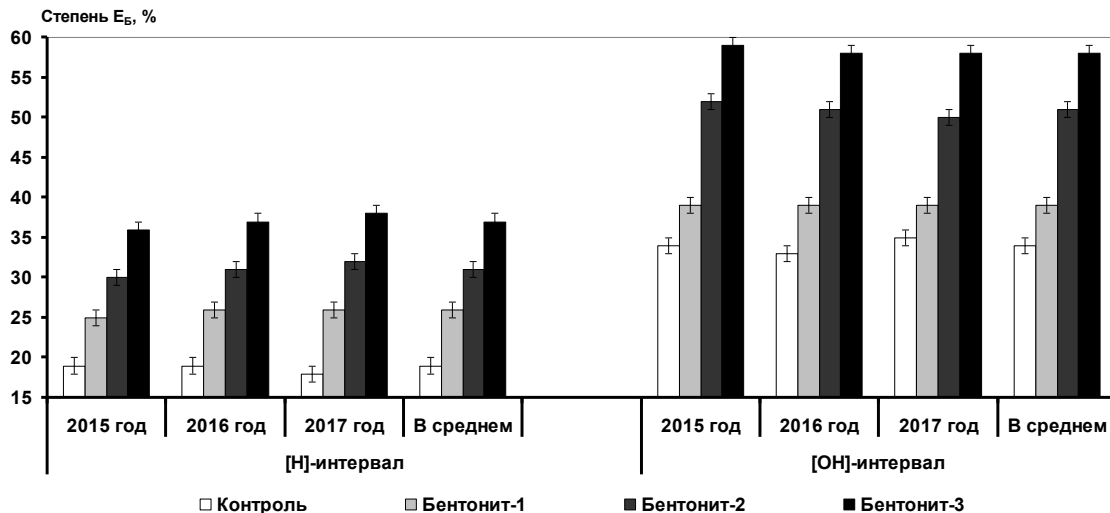


Рис. 2. Изменение степени естественной буферной емкости дерново-подзолистой почвы под действием бентонитовой глины, 2015–2017 гг.

(F_f : 1 год – 628,00/131,99; 2 год – 702,06/859,36; 3 год – 1627,00/141,53;
 $F_t = 3,86$ – теоретический критерий Фишера при $n_1 = 3$ и $p < 0,05$)

Несмотря на это, за счет поддержания уровня естественной буферной емкости (очевидно, под действием бентонитовой глины) за период проведения исследований степень кислотно-основной буферности почвы изменилась со средней на высокую в [OH⁻]-интервале, однако в кислотном диапазоне осталась низкой (Надточий, Мыслыва, 2014). Это, очевидно, обусловлено привнесением в почву значительного количества растворимых соединений кальция и магния в результате применения высоких доз материала с одной стороны и сохранением в ППК генетического запаса обменных форм водорода и алюминия – с другой.

Весьма своеобразно под действием бентонита изменялся индекс кислотно-основного равновесия почвы (рис. 3). С одной стороны, во всех вариантах с внесением материала уровень ИНД_{[H⁺]/[OH⁻]} оказался выше контрольных значений, что свидетельствует об

увеличении доли основных катионов в составе ППК в результате применения бентонита. Кроме того, данный показатель отражает пролонгированность и усиление действия бентонитовой глины в течение периода исследований: в варианте Б-1 – от 16% до 28%, в варианте Б-2 – от 4% до 21%, в варианте Б-3 – от 11% до 23%. С другой стороны, максимальный эффект сдвига [H⁺]/[OH⁻]-равновесия проявился при внесении в почву материала в дозе 3 т га⁻¹. Здесь увеличение индекса достигло 20% по отношению к контролю. По-видимому, кислотно-основное равновесие в гумусо-аккумулятивном слое почвы при внесении минимальной исследуемой дозы породы уже являлось оптимальным, а при дальнейшем увеличении дозы растворимые формы кальция и магния не вступали в обменные реакции с коллоидной матрицей почвы (Zusset, Schindler, 1996; Skiba et al., 2011).

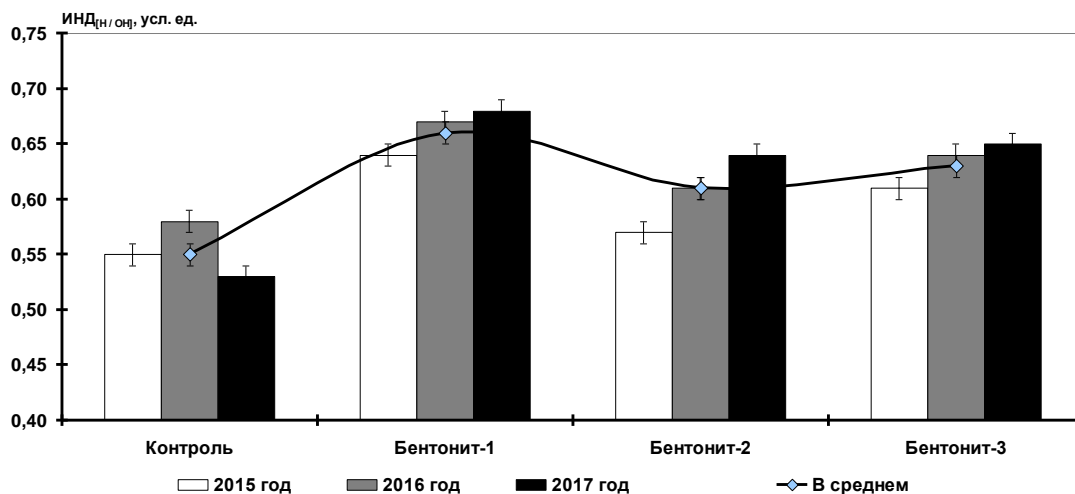


Рис. 3. Изменение индекса кислотно-основного равновесия в дерново-подзолистой почве под действием бентонитовой глины, 2015–2017 гг.

(F_f : 1 год – 168,09; 2 год – 296,27; 3 год – 2247,01;
 $F_t = 3,86$ – теоретический критерий Фишера при $n_1 = 3$ и $p < 0,05$)

Вероятно, причиной является исходно низкий уровень катионообменной емкости самой почвы, обусловленный ее относительно легким гранулометрическим составом и низким содержанием гумуса (1,21%). Для ППК, мало насыщенного коллоидными частицами, такое

привнесение основных катионов в почву, как установлено в предыдущих исследованиях (Козлов и др., 2017), может оказаться избыточным.

ВЫВОДЫ

1. За счет исходных щелочных и ионообменных характеристик бентонитовая глина Зырянского месторождения способна оказывать влияние на показатели кислотно-основной буферности дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы в условиях Нижегородской области. В результате внесения бентонитовой глины интенсивность буферности почвы повысилась на 85% в $[\text{OH}^-]$ -интервале, а площадь буферности — почти в 2 раза в $[\text{H}^+]$ -интервале. Вследствие этого индекс кислотно-основного равновесия сместился в щелочную сторону на 0,11 ед., а степень естественной щелочной буферной емкости увеличилась с 34% до 58%.

2. Вследствие стабилизации уровня естественной буферной емкости за период проведения исследований степень кислотно-основной буферности почвы изменилась со средней на высокую в щелочном интервале. Привнесение в почву значительного количества растворимых соединений кальция и магния в результате применения материала в высоких дозах не позволило скорректировать генетический запас протонов и катионов алюминия в ППК, в результате чего степень буферности почвы в кислотном интервале оставалась низкой.

3. В течение трех лет исследований взаимодействия бентонита с почвой в ней сформировался определенный запас обменных соединений основных катионов (Ca^{++} и Mg^{++}), который оказался наиболее сбалансированным относительно ППК почвы при внесении глины в минимальной дозе (3 т га⁻¹).

Благодарности. Коллектив авторов выражает благодарность генеральному директору ООО «Элитхоз» (Борский муниципальный район Нижегородской области) Анатолию Германовичу Пушкову за предоставленные для проведения микрополевых исследований участок поля и высококачественный посевной материал зерновых культур.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Агафонов Е. В., Хованский М. В. Влияние бентонита на повышение плодородия чернозема обыкновенного // Почвоведение. 2014. № 5. С. 597–601.
- Бочарникова Е. А., Матыченков В. В., Матыченков И. В. Кремниевые удобрения и мелиоранты: история изучения, теория и практика применения // Агрохимия. 2011. № 7. С. 84–96.
- Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: ИД Альянс, 2011. 352 с.
- Ересько М. Кислотно-основная буферность почв как индикатор устойчивости экосистемы // Земля Беларуси. 2014. № 4. С. 36–44.
- Козлов А. В., Куликова А. Х., Копосова Н. Н. Влияние диатомита, цеолита и бентонитовой глины на показатели физико-химического состояния дерново-подзолистой почвы // Известия Самарского научного центра РАН. 2017. Т. 19. № 2-2. С. 275–280.
- Козлов А. В., Куликова А. Х., Яшин Е. А. Роль и значение кремния и кремнийсодержащих веществ в агроэкосистемах // Вестник Мининского университета. 2015. № 2(10). С. 23.
- Костин А. В., Мосталыгина Л. В., Бухтояров О. И. Бентонитовая глина Зырянского месторождения Курганской области как сорбент ионов свинца (II) и кадмия (II) // Глины, глинистые минералы и слоистые материалы. М.: ИГЕМ РАН, 2011. С. 87–88.
- Кудярова А. Ю., Семенюк Н. Н. Химические и микробиологические аспекты буферности серой лесной почвы при загрязнении цинком // Почвоведение. 1999. № 2. С. 225–234.
- Матыченков В. В., Бочарникова Е. А., Аммосова Я. М. Влияние кремниевых удобрений на растения и почву // Агрохимия. 2002. № 2. С. 86–93.
- Мосталыгина Л. В., Елизарова С. Н., Костин А. В. Бентонитовые глины Зауралья: экология и здоровье человека. Курган, Изд-во Курганского государственного университета. 2010. 148 с.
- Мотузова Г. В. Природа буферности почв к внешним химическим воздействиям // Почвоведение. 1994. № 4. С. 46–52.
- Надточий П. П. Кислотно-основная буферность – критерий агроэкологического состояния почв // Почвоведение. 1998. № 10. С. 18–24.
- Надточий П. П., Мыслыва Т. Н. Эталонные величины кислотно-основной буферности дерново-подзолистых почв для фонового мониторинга // Агрохимия. 2014. № 3. С. 83–89.
- Надточий П. П. Определение кислотно-основной буферности почв // Почвоведение. 1993. № 4. С. 34–39.
- Назырова Ф. И. Влияние удобрений на буферные свойства чернозема типичного карбонатного // Агрохимия. 2002. № 2. С. 5–12.
- Осипов А. И. Научные основы химической мелиорации почв и перспективы их дальнейшего изучения // Агрофизика. 2012. № 3(7). С. 41–50.
- Панова Г. Г., Аникина Л. М., Канаш Е. В., Удалова О. Р., Шибанов Д. В. Кремнийсодержащие хелатные микроудобрения в повышении устойчивости растений к действию стрессовых факторов // Агрофизика. 2012. № 3(7). С. 31–41.

- Салаев И. В., Литвинович А. В. Интенсивность миграции кальция и магния из дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы, мелиорируемой крупными фракциями отсева щебеночного производства // Агрофизика. 2018. № 2. С. 22–28.
- Соколов В. Н. Глинистые породы и их свойства // Соросовский образовательный журнал. 2000. Т. 6. № 9. С. 59–65.
- Соколова Т. А., Толпешта И. И., Трофимов С. Я. Почвенная кислотность. Кислотно-основная буферность почв. Соединения алюминия в твердой фазе почвы и в почвенном растворе. Тула: Гриф и К, 2012. 124 с.
- Ушаков Р. Н., Головина Н. А. Агрохимическая модель агросерой почвы // Известия ТСХА. 2018. № 1. С. 36–47.
- Хабиров И. К., Габбасова И. М., Хазиев Ф. Х. Устойчивость почвенных процессов. Уфа: Изд. БГАУ, 2001. 326 с.
- Didur O., Loza I., Kulbachko Y., Pakhomov O., Kryuchkova A. Environmental impact of earthworm (lumbricidae) excretory activity on pH-buffering capacity of remediated soil // Вісник Львівського університету, Серія біологічна, 2013, no. 62, С. 140–145.
- Skiba M., Szczerba M., Skiba S., Bish D. L., Grybos M. The nature of interlayering in clays from a podzol (Spodosol) from the Tatra Mountains, Poland // Geoderma, 2011, v. 160, no. 3–4, pp. 425–433.
- Zusset M., Schindler P. W. The proton promoted dissolution kinetics of K-montmorillonite // Geochimica et Cosmochimica Acta, 1996, v. 60, no. 6, pp. 921–931.

REFERENCES

- Agafonov E. V., Hovanskij M. V. Vliyanie bentonita na povyshenie plodorodiya chernozema obyknovennogo [Influence of bentonite on increase in fertility of the chernozem ordinary] // *Pochvovedenie*, 2014, no. 5, pp. 597–601.
- Bocharnikova E. A., Matychenkov V. V., Matychenkov I. V. Kremnievye udobreniya i melioranty: istoriya izucheniya, teoriya i praktika primeneniya [Silicon fertilizers and ameliorants: studying history, theory and practice of application] // *Agrokhemiiia*, 2011, no. 7, pp. 84–96.
- Dospehov B. A. *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezultatov issledovaniy)* [Technique of field experiment (with bases of statistical processing of results of researches)]. Moscow: ID Alyans, 2011. 352 p.
- Eresko M. Kislотно-osnovnaya bufernost pochv kak indikator ustojchivosti ekosistemy [Acid and main buffer action of soils as indicator of stability of an ecosystem] // *Zemlya Belarusi*, 2014, no. 4, pp. 36–44.
- Kozlov A. V., Kulikova A. H., Kuposova N. N. Vliyanie diatomita, ceolita i bentonitovoj gliny na pokazateli fiziko-himicheskogo sostoyaniya dernovo-podzolistoj pochvy [Influence of diatomite, zeolite and bentonite clay on indicators of a physical and chemical condition of the cespitose-podsolic soil] // *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra RAN*, 2017, v. 19, no. 2-2, pp. 275–280.
- Kozlov A. V., Kulikova A. H., Yashin E. A. Rol i znachenie kremniya i kremnijsoderzhashih veshestv v agroekosistemah [Role and value of silicon and siliceous substances in agroecosystems] // *Vestnik Mininskogo universiteta*, 2015, no. 2 (10), p. 23.
- Kostin A. V., Mostalygina L. V., Buhtoyarov O. I. Bentonitovaya glina Zyryanskogo mestorozhdeniya Kurganskoj oblasti kak sorbent ionov svinca (II) i kadmiya (II) [Bentonite clay of the Zyrian field of the Kurgan region as sorbent of ions of lead (II) and cadmium (II)] // *Gliny, glinistye mineraly i sloistye materialy*. Moscow: IGEM RAN, 2011. pp. 87–88.
- Kudeyarova A. Yu., Semenyuk N. N. Himicheskie i mikrobiologicheskie aspekty bufernosti seroj lesnoj pochvy pri zagryaznenii cinkom [Chemical and microbiological aspects of buffer action of the gray forest soil at pollution by zinc] // *Pochvovedenie*, 1999, no. 2, pp. 225–234.
- Matychenkov V. V., Bocharnikova E. A., Ammosova Ya.M. Vliyanie kremnievyh udobrenij na rasteniya i pochvu [Influence of silicon fertilizers on plants and soil] // *Agrokhemiiia* 2002, no. 2, pp. 86–93.
- Mostalygina L. V., Elizarova S. N., Kostin A. V. *Bentonitovye gliny Zauralya: ekologiya i zdorove cheloveka* [Bentonite clays of the Trans-Ural region: ecology and health of the person]. Kurgan: Publishing house Kurgan State University, 2010. 148 p.
- Motuzova G. V. Priroda bufernosti pochv k vneshnim himicheskim vozdejstviyam [The nature of buffer action of soils to external chemical influences] // *Pochvovedenie*, 1994, no. 4, pp. 46–52.
- Nadtochij P. P. Kislотно-osnovnaya bufernost – kriterij agroekologicheskogo sostoyaniya pochv [The acid and main buffer action – criterion of an agroecological condition of soils] // *Pochvovedenie*, 1998, no. 10, pp. 18–24.
- Nadtochij P. P., Myslyva T. N. Etalonnnye velichiny kislотно-osnovnoj bufernosti dernovo-podzolistyh pochv dlya fonovogo monitoringa [Reference sizes of the acid and main buffer action of cespitose and podsolic soils for background monitoring] // *Agrokhemiiia*, 2014, no. 3, pp. 83–89.
- Nadtochij P. P. Opredelenie kislотно-osnovnoj bufernosti pochv [Determination of the acid and main buffer action of soils] // *Pochvovedenie*, 1993, no. 4, pp. 34–39.
- Nazyrova F. I. Vliyanie udobrenij na bufernye svojstva chernozema tipichnogo karbonatnogo [Influence of fertilizers on buffer properties of the chernozem of typical carbonate] // *Agrokhemiiia*, 2002, no. 2, pp. 5–12.

- Osipov A. I. Nauchnye osnovy himicheskoy melioracii pochv i perspektivy ih dalnejshego izucheniya [Scientific bases of chemical melioration of soils and prospect of their further studying] // *Agrofizika*, 2012, no. 3(7), pp. 41–50.
- Panova G. G., Anikina L. M., Kanash E. V., Udalova O. R., Shibanov D. V. Kremnijsoderzhashie helatnye mikroudobreniya v povyshenii ustojchivosti rastenij k dejstviyu stressovyh faktorov [Siliceous helatny microfertilizers in increase in resistance of plants to action of stressful factors] // *Agrofizika*, 2012, no. 3(7), pp. 31–41.
- Salaev I. V., Litvinovich A. V. Intensivnost migracii kalciya i magniya iz dernovo-podzolistoj legkosuglinistoj pochvy, melioriruemoj krupnymi frakciyami otseva shebenochnogo proizvodstva [Intensity of migration of calcium and magnesium from the cespitose and podsolic sandy loam soil reclaimed by large fractions of elimination of crushed-stone production] // *Agrofizika*, 2018, no. 2, pp. 22–28.
- Sokolov V. N. Glinistye porody i ih svoystva [Clay breeds and their properties] // *Sorosovskij obrazovatelnyj zhurnal*, 2000, v. 6, no. 9, pp. 59–65.
- Sokolova T. A., Tolpeshta I. I., Trofimov S. Ya. *Pochvennaya kislotnost. Kislотно-osnovnaya bufernost pochv. Soedineniya alyuminiya v tverdoj faze pochvy i v pochvennom rastvore* [Soil acidity. Acid and main buffer action of soils. Compounds of aluminum in a firm phase of the soil and in soil solution]. Tula: Grif i K, 2012. 124 p.
- Ushakov R. N., Golovina N. A. Agrohimicheskaya model agroseroj pochvy [Agrochemical model of the agrogrey soil] // *Izvestiya TSHA*, 2018, no. 1, pp. 36–47.
- Habirov I. K., Gabbasova I. M., Haziev F. H. *Ustojchivost pochvennyh processov* [Stability of soil processes]. Ufa: Publishing house BGAU, 2001. 326 p.
- Didur O., Loza I., Kulbachko Y., Pakhomov O., Kryuchkova A. Environmental impact of earthworm (lumbricidae) excretory activity on pH-buffering capacity of remediated soil // *Вісник Львівського університету, Серія біологічна*, 2013, no. 62, С. 140–145.
- Skiba M., Szczerba M., Skiba S., Bish D. L., Grybos M. The nature of interlayering in clays from a podzol (Spodosol) from the Tatra Mountains, Poland // *Geoderma*, 2011, v. 160, no. 3–4, pp. 425–433.
- Zusset M., Schindler P. W. The proton promoted dissolution kinetics of K-montmorillonite // *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1996, v. 60, no. 6, pp. 921–931.

УДК 631.43

DOI: 10.25695/AGRPH.2019.01.03

ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРНОГО СОСТОЯНИЯ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЫ (UMBRIC ALBELUVISOLS ABRUPTIC) ПРИ ИЗВЕСТКОВАНИИ КРУПНЫМИ ЧАСТИЦАМИ ДОЛОМИТОВОЙ КРОШКИ

Т. Л. Лешко¹, А. В. Литвинович², П. С. Манаков², А. О. Тябин¹

¹ ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»

196601, Санкт-Петербург, г. Пушкин, Петербургское ш., д. 2;

² ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»

195220, Санкт-Петербург, Гражданский пр., д. 14

E-mail: dorados@inbox.ru

Поступила в редакцию 18 декабря 2018 г., принята к печати 26 февраля 2019 г.

В 10-вариантном микрополевым опыте продолжительностью 4 опытно-года проведено изучение влияния возрастающих доз фракций отсева щебеночного производства размером 5-7 и 7-10 мм на динамику показателей структуры дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы. Самое низкое содержание агрономически ценных агрегатов (АЦА) в почве отмечено спустя год после закладки опыта (весна 2016 г.). Через 2 года после проведения известкования (весна 2017 г.) количество АЦА увеличилось во всех вариантах опыта. Достоверных различий в зависимости от дозы применения и размера частиц не установлено. В результате выращивания горчицы (лето 2017 г.) содержание АЦА или не изменилось, или уменьшилось в отдельных вариантах опыта. Связь между общим содержанием С гумуса в почве отдельных вариантов опыта и количеством АЦА слабая положительная ($r=0,26$). После возделывания гороха (осень 2017 г.) в большинстве вариантов опыта выявлена тенденция к увеличению содержания АЦА. Повышение содержания водопрочных агрегатов (ВА) в большинстве вариантов опыта продолжалось до лета 2017 г. К осени 2017 года после уборки гороха количество ВА в большинстве вариантов снизилось. Связи между количеством ВА и содержанием гумуса не установлено. В большинстве вариантов опыта выявлена сезонная динамика коэффициента структурности ($K_{стр}$). Каких-либо закономерностей, связанных с влиянием дозы внесения мелиоранта на критерий водопрочности (А), на протяжении всего периода изучения проследить не удалось.

Ключевые слова: полевой опыт, дерново-подзолистая почва, структура, известкование, крупные фракции доломита.

