СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ. АГРОНОМИЯ

DOI: 10.32786/2071-9485-2021-03-01

FACTORS AND PROCESSES OF THE CHERNOZEM EVOLUTION IN THE CONDITIONS OF ORGANIC AGRICULTURE AND LANDSCAPES OF THE MIDDLE VOLGA REGION

R. F. Baibekov, I. M. Yashin, S. L. Belopukhov, S. R. Ramazanov

*Russian State Agrarian University –
Moscow State Agricultural Academy named after K. A. Timiryazev, Moscow*

Received 19.05.2021

Submitted 21.07.2021

The work was supported by the grant of the President of the Russian Federation No. NSH-10347.2016.11 «Agroecological research with the development, adaptation and verification of information and methodological support for agroecological monitoring of land, land use technologies and product quality» and the Ministry of Agriculture of the Russian Federation on the topic No. 107-2020 «Assessment of the impact of spatial variation of soil properties on the production process and product quality in the crop rotation of an economy accredited according to international standards «Organic»

Summary

The materials presented in the article are of great scientific and practical importance in the landscape organization of the territory, in the placement of cultivated crops and the introduction of resource-saving technologies, including organic farming, agroecological assessment and soil protection.

Abstract

Introduction. The ecological situation in the agrarian, steppe and floodplain landscapes of the Middle Volga region is diagnosed by us as tense. This is due to droughts, fires in the period 2010-2020, the death of many facies of birch forests, spruce forests, meadow forbs on the upland and in the plantings of forest belts. Against the background of climate aridization, atmospheric droughts and abnormally hot weather, the physicochemical properties of chernozems change, especially after fires. It is necessary to assess the influence of slightly saline rocks on the evolutionary processes of chernozems (and native humic substances) in the landscapes of the Middle Volga region. We carried out such model eco-geochemical experiments to assess the native processes of alkaline hydrolysis of minerals and humic substances and the transformation of chernozems into chernozem soils. **Object.** The factors of the evolution of chernozems of the Middle Volga region in the agrarian, floodplain, steppe and forest-steppe ecosystems of the Educational Farm «Mummovskoe» of the Atkarsk district of the Saratov region have been studied. **Materials and methods.** The analysis used a set of environmental research methods: route method, experimental modeling, chromatography and sorption lysimeters. Reactions of the interaction of aqueous alkaline solutions formed during the period of rains from the ash of steppe plants after fires with soil were simulated in wide and short columns. **Results and Conclusions.** The factors of evolution of chernozems are differentiated by us into global ones, which are associated with climate aridization, droughts, fires, and local ones – «clean» vapors, «plow bottom» in chernozems of agricultural ecosystems, salinization and alkaline hydrolysis of humic substances, water migration of soil formation products. The evolutionary processes of chernozems have been studied from an eco-geochemical standpoint. The results of studies in the period 2006 - 2018 are presented, an assessment of the ecological state, features of the degradation of humic substances in chernozems on the uplands of the Bolshaya Kolyshley river valley is carried out. In this region, a large-scale loss of facies of birch and oak was noted. It was noted that steppe herbaceous communities everywhere replace forest facies («chops»). The native degradation of humic substances in chernozem and their evolution into chernozem soils has been established. The evolutionary processes of chernozems are associated with alkaline hydrolysis of minerals and humic substances. Biodegradation of the molecular structures of humates and sodium fulvates with the release of iron-organic complex compounds in the sands of river terraces

above the floodplain is noted. The physicochemical characteristics of soils have been determined. It is shown that fertile chernozems on upland areas are transformed into solonetzic and solodized chernozems, and then into chernozemic chernozems with unfavorable physicochemical and ecological properties. The information obtained is of great scientific and practical importance in the landscape organization of the territory, in the placement of cultivated crops and the introduction of resource-saving technologies, agroecological assessment and soil protection.

Keywords: *chernozem evolution, agroclimatic conditions, droughts, fires, salinization, alkalization, humates, fulvic acids, mass transfer, sorption, lysimeters.*

Citation. Baibekov R. F., Yashin I. M., Belopukhov S. L., Ramazanov S. R. Factors and processes of the chernozem evolution in the conditions of organic agriculture and landscapes of the Middle Volga region. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2021. 3(63). 14-29 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2021-03-01.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 631.421:631.423

ФАКТОРЫ И ПРОЦЕССЫ ЭВОЛЮЦИИ ЧЕРНОЗЕМОВ В УСЛОВИЯХ ОРГАНИЧЕСКОГО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА И ЛАНДШАФТОВ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

Р. Ф. Байбеков, доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН

И. М. Яшин, доктор биологических наук, профессор

С. Л. Белопухов, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

С. Р. Рамазанов, соискатель

*Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К. А. Тимирязева,
г. Москва*

Дата поступления в редакцию 19.05.2021

Дата принятия к печати 21.07.2021

**Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ №НШ-10347.2016.11
«Агроэкологические исследования с разработкой, адаптацией и верификацией
информационно-методического обеспечения агроэкологического мониторинга земель,
технологий землепользования и качества продукции» и МСХ РФ по теме №107-2020
«Оценка влияния пространственного варьирования свойств почвы на производственный
процесс и качество продукции в севообороте хозяйства, аккредитованного
по международным стандартам «Органик»**

Актуальность. Экологическая ситуация в аграрных, степных и пойменных ландшафтах Среднего Поволжья диагностируется нами как напряженная. Причинами этого являются засухи, пожары в период 2010-2020 гг., далекий от оптимального водный режим почвы, изменение физико-химических характеристик почв, что влияет на химический состав почвы, растений, деревьев как на плакоре, так и в посадках лесополос. Постоянно изменяющиеся агроэкологические и агроклиматические параметры, общее повышение температуры, снижение количества осадков определяют нестабильность физико-химических и физико-механических свойств черноземов, особенно после пожаров. Проведенные исследования показали, что и далее необходимо проводить оценку влияния слабо засоленных пород на процессы эволюции черноземов и нативных гумусовых веществ в ландшафтах Среднего Поволжья. Такие модельные эко-геохимические опыты были проведены нами для оценки нативных процессов щелочного гидролиза минералов и гумусовых веществ и трансформации черноземов в черноземные почвы. **Объекты.** Изучены факторы эволюции черноземов Среднего Поволжья в аграрных, пойменных, степных и лесостепных экосистемах на примере почв учхоза «Муммовское» Аткарского района Саратовской области. **Материалы и методы.** При

анализе использован комплекс методов экологических исследований: маршрутный метод, экспериментальное моделирование, хроматография, термохимический анализ и сорбционные лизиметры. Реакции взаимодействия водных щелочных растворов, образовавшихся в период дождей из золы степных растений после пожаров, с почвой моделировали в широких и коротких колонках. **Результаты и выводы.** Факторы эволюции черноземов дифференцированы нами на глобальные, которые связаны с аридизацией климата, засухами, пожарами, и локальные – «чистые» пары, «плужная подошва» в черноземах аграрных экосистем, засоление и щелочной гидролиз гумусовых веществ, водная миграция продуктов почвообразования. Процессы эволюции черноземов изучены с эко-геохимических позиций. Представлены результаты исследований в период 2006-2019 гг., проведена оценка экологического состояния, особенностей деградации гумусовых веществ черноземов на плакорах долины реки Большой Кольшлей. В обследованном регионе отмечена масштабная гибель фаций берез и дуба. Отмечено, что степные травянистые сообщества повсеместно замещают лесные фации («колки»). Установлена нативная деградация гумусовых веществ черноземов и их эволюция в черноземные почвы. Процессы эволюции черноземов связаны со щелочным гидролизом минералов и гумусовых веществ. Это приводит к химической и биологической трансформации молекулярных структур гуматов и фульватов натрия с последующим выходом железосодержащих органических комплексных соединений в песках речных надпойменных террас. Определены физико-химические характеристики почв. Показано, что плодородные черноземы на плакорах трансформируются в черноземы солонцеватые и осолоделые, а затем в солонцы черноземные с неблагоприятными физико-химическими и экологическими свойствами. Полученная информация имеет важное научно-практическое значение при ландшафтной организации территории, при размещении возделываемых культур и внедрении ресурсосберегающих технологий, включая органическое земледелие, агроэкологической оценке и охране почв.

Ключевые слова: эволюция черноземов, агроклиматические условия, засухи, пожары, засоление почв, осолонцевание, гуматы, фульвокислоты.

Цитирование. Байбеков Р. Ф., Яшин И. М., Белопухов С. Л., Рамазанов С. Р. Факторы и процессы эволюции черноземов в условиях органического сельского хозяйства и ландшафтов Среднего Поволжья. *Известия НВ АУК*. 2021. 3(63). 14-29. DOI: 10.32786/2071-9485-2021-03-01.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Постоянно изменяющиеся агроэкологические и агроклиматические условия на территориях сельскохозяйственных производственных предприятий Поволжья, в степях, пойменных ландшафтах Среднего Поволжья, Республики Крым заставляют по-новому оценивать и применять приемы ведения сельскохозяйственного производства [10, 11]. В последнее десятилетие отмечается увеличение числа крупных пожаров, чему способствует отсутствие достаточного количества осадков. Это приводит к гибели трав, кустарников, деревьев на плакоре и в посадках лесополос [6]. Такая совокупность неблагоприятных экологических факторов действует на изменение физико-химических характеристик и химического состава почв, особенно сильно это отражается на физико-химическом свойстве черноземов, химическом составе органического и минерального состава вещества почв, почвенного раствора, окислительно-восстановительного и электрокинетического потенциала, в частности, после масштабных пожаров. Проведенные нами ранее исследования показали, что неполно изучено влияние слабо засоленных пород на процессы эволюции черноземов (и нативных гумусовых веществ) в ландшафтах Среднего Поволжья и Крыма. В то же время локальное засоление и деградация черноземов возможны также и после масштабных пожаров при

формировании на поверхности почв слоя золы, обуглившегося органического вещества. Подобные модельные эко-геохимические опыты и были проведены нами для последующей оценки нативных процессов щелочного гидролиза минералов и гумусовых веществ и трансформации черноземов в черноземные почвы.

Целью исследования являлось изучение черноземов и процессов их эволюции в ландшафтах Среднего Поволжья и Крыма.

В задачи исследований входило провести оценку химического состава и физико-химических показателей почв, исследовать влияние слабо засоленных пород на процессы эволюции черноземов и нативных гумусовых веществ, установить факторы и этапы процессов деградации черноземов.

Рисунок 1 – Фото плакора коренного берега реки Большой Колышлей: а – профиль чернозема солонцеватого (осолоделого), 2016 г.; в - профиль с сорбционными колонками, 2017 г.; с – профиль чернозема солонцеватого (осолоделого), 2017 г. (фото И. М. Яшина)

Figure 1 – Photo of a plakor on the bedrock bank of the Bolshaya Kolyshley River: a - profile of solonchak (solonchakous) chernozem, 2016; c - profile with sorption columns, 2017; c - profile of solonchak chernozem (solodized), 2017 (photo by I. M. Yashin)

Материалы и методы. Процессы эволюции черноземов нами проведены в ОАО «Учхоз «Муммовское» (Аткарский район Саратовской области) в 2006 -2019 гг., в ООО «Эфирмасло» Белогорского района Республики Крым в 2018-2019 гг., где изучали экосистемы в аграрных, пойменных, степных и лесостепных районах. При проведении испытаний и оценке химических и физико-химических показателей почвы нами использован комплекс физико-химических, химических и экологических методов исследований, включая маршрутный метод, экспериментальное моделирование на основе результатов хроматографии и сорбционных лизиметров [12]. Для оценки химических реакций взаимодействия водных щелочных растворов, образовавшихся в период дождей из золы степных растений после пожаров, с почвой проводили модельные эксперименты в широких и коротких колонках [13].

Результаты и обсуждение. При аридизации климата и локальном опустынивании лесостепных ландшафтов по результатам химического анализа черноземов отмечено их засоление и осолонцевание [5, 7]. Некоторые профили изученных почв представлены на рисунке 1. Видно отличие в профиле чернозема солонцеватого (осолоделого) в фации засохших берез в период засушливого лета 2016 г., где в горизонте А1 наблюдалось отсутствие корней древесных растений. При этом в том же профиле через год (июль 2017 г.) в период после дождей отчетливо видны белесые слои, которые завуалированы мигранта-

ми – гуматами и фульватами натрия. В этот же период показан характерный профиль чернозема солонцеватого (осолоделого) под кроной березы в фации лугово-степного разнотравья вдали от разреза «а» перед установкой сорбционных колонок. Рабочая гипотеза состояла в том, что формирование сильнощелочных растворов происходит после масштабных пожаров. Для проверки рабочей гипотезы проведен модельный эксперимент, для чего были собраны пластмассовые сорбционные колонки (рисунок 2). Колонки заполнены специально очищенным кварцевым песком в нижней части, затем размещали слой почвы массой 74 грамма из горизонта A_1 выщелоченного чернозема, затем снова наполняли слоем кварцевого песка и сверху помещали слой золы лугово-степных растений толщиной 3 мм. В колонку постоянно добавляли воду объемом 10 мл.

В модельном лабораторном опыте изучено влияние ионов натрия из золы растений, которая образуется после палов и пожаров на щелочной гидролиз гумусовых веществ. Отчетливо видна активная стадия мобилизации в раствор и водная миграция гуматов и фульватов натрия из образца чернозема выщелоченного в слое кварцевого песка. После подкисления элюата до $pH=1,5$ нами отмечалось осаждение нативных гуминовых кислот. Это, по-нашему мнению, может служить еще одним способом выделения в природе из черноземов препаратов гуминовых кислот и фульвокислот вместо специальной обработки образцов почвы раствором щелочи.

Отмечено, что при фильтрации в почве новых щелочных растворов, как это происходит в реальных природных условиях в период дождей, в гумусовом горизонте чернозема катионы Na^+ способны к замещению двухвалентных катионов металлов, таких как Ca^{2+} и Mg^{2+} .

Рисунок 2 – Модельный лабораторный опыт по оценке действия золы растений на щелочной гидролиз гумусовых веществ: **а** - начало опыта; **в** – активная стадия мобилизации в раствор и водная миграция гуматов и фульватов натрия из образца чернозема; **с** – после подкисления элюата до $pH=1,5$ (фото И. М. Яшина)

Figure 2 – Model laboratory experiment to assess the effect of plant ash on alkaline hydrolysis of humic substances: **a** - the beginning of the experiment; **c** - active stage of mobilization into solution and water migration of humates and sodium fulvates from a sample of chernozem; **c** - after acidification of the eluate to $pH = 1.5$ (photo by I. M. Yashin)

При этом у гумусовых веществ снижается стабильность, и они способны легко гидрофилизироваться. Гуматы кальция могут легко переходить в низкомолекулярные гидрозоли гуматов и фульватов натрия. Их структура становится более простой, появляются мономерные фрагменты. Эти гуматы с относительно высокой скоростью мигрируют по профилю сверху вниз в черноземе в виде солей натрия в сезон дождей до момента, когда достигают карбонатно-кальциевого барьера миграции или осадков гидроксида $Fe(III)$ в древнем аллювии, где и выпадают в осадок. Причем скорость массо-

переноса достаточно высока. Так, в нашем опыте отмечено, что начало фильтрации бурых растворов происходит через 3,2 часа и продолжается 37 часов, затем фильтрация полностью прекратилась из-за коагуляции пор гидрозольми коллоидов Si, Al, Fe. В результате фильтрации отобраны гидрозоль гумусовых веществ (гуматов и фульватов натрия) массой 160 граммов. Далее щелочной собранный бурый фильтрат был подкислен раствором 10 % HCl до величины pH=1,5 (рисунок 2с), при этом наблюдали активное формирование бурых хлопьев, которые являются ассоциатами гуминовых кислот – ГК. Через 1,5 часа они полностью выпали в осадок. Эффект действия кислого раствора объясняется тем, что катионы водорода соляной кислоты в виде H_3O^+ вытесняют катионы металлов, что приводит к освобождению карбоксильных и фенолгидроксильных групп от катионов, а в растворе в надосадочной жидкости накапливаются нативные фульвокислоты (ФК), органические кислоты, полифенолы и минеральные соли. Наличие компонентов доказано информацией, полученной с помощью метода ИК-спектроскопии. Простые органические вещества – это продукты кислотного гидролиза гумусовых веществ почвы. В дальнейшем глубокую очистку препаратов фульвокислот от солей и органических веществ осуществляли в лаборатории методом гелевой хроматографии в колонках. Также использовали колоночную сорбционную хроматографию на активированном угле «карболен» [8]. В полученных препаратах гумусовых веществ аналитически затем было установлено, что содержание углерода ($C_{орг}$) гуминовых кислот составляет $71,0 \pm 1,4$ %, фульвокислот ($C_{орг}$) – $29,0 \pm 1,7$ %. Таким образом, гумусовые вещества и минералы горизонта A_1 испытывают восходящее воздействие водорастворимых солей из породы с высокой концентрацией солей, с глубины 68-83 см, и нисходящее – растворов щелочей, в частности, NaOH, KOH, $Ca(OH)_2$ – из золы степных растений, локализованных на поверхности черноземов. В таких разнонаправленных потоках веществ происходит и ионный обмен. При этом двусторонние восходяще-нисходящие потоки приводят к тому, что влияние щелочных катионов интенсифицирует щелочной гидролиз минералов, прежде всего, иллювиального горизонта. Такие процессы хорошо заметны при сравнении разрезов «б» и «с», показанных на рисунке 3.

Рисунок 3 – Лесостепной ландшафт на плакоре реки Большой Колышлей, 2016 г.: а – стационар на опушке дубравы; б - профиль не деградированного чернозема солонцеватого легкосуглинистого на засоленных песках; с – профиль солонца черноземного в степной фации (фото И. М. Яшина)

Figure 3 – Forest-steppe landscape on the plakor of the Bolshoi Kolyshley River, 2016: a - stationary at the edge of an oak forest; b - profile of not degraded solonetzic light loamy chernozem on saline sands; c - profile of chernozem solonetz in the steppe facies (photo by I. M. Yashin)

На этом же рисунке 3, где показан лесостепной ландшафт на плакоре реки Большой Колышлей, виден стационар на опушке дубравы, испытывавшей длительную засуху 2010 года, с локальной гибелью дуба. Отчетливо виден профиль недеградированного чернозема солонцеватого легкосуглинистого на песках с высоким содержанием солей с включениями щебня опок в виде оксида кремния (SiO_2) и профиль солонца черноземного в степной фации. Нами отмечено, что основная масса корней деревьев располагается в нижнем иллювиальном (Bt), который является более влажным, но практически не наблюдается в гумусовом плодородном горизонте.

В другой модификации модельного опыта с деградированной черноземоподобной почвой (рисунок 4) скорость десорбции была более высокой по сравнению с предыдущим вариантом. Было собрано 420 мл фульватов натрия за семь часов, при этом осаждение гуминовых веществ в опыте не наблюдалось. Объяснением данного факта может быть отсутствие в черноземоподобной почве высокомолекулярных гуминовых веществ, а после природного щелочного гидролиза в почве остались только две группы гумусовых веществ - гумин и фульватные компоненты.

На рисунке 4 можно также отметить, что в природе преимущественно можно увидеть реальную хроматограмму и разделение на компоненты продуктов деградации гумусовых веществ. Это явление отмечено в профиле черноземоподобной почвы супесчаного гранулометрического состава на пустоши – склон коренного берега реки Большой Колышлей к северу от деревни Марфино в Саратовской области. Видно, что в условиях водной нисходящей миграции натриевые соли гуматов и фульватов подвергаются химической и биологической трансформации в слое кварцевого песка, при этом выделяется углекислый газ в атмосферу, а катионы Fe^{3+} присутствуют в форме гидроксидов $\text{Fe}(\text{OH})_3$, которые являются продуктами деградации органических веществ.

Рисунок 4 – Вид природной хроматограммы *продуктов деградации гумусовых веществ* в профиле черноземоподобной почвы супесчаного гранулометрического состава (фото И. М. Яшина, 2012)

Figure 4 – View of the natural chromatogram of the degradation products of humic substances in the profile of a chernozem-like soil of sandy loam particle size distribution (photo by I. M. Yashin, 2012)

Следовательно, кинетика щелочного гидролиза гумусовых веществ в этом варианте достаточно высокая. Дополнительно реакции щелочного гидролиза гумусовых веществ изучались в дальнейшем в лабораторных опытах с водным раствором хлорида натрия. Влияние катионов натрия моделировалось в статическом режиме с образцами следующих

типов почв: чернозем выщелоченный и чернозем обыкновенный (учхоз «Муммовское»), краснозем (Анасеули, Грузия), дерново-подзолистая почва (Лесная опытная дача ТСХА, г. Москва), карбонатный чернозем (ООО «Эфирмасло») и солонец черноземный (учхоз «Муммовское»). Отмечено, что при проведении испытаний на первом этапе наблюдалось заметное замещение катионами натрия катионов кальция. Поэтому более легко и активно подвергаются осолонцеванию черноземы выщелоченные, а не обыкновенные с близким залеганием к горизонту A_1 $CaCO_3$ в форме белоглазки. Это явление характерно и для почв степного Крыма. Вытеснение гуматов и фульватов натрия в указанных почвах происходило в соответствии с их фракционно-групповым составом гумусовых веществ. Кольматация при фильтрации гуматов и фульватов натрия наиболее быстро наступил в опыте с солонцом черноземным, где был получен наименьший объем элюата.

По нашему мнению, щелочной гидролиз гумусовых веществ может служить одной из причин образования мощного гумусового горизонта, как это проявляется в случае чернозема выщелоченного и для лугово-черноземной почвы. Существует и другое мнение, когда считается, что мощность гумусового слоя и гумусового профиля черноземов определяется глубиной проникновения и массой корней растений, их количества и условий отмирания, разложения и гумифицирования. Химические и физико-химические характеристики черноземов и черноземных солонцов (таблицы 1, 2) легкосуглинистого гранулометрического состава отличаются. Различие состоит в повышенном содержании карбоната кальция ($CaCO_3$) в мелкоземе иллювиального горизонта, повышенной плотностью, чем для лёссов, малой пористостью и чрезвычайно низкой концентрацией легкорастворимых форм фосфора. При этом величина pH для солонца черноземного изменяется в интервале 8,0-9,6. Чернозем обыкновенный также характеризуется слабощелочной реакцией среды, наличием высоких концентраций Ca^{2+} и Mg^{2+} , состав гумуса у черноземов фульватно-гуматный [1, 2]. Для черноземов обыкновенных не отмечена выщелоченность катионов кальция, что связано с тем, что карбонат кальция присутствует и в гор. A_1 , а это подтверждает массоперенос катионов кальция снизу – вверх. Обыкновенные чернозёмы отличаются от выщелоченного подтипа и характеризуются менее мощным гумусовым профилем. Катионы Ca^{2+} активно мигрируют при восходящей миграции в гумусовый горизонт из гор. B_{ca} , что определяет уровень кислотности в пределах 6,4-7,3. Соединения фосфора прочно связаны органическими лигандами, поэтому нередко недоступны в черноземах биоте (как и азот), но при осолонцевании они мигрируют в форме водорастворимых солей Na_3PO_4 . Этот эффект наблюдался нами и на полях органических хозяйств. Лугово-черноземные почвы отличаются высоким уровнем плодородия, но имеют критический уровень залегания грунтовых вод менее 1 метра, что и определяет набор возделываемых культур.

Выполненные нами модельные опыты с солями находят четкое подтверждение и в ландшафтах лесостепи. Например, известный феномен «чистых паров», которые используются земледельцами, заключается не только в устранении с полей диких видов растений. При длительном перегреве верхних горизонтов черноземов (до 70 °C) и близком залегании засоленных пород наблюдается, с одной стороны, резкий градиент температур, а с другой, – концентрационный градиент, что приводит к восходящему потоку солей. Постепенно соли достигают гумусовых горизонтов, вызывая осолонцевание черноземов. Происходящий щелочной гидролиз минеральных и гумусовых веществ черноземов благоприятно сказывается на пищевом режиме: становится больше доступных соединений фосфора, азота и органических лигандов. Однако с течением времени черноземы утрачивают свой потенциал, превращаясь в солонцы черноземные с неблагоприятными физико-химическими свойствами.

Таблица 1 – Физико-химические характеристики черноземов (учхоз «Муммовское» Саратовской области, отбор проб - 23.06.2012 г.)

Table 1 – Physical and chemical characteristics of chernozems (Uchkhov «Mummovskoe» Saratov region, sampling - 23.06.2012)															
№ разреза, угодье, Местоположение / No. of section, land, location	Индексы горизонт. почв / Soil horizon index	Глубина взятия образца, см / Sampling depth, cm	ЕС, электропровод., мСм/м / EC, mS/m	pН _{Н2О} (1:5)	pН _{Н2О} (1:2,5)	CH ₃ COONH ₄ мг/кг */ CH ₃ COONH ₄ ppm *		вытяжка (NH ₄) ₂ CO ₃ , мг/кг; (NH ₄) ₂ CO ₃ , ppm;		C _{орг} , %/ Corg, %	Hr			Mg ²⁺	Na ⁺
						P	K ⁺	H ₂ PO ₄ ⁻ (с окислением GC) / H ₂ PO ₄ ⁻ (oxidation)	H ₂ PO ₄ ⁻ (без окисления GC) / H ₂ PO ₄ ⁻ K ⁺		Ca ²⁺	Mg ²⁺			
													мг-экв. /кг почвы / ppm		
Солонец черноземный глубоко столбчатый среднесуглинистый на засоленных породах с щебнем опок / Deep columnar medium loamy chernozem solonetz on saline rocks with crushed stone opok															
5я целина – степь (плакор) / 5th virgin land - steppe land - (plakor)	A ₁	15-25	0,73	8,8	8,1	67	26	88	61	356	2,4	4,0	287	48	12
	B _{1Ca,Na}	39-49	0,89	9,3	8,6	81	0	128	13	215	0,7	3,0	447	67	54
	B _{2Ca,Na}	67-77	0,82	9,4	8,9	89	0	22	17	174	0,2	2,0	334	79	62
	B _{3Ca,sl}	110-120	0,87	9,4	8,8	89	0	28	11	192	0,3	2,0	288	25	7,4
	C _{Ca,sl}	145-155	1,04	9,5	8,9	92	0	4	1	297	0,4	2,0	359	44	91
	D _{sl}	210-220	0,95	9,6	9,4	51	0	22	3	185	0,1	2,0	132	18	145
Чернозем выщелоченный легкосуглинистый на опоках и засоленных породах / Leached light loamy chernozem on flasks and saline rocks															
18я опушка дубравы - (плакор) / 18th edge of oak grove - (plakor)	A ₁	3-11	Не опр.	6,2	5,7	48	30	232	29	143	3,9-4,1	56	163	49	7,1
	A ₁	14-24	Не опр.	6,5	6,2	46	0	148	26	134	3,3-4,5	36	215	51	5,2
	AB	37-47	Не опр.	6,9	6,5	49	1	47	19	147	1,8	21	238	39	6,2
	B ₁	59-69	Не опр.	7,5	6,9	44	36	15	2	236	0,5	16	215	42	9,3
	B ₂	85-95	Не опр.	6,9	6,6	42	12	16	8	279	0,4	12	374	58	6,2
	C _{ca,sl}	118-128	0,73	8,7	8,2	55	36	24	11	237	0,7	4,0	411	37	114
Чернозем обыкновенный легкосуглинистый на лесовидных карбонатных суглинках / Ordinary light loamy chernozem on loess-like carbonate loams															
19я залежь (плакор) / 19th deposit (plakor)	A ₁	5-15	Не опр.	7,5	6,9	51	0	120	5	162	3,4-4,0	44	326	59	4,1
	AB _{sol}	25-35	Не опр.	7,4	6,8	47	3	80	14	202	2,0	33	272	34	14
	B	38-48	Не опр.	6,6	6,1	45	2	36	2	215	0,9	27	313	54	26
	B _{2sol}	100-110	Не опр.	8,1	7,8	48	0	22	6	86	0,2	9,1	347	43	32
	B _{3sl}	134-144	Не опр.	8,2	7,7	38	0	34	6	58	0,3	7,2	236	32	38

Примечание: * - по методу Чирикова, ** - по методу Мачигина / Note: * - according to Chirikov's method, ** - according to Machigin's method

Таблица 2 – Химические свойства черноземов учхоза РГАУ-МСХА "Муммовское" Саратовской области (отбор проб 21.05.2016 г.)

Table 2 – Physical and chemical characteristics of chernozems (Uchkhov "Mummovskoe" Saratov region, sampling - 21.05.2016)

№ разреза, угодье, Местоположение/ No. of sec- tion, land, location	Индексы горизонт. почв / Soil hori- zon index	Глубина взятия об- разца, см / Sampling depth, cm	pH _{H2O} (1:5)	pH _{H2O} (1:2,5)	CH ₃ COONH ₄ мг/кг * / CH ₃ COONH ₄ ppm		вытяжка (NH ₄) ₂ CO ₃ мг/кг ** (NH ₄) ₂ CO ₃ , ppm;		C _{орг} , % / C _{org} , %	Hr	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	
					P	K ⁺	H ₂ PO ₄ ⁻ (с окислением ГС) / H ₂ PO ₄ ⁻ (oxidation)	H ₂ PO ₄ ⁻ (без окисления ГС) H ₂ PO ₄ ⁻ (no oxidation)						
Лугово-черноземная легкосуглинистая грунтово-глеевая на аллювиальных отложениях (с 92 см – вода) / Meadow-chernozem light loamy soil-gleyic on alluvial deposits (from 92 cm - water)														
1я - пастбище - (пойма реки Б. Колышлей) / 1st - pasture - (floodplain of the river B. Koly- shley)	A ₁	2-12	5,7	5,4	21	93	75	54	123	3,1	78	87	23	1,1
	A ₁ '	12-20	6,3	6,0	33	162	141	47	189	2,5	28	74	38	1,1
	A ₁ ''	20-30	6,5	6,1	20	219	234	34	118	1,6	22	334	79	2,1
	A ₁ '''	60-70	6,0	5,4	23	107	212	29	144	3,7	65	88	29	1,2
Чернозем солонцеватый легкосуглинистый на засоленных породах с щебнем опок / Solonchetic light loamy chernozem on saline rocks with crushed stone opok														
2я - опушка дубравы - (плакор) / 2nd - the edge of the oak grove - (plakor)	A ₁	7-17	6,9	6,7	14	238	117	42	127	3,4-3,7	13	163	33	1,1
	A ₁	20-30	6,8	6,5	33	98	125	36	119	3,0-3,2	11	195	22	4,3
	B	45-55	7,6	7,6	12	176	241	19	136	0,4	4,1	138	39	3,3
	C _{calc}	70-80	8,4	7,9	9	80	38	13	48	0,3	1,3	101	76	46
Лугово-черноземная легкосуглинистая грунтово-глеевая на лесовидных суглинках, подстилаемых засоленными породами / Meadow-chernozemic light loamy soil-gleyic on loess-like loams underlain by saline rocks														
3я - луг (низкая терраса реки Ершовка) / 3rd - meadow (low terrace of the river Ershovka)	A ₁	5-15	6,2	6,0	89	672	114	69	144	4,7-4,9	48	66	25	1,1
	A ₁ '	30-40	6,4	6,1	114	1027	80	14	202	2,6	31	72	27	2,2
	A ₁ ''	55-65	8,1	8,0	240	714	312	174	343	2,7	5,5	73	54	24
	A ₁ '''	70-80	8,1	8,0	299	604	314	183	432	2,2	3,3	47	71	31
Освоенная лугово-черноземная легкосуглинистая грунтово-глеевая на лесовидных карбонатных суглинках, подстилаемых засоленными породами / Developed meadow-chernozemic light loamy soil-gleyic on loess-like carbonate loams underlain by saline rocks	Gsl	98-108	8,4	7,9	107	359	378	87	165	0,1	1,1	36	76	57
	A _{max}	0-16	6,5	6,2	76	571	216	97	234	2,6	32	54	31	1,1
	A ₁ 10l	22-32	6,9	6,4	59	447	259	78	167	3,0	34	61	48	2,2
	A ₁ '''	55-65	7,2	6,8	59	626	273	83	245	2,6	18	56	62	3,3
4я - пашня - (низкая терраса р. Ершовка) / 4th - arable land - (low terrace of the Ershovka river)	C _{slg}	104-114	8,8	8,2	27	405	342	44	312	0,2	2,2	49	58	87

Примечание: * - по методу Чирикова, ** - по методу Мачигина / Note: * - according to Chirikov's method, ** - according to Machigin's method

Примечание: * - по методу Чирикova, ** - по методу Мачигина / Note: * - according to Chirikov's method, ** - according to Machigin's method

Результаты указанных выше модельных опытов нашли подтверждение в опытах с лизиметрами. Так, с помощью метода сорбционных лизиметров был показан активный водный массоперенос гуматов и фульватов натрия в черноземах в сезон дождей (рисунок 1в). Причем нисходящая миграция таких комплексных соединений имеет синусоидальный вид и зависит от характера и массы выпадающих атмосферных осадков. В летний сезон микроорганизмы биodeградируют доступные формы органических веществ в составе гуматов и фульватов натрия. Со временем под горизонтом A_1 образуется белесый (элювиальный) слой песчано-супесчаного состава. Однако после дождей, как это произошло в июле 2017 года (рисунок 1в), белесый горизонт становится почти черный из-за его маскировки мигрирующими темными компонентами. Необходимо отметить, что мы не наблюдали наличия корней древесных растений в горизонте A_1 , поскольку он сильно пересыхает и имеет слабощелочную реакцию. И этот эффект проявляется даже в фации зрелых (и не засохших) берез, в профиле чернозема солонцеватого, где основная масса корней березы сосредоточивается глубже горизонта A_1 – в элювиальном (белесом) и палевом иллювиальном горизонтах – вблизи слабозасоленной почвообразующей породы (рис. 1с). Глубже горизонта B_t – в этом профиле – отмечена коллоидная форма массопереноса железа в виде «бахромы» гидрогелей гидроксида железа.

Необходимо отметить высокую деградацию черноземов на плакорах и террасах исследованного региона и ухудшение качества поверхностных вод в ландшафтах лесостепи Приволжской возвышенности, их загрязнение мигрируемыми соединениями железа [3]. В течение ряда лет исследований нами был изучен химический состав поверхностных вод реки Большой Колышлей. Измеренные показатели качества воды и концентрации химических веществ достаточно стабильны и составляют (мг/л): водорастворимые формы соединений железа - $0,45 \pm 0,12$ (ПДК по Fe^{3+} составляет 0,3 мг/л); NO_3^- - $0,84 \pm 0,20$; NH_4^+ - $0,49 \pm 0,13$; Ca^{2+} - 110 ± 20 ; сухой остаток - 560 ± 50 ; pH – $7,0 \pm 0,3$. Показатель биологического потребления кислорода (БПК₅) – $8,45 \pm 1,10$ и химического потребления кислорода (ХПК) – 29 ± 7 . Эти данные указывают на слабое загрязнение поверхностных вод органическими веществами, что можно объяснить осаждением сложных органоминеральных комплексов катионами железа и кальция.

И еще необходимо сказать о генезисе белесых горизонтов в черноземах осолоделых. Известно, что в профилях подзолистых, дерново-подзолистых суглинистых почв и песчано-супесчаных подзолов присутствие белесых подзолистых горизонтов является обязательным для диагностики степени оподзоливания почв. Ранее Н. И. Усов (1948) и И. С. Кауричев (1957) при изучении генезиса черноземов показали, что именно так формируются черноземы оподзоленные, а в их генезисе важную роль играют фульво- и органические кислоты. При этом имеются и исключения, поскольку в опытах с черноземами выщелоченными, например, в учхозе им. М. И. Калинина Тимирязевской академии (Тамбовская область) алифатические карбоновые кислоты не были обнаружены методами хроматографии, а массоперенос происходил за счет других продуктов почвообразования. Экологическая ситуация в лесостепной зоне Среднего Поволжья неразрывно связана с аридизацией климата и даже очаговым опустыниванием экосистем. В черноземах ярко выражен восходящий массоперенос растворимых солей Na_2SO_4 , $MgSO_4$ за счет поверхностного натяжения и капиллярного поднятия катионов и анионов на фоне гидротермического и концентрационного градиентов, а также концентрированием биогенных макро- и микроэлементов в биомассе растений из засоленных пород. Также достоверно мы наблюдали трансформацию оксидов натрия и калия, а также оксидов магния и кальция из золы, которая присутствует на поверхности черноземной почвы после пожаров и палов в щелок. Особенно заметен этот эффект в период дождей, при этом также наблюдается активное развитие со-

лонцового процесса почвообразования. Следующий этап состоит в нейтрализации катионами натрия, калия, кальция и магния органических кислот, образующихся в почвенных растворах из растительности лесных подстилок, листового опада и корневых выделений. Новые органо-минеральные комплексы становятся доступными микроорганизмам. В наших исследованиях мы отмечаем, что катионы натрия концентрируются в гумусовых веществах, коллоидных системах и минералах.

Полученные нами данные могут служить подтверждением того, что песчаные пустыни, например, субтропиков Африки в давние времена являлись плодородными почвами. Достаточно высокая скорость массопереноса способствовала аккумуляции солей в условиях близкого залегания засоленных пород, способствовала разрушению черноземов и образованию в их профилях песчаных слоев и субстратов. Экспериментальные результаты подтверждают также наблюдения интенсивного подщелачивания верхних горизонтов черноземов ($A_{\text{пах}}$ и A_1) и локальное подкисление. Объяснением этому являются происходящие химические реакции с участием водорастворимых сульфатов натрия, калия и магния в черноземах в присутствии соединений железа. Химические реакции проходят в несколько стадий, при этом на первоначальном этапе красноватые и плотные корки оксидов железа трансформируются в желтые гидрозоли гидроксидов железа (III) по схеме:

Гидроксид $\text{Fe}(\text{OH})_3\downarrow$ является неустойчивым, с высокой скоростью происходит его осаждение на мелких частицах песка речных террас бассейна реки Волги в форме гидрогелей гидроксида железа. После этого происходит массоперенос растворимых солей в направлении снизу–вверх, но в присутствии гидрогелей гидроксида железа, например, в толщах древнего аллювия протекает следующая реакция с образованием гидроксида натрия:

В дальнейшем протекает гидролиз сульфата железа с образованием ионов водорода от сильной серной кислоты, что приводит к локальному подкислению чернозема по реакции:

Равновесие в этой реакции (3) смещено в сторону образования труднорастворимого осадка гидрогеля $\text{Fe}(\text{OH})_3\downarrow$. Одновременно сульфаты элементов первой и второй групп реагируют органическими компонентами и фульвокислотами, превращаясь в сульфиды, компоненты водорастворимых органических веществ (BOB) подвергаются биоразложению ферментами микроорганизмов, сульфатредуцирующими бактериями даже при недостатке свободного $\text{O}_2\uparrow$ с выделением газов в виде диоксида углерода и сероводорода:

Компоненты BOB состоят из алифатических и ароматических органических кислот, аминокислот и полифенолов, которые имеют ярко выраженные кислотные и комплексообразующие свойства [3, 4, 9, 14].

Можно предложить еще несколько конкурирующих реакций по аналогии с реакцией (2) с образованием сильных кислот, растворением малорастворимых и труднорастворимых соединений, последующим гидролизом, например: $\text{Fe}(\text{OH})_3\downarrow + 3\text{NaCl} \rightarrow \text{FeCl}_3 + 3\text{NaOH}$.

Необходимо отметить, что в реальных условиях все отмеченные выше химические реакции протекают одновременно. Осложнением может быть только то, что реакция (3) идет в присутствии воды. А вот ее наличие не всегда имеется в природе, что приводит к поглощению диоксида углерода гидроксидом натрия с образованием гидрокарбоната натрия NaHCO_3 . Эту соль легко обнаружить в составе солей при диагностике засоления почв. Кроме того, во влажных условиях, хотя это бывает редко, подкисление может происходить за счет поглощения углекислого газа CO_2 , концентрирующегося у поверхности почвы, молекулами воды с образованием слабой угольной кислоты H_2CO_3 . Угольная кислота может нейтрализовать гидроксид натрия (или калия), образующийся в условиях, как показано выше. Кроме того, источником CO_2 могут быть продукты разложения почвенных микроорганизмов, растительных и других целлюлозосодержащих остатков. Отметим также, что сероводород может присутствовать как в жидком, так и газообразном состоянии. Сероводород обладает аллелопатическими свойствами по аналогии с водорастворимыми органическими соединениями. В водных растворах сероводородная кислота проявляет себя как слабая двухосновная кислота, и при взаимодействии H_2S в водном растворе с активными формами гидрозолей гидроксида железа образуются сульфиды железа черного цвета по реакции:

Поэтому мы наблюдаем в природе как верхние горизонты черноземов и других почв, которые испытывают редкие сезонные переувлажнения, часто окрашиваются в темно-серый или почти черный цвет, характерный для сульфидов металлов. Следовательно, цветовая гамма почв связана с реакциями превращения химических соединений, как минеральных, так и органических. Этот вопрос представляет отдельный интерес в связи с накоплением нами информации о спектрах почв в ближней инфракрасной области, которые и могут быть объективной характеристикой изменения качественного состава структурных единиц почвы.

Указанные особенности эволюции черноземов обуславливают необходимость дополнительных крупномасштабных почвенных изысканий, контроль эколого-химического состояния и комплексный мониторинг качества почвенных ресурсов страны.

Выводы:

1. Установлено, что факторами деградации черноземов в черноземные почвы в условиях Среднего Поволжья, степного Крыма являются аридизация климата, длительные засухи, масштабные пожары и засоление почв. Процессы, обуславливающие эволюцию черноземов, тесно связаны со щелочным гидролизом минералов и гумусовых веществ: происходит биodeградация молекулярных структур гуматов и фульватов натрия с высвобождением органоминеральных комплексных соединений и органоминеральных комплексов в песках речных надпойменных террас в форме хроматограммы Fe.

2. Выявлены поэтапные процессы деградации черноземов: засоление, декарбонизация почв с водной миграцией соединений кальция в местные базисы эрозии, щелочной гидролиз гумусовых веществ и водная миграция мономерных структур гуматов и фульватов натрия и дегумификация. На первоначальном этапе черноземы выщелоченные превращаются в черноземы солонцеватые, затем в солонцы черноземные с очень плотным солонцовым горизонтом и неблагоприятными, прежде всего для сельскохозяйственных культур, физико-химическими и физико-механическими характеристиками.

3. Проведен анализ морфологии и динамики изменения физико-химических и химических характеристик разных подтипов черноземов в пределах почвенно-экологических катен и некоторых типов фаций, включающих степь, пашню, сенокос, лесополосы, опушки дубравы на черноземах обыкновенных, выщелоченных и солонцеватых, а также солонцов черноземных.

4. Отмечено, что самыми лучшими показателями при выращивании сельскохозяйственных культур являются выщелоченные черноземы с высокой концентрацией доступных форм фосфатов, калия и гумуса. Лимитирующим экологическим фактором в обыкновенных черноземах является близкое залегание карбонатно-кальциевого барьера миграции, что приводит к снижению доступных форм фосфора. В лугово-черноземных почвах пойменных ландшафтов лимитирующим эколого-химическим фактором является близкое залегание к поверхности грунтовых вод (1,0-1,5 м). На фоне аридизации климата усиливается засоление и осолонцевание черноземов. В сезон дождей активизируется водная миграция продуктов щелочного гидролиза.

5. Повышенная концентрация катионов кальция в водах рек подтверждает высокие скорости выщелачивания из черноземов кальция, вытеснения ионов кальция катионами натрия при засолении почв и последующем щелочном гидролизе минералов и гумусовых веществ. Опыты с сорбционными лизиметрами показали, что водная миграция ионов Ca^{2+} из горизонта A_1 и B_t в черноземе солонцеватом характеризуется эстафетным механизмом: формируются разные миграционные формы – кальцийорганических комплексов (около 25% от общей их массы) и ионных форм Ca^{2+} . Это связано с деградацией кальцийорганических комплексов. Отмечена миграция Fe в форме коллоидных структур с органическими лигандами, а также Ca^{2+} ($143,7 \pm 12,8$ мг/л за год) и Na^+ - $27,4 \pm 1,9$ мг/л за год. Вынос органического углерода из горизонта B_t в профиле чернозема солонцеватого составил $17,4 \pm 3,8$ г/м² за 1 год лизиметрических наблюдений.

Библиографический список

1. Байбеков Р. Ф., Балабко П. Н. Агроэкологическая оценка уплотнения почв // Земледелие. 2019. № 7. С. 29-31.
2. Байбеков Р. Ф., Хайдуков К. А. Качественный состав органического вещества дерново-подзолистой почвы в длительном полевом опыте // Земледелие. 2019. № 5. С. 27-29.
3. Белопухов С. Л., Савич В. И., Байбеков Р. Ф. Комплексообразование ионов металлов в почвенных растворах // Агрофизика. 2020. № 1. С. 1-8.
4. Влияние длительного применения удобрений на элементный состав гумусовых кислот / Р. Ф. Байбеков [и др.] // Агрофизика. 2019. № 3. С. 1-7.
5. Исследование коллоидно-химических свойств солонцовых почв физико-химическими методами / М. Д. Маслова [и др.] // Плодородие. 2014. № 2 (77). С. 41-43.
6. Мамонтов В. Г., Белопухов С. Л., Витязев В. Г. Влияние сельскохозяйственного использования на агрегатное состояние чернозема обыкновенного // Научная жизнь. 2017. № 7. С. 27-38.
7. Савич В. И., Белопухов С. Л., Подволоцкая Г. Б. К вопросу о взаимосвязи почв и поверхностных вод, как компонентов агроландшафта // Природообустройство 2018. № 1. С. 76-83.
8. Савич В. И., Котенко М. Е., Белопухов С. Л. Влияние вертикальной зональности почв на интенсивность и скорость протекающих почвообразовательных процессов // Вестник технологического университета. 2017. Т. 20. № 7. С. 134-137.
9. Ускова Н. В., Черников В. А., Белопухов С. Л. Агроэкологическая оценка влияния длительного применения удобрений на гумусовое состояние дерново-подзолистой почвы // Известия ТСХА. 2018. № 2. С. 18-33.
10. Яшин И. М., Рамазанов С. Р. Экологическая оценка черноземов лесостепи Среднего Поволжья // Агрохимический вестник. 2016. № 6. С. 24-30.
11. Яшин И. М., Васенев И. И., Рамазанов С. Р. Экологическая оценка, генезис и эволюция черноземов Приволжской Возвышенности: монография. М.: РГАУ-МСХА, 2017. 158 с.
12. Яшин И. М. Мониторинг процессов миграции и трансформации веществ в почвах. М.: РГАУ-МСХА, 2013. 183 с.
13. Яшин И. М., Васенев И. И., Раскатов В. А. Методы экологических исследований. М.: РГАУ-МСХА, 2015. 183 с.

14. Яшин И. М., Черников В. А., Белопухов С. Л. Миграционные потоки, баланс и функции водорастворимых органических веществ в почвах таежных экосистем // Агрохимия. 2020. № 8. С. 13-21.

Conclusion.

1. It has been established that the factors of degradation of chernozems into chernozem soils in the Middle Volga region, steppe Crimea are climate aridization, prolonged droughts, large-scale fires and soil salinization. The processes that determine the evolution of chernozems are closely related to the alkaline hydrolysis of minerals and humic substances: the molecular structures of humates and sodium fulvates are biodegraded with the release of organomineral complex compounds and organomineral complexes in the sands of river terraces above the floodplain in the form of an Fe chromatogram.

2. The stage-by-stage processes of degradation of chernozems were revealed: salinization, decalcification of soils with water migration of calcium compounds to local bases of erosion, alkaline hydrolysis of humic substances and water migration of monomeric structures of humates and sodium fulvates and dehumification. At the initial stage, leached chernozems are transformed into solonetzic chernozems, then into chernozemic chernozems with a very dense solonetzic horizon and physicochemical and physicomachanical characteristics unfavorable primarily for agricultural crops.

3. The analysis of the morphology and dynamics of changes in the physicochemical and chemical characteristics of different subtypes of chernozems within the soil-ecological catenas and some types of facies, including steppe, arable land, hayfields, forest belts, oak forest edges on ordinary, leached and solonetzic chernozems, as well as solonetz soils has been carried out black earth.

4. It is noted that the best indicators for growing agricultural crops are leached chernozems with a high concentration of available forms of phosphates, potassium and humus. The limiting ecological factor in ordinary chernozems is the close occurrence of the calcium carbonate barrier to migration, which leads to a decrease in the available forms of phosphorus. In meadow-chernozem soils of floodplain landscapes, the limiting ecological and chemical factor is the close occurrence of groundwater to the surface (1.0-1.5 m). Against the background of climate aridization, the salinization and alkalization of chernozems is increasing. During the rainy season, the water migration of alkaline hydrolysis products becomes more active.

5. The increased concentration of calcium cations in river waters confirms the high rates of leaching of calcium from chernozems, the displacement of calcium ions by sodium cations during soil salinization and subsequent alkaline hydrolysis of minerals and humic substances. Experiments with sorption lysimeters have shown that the water migration of Ca^{2+} ions from the A1 and Bt horizons in solonetzic chernozem is characterized by a relay mechanism: different migration forms are formed - calcium-organic complexes (about 25% of their total mass) and Ca^{2+} ionic forms. This is due to the degradation of calcium-organic complexes. Migration of Fe was noted in the form of colloidal structures with organic ligands, as well as Ca^{2+} (143.7 ± 12.8 mg / l per year) and Na^{+} - 27.4 ± 1.9 mg / l per year. The removal of organic carbon from the Bt horizon in the profile of solonetzic chernozem was 17.4 ± 3.8 g / m² for 1 year of lysimetric observations.

References

1. Baybekov R. F., Balabko P. N. Agroecological assessment of soil compaction // Agriculture. 2019. No. 7. P. 29-31.
2. Baybekov R. F., Khaidukov K. A. The qualitative composition of the organic matter of sod-podzolic soil in a long-term field experiment // Agriculture. 2019. No. 5. P. 27-29.
3. Belopukhov S. L., Savich V. I., Baibekov R. F. Complexation of metal ions in soil solutions // Agrofizika. 2020. No. 1. P. 1-8.

4. Influence of long-term use of fertilizers on the elemental composition of humic acids / R. F. Baybekov [et al.] // *Agrofizika*. 2019. No. 3. P. 1-7.
5. Investigation of colloidal-chemical properties of alkaline soils by physicochemical methods / M. D. Maslova [et al.] // *Fertility*. 2014. No. 2 (77). P. 41-43.
6. Mamontov V. G., Belopukhov S. L., Vityazev V. G. Influence of agricultural use on the aggregate state of ordinary chernozem // *Scientific life*. 2017. No. 7. P. 27-38.
7. Savich V. I., Belopukhov S. L., Podvolotskaya G. B. On the issue of the relationship between soils and surface waters as components of the agrolandscape // *Prirodoobrazstvo*. 2018. No. 1. P. 76-83.
8. Savich V. I., Kotenko M. E., Belopukhov S. L. Influence of vertical soil zoning on the intensity and rate of ongoing soil-forming processes // *Bulletin of the Technological University*. 2017. V. 20. № 7. P. 134-137.
9. Uskova N. V., Chernikov V. A., Belopukhov S. L. Agroecological assessment of the impact of prolonged use of fertilizers on the humus state of sod-podzolic soil // *Izvestiya TSKHA*. 2018. No. 2. P. 18-33.
10. Yashin I. M., Ramazanov S. R. Ecological assessment of chernozems of the forest-steppe of the Middle Volga region // *Agrochemical Bulletin*. 2016. No. 6. P. 24-30.
11. Yashin I. M., Vasenev I. I., Ramazanov S. R. Ecological assessment, genesis and evolution of chernozems of the Volga Uplands: Monograph. Ed. THEM. Yashin. M. : RGAU-MSKHA, 2017. 158 p.
12. Yashin I. M. Monitoring the processes of migration and transformation of substances in soils. M. : RGAU-MSKHA, 2013. 183 p.
13. Yashin I. M., Vasenev I. I., Raskatov V. A. Environmental research methods. M. : RGAU-MSKHA, 2015. 183 p.
14. Yashin I. M., Chernikov V. A., Belopukhov S. L. Migration flows, balance and functions of water-soluble organic substances in the soils of taiga ecosystems // *Agrochemistry*. 2020. No. 8. P. 13-21.

Author's Information

Baibekov Ravil Fayzrakhmanovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, FGBOU HE «Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K. A. Timiryazev» (127434, Moscow, Timiryazevskaya str., 49). El. mail rbaibekov@bk.ru

Yashin Ivan Mikhailovich, Doctor of Biological Sciences, Professor, FGBOU HE «Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K. A. Timiryazev» (127434, Moscow, Timiryazevskaya str., 49) Email mail: ivan.yashin2012@gmail.com

Belopukhov Sergey Leonidovich - Doctor of Agricultural Sciences, Professor, FGBOU HE «Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K. A. Timiryazev» (127434, Moscow, Timiryazevskaya str., 49) El. mail belopuhov@mail.ru

Ramazanov Sabir Ramazanovich - Applicant for the Department of Ecology, FGBOU HE «Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K. A. Timiryazev» (127434, Moscow, Timiryazevskaya str., 49) Email mail: rsr005@yandex.ru

Информация об авторах

Байбеков Равиль Файзрахманович, д.с.-х.н., профессор, академик РАН, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К. А. Тимирязева» (127434, г. Москва, Тимирязевская ул., 49). Эл. почта rbaibekov@bk.ru

Яшин Иван Михайлович, д.б.н., профессор ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К. А. Тимирязева» (127434, г. Москва, Тимирязевская ул., 49). Эл. почта: ivan.yashin2012@gmail.com

Белопухов Сергей Леонидович, д.с.-х.н., профессор ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К. А. Тимирязева» (127434, г. Москва, Тимирязевская ул., 49). Эл. почта belopuhov@mail.ru

Рамазанов Сабир Рамазанович, соискатель кафедры экологии ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К. А. Тимирязева» (127434, г. Москва, Тимирязевская ул., 49). Эл. почта: rsr005@yandex.ru