

- Bankin M. P., Bankina T.A., Korobejnikova L.P. *Fiziko-himicheskie metody v agrohimii i biologii pochv* [Physico-chemical methods in agrochemistry and soil biology]. Saint-Peterburg: St. Petersburg University Publishing House, 2005. 177 p.
- Burova A. V., Balashov E. V. Posledeystvie navoza i vlijanie posledujushhego vnesenija azotnyh udobrenij na indikatory kachestva dernovo-podzolistoj supeschanoj pochvy [Aftereffect of farmyard manure and influence of subsequent application of mineral fertilizers on quality indicators of loamy sand Spodosol] // *Problemy agrohimii i ekologii*, 2018, no. 3, pp. 26–31.
- Korzhev S. S., Maslov V. A., Orekhova E. S. Izmenenie mikrobiologicheskoy aktivnosti pochvy pri razlichnyh sposobah ejo obrabotki [Changes of microbiological soil activity depends on soil cultivation methods] // *AGRO XXI*, 2009, no. 1–3, pp. 22–23.
- Rastvorova O. G. *Fizika pochv: Prakticheskoe rukovodstvo* [Physics of soils (Practical guidance)]. Leningrad: Leningrad University Publishing House, 1983. 196 p.
- Rastvorova O. G., Andreev D. P., Gagarina E. I., Kasatkina G. A., Fedorova N. N. *Khimicheskij analiz pochv* [Chemical analysis of soils]. Saint-Petersburg: St. Petersburg University Publishing House, 1995. 254 p.
- Anderson T. H. Microbial eco-physiological indicators to assess soil quality // *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2003, v. 98, pp. 285–293.
- Boitsova L., Zinczuk E., Neprimerova S., Balashov E. Distribution of total and clay-associated organic matter in profiles of arable loamy sand Spodosol // *Folia Oecologica*, 2015, v. 42, pp. 1–9.
- Böhme L., Langer U., Böhme F. Microbial biomass, enzyme activities and microbial community structure in two European long-term field experiments // *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2005, v. 109, pp. 141–152.
- Buchkina N. P., Balashov E. V., Rizhiya E. Ya., Smith K. A. Nitrous oxide emissions from a light-textured arable soil of North-Western Russia: effects of crops, fertilizers, manures and climate parameters // *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2010, v. 87, pp. 429–442.
- Cambardella C. A., Elliott E.T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence // *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1992, v. 56, pp. 777–783.
- Dobbie K. E., Smith K. A. The effects of temperature, water-filled pore space and land use on N₂O emissions from an imperfectly drained gleysol // *European J. Soil Sci.*, 2001, v. 52, pp. 667–673.
- Gartzia-Bengoetxea N., González-Arias A., Merino A., Martínez de Arano I. Soil organic matter in soil physical fractions in adjacent semi-natural and cultivated stands in temperate Atlantic forests // *Soil Biol. Biochem.*, 2009, v. 41, pp. 1674–1683.
- Geisseler D., Scow Kate M. Long-term effects of mineral fertilizers on soil microorganisms – A review // *Soil Biol. Biochem.*, 2004, v. 75, pp. 54–63.
- Hassink J., Whitmore A. P., Kubát J. Size and density fractionation of soil organic matter and the physical capacity of soils to protect organic matter // *European Journal of Agronomy*, 1997, v. 7, pp. 189–199.
- Kiem R., Knicker H., Körschens M., Kögel-Knabner I. Refractory organic carbon in C-depleted arable soils, as studied by ¹³C NMR spectroscopy and carbohydrate analysis // *Organic Geochemistry*, 2000, v. 31, pp. 655–668.
- Oehl F., Sieverding E., Mäder P., Dubois D., Ineichen K., Boller T., Wiemken A. Impact of long-term conventional and organic farming on the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi // *Oecologia*, 2004, v. 138, pp. 574–583.
- Rousk J., Brookes P. C., Bååth E. Fungal and bacterial growth responses to N fertilization and pH in the 150-year «Park Grass» UK grassland experiment // *FEMS Microbiology Ecology*, 2011, v. 76, pp. 89–99.
- Six J., Bossuyt H., Degryze S., Denef K. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics // *Soil Till. Res.*, 2004, v. 79, pp. 7–31.
- Wrage N., Velthof G. L., Van Beusichem M. L., Oenema O. Role of nitrifier denitrification in the production of nitrous oxide // *Soil Biol. Biochem.*, 2001, v. 33, pp. 1723–1732.

УДК 633.18: 631.4

DOI: 10.25695/AGRPH.2019.02.02

ТРАНСФОРМАЦИЯ МИНЕРАЛЬНОЙ МАТРИЦЫ ПОЧВ РИСОВЫХ АГРОЛАНДШАФТОВ КУБАНИ

Т. А. Зубкова¹, О. А. Гуторова^{2,3}, А. Х. Шеуджен^{2,3}, Х. Д. Хурум³

¹ Факультет почвоведения МГУ имени М. В. Ломоносова,
19991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12;

² ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт риса»,
350921, г. Краснодар, п. Белозерный, 3;

³ ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», 350044, г.
Краснодар, ул. Калинина, 13
E-mail: ashad.sheudzhen@mail.ru

Поступила в редакцию 14 января 2019 г., принята к печати 27 мая 2019 г.

Представлены результаты изучения свойств минеральной матрицы почв рисовых агроландшафтов Кубани. Определены общая площадь удельной поверхности и минеральной матрицы (S) почвы, а также спектр кислотных центров почвенной минеральной матрицы. Фоном для сравнения

послужили участки почв богары и залежи. Установлено, что минеральная матрица трансформируется в зависимости от типа почв, гранулометрического состава и длительности возделывания риса. Пахотные горизонты лугово-черноземной и лугово-болотной почв, вовлеченных в рисосеяние, не трансформируются по размеру минеральной матрицы (S почв рисовых полей, богары и залежи составляет $35\text{--}55\text{ м г}^{-2}$). Изменения минеральной матрицы обнаружены в подпахотных горизонтах лугово-болотной почвы ($S = 73\text{--}160\text{ м г}^{-2}$), что связано с утяжелением гранулометрического состава и интенсивным развитием элювиально-глеевых процессов, обусловленными генезисом почвенного типа. Бессменное возделывание риса в течение 80 лет способствует снижению удельной поверхности органо-минеральной и минеральной матрицы ($S = 24\text{ м г}^{-2}$) лугово-черноземной почвы, несмотря на тяжелосуглинистый гранулометрический состав. Это указывает на изменения структурной организации минеральных частиц почв рисовых полей.

Ключевые слова: почвы рисовых агроландшафтов, почвенная минеральная матрица, удельная поверхность почвы, термодесорбционный спектр аммиака.

TRANSFORMATION OF THE SOIL MINERAL MATRIX IN KUBAN RICE AGROLANDSCAPE

T. A. Zubkova¹, O. A. Gutorova^{2,3}, A. Kh. Sheudzhen^{2,3}, Kh. D. Khurum³

¹Soil Science Faculty, Lomonosov Moscow State University, 12, Leninskie Gory, Moscow, 119991;

²All Russian Rice Research Institute, 3, Belozernyi settlement, Krasnodar, 350921;

³Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin,

13, Kalinina St., Krasnodar, 350044

E-mail: ashad.sheudzhen@mail.ru

The paper presents the results of studying the properties of the soil mineral matrix of rice agricultural landscapes in Kuban. The total specific surface area and mineral matrix (S) of the soil, as well as the spectrum of the acid centers of the soil mineral matrix (PMM) are determined. The control soils for comparison were the soils of the rainfed and fallow lands. It was established that the mineral matrix transformation was depending on the soil type, the particle size distribution and the duration of rice cultivation. Arable horizons of meadow chernozem and meadow bog soils involved in rice crop rotation did not change in the size of the mineral matrix (S of the soils of rice fields, rainfed lands and deposits was $35\text{--}55\text{ м г}^{-2}$). Changes in the mineral matrix were found in the subsoil horizons of the meadow bog clay soil ($S = 73\text{--}160\text{ м г}^{-2}$), which was associated with heavier soil texture and the intensive development of eluvial and gley processes caused by the soil genesis. Permanent cultivation of rice for 80 years contributed to a decrease in the specific surface area of the mineral and organo-mineral matrix ($S = 24\text{ м г}^{-2}$) of the meadow chernozem soil, despite the loamy clay soil texture. This indicates changes in the structural organization of the soils minerals particles in the rice fields.

Keywords: soils of rice agrolandscapes, soil mineral matrix, specific surface area, ammonia thermal desorption spectrum.

ВВЕДЕНИЕ

Эволюция почв, вовлеченных в рисосеяние, во многом зависит от их исходных свойств. Из гидроморфных и автоморфных почв рисовые агроландшафты формируются в течение нескольких десятилетий (Герасимова и др., 2003). Период трансформации зональных почв Кубани в рисовые составляет: для чернозема – около 100 лет, лугово-черноземной почвы – 40–60 лет, аллювиальной луговой почвы – 40 лет, перегнойно-глеевой почвы – около 30 лет (Бочко и др., 2002). Периодическая смена окислительных условий на восстановительные является основной причиной разрушения почвенных минералов. Именно с деструкцией первичных и вторичных минералов связывают повышение дисперсности почвы при оглеении (Николаева, Майнашева, 1980). Минимальными значениями поверхностных свойств отличаются почвы легкого гранулометрического состава. Удельная поверхность закономерно изменяется в соответствии с изменениями свойств почв в процессе их агрогенеза (Уткаева, 2007). Трансформация минеральных частиц почв рисовых агроландшафтов также связана с их дисперсностью: с утяжелением гранулометрического состава повышается кислотность минеральной матрицы с 34–

39 мкмоль $\text{NH}_3\text{ г}^{-1}$ в среднесуглинистых до 45–53 мкмоль $\text{NH}_3\text{ г}^{-1}$ в тяжелосуглинистых и глинистых разновидностях (Зубкова и др., 2017). В связи с этим дальнейшие исследования в данном направлении являются весьма актуальными.

Цель работы – выявить особенности минеральной матрицы почв рисовых агроландшафтов Кубани. В задачи исследования входили определение общей удельной поверхности почвы ($S_{\text{исх}}$) и минеральной матрицы ($S_{\text{ПММ}}$), а также анализ спектров кислотных центров почвенной минеральной матрицы (ПММ).

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования проведены на рисовой оросительной системе ФГУ ЭСП «Красное» (Красноармейский район Краснодарского края). В пределах землепользования предприятия были заложены почвенные разрезы:

– лугово-черноземная почва, вовлеченная в рисовый севооборот (№ 1, 4, 12) и бессменный посев риса в течение 80 лет (без удобрений, № 3);

– лугово-болотная почва, вовлеченная в рисовый севооборот (№ 5, 9, 14);

– лугово-черноземная почва под богарой (№ 11) и залежью (№ 15), последняя расположена на

оросительной системе. Участки в рисовый севооборот не вовлекались.

Подробная характеристика почвенных разрезов представлена в ранее опубликованной работе (Зубкова и др., 2017).

Состояние минеральной массы почвы оценивалось по свойствам ПММ, которая характеризуется размерами и спектром активных кислотных центров (Зубкова и др., 2001, 2017). Преимущество такого подхода заключается в

исследовании поверхности всей минеральной массы почвы, а не ее отдельных фракций. Предварительно был проведен термогравиметрический анализ образцов почв на дериватографе SDT-Q600 (TA instruments) для установления температуры термообработки. Результаты термогравиметрии показали следующее: до 150–200°C происходит удаление воды (эндотермический пик), а дальнейшее уменьшение массы почвы в интервале от 200 до 600°C сопровождается выделением тепла (рис. 1).

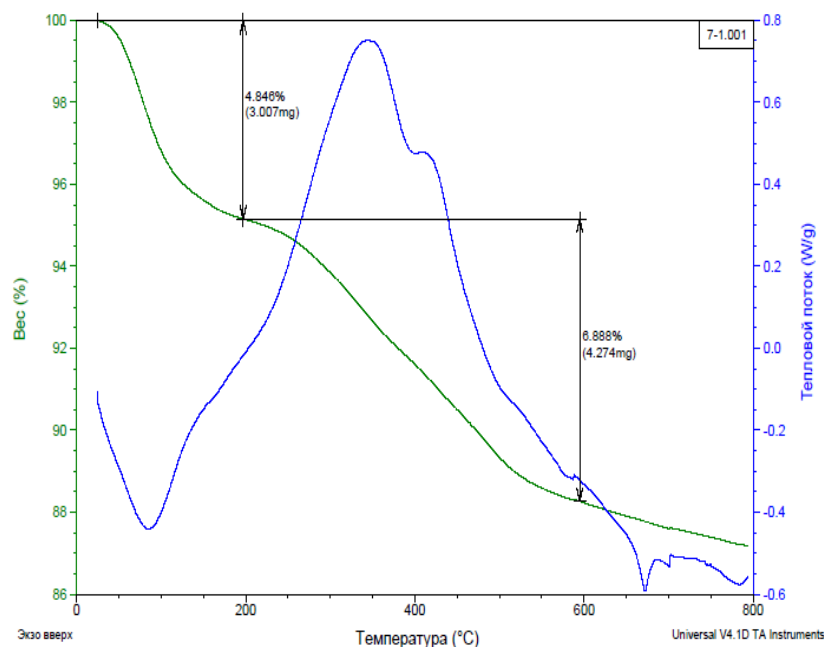


Рис. 1. Термогравиметрическая кривая лугово-черноземной почвы (изогнутая линия – тепловой поток, плавная линия – масса почвенного образца)

При термообработке почвы протекают несколько экзотермических процессов, на кривой теплового потока отмечается два пика – 350–375 и 450°C. Эндотермический пик наблюдается около 675°C, при нем не происходит резкого изменения массы почвы, что свидетельствует о фазовом переходе. Выбор температуры прокаливания почвы 500°C обусловлен тем, что при ней органическое вещество в почве сгорает, после чего остается только минеральная часть. Именно такая термообработка используется при исследовании поверхностных свойств минеральных катализаторов. Некоторые минеральные компоненты почвы все же подвергаются трансформации. Это, в первую очередь, относится к оксидам железа и каолиниту. Разрушение структуры каолинита происходит в интервале температуры 450–850°C, когда удаляется химически связанная вода. Однако необратимое разрушение происходит при нагревании выше 550°C с формированием рентгеноаморфного мета-каолинита (Белогуб и др., 2013). Основное количество химически связанной воды удаляется при температуре около 610°C. Следовательно, существенные изменения каолинита происходят после 500°C. С учетом того, что в лугово-черноземной почве основная масса алюмосиликатных минералов представлена гидрослюдами и минералами смектитовой группы (включая монтмориллонит), которые сохраняются без изменения кристаллической

решетки при температурной обработке 500°C, исследование свойств минеральной матрицы допустимо для оценки трансформации почв рисовых агроландшафтов.

Спектр кислотных центров ПММ определялся методом термопрограммированной десорбции аммиака (ТПД-NH₃) с масс-спектрометрическим анализом на приборе УСГА-101 (ООО «УНИСИТ», Россия), позволяющим получить информацию о свойствах минеральной поверхности: скорости термодесорбции аммиака (молекула-тест на кислотные центры), количестве кислотных центров и их силе (Зубкова и др., 2001, 2017). Суть метода состоит в нагревании почвенного образца по линейному закону изменения температуры ($T = T_0 + \beta t$, где T_0 – температура адсорбции аммиака; βt – скорость нагрева) и регистрации десорбирующихся частиц с последующим расчетом адсорбционной емкости аммиака. Давление десорбированных частиц будет прямо пропорционально скорости десорбции молекул аммиака. При регистрации зависимости скорости десорбции NH₃ от температуры получается кривая, называемая десорбционным спектром. Для различных форм адсорбции на десорбционном спектре будут характерны пики, соответствующие различным формам десорбции аммиака: чем прочнее удерживаются частицы или химические соединения,

тем более высокая температура необходима для их десорбции (Беда и др., 2010).

Удельная поверхность почв определялась методом низкотемпературной адсорбции азота в естественных образцах (исходных – $S_{исх}$) и минеральной матрицы ($S_{пмм}$) в 3-х кратной повторности (Милановский и др., 2011).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Термодесорбционные спектры аммиака ПММ характеризуют почву на молекулярном уровне ее организации. Они содержат информацию о распределении активных (кислотных) центров по их силе на минеральной поверхности. Высокому интервалу температур десорбции NH_3 и энергии активации десорбции NH_3 соответствуют более сильные кислотные центры (Зубкова, Карпачевский, 2001).

Особенности спектров почвенных минеральных матриц представляют собой основу для развития почвенной органо-минеральной матрицы, ее закрепления и стабильности, а также иммобилизации микробных сообществ. Графики скорости термодесорбции аммиака ПММ имеют нормальное распределение с небольшой асимметричностью: высокотемпературная часть более пологая (рис. 2).

Эндотермический пик приходится на центры средней силы с интервалом температур десорбции 165–175°C, в котором скорость десорбции NH_3 является максимальной и варьируется в диапазоне 0,03–0,06 мкмоль $г^{-1} сек^{-1}$. Термодесорбционный спектр для всех исследованных образцов почв характеризуется одним пиком, что свидетельствует об однородных формах адсорбционных центров. Разница наблюдается в абсолютных значениях скорости десорбции молекул аммиака, а также в точках перегиба. Например, десорбционный спектр лугово-

болотной почвы (№ 5, 20–49 см) характеризуется узким пиком в температурном интервале 170–200°C, в котором достигается максимальная скорость десорбции NH_3 0,06 мкмоль $г^{-1} сек^{-1}$. В образце лугово-черноземной почвы (№ 1, 0–20 см) скорость десорбции NH_3 почти в два раза ниже (0,035 мкмоль $г^{-1} сек^{-1}$), а пик более пологий (точки перегиба 160–200°C). Почва бессменного посева риса характеризовалась самыми низкими значениями кислотных центров – 0,029 мкмоль $г^{-1} сек^{-1}$ (рис. 2).

Общим для всех исследуемых почвенных образцов является то, что концентрация слабокислотных центров, которым соответствует низкотемпературный пик 170–230°C, значительно превосходит количество сильнокислотных центров (интервал термодесорбции NH_3 равен 300–500°C). Такое распределение активных центров характерно для всей смеси почвенной минеральной массы в отличие от индивидуальных минералов, для которых свойственно несколько экзотермических пиков. Однако черноземные почвы отличаются от других типов, например, дерново-подзолистых, сдвигом кривой термодесорбции аммиака в область слабых кислотных центров, которые могут проявлять себя в химических процессах как слабое основание (Зубкова, Карпачевский, 2001).

Таким образом, анализ термодесорбционных спектров аммиака ПММ лугово-черноземной и лугово-болотной почв позволил выявить их однотипность: для них характерен один низкотемпературный пик с точками перегиба в интервале 170–230°C. Концентрация слабокислотных центров значительно превосходит количество сильнокислотных. Минеральные матрицы исследуемых почв различаются по числу кислотных центров разной силы.

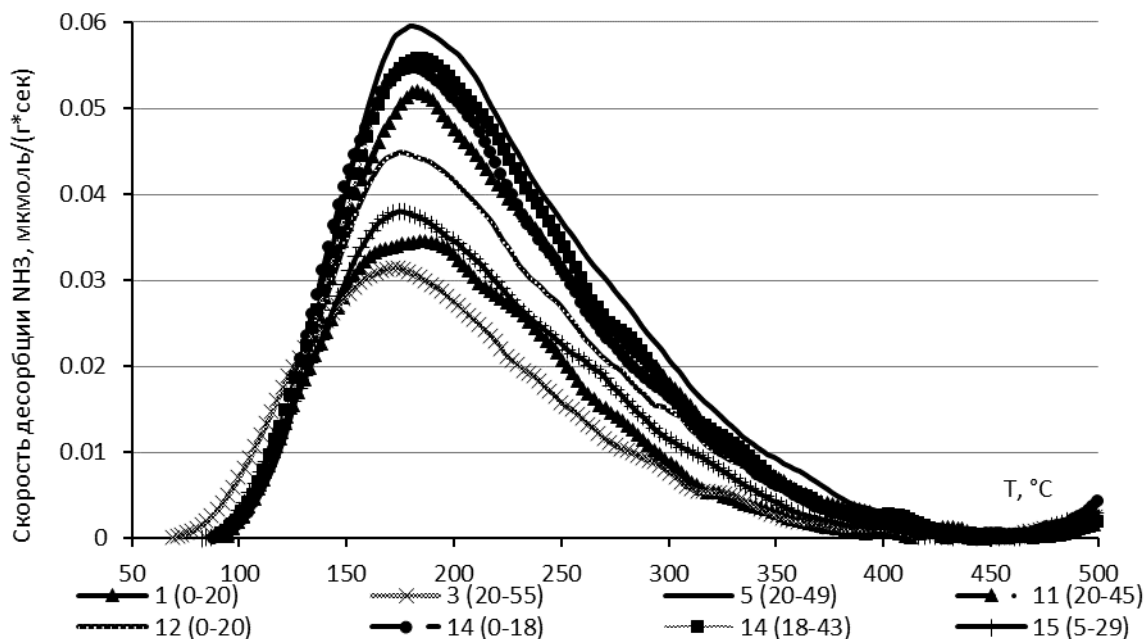


Рис. 2. Скорость термодесорбции аммиака почвенных минеральных матриц (1, 3, 5, 11, 12, 14, 15 – № разреза, глубина взятия почвенного образца, см)

В условиях рисосеяния проявляются специфические условия почвообразования, которые не свойственны богарной и залежной почвам. В почвах рисовых полей развиваются элювиально-глеевые процессы, сопровождающиеся выносом из пахотных горизонтов подвижных форм соединений железа, фосфора, водорастворимого гумуса и илистых фракций. Почвенный профиль формируется по элювиально-иллювиальному типу, степень его дифференциации во многом зависит от мелиоративного состояния оросительной системы. В лугово-болотной почве элювиально-глеевые процессы развиваются интенсивнее, чем в лугово-черноземной, что неблагоприятно отражается на окислительно-восстановительном режиме, а также физических и физико-химических свойствах: в пахотном горизонте накапливаются недоокисленные соединения железа (20,16–69,07 против 7,78–14,97 мг 100 г⁻¹), увеличивается плотность сложения (1,34–1,46 против 1,28–1,35 г см⁻³), снижается пористость (42,6–49,6 против 49,4–52,1%), уменьшается доля Ca²⁺ (62,89–69,03 против 70,13–73,51%), повышается доля Mg²⁺ (24,39–28,83 против 19,35–23,17%) и Na⁺ (3,56–6,52 против 3,24–4,07% от суммы обменных оснований), в составе гумуса увеличивается содержание фульвокислот (C_{тк}:C_{фк} = 1,04–1,22 против 1,87–2,12), снижается количество подвижного фосфора и водорастворимого гумуса (1,55–3,05 против 2,56–5,32 мг 100 г⁻¹ и 0,00218–0,00303 против 0,00319–0,00469% C соответственно). Бессменное выращивание риса в течение 80 лет отрицательно сказывается на свойствах лугово-черноземной почвы. В ней происходит накопление подвижного железа, представленного преимущественно трехвалентной окисленной формой; двухвалентные соединения железа составляют 4,58–7,35% от суммы FeO + Fe₂O₃, что характерно также для почв рисового севооборота. Это противоречит литературным данным, согласно которым, в почвах под бессменными посевами риса содержатся недоокисленные формы железа (Бахманиар, 2008; Кириенко, 1985). Однако поскольку в почве бессменной культуры, выращиваемой без применения удобрений, сильно выражены процессы дегумификации (содержание гумуса за последние 12 лет снизилось с 2,88 до 2,27% на фоне его фульватизации), восстановительные процессы при ее ежегодном постоянном затоплении развиваются за счет минерализации запасов гумуса. Для почвы данного участка характерны высокая плотность пахотного и подпахотного горизонтов (1,59 и 1,60 г см⁻³ соответственно), чрезмерно низкая пористость (41,1 и 41,4% соответственно), значительная доля фульвокислот в составе гумуса (C_{тк}:C_ф = 0,84–0,88), незначительное содержание общего азота (0,089 и 0,063% соответственно) и очень низкая обеспеченность подвижным фосфором по сравнению с почвами рисового севооборота.

Важной характеристикой твердой фазы почвы является удельная поверхность – суммарная поверхность всех ее частиц, от величины и качества

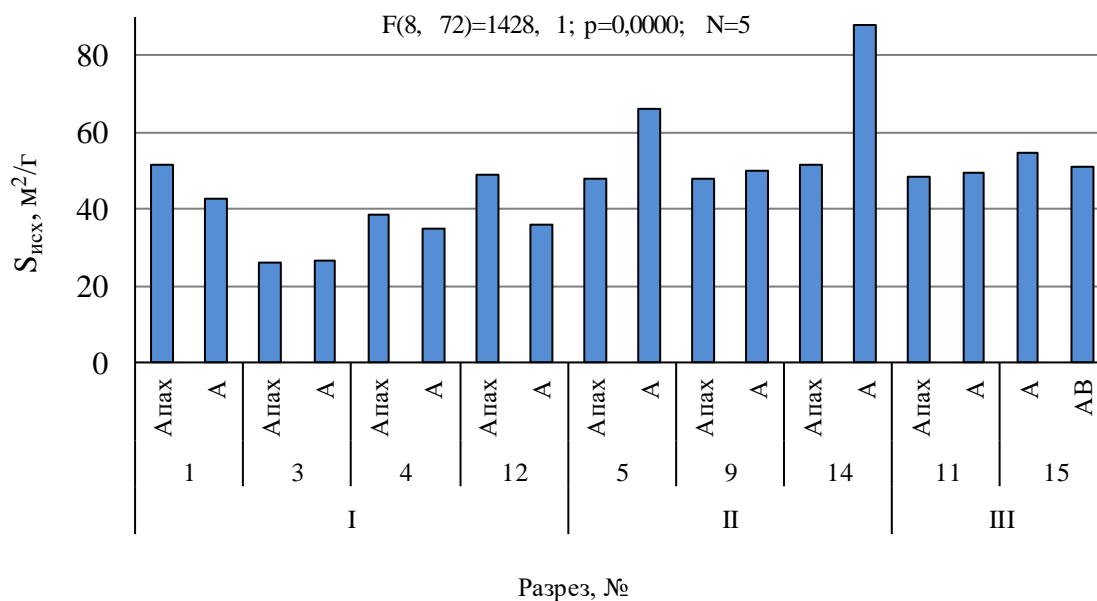
которой зависят процессы поглощения минеральных и органических веществ, газов, парообразной и жидкой влаги, характер миграционных процессов и физические свойства. Удельная поверхность почвы является одним из наиболее часто используемых количественных показателей дисперсности. Данный показатель применяется для сравнительной оценки дисперсности разных почв и их динамики в ходе почвообразовательных или деградиционных процессов (Смагин и др., 2017).

Результаты исследований показали, что удельная поверхность пахотных горизонтов почв рисовых полей варьируется в диапазоне 26,2–51,7 м² г⁻¹ в органо-минеральной (исходной) матрице и 24,2–50,2 м² г⁻¹ в минеральной матрице (рис. 3 А, В). В подпахотных горизонтах значения и разброс данных увеличиваются до 26,9–88,0 и 24,1–164,0 м² г⁻¹ соответственно. Такая дифференциация почвенного профиля сильнее выражена в лугово-болотной глинистой почве с выкорозвитой поверхностью нижних горизонтов, причем в исходных образцах и минеральной матрице она достигает 50,0–88,0 и 75,3–164,0 м² г⁻¹ соответственно, что в 2,0–3,0 раза выше, чем в подпахотных горизонтах лугово-черноземной почвы.

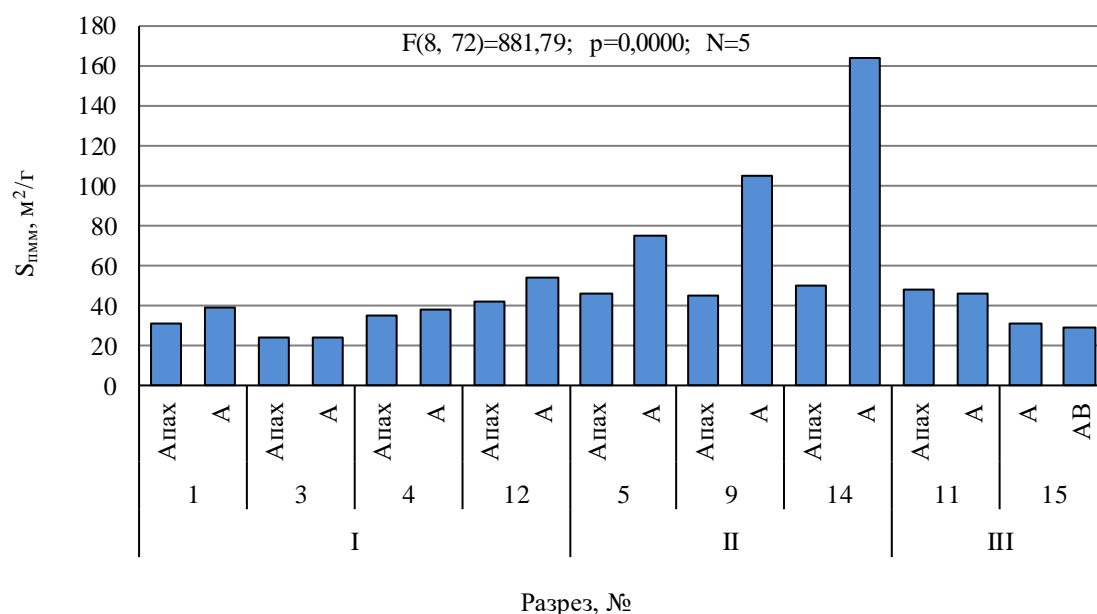
Варьирование показателей определяется не только типом почв, но также гранулометрическим составом и длительностью возделывания риса. Среднесуглинистые почвы (№ 1, 4) отличаются меньшей площадью удельной поверхности по сравнению с тяжелосуглинистыми и глинистыми (№ 5, 9, 12, 14). При бессменном возделывании риса (№ 3) установлена самая низкая величина удельной поверхности почвы, которая в 1,5–2,0 раза меньше, чем в условиях рисового севооборота, несмотря на тяжелосуглинистый гранулометрический состав почвы (рис. 3). По общему числу кислотных центров почва под бессменной культурой риса также характеризуется низкими показателями – 32 мкмоль NH₃ г⁻¹ (Зубкова и др., 2017).

Удельная поверхность лугово-черноземной почвы богары и залежи отличается слабой дифференциацией минеральной матрицы (S_{пмм}), по характеристикам данная почва близка к почвам, используемым в рисовом севообороте.

Таким образом, в лугово-болотной почве происходит резкая дифференциация профиля по удельной поверхности как органо-минеральной, так и минеральной матрицы, увеличивающаяся в подпахотных горизонтах на 40–145% и более по сравнению с пахотными. В лугово-черноземной почве данный показатель возрастает лишь на 25–28%. Участки почвы вне рисового севооборота (залежь и богара) отличаются слабой дифференциацией профиля по минеральной матрице. Бессменное возделывание риса привело к трансформации почвы как по размерам, так и по концентрации активных центров.



А



Б

Рис. 3. Удельная поверхность органо-минеральной ($S_{исх}$, А) и минеральной матрицы ($S_{пмм}$, В) почв:

I и II – лугово-черноземная и лугово-болотная почвы, используемые в рисосеянии; III – лугово-черноземная почва вне рисового севооборота (богара, залежь); F – фактическое значение критерия Фишера для 5%-го уровня значимости; p – вероятность нуль-гипотезы об отсутствии различий; N – число повторений для каждого объекта

Удельная поверхность естественной почвы во многом определяется размерами минеральной матрицы, которая унаследована от почвообразующей породы. В процессе почвообразования и сельскохозяйственного использования почв происходит формирование матричного гумуса, закрепленного на минеральной матрице. Поэтому в естественных почвах наблюдается пропорциональная линейная зависимость удельной поверхности органо-минеральной матрицы от минеральной матрицы почв ($S_{исх}$ от $S_{пмм}$). В почвах рисовых агроландшафтов

установлена такая же зависимость (рис. 4 А). Полученные данные по зависимости $S_{исх}$ от $S_{пмм}$ позволили сгруппировать изученные почвы в три контура (рис. 4 В). В первый контур вошла лугово-черноземная почва бессменного возделывания риса ($S = 24 \text{ м}^2 \text{ г}^{-1}$), во второй – лугово-черноземная и лугово-болотная почвы, вовлеченные в рисовый севооборот, а также лугово-черноземная почва богары и залежи ($S = 35\text{--}55 \text{ м}^2 \text{ г}^{-1}$), в третий – нижние горизонты лугово-болотной почвы рисовых полей ($S = 73\text{--}160 \text{ м}^2 \text{ г}^{-1}$).

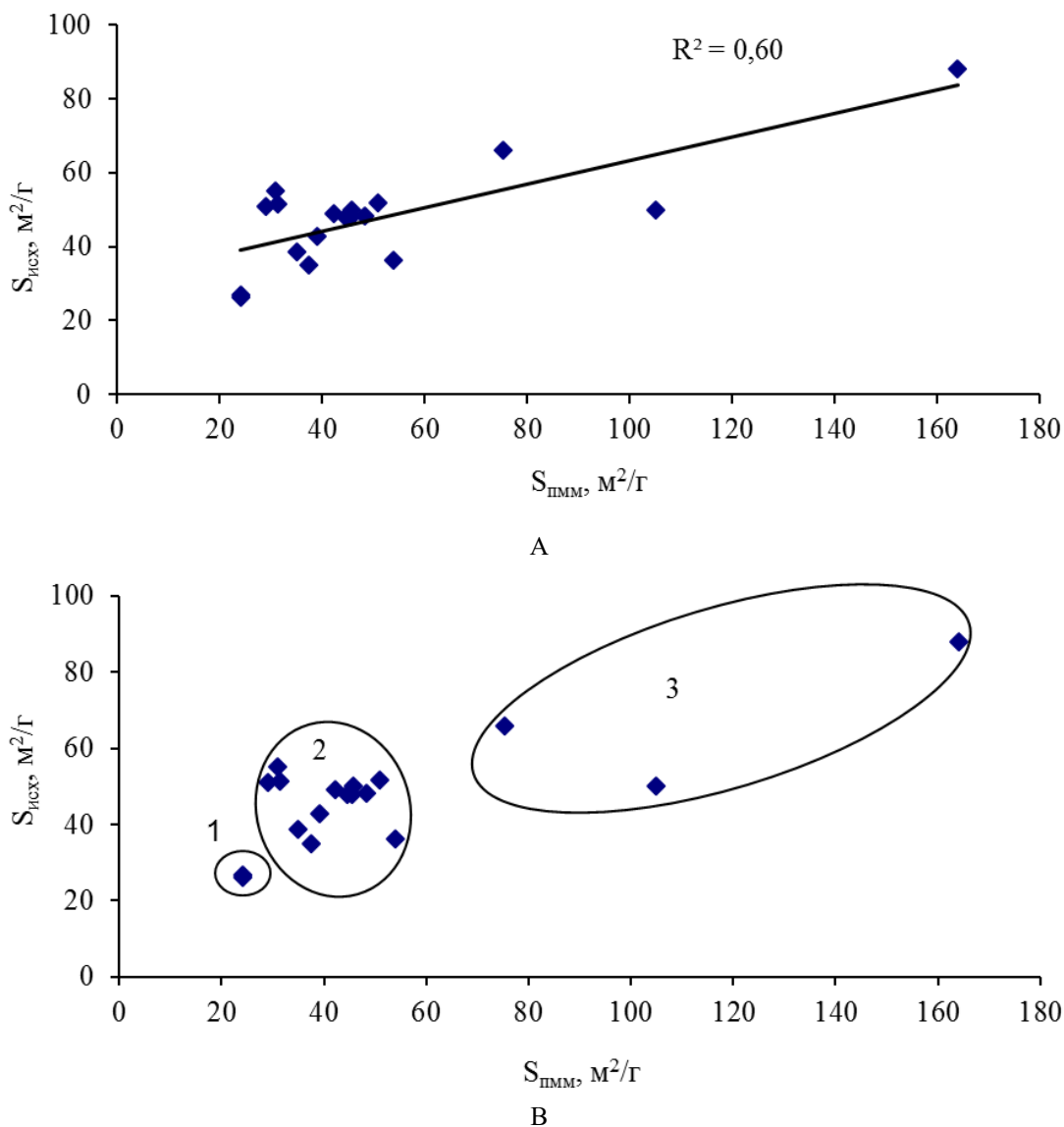


Рис. 4. Зависимость удельной поверхности органо-минеральной почвенной матрицы ($S_{исх}$) от минеральной ($S_{пмм}$): контур 1 – лугово-черноземная почва под бессменной культурой риса; контур 2 – лугово-черноземная и лугово-болотная почвы рисового севооборота, лугово-черноземная почва богары и залежи; контур 3 – подпахотные горизонты лугово-болотной почвы рисового севооборота

ВЫВОДЫ

Минеральная матрица трансформируется в зависимости от типа почв, гранулометрического состава и длительности возделывания риса. Анализ термодесорбционных спектров NH_3 минеральной матрицы лугово-черноземной и лугово-болотной почв выявил их однотипность. Пахотные горизонты данных почв, вовлеченных в рисосеяние, не трансформируются по размеру минеральной матрицы – площади удельной поверхности (S) почв рисовых полей, богары и залежи находятся в диапазоне $35-55 \text{ м}^2 \text{ г}^{-1}$. Это обусловлено ежегодной механической обработкой пахотного слоя почв, снижающей негативное влияние периодической смены процессов иссушения и увлажнения. Среднесуглинистые разновидности отличаются меньшими размерами удельной поверхности по сравнению с тяжелосуглинистыми и глинистыми почвами. Изменения минеральной матрицы отмечены в подпахотных горизонтах лугово-болотной почвы

($S = 73-160 \text{ м}^2 \text{ г}^{-1}$), что связано с утяжелением гранулометрического состава и интенсивным развитием элювиально-глеевых процессов, обусловленными генезисом почвенного типа. Максимальная трансформация минеральной матрицы лугово-черноземной почвы происходит при бессменном выращивании риса в течение 80 лет. Площадь удельной поверхности снижается с $35-55$ до $24 \text{ м}^2 \text{ г}^{-1}$, несмотря на высокую дисперсность, обусловленную тяжёлым гранулометрическим составом почвы. Это указывает на изменения структурной организации минеральных частиц почв рисовых полей.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Министерства образования, науки и молодежной политики Краснодарского края в рамках проекта № 16-44-230473.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бахманиар М. А. Изменение свойств почв при различных сроках возделывания рисовой культуры // Почвоведение. 2008. № 1. С. 95–101.
- Беда А. А., Ищенко Е. В. Метод расчета кинетических параметров процесса десорбции для случая плохо разделенных пиков при исследовании углеродных нанотрубок и карбида кремния // Сверхтвердые материалы. 2010. № 5. С. 74–80.
- Белогуб Е. В., Стафеева З. В. Особенности термического поведения каолинов месторождения Журавлиный лог (Челябинская обл.) по данным гранулометрического, термического и рентгеноструктурного анализа // Материалы V Всероссийской молодежной научной конференции «Минералы: строение, свойства, методы исследования» (к 100-летию со дня рождения Л. Н. Овчинникова). Екатеринбург, 14–17 октября 2013 г. Екатеринбург: Институт геологии и геохимии УрО РАН, 2013. С. 25–29.
- Бочко Т. Ф., Авакян К. М., Шеуджен А. Х., Харитонов Е. М., Черниченко И. Д., Суетов В. П. Окислительно-восстановительные процессы в почвах рисовых полей Кубани. Майкоп: ГУРИПП «Адыгея», 2002. 52 с.
- Герасимова М. И., Строганова М. Н., Можарова Н. В., Прокофьева Т. Ф. Антропогенные почвы: генезис, география, рекультивация: учебное пособие / Под ред. академика РАН Г. В. Добровольского. Смоленск: Ойкумена, 2003. 268 с.
- Зубкова Т. А., Гуторова О. А., Шеуджен А. Х. Матричная организация почв рисовых агроландшафтов Кубани // Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ. 2017. № 133. С. 904–922.
- Зубкова Т. А., Карпачевский Л. О. Матричная организация почв. М.: Русаки, 2001. 296 с.
- Кириенко Т. Н. Рисовые поля Украины и пути оптимизации почвообразовательных процессов. Львов: Вища школа. Изд-во Львов. ун-та, 1985. 184 с.
- Милановский Е. Ю., Хайдапова Д. Д., Поздняков А. И., Тюгай З. Н., Початкова Т. Н., Черноморченко Н. И., Манучаров А. С. Практикум по физике твердой фазы почв. Тула: Гриф и К, 2011. 63 с.
- Николаева С. А., Майнашева Г. М. Влияние орошения методом затопления на свойства чернозёмов // Проблемы ирригации почв юга чернозёмной зоны. М.: Наука, 1980. С. 126–141.
- Смагин А. В., Башина А. С., Ключева В. В., Кубарева А. В. Термодесорбционный анализ эффективной удельной поверхности почв // Почвоведение. 2017. № 12. С. 1477–1484.
- Уткаева В. Ф. Удельная поверхность и теплота смачивания различных почв Европейской территории России // Почвоведение. 2007. № 11. С. 1336–1346.

REFERENCES

- Bakhmaniar M. A. Izmenenie svojstv pochv pri razlichnykh srokakh vozdelvaniya risovoj kul'tury [Changes in soil properties at different periods of rice crop cultivation] // *Pochvovedenie*, 2008, no. 1, pp. 95–101.
- Beda A. A., Ishchenko E. V. Metod rascheta kineticheskikh parametrov processa desorbicii dlya sluchaya ploho razdelennykh pikov pri issledovanii uglerodnykh nanotrubok i karbida kremniya [Method for calculating the kinetic parameters of the desorption process for the case of poorly separated peaks in the study of carbon nanotubes and silicon carbide] // *Sverhтвердые материалы*, 2010, no. 5, pp. 74–80.
- Belogub E. V., Stafeeva Z. V. Osobennosti termicheskogo povedeniya kaolinov mestorozhdeniya Zhuravlinyj log (Chelyabinskaya obl.) po dannym granulometricheskogo, termicheskogo i rentgenostrukturnogo analiza [Features of the thermal behavior of kaolins of the Zhuravlin Log deposit (Chelyabinsk Region) according to the particle size, thermal and X-ray structural analysis]. *Materialy V Vserossijskoj molodezhnoj nauchnoj konferencii «Mineraly: stroenie, svojstva, metody issledovaniya» (k 100-letiyu so dnya rozhdeniya L.N. Ovchinnikova)*. Ekaterinburg, 14–17 oktyabrya 2013 g. [Proceedings of the V All-Russian Youth Scientific Conference «Minerals: structure, properties, research methods» (on the 100th anniversary of the birth of L. N. Ovchinnikov). Ekaterinburg, October 14–17, 2013]. Ekaterinburg, 2013, pp. 25–29.
- Bochko T. F., Avakyan K. M., Sheudzhen A. H., Haritonov E. M., Chernichenko I. D., Suetov V. P. *Okislitel'no-восстановitel'nye processy v pochvah risovyh polej Kubani* [Redox processes in the soils of rice fields of Kuban]. Majkop: GURIPP «Aдыгея», 2002. 52 p.
- Gerasimova M. I., Stroganova M. N., Mozharova N. V., Prokof'eva T. F. *Antropogennye pochvy: genезis, geografiya, rekul'tivatsiya: uchebnoe posobie* [Anthropogenic soils: genesis, geography, remediation: study guide]. Pod red. akademika RAN G. V. Dobrovol'skogo. Smolensk: Ojkumena, 2003. 268 p.
- Zubkova T. A., Gutorova O. A., Sheudzhen A. H. *Matrichnaya organizaciya pochv risovyh agrolandshaftov Kubani* [Matrix soil organization of rice agricultural landscapes of the Kuban] // *Politematicheskij setevoj ehlektronnyj nauchnyj zhurnal KubGAU*, 2017, no. 133, pp. 904–922.
- Zubkova T. A., Karpachevskij L. O. *Matrichnaya organizaciya pochv* [Soil matrix organization]. Moscow: Rusaki, 2001. 296 p.
- Kiriенko T. N. *Risovye polya Ukrainy i puti optimizatsii pochvoobrazovatel'nykh protsessov* [Rice fields of Ukraine and ways to optimize soil-forming processes]. L'vov: Vishha shkola. Publishing L'vov University, 1985. 184 p.
- Milanovskij E. Yu., Hajdapova D. D., Pozdnyakov A. I., Tyugaj Z. N., Pochatkova T. N., Chernomorchenko N. I., Manucharov A. S. *Praktikum po fizike tverdoj fazy pochv* [Workshop on the physics of the solid phase of soil]. Tula: Grif i K, 2011. 63 p.

- Nikolaeva S. A., Majnasheva G. M. Vliyanie orosheniya metodom zatopeniya na svoystva chernozyomov [The effect of irrigation by flooding on the properties of chernozem]. *Problemy irrigacii pochv yuga chernozyomnoj zony* [Problems of soil irrigation in the south of the black earth zone]. Moscow: Nauka, 1980, pp. 126–141.
- Smagin A. V., Bashina A. S., Klyueva V. V., Kubareva A. V. Termodesorbtsionnyj analiz ehffektivnoj udel'noj poverkhnosti pochv [Thermal Desorption Analysis of Effective Soil Surface Area] // *Pochvovedenie*, 2017, no. 12, pp. 1477–1484.
- Utkaeva V. F. Udel'naya poverkhnost' i teplota smachivaniya razlichnykh pochv Evropejskoj territorii Rossii [Specific surface and wetting heat of various soils of the European territory of Russia] // *Pochvovedenie*, 2007, no. 11, pp. 1336–1346.

УДК 57.044; 504.05; 631.46

DOI: 10.25695/AGRPH.2019.02.03

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРЯМОГО ПОСЕВА НА ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЧЕРНОЗЕМОВ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

К. Ш. Казеев, Т. В. Минникова, М. А. Мясникова, Г. В. Мокриков, С. И. Колесников

*Южный федеральный университет, Академия биологии и биотехнологии им. Д. И. Ивановского,
344090, г. Ростов-на-Дону, проспект Стачки, 194/1
E-mail: kamil_kazeev@mail.ru*

Поступила в редакцию 18 декабря 2018 г., принята к печати 27 мая 2019 г.

Оценено воздействие прямого посева (No-Till, NT) на физические свойства почв в агроценозах озимой пшеницы в Октябрьском районе Ростовской области в 2016–2018 гг. Оценка физических свойств черноземов с прямым посевом проводилась посредством их сравнения с почвами агроценозов с традиционной обработкой. Исследования температуры, влажности, сопротивления пенетрации и плотности сложения почв проводились за 3–5 периодов (с мая по сентябрь) в течение каждого года. Применение NT по сравнению с традиционной технологией способствовало большему (на 83%) сохранению влаги в почве в сентябре. Установлено, что в 2017–2018 гг. в почве участков с NT сохранилось больше влаги во время сухого периода (июль) по сравнению с участками с традиционной технологией обработки. Плотность сложения почв повышалась в сухой период в среднем до $1,3 \text{ г см}^{-3}$ и не зависела от технологии обработки. В период максимальной вегетации растений (май) значения сопротивления пенетрации почв в 0–45-см слое при NT и традиционной технологии обработки достоверно не различались. В июле и сентябре 2016–2018 гг. вследствие снижения влажности почв как при отвальной вспашке, так и при NT наблюдалось повышение сопротивления пенетрации до значений выше 5,0 МПа, особенно в нижних слоях. Влияние NT на сопротивление пенетрации почвы было выраженным уже в поверхностных слоях почвы, в то время как при отвальной вспашке большее сопротивление пенетрации почвы установлено на глубине 15–20 см, т. е. ниже разрыхленного пахотного слоя.

Ключевые слова: прямой посев, традиционная технология обработки, черноземы, плотность, влажность, температура, сопротивление пенетрации, сезонная динамика.

EVALUATION OF DIRECT DRILLING IMPACT ON CHERNOZEMS AGROPHYSICAL PROPERTIES IN ROSTOV REGION

K. Sh. Kazeev, T. V. Minnikova, M. A. Myasnikova, G. V. Mokrikov, S. I. Kolesnikov

*Southern Federal University, Academy of biology and biotechnology named after
D. I. Ivanovskiy, 194/1, pr. Stachki, Rostov-on-Don, 344090
E-mail: kamil_kazeev@mail.ru*

The paper is devoted to evaluation of direct drilling (No-Till, NT) impact on the soil physical properties in winter wheat agroecosystem in Oktyabrskiy district of Rostov region in 2016–2018. Conventional moldboard plowing was used as a control. Measurements of the soil temperature, moisture content, penetration resistance and bulk density were conducted 3–5 times (from May to September) each year. NT resulted in