

ISSN 0136–1694(Print)
ISSN 2312-4202 (Online)

V.V. DOKUCHAEV SOIL SCIENCE INSTITUTE

Dokuchaev Soil Bulletin
(Byulleten Pochvennogo instituta
imeni V.V. Dokuchaeva)

Vol. 98

Moscow
2019

<https://bulletin.esoil.ru>

ББК П03
Б 98
УДК 631.4

Главный редактор

А.Л. Иванов, академик

Редакционная коллегия:

А-Ксин Джу (университет Висконсина, США)
Б.М. Когут (Почвенный институт, Москва)
Л. Монтанарелла (Институт окружающей среды и устойчивого развития Объединенного исследовательского центра Европейской комиссии (IES JRC), Италия)
А. Б. Розанов (Университет Стелленбош, ЮАР)
И.Ю. Савин, член-корреспондент (Почвенный институт, Москва) (*зам. гл. ред.*)
И.А. Тихонович (Санкт-Петербургский университет), академик РАН)
Г. Тот (Университет Паннонии, Венгрия)
Н.Б. Хитров (Почвенный институт)
Ю.Г. Чендев (белгородский государственный университет)
А.З. Швиденко (Международный институт прикладного системного анализа, Австрия)
Т. Шишков (Институт почвоведения им. Н. Пушкирова, Болгария)

Editor-in-chief:

A.L. Ivanov, Academician

Editorial board:

A-Xing Zhu (University of Wisconsin, USA)
Kogut B.M. (Soil Science Institute)
Montanarella L. (Institut für Umwelt und nachhaltige Entwicklung der Gemeinsamen Forschungsstelle der Europäischen Kommission (IES GFS), Italien)
Rozanov A.B. (Stellenbosh University, SAR)
Savin I.Yu. corresponding member (Soil Science Institute) (Deputy of editor-in-chief)
Tikhonovich I.A. (Sankt-Petersburg State University, Russia)
Toth G. (University of Pannonia, Hungary)
Khitrov N.B. (Soil Science Institute)
Chendev Yu.G. (Belgorod State University, Russia)
Shvidenko A.Z. (IIAAS, Austria)
Shishkov T. (Institut für Bodenkunde ihnen. N. Poushkarov, Bulgarien)

© ФГБНУ Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 2019 г.

© V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, 2019

СОДЕРЖАНИЕ

Почвенно-агроэкологическая оценка пахотнопригодности земель Валдайской возвышенности по материалам генерального межевания П. М. Шилов, Д. Н. Козлов	5
Светлогумусовые аккумулятивно-карбонатные и палево- метаморфические почвы коллекции Центрального музея почвоведения: верификация типовой диагностики Е. А. Гуркова, М. А. Бронникова, М. И. Герасимова, Е. Ю. Сухачева, Ю. В. Конопляникова	37
Варьирование показателей кислотности в почвах поймы реки Амур А. В. Мартынов	57
Некоторые особенности динамики качественного состава органического вещества хронорядя дерново-подзолистых почв в процессе лесовосстановления Е. Б.Таллер, З. С. Артемьева, Н. П. Кириллова, Н. Н. Данченко	77
Дифференциация и баланс минералов при трансформации открытой поверхности пахотных почв под воздействием атмосферных осадков Е. Ю. Прудникова, Е. Б. Варламов, Н. А. Чурилин, А. Е. Чурилина	105
К вопросу о методике проведения многолетних опытов по изучению влияния технологии прямого посева на свойства почв С. А. Юдин, В. П. Белобров, В. К. Дридигер, А. М. Гребенников, А. Я. Айдиев, Б. С. Ильин, Н. Р. Ермолаев	132
Результаты семидесятилетних исследований на стыке лесоведения и почвоведения Е. С. Мигунова	153
Инициатива “4 промилле” – новый глобальный вызов для почв России А. Л. Иванов, В. С. Столбовой	185

CONTENTS

Soil-agroecological assessment of the arable land of the Valdai Upland based on the general survey P. M. Shilov, D. N. Kozlov	5
Light-humus carbonate-accumulative and pale-metamorphic soils in the collection of Dokuchaev Central Soil Museum: verification of diagnostics at type level E. A. Gurkova, M. A. Bronnikova, M. I. Gerasimova, E. Y. Sukhacheva, Y. V. Konoplyanikova	37
Variation of acid values in floodplain soils of the Amur River A. V. Martynov	57
Dynamics of organic matter under the afforestation of the former agricultural sod-podzolic soils E. B. Taller, Z. S. Artemyeva, N. P. Kirillova, N. N. Danchenko	77
Differentiation and balance of minerals during transformation of the open surface of arable soils under the impact of rain E. Yu. Prudnikova, E. B. Varlamov, N. A. Churilin, A. E. Churilina	105
To the question of the methodology of conducting long-term experiments on the no-till technology influence on soil properties S. A. Yudin, V. P. Belobrov, V. K. Drediger, A. M. Grebenikov, A. J. Aydiev, B. S. Ilyin, N. R. Ermolaev	132
Results of the 70-year research at the interface of Forestry and Soil Science E. S. Migunova	153
The Initiative “4 per mille” – a new global challenge for the soils of Russia A. L. Ivanov, V. S. Stolbovov	185

УДК 631.4

DOI: 10.19047/0136-1694-2019-98-5-36

Ссылки для цитирования:

Шилов П.М., Козлов Д.Н. Почвенно-агроэкологическая оценка пахотно-пригодности земель Валдайской возвышенности по материалам генерального межевания // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2019. Вып. 98. С. 5-36. DOI: 10.19047/0136-1694-2019-98-5-36

Cite this article as:

Shilov P.M., Kozlov D.N., Soil-agro-ecological assessment of the arable land of the Valdai Upland based on the general survey, Dokuchaev Soil Bulletin, 2019, V. 98, pp. 5-36, DOI: 10.19047/0136-1694-2019-98-5-36

ПОЧВЕННО-АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПАХОТНОПРИГОДНОСТИ ЗЕМЕЛЬ ВАЛДАЙСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ ПО МАТЕРИАЛАМ ГЕНЕРАЛЬНОГО МЕЖЕВАНИЯ

© 2019 г. П. М. Шилов*, Д. Н. Козлов**

*Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Россия,
119017, Москва, Пыжевский пер, 7, стр. 2,*

*<https://orcid.org/0000-0003-4113-6396>, e-mail: www.stromboli@mail.ru,
**<https://orcid.org/0000-0003-0103-0300>.

*Поступила в редакцию 10.02.2019, после доработки 01.09.2019,
принята к публикации 05.09.2019*

Предложен методический подход к цифровому картографированию ареала пахотнопригодных земель в зависимости от их почвенно-агроэкологических и позиционных условий. Подход апробирован для модельного участка Валдайской возвышенности площадью 160 тыс. га. Мелкоочаговое земледельческое освоение слаборасчлененных моренных равнин ограничено широким распространением избыточно увлажненных почв. Средствами канонического дискриминантного анализа рассчитана мера топографически обусловленной продолжительности переувлажнения почв на основе сопоставления морфологической диагностики их водного режима и стокоформирующих свойств рельефа по элементам сетки 30 × 30 м. Определен диапазон дренируемости для реконструированного по материалам Генерального межевания ареала пашни конца XVIII века, что позволило оценить потенциальный ареал пахотнопригодных земель в этот период. Площадь пашни, равновесная благоприятным условиям транспортной доступности и дренируемости

почв, составила 12 %. В то же самое время ее фактическая площадь, реконструированная по материалам Генерального межевания, составила 5 %. В условиях натурального хозяйства XVIII в. больше половины потенциально пригодных земель модельного региона оказались неосвоенными.

Ключевые слова: цифровая почвенная картография, Центрально-Лесной заповедник, природа и общество.

SOIL-AGRO-ECOLOGICAL ASSESSMENT OF THE ARABLE LAND OF THE VALDAI UPLAND BASED ON THE GENERAL SURVEY

P. M. Shilov^{*}, D. N. Kozlov^{}**

¹*V.V. Dokuchaev Soil Science Institute,
Russia, 119017, Moscow, Pizhevskiy per., 7, build. 2*

^{*}*<https://orcid.org/0000-0003-4113-6396>, e-mail: www.stromboli@mail.ru,*
^{**}*<https://orcid.org/0000-0003-0103-0300>*

Received 10.02.2019, Revised 01.09.2019, Accepted 05.09.2019

A methodical approach to the digital mapping of the arable lands area depending on their soil-agroecological and positional conditions is proposed. The approach was tested on a model plot located on the Valdai Upland with an area of 160 thousand ha. Small-scale agricultural development of the poorly dissected moraine plains is limited by the wide distribution of overmoistened soils. Using the traditional discriminant analysis, a measure of the topographically determined duration of soil overmoistening was calculated based on a comparison of the morphological diagnostics of water regime and topography runoff properties according to the grid elements of 30 × 30 m. The drainability range was determined for the arable lands of XVIII century, reconstructed according to the materials of the General Survey. This allowed us to determine the potential area of the arable lands for this period. The area of arable lands, which is characterized by favorable conditions of transport accessibility and soil drainability, was 12 %. At the same time, reconstructed area contained 5 %. In the subsistence economy of the XVIII century more than a half of the potential arable lands of the model region turned out to be undeveloped.

Keywords: digital soil mapping, Central Forest Reserve, nature and society.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальные исследования по проблеме *land use / cover change (LUCC)* направлены на разработку прогностических моделей трансформации структуры землепользования при разных сценариях климатических и социально-экономических изменений ([Briner et al., 2012](#); [Ellis, 2015](#); [Guest, Lambin, 2001](#); [Hietel et al., 2007](#); [Lobell et al., 2007](#); [Scherer et al., 2018](#); [van Vliet et al., 2015](#)). Помимо описания фундаментальных взаимодействий в системе общество-природа, подобные модели востребованы в задачах территориального планирования и земельной политики ([Briassoulis, 2000](#); [Briassoulis, 2008](#); [Diogo et al., 2015](#); [Terres et al., 2015](#)).

Структура угодий в таких междисциплинарных работах рассматривается как результат совокупного влияния природных и социально-экономических факторов ([Матасов, 2018](#); [Lambin, Geist, 2006](#); [Stolbovoy, McCallum, 2002](#); [Turner et al., 1995](#); [van Vliet et al., 2015](#)). Природное своеобразие естественного ландшафта задает его потенциальные производственные возможности ([Милюков, 1973](#); [Низовцев, 2010](#); [Трапезникова, 2017](#); [Fisher et al., 2005](#); [Lobell et al., 2007](#)), а социально-экономические факторы определяют специализацию и интенсивность хозяйственного использования относительно сложившейся системы расселения, транспортной сети, рынков труда, сбыта и т.п. ([Казьмин, 2017](#); [Люри и др., 2010](#); [Нефедова, 2008](#); [Antonov et al., 2005](#); [Hietel et al., 2007](#); [Friedmann, 1966](#); [Schaller et al., 2018](#)). В ходе исследования каждая группа факторов представляется через набор независимых характеристик (климатических, почвенно-агроэкологических, социально-экономических, экономико-географических и др.) с идентификацией их индивидуального и совокупного вклада в структуру и динамику землепользования в различных пространственно-временных масштабах ([Parker et al., 2003](#)).

Наиболее часто используются региональные сравнения по обобщенным показателям контрастных участков ([Plieninger et al., 2016](#); [Schaller et al., 2018](#)), а также картографическое моделирование структуры землепользования конкретной территории ([Baumann et al., 2011](#); [Prishchepov et al., 2015](#)) и ее трансформации в изменяющихся условиях ([Prishchepov et al., 2013](#); [Schulp et al.,](#)

[2019](#)). Основой моделирования выступает пространственная сетка (*grid*) с регулярным шагом, элементам которой сопоставляется, с одной стороны, тип угодья, а с другой – потенциально определяющие его факторы (рис. 1А). Сопоставление вклада факторов в структуру землепользования графически представлено на примере трех гипотетических примеров: 1) угодья строго детерминированы факторами (рис. 1Б); 2) угодья частично детерминированы факторами (рис. 1В); 3) факторы не влияют на территориальную организацию хозяйства (рис. 1Г).

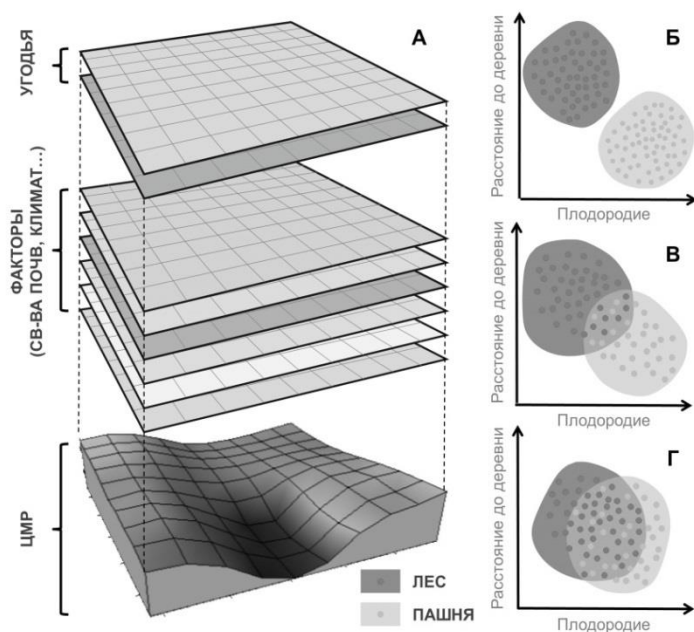


Рис. 1. Схема картографического моделирования взаимодействий в системе “природа – общество”: А – представление данных в виде сеток с регулярным шагом; Б, В, Г – соотношение угодий в пространстве природно-позиционных факторов (оси – факторы, точки – угодья).

Fig. 1. Scheme of cartographic modeling of interactions in the system “nature – society”: А – presentation of data in the form of grids with a regular step; В, C, D – ratio of sites in the space of natural-position factors (axis – factors, points – sites).

Такая схема способствует внедрению цифровых методов в описание и объяснение пространственных аспектов взаимодействия общества и природы ([Koomen et al., 2007](#); [Noszczyk, 2018](#)) и, в случае выявления достоверных отношений (рис. 1Б, 1В), позволяет прогнозировать трансформацию землепользования при разных сценариях изменений управляющих факторов ([Plieninger et al., 2016](#)). Отдельные методические вопросы отрабатываются в разномасштабных исследованиях с глобальным ([Ellis et al., 2010](#)), региональным ([Климанова, Козлов, 2015](#); [Schulp et al., 2019](#)) и локальным охватом ([Матасов, 2018](#)).

Для комплексного использования данного подхода особенно в целях сценарного прогноза еще предстоит преодолеть ряд методических проблем. К наиболее важным из них относятся: 1) корректное сопоставление факторов разной природы по элементам сетки с сопоставимой детальностью (ретроспективных, актуальных и прогнозных), 2) особенности различных способов вычленения их индивидуального и совокупного вклада в дифференциацию угодий, 3) интерпретация неопределенности выявленных отношений (рис. 1Г) как результата неравновесности причинно-следственных связей в системе землепользования, либо как результата неполноты состава факторной модели, принятой в исследовании.

Цель данной работы – рассмотреть эти и другие методические вопросы на примере цифрового картографирования ареала пахотнопригодных земель Валдайской возвышенности второй половины XVIII в. в зависимости от их почвенно-агроэкологических и позиционных условий.

Интерес именно к этому периоду и региону определен высокой детерминированностью сельского хозяйства природными особенностями Нечерноземья в условиях феодального характера отношений ([Милов, 2006](#); [Трапезникова, 2014](#)), а также доступностью материалов Генерального межевания – самых ранних документальных источников, пригодных для картографических реконструкций структуры землепользования ([Гедымин, 1960](#); [Кусов, 1993](#)). На основании выполненного анализа дан прогноз пахотнопригодных земель и проведено их сопоставление с фактически реконструированной площадью пашни.

В методическом плане решаются вопросы: 1) цифрового выражения почвенно-агроэкологических условий для элементов сетки на основе совместного анализа массива почвенных описаний и топографических условий, 2) оценки индивидуального и совокупного вклада двух независимых факторов в объяснение фактической структуры пашни на основе дискриминантного анализа, 3) выделение земель с различной пригодностью для пашни.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Анализ выполнен для участка Валдайской возвышенности площадью 160 тыс. га, охватывающего Центрально-Лесной государственный природный биосферный заповедник и его охранную зону. В его ландшафтной структуре доминируют плоские и пологоволнистые слаборасчлененные вторичные моренные равнины (рис. 2) с широколиственно-еловыми лесами на дерново-подзолистых и торфянисто-подзолистых почвах и крупными массивами верховых болот ([Структура и продуктивность..., 1973](#)).

Согласно агроприродному и сельскохозяйственному районированию Нечерноземья регион относится к Валдайскому округу Западной прохладной провинции ([Агроприродное..., 1987](#)). В условиях относительно короткого вегетационного периода (105–155 дней) и низкой теплообеспеченности (сумма активных температур 1600–2000 °С) возможно выращивание скудного набора зерновых и технических культур: рожь, ячмень, гречиха, овес, лен-долгунец. Относительно большое среднегодовое количество атмосферных осадков (747 мм), низкая испаряемость (значение гидротермического коэффициента Селянинова составляет 1.8), плохой дренаж способствуют накоплению избыточной влаги в почве и их переувлажнению. В конце XVIII в. климатическая обстановка Северной Евразии определяла более ограниченные агроклиматические ресурсы ведения сельского хозяйства ([Mann et al., 2009](#)). По существующим оценкам в течение Малого ледникового периода летние температуры западных и центральных районов Русской равнины были ниже на 2 °С, а сумма осадков была выше на 25–100 мм относительно современных ([Климанов и др., 1995; Новенко, 2016](#)).

Наряду с агроклиматическими условиями развитие земледелия в регионе ограничивалось его экономико-географическим положением. В конце XVIII в. территория оставалась удаленной от основных центров социально-экономической активности Российской империи и располагалась на стыке Смоленской, Тверской и Псковской губерний. В данный период межрегиональный рыночный обмен еще не сформировался ([Ковальченко, Милов, 1974](#)). В связи с этим земледелие составляло основу натурального хозяйства и практически полностью обеспечивало потребности в продовольствии и кормах. Другие типы землепользования (заготовка древесины, сбор грибов и ягод, рыболовство) имели подчиненное значение, как и тяготеющие к пригородам кустарные промыслы и ремесла ([Каримов, Носова, 1999](#)).

Природные и социально-экономические условия определили для модельного участка более низкую плотность населения (0.02 чел/км²) и долю пашни в структуре угодий (5 %), чем в среднем по Осташковскому (4 чел/км², 15 %), Бельскому (3.9 чел/км², 16 %) и Ржевскому (7.6 чел/км², 44 %) уездам. Высокая степень детерминированности земледелия природными условиями Валдайского водораздела определила выбор данного региона для апробирования методики количественного анализа природно-позиционных факторов внутриландшафтной дифференциации земледелия.

В работе принято, что ареал пашни соответствует землям с благоприятными почвенно-агроэкологическими и позиционными условиями (рис. 1). Плодородие почв определяет потенциальную площадь пахотнопригодных земель, а их удаленность от сложившейся сети поселений и дорог сокращает ареал пашни до доступного для возделывания ([Милов, 2006](#)). При этом область фактической пашни в пространстве двух факторов определяет пригодный для земледелия диапазон почвенно-агроэкологических и позиционных условий. Все территориальные единицы внутри этой области с иным видом хозяйственного использования потенциально пригодны для земледелия и могут быть идентифицированы числовыми методами.

Общий порядок исследования включает четыре этапа:

- 1) реконструкция системы расселения и структуры землепользования времен Генерального межевания (рис. 2);

- 2) оценка почвенно-агроэкологических и позиционных условий земель по элементам регулярной сетки (рис. 3);
- 3) анализ природно-позиционной обусловленности фактического ареала пашни (рис. 4);
- 4) оценка пахотнопригодности земель по совокупности их природно-позиционных условий (рис. 5).

Реконструкция системы расселения и структуры землепользования выполнена в среде ГИС на основе планов Генерального межевания (1778–1779) масштаба 1 : 8 400¹ в несколько этапов ([Козлов и др., 2013](#); [Матасов, 2016](#)): 1) создание по межевым измерениям сводной схемы границ землевладений; 2) сведение планов землевладений (91 шт.) в единое покрытие; 3) трансформация сводного изображения к современной географической основе по 267 опорным точкам; 4) реконструкция системы расселения и структуры угодий в масштабе 1 : 10 000.

Система расселения включает положение населенных пунктов, численность их жителей, сеть проселочных дорог (рис. 2). Структура землепользования представлена категориями – пашня, лес, сенокосы и болота. Под пашней в практике Генерального межевания понимается общая площадь периодически возделываемых земель ([Милов, 1965](#)). При реконструкции их ареала помимо глазомерных контуров межевых планов учитывались указания экономических примечаний о суммарной площади пашни в составе землевладений ([Милов, 1965](#); [Кусов, 1993](#)).

Структура землепользования приведена к растровой сетке 30 × 30 м. Позиционные условия ее каждого элемента выражены через кратчайшее расстояние от него до проселочной дороги. Почвенно-агроэкологическая оценка элементов сетки базируется на выявлении степени дренируемости почв как важнейшего показателя их плодородия.

В условиях избыточного атмосферного увлажнения Нечерноземья для пахоты пригодны наиболее дренируемые почвы, где за счет оттока влаги формируется благоприятный водно-воздушный режим корнеобитаемого слоя ([Зайдельман, 1975](#); [Прохорова, Сорокина, 1975](#); [Романова и др., 2011](#)). Сезонное или по-

¹ РГАДА, ф. 1354, оп. 504, 503, 446

стоянное переувлажнение почв негативно влияет на развитие сельскохозяйственных культур и условия их возделывания. За счет поздних сроков наступления физической готовности почвы сокращается длительность вегетационного периода, вымокают посевы, что в условиях натурального хозяйства XVIII в. означало некомпенсируемую потерю урожая ([Рубинштейн, 1957](#); [Милов, 2006](#)).

Степень дренируемости почв определена на основе морфологической диагностики продолжительности их переувлажнения ([Романова и др., 2011](#)). Глееватые и глеевые горизонты свидетельствуют о сезонном либо постоянном застое влаги в зависимости от геоморфологических, литологических и гидрогеологических условий. Представительный массив полевых описаний сведен к четырем категориям почв шкалы возрастающей длительности избыточного увлажнения ([Общесоюзная инструкция..., 1973](#); [Указания по диагностике..., 1982](#); [Оглезнев, Сапожников, 2018](#)):

- дерново-подзолистые без оглеения (*Пд*) – дренируемые почвы без признаков гидроморфизма (нормальное увлажнение);
- дерново-подзолистые глееватые (*Пд_г*) – временно избыточно увлажненные почвы, сроки их поспевания весной запаздывают на 5–10 дней, а в особо влажные годы – до 15–20 дней;
- дерново-подзолистые глеевые (*ПдГ*) – длительно избыточно увлажненные почвы в течение значительной части вегетационного периода, в отдельные годы вода стоит на поверхности до конца мая;
- торфяно-подзолистые глеевые (*Пб*) – избыточно увлажненные почвы в течение всего вегетационного периода.

Однородный чехол пылеватых покровных суглинков модельного участка нивелирует литологическую неоднородность моренных равнин и определяет геоморфологический фактор ([Пузаченко, Козлов, 2005](#)) в качестве ведущего в отношении внутриландшафтного разнообразия степени увлажнения и водного режима почв ([Пузаченко и др., 2006](#)). Картографическое выражение согласованной изменчивости почвенного гидроморфизма и стокоформирующих свойств рельефа ([Козлов, Сорокина, 2012](#)) получе-

но на основе сопряженного анализа более 1500 ранжированных описаний с топографическими особенностями земной поверхности. Использована цифровая модель рельефа (ЦМР), построенная по высотным отметкам крупномасштабной топографической карты. При пространственном разрешении ЦМР 30×30 м расчетные морфометрические величины ([Сысцев, 2003](#); [Florinsky, 2016](#)) передают особенности элементов земной поверхности с размерами более 90×90 м, что соответствует масштабному уровню мезорельефа.

Заведомо не полный состав картографической модели позволяет объяснить только часть пространственной изменчивости целевых свойств. Совокупное влияние микрорельефа, литологической неоднородности почвообразующих пород, а также ошибки почвенной диагностики и искажения ЦМР определяют пересечение *Пд*, *Пдг*, *ПдГ* и *Пб* почв в пространстве морфометрических характеристик рельефа по аналогии с пересечением угодий в пространстве природных и социально-экономических факторов (рис. 1В, 1Г). Степень изолированности категорий в признаковом пространстве может служить мерой детерминированности модели и ее прогностической силы, как в отношении пространственной структуры гидроморфизма почв, так и в отношении структуры землепользования.

При высоком разнообразии численных методов описания геометрии признакового пространства в данной работе использован канонический дискриминантный анализ ([Джонгман, 1999](#); [Пузаченко, 2004](#)). Благодаря простоте математической модели метод отличается высокой интерпретируемостью получаемых результатов ([Webster, Burrough, 1974](#); [Пузаченко и др., 2006](#); [Козлов и др., 2008](#); [Сорокина, Козлов, 2009](#); [Солодовников, Рожков, 2019](#)). С его помощью в отношении категорий почвенного увлажнения получены: 1) сравнительные оценки информативности различных стокоформирующих признаков, 2) степень разделимости *Пд*, *Пдг*, *ПдГ* и *Пб* почв в пространстве наиболее значимых из них, 3) условные вероятности встречаемости каждой категории при сочетании значений факторов.

Кроме того, метод позволяет численно выразить совместное участие нескольких признаков в разделимость дискриминируемых

категорий ([Козлов, Сорокина, 2012](#)). Например, форма и наклон, являясь независимыми стокоформирующими свойствами земной поверхности ([Сысуев, 2003](#)), в отношении почвенного увлажнения дополняют друг друга. Дренажные почвы характерны для рассеивающих сток выпуклых склонов, а гидроморфные – для субгоризонтальных вогнутых понижений, концентрирующих сток. Канонический анализ позволяет найти линейную комбинацию показателей формы и наклона (оси канонических координат), в диапазоне которой средние значения P_d , $P_{d\gamma}$, $P_{d\Gamma}$ и P_b почв наиболее отличаются (рис. 3Б). При соответствующем обосновании канонические переменные могут трактоваться как интегральные топографические факторы дифференциации почвенного увлажнения. В разных региональных условиях число и состав факторов может различаться.

На следующем этапе проведен дискриминантный анализ природно-позиционной обусловленности фактического ареала пашни. Пахотные угодья противопоставлялись лесу (рис. 4) с оценкой разделимости двух видов хозяйственного использования в пространстве топографической дренаруемости и удаленности от дорог, а также сравнительной оценкой их значимости.

Итоговая оценка пахотнопригодности земель по совокупности их природно-позиционных условий (рис. 5) рассчитана для каждого пикселя на основе сравнения дистанций Махаланобиса от него до центра области каждого вида землепользования в пространстве факторов (рис. 4).

$$P_p = \frac{e^{(0,5 \cdot D_{p,l}^2)}}{e^{(0,5 \cdot D_{p,l}^2)} + e^{(0,5 \cdot D_{p,l}^2)}}, \text{ где} \quad (1)$$

$D_{p,l} = \sqrt{(x_i - \bar{x}_{p,l})(y_i - \bar{y}_{p,l})} S^{-1}$ – дистанция пикселя до центра класса пашня (п) и лес (л) в пространстве факторов,

x_i, y_i – значения фактора в точке i ,

$\bar{x}, \bar{y}$ – средние значения массива факторов,

S^{-1} – обратная ковариационная матрица.

Условная вероятность пахотнопригодности (P_p) изменяется в непрерывной шкале от 0 до 1: 0 – лес, 1 – пашня (рис. 5). Степень пригодности задана градациями: 0–0.25 (непригодные); 0.25–0.50 (малопригодные); 0.50–0.75 (ограниченно пригодные); 0.75–1

(пригодные). Итоговая карта пахотнопригодности сравнивалась с фактически реконструированным ареалом пашни конца XVIII в.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Ареал реконструированной пашни конца XVIII в. представлен на рисунке 2. Общая площадь пашни 11 тыс. га или 5 % площади междуречных равнин. Структура сельскохозяйственных угодий имела очаговый характер, концентрирующихся вокруг деревень. Средняя численность их жителей 43 человека, средний размер возделываемого участка 30 га.

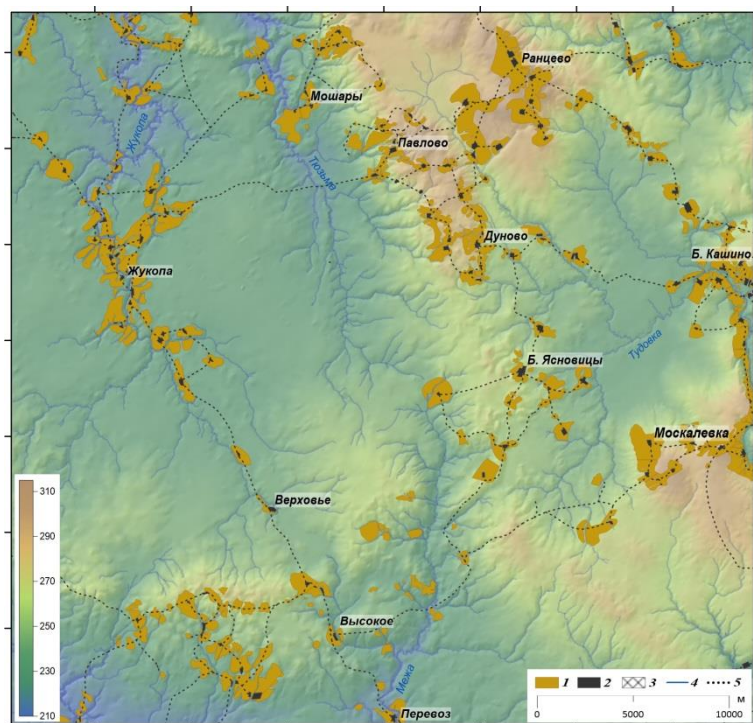


Рис. 2. Реконструкция структуры пахотных земель конца XVIII в. по материалам Генерального межевания: 1 – ареал пашни, 2 – населенные пункты, 3 – водотоки, 4 – проселочные дороги.

Fig. 2. Reconstruction of arable land structure at the end of the 18th century based on the materials of the General Land Survey: 1 – arable land area, 2 –

settlements, 3 – watercourses, 4 – country roads.

Очаговый характер земледелия обусловлен спорадическим распространением дренируемых почв на фоне регионального избыточного атмосферного увлажнения Валдайской возвышенности (Каримов, Носова, 1999). Топографические условия объясняют лишь 63 % их изменчивости, остальные 37 % связаны с особенностями литологических и гидрогеологических условий (мощность и состав покровных четвертичных отложений, разгрузки грунтовых вод), особенностями микрорельефа и демутационными сукцессиями растительных сообществ. Из пятнадцати использованных топографических характеристик наиболее значимы (табл. 1) – крутизна и форма земной поверхности, а также площадь и средний уклон водосборного бассейна (топографический индекс влажности).

Дренируемые дерново-подзолистые почвы характерны для полого-покатых, выпуклых придолинных склонов (рис. 3А). Длительный застой влаги характерен для почв субгоризонтальных моренных и водно-ледниковых равнин с дерново-подзолистыми глеевыми и торфянисто-подзолистыми почвами. Промежуточное положение занимают слабонаклонные моренные равнины с замедленным дренажом и дерново-подзолистыми глееватыми почвами.

Разнообразие факторов сточно-натеchnого увлажнения представлено одной интегральной переменной (ТФД – топографический фактор дренируемости почв), объясняющей 52 % изменчивости водного режима почв:

$$\text{ТФД} = 0.4 \times \text{SLP} + 0.15 \times \text{TPI}_{50\text{м}} + 0.35 \times \text{TPI}_{1000\text{м}} - 0.57 \times \text{TWI} \quad (2)$$

Расчетные значения ТФД упорядочивают почвы возрастающего ряда увлажнения (рис. 3Б). Область положительных значений соответствует дренируемым дерново-подзолистым (1.2...2.0) и дерново-подзолистым глееватым почвам (0.3...1.2), отрицательные значения (-2...-0.6) – торфянисто-подзолистым (рис. 3А, 3Б). Промежуточное положение (-0.6...0.3) занимают дерново-подзолистые глеевые почвы. Степень дренируемости почв (1) прямо пропорциональна крутизне склона, выпуклости элементов макро- и мезорельефа и обратно пропорциональна отношению водосборной площади и крутизны водосбора.

Таблица 1. Значимые топографические факторы сточно-натежного увлажнения
Table 1. Significant topographic factors of in-situ humidification

Морфометрическая величина	Формула	F-критерий*	Уровень значимости	Почвы			
				Пд	Пдг	ПдГ	Пб
Крутизна (SLP), ° (Florinsky, 2016)	$\arctan\sqrt{p^2 + q^2}$ p, q – частные производные поверхности по x и y	15.1	0.00	1.24	1.08	1.07	0.28
Топографический индекс превышений (TRI) в окрестности..., м (Weiss, 2000)	50	25.8	0.00	0.1	0.02	-0.04	-0.02
	1000	25.5	0.00	4.22	0.68	-0.54	-0.69
Топографический индекс влажности (TWI), безразмерный (Florinsky, 2016)	$\ln(\frac{\alpha}{\tan\beta})$ α – площадь водосборного бассейна, β – крутизна	32.1	0.00	11.99	12.8	13.32	14.88

Примечание: *F-критерий (критерий Фишера) – параметрический критерий оценки значимости факторов; рассчитывается как отношение межгрупповой и внутригрупповой дисперсий ([Дэвис, 1990](#)).

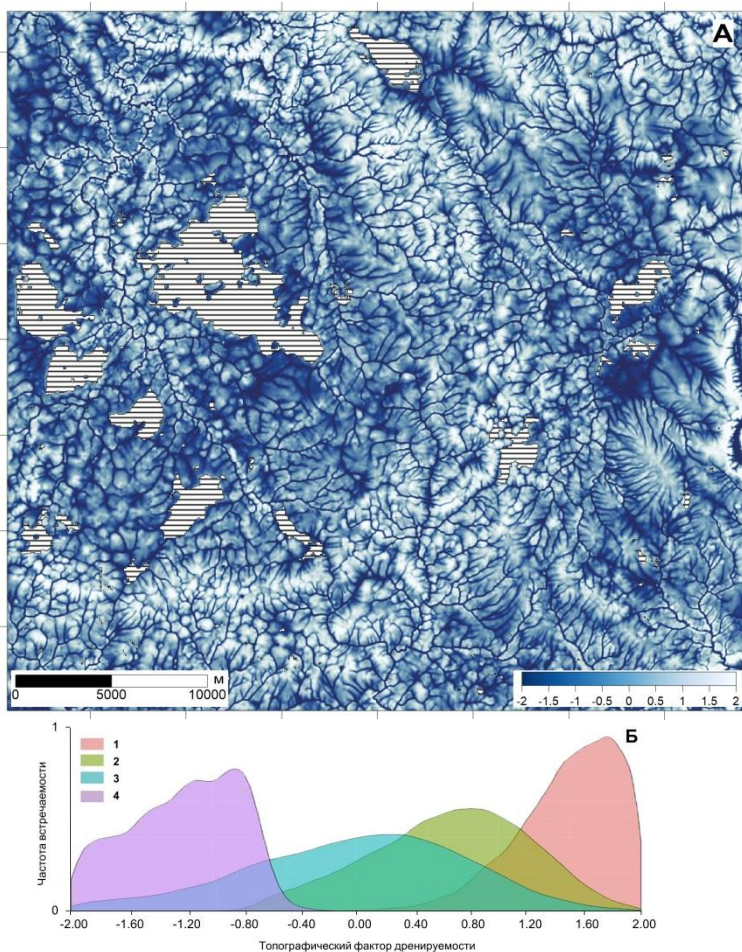


Рис. 3. Топографически обусловленная дренируемость почв. А – карта дренируемости почв; Б – распределение категорий гидроморфизма почв на шкале дренируемости: 1 – Пд, 2 – Пдг, 3 – ПдГ, 4 – Пб. Болота обозначены штриховкой.

Fig. 3. Topographically conditioned soil drainability. А – soil drainability map; Б – soil hydromorphism categories distribution on the drainage scale: 1 – Пд, 2 – Пдг, 3 – ПдГ, 4 – Пб. Swamps are marked with hatching.

Выражение [2] позволяет рассчитать значения топографиче-

ского фактора дренируемости для каждого элемента регулярной сетки. Полученная карта (рис. 3А) отражает топографически обусловленное разнообразие водного режима почв. Формирование почв с застойным водным режимом (*ПдГ* и *Пб*) соответствует недренируемым участкам с замедленным оттоком влаги, а также водосборным понижениям и ложбинам концентрирующим сток.

Общая доля таких участков (значения ТФД < 0.3) составляет 70 %. Напротив, полого-покатые рассеивающие склоны моренных гряд с *Пдг* и *Пд* почвами обладают максимальной степенью дренируемости. На их долю приходится 30 %. Отчетливо проявляется густая сеть ложбин, рассекающих дренируемые склоны и определяющих мелкоочаговый характер земледелия.

Совместно удаленность от дорог и пространственные различия водного режима почв объясняют 68 % структуры землепользования (рис. 4), причем точность описания ареала пашни (90 %) выше, чем лесных угодий (63 %). Т. е. пашня практически полностью изолирована в пространстве дискриминирующих факторов (рис. 4), в то время как 27 % площади лесов обладают той же совокупностью признаков, что и пашня, и потенциально пригодна к распашке.

В целом непригодные земли занимают 51 % пространства междуречных равнин, малопригодные – 23 %, ограниченно пригодные – 14 %, пригодные – 12 %.

Площадь пахотнопригодных земель (12 %) в два раза превышает площадь фактической пашни конца XVIII в. (5 %). Недоиспользованная емкость пахотных земель связана с влиянием региональных социально-экономических факторов, не учитываемых при агроэкологической оценке земель в локальном масштабе. К числу таких факторов относится периферийное положение региона относительно крупных центров социально-экономической активности (Ржев, Осташков, Торопец), определивших низкую плотность населения в исследуемом регионе.

Позиционные условия значимее фактора дренируемости (56 % против 44 %). В условиях низкого уровня агротехнологий XVIII в. затраты на обработку зависели от транспортной доступности участка. Чем поле ближе к проселочной дороге, тем меньше трудозатрат несли крестьяне при его возделывании. Основная до-

ля пашни (80 %) сосредоточена на расстоянии 500 м от дороги. Следует учитывать, что сложившаяся сеть расселения и связующих их дорог вторична по отношению к почвенно-агроэкологическим условиям, и высокая значимость транспортной доступности не более чем следствие принятой схемы анализа.

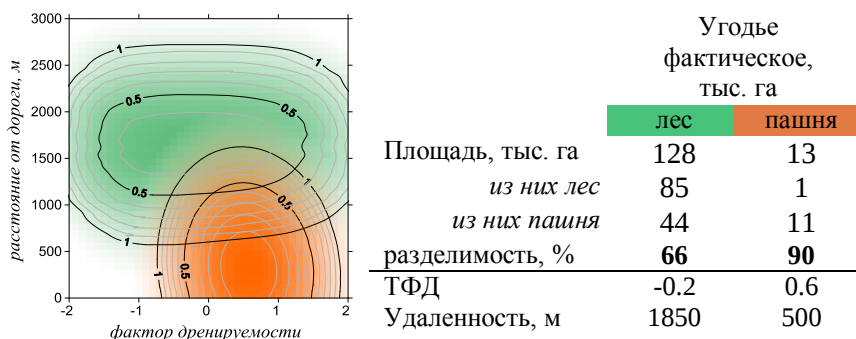


Рис. 4. Положение видов землепользования в пространстве факторов и оценка их разделимости.

Fig. 4. Position of land uses in the space of factors and assessment of their separability.

При расчете пахотнопригодности без учета транспортной удаленности от сети проселочных дорог благоприятная для пашни площадь сокращается до 6 %. Это подчеркивает фактическое использование под пашню не только самых дренируемых почв, но и ограниченно-пригодных, хотя и транспортно доступных участков.

Полученные результаты демонстрируют возможности предложенного методического подхода к цифровому моделированию степени пригодности земель под пашню (рис. 5). За границами исследования пока остаются вопросы ретроспективного анализа и сценарного прогноза трансформации структуры землепользования под воздействием внешних климатических и социально-экономических изменений.

В работе современные почвенно-агроэкологические условия сопоставлены структуре землепользования более чем 200-летней давности. В отсутствие достоверных сведений о климатических и почвенно-агроклиматических условиях Малого ледникового пе-

риода такое допущение корректно в случае линейной зависимости между ТФД (рис. 3) и климатом, когда изменение единицы тепловлагообеспеченности приводит к одинаковому изменению значений на всем диапазоне ТФД.

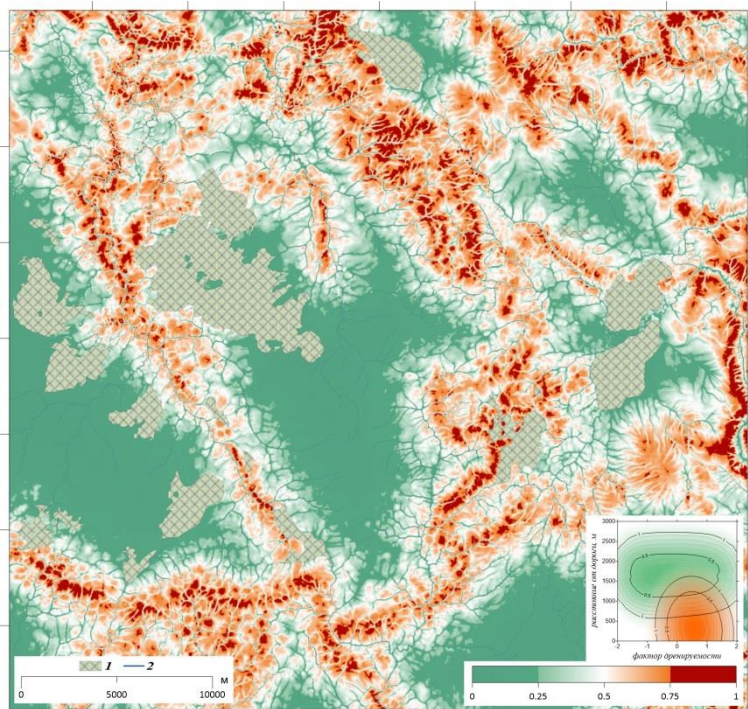


Рис. 5. Степень пригодности земель под пашню. Болота обозначены штриховкой.

Fig. 5. Suitability of the territory for using as arable land. Swamps are marked with hatching.

В противном случае, полученные оценки будут искажены, поскольку условная вероятность пахотнопригодности в выражении [2] учитывает положение каждого пикселя относительно центров видов землепользования в интервале значений ТФД, взаиморасположение которых будет меняться. Безусловно, задачи ретроспективного анализа и сценарного прогноза изменения ареала пашни

под воздействием климата требуют дополнительных исследований, и сама схема анализа должна требовать синхронизации периодов оценки почвенно-агроэкологических условий и фактического использования земель.

Вместе с тем за прошедшие 240 лет площадь пашни в пределах модельного региона многократно сократилась в результате социально-экономических причин регионального и глобального масштаба ([Люри и др., 2010](#)). Учет этих руководящих особенностей требует включения в ретроспективную модель показателей демографической ситуации, производительности труда, удаленных связей с центрами социально-экономической активности и др. ([Lambin, Geist, 2006](#)). Дополнительный предмет исследований составляет учет функциональных связей разных видов землепользования в структуре хозяйства различных укладов и, в частности, соотношение натуральной и товарной продукции растениеводства, животноводства, ремесел и отхожих промыслов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что структура пахотных угодий Валдайской возвышенности конца XVIII в. детерминирована на 90 % природно-позиционными факторами. Совокупность условий переувлажнения почв сведена к одной непрерывной переменной – топографическому фактору дренируемости. Данный подход к почвенно-агроэкологической оценке обеспечивает простоту и сопоставимость расчетов топографически обусловленной пашни в условиях широкого распространения гидроморфизма почв Нечерноземья.

Некомпенсируемые потери урожая на полугидроморфных и гидроморфных землях ограничивают их освоение. Фактическая площадь пашни конца XVIII в. составила 5 %. Площадь пахотно-пригодных земель с преобладанием дренируемых дерново-подзолистых почв составляет 12 %. В условиях жесткой детерминированности природно-позиционными условиями и ограниченного обмена продуктами больше половины потенциально пригодных земель остались неосвоенными.

Преимущество предложенного подхода заключается в возможности цифрового картографического моделирования ареала земель при совокупном влиянии разнообразных факторов. Даль-

нейшее развитие подхода связано с учетом удаленных связей в региональном и глобальном масштабе, ретроспективным анализом и сценарным прогнозом трансформации структуры угодий в зависимости от совместного действия природных, экономико-географических, социальных, технологических и политических факторов. Совершенствование знаний о фундаментальных взаимодействиях в системе общество-природа позволит снизить риски при управлении землепользованием в системе территориального планирования.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы благодарят А.А. Голубинского за помощь в выявлении и подготовке к копированию материалов Генерального межевания в РГАДА, проф. Н.В. Козлову за ценные консультации в области общественных и экономических отношений в России XVIII в. Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ №19-05-00233-а, №14-05-00568-а и №12-06-33035-мол-а-вед.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агроприродное и сельскохозяйственное районирование Нечерноземной зоны европейской части РСФСР. М.: Изд-во МГУ, 1987. 270 с.
2. Гедымин А.В. Опыт использования материалов русского межевания в географических исследованиях для сельскохозяйственных целей // Вопросы географии. 1960. Т. 50. С. 147–171.
3. Джонгман Р.Г.Г. Анализ данных в экологии сообществ и ландшафтов. М.: РАСХН, 1999. 306 с.
4. Дэвис Дж.С. Статистический анализ данных в геологии, книга 1. М.: Недра, 1990. 319 с.
5. Зайдельман Ф.Р. Режим и условия мелиорации заболоченных почв. М.: Колос, 1975. 321 с.
6. Казьмин М.А. Трансформация сельскохозяйственного землепользования в регионах России (вторая половина XIX – начало XXI вв.): Дис. ... д.г.н. М., 2017. 401 с.
7. Каримов А.Э., Носова М.Б. Использование земель и воздействие на природу Центрально-Лесного заповедника (конец 16 начало 20 вв.) // Сукцессионные процессы в лесах заповедников России и сохранение биологического разнообразия. СПб.: РБО, 1999. С. 299–310.

8. *Климанов В.А., Хотинский Н.А., Благовещенская Н.В.* Колебания климата за исторический период в центре Русской равнины // Изв. РАН. Сер. геогр. 1995. № 1. С. 89–96.
9. *Климанова О.А., Козлов Д.Н.* Формализованные подходы к оценке неопределенности географического районирования // Вестник Московского университета. География. 2015. № 3. С. 3–11.
10. *Ковальченко И.Д., Милов Л.В.* Всероссийский аграрный рынок. XVIII – начало XX века. Опыт количественного анализа. М.: Наука, 1974. 399 с.
11. *Козлов Д.Н., Пузаченко М.Ю., Федяева М.В., Пузаченко Ю.Г.* Отображение пространственного варьирования свойств ландшафтного покрова на основе дистанционной информации и цифровой модели рельефа // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2008. № 4. С. 112–124.
12. *Козлов Д.Н., Глухов А.В., Голубинский А.А., Хитров Д.А.* Роль природно-позиционных условий в дифференциации землепользования Европейской России конца XVIII в. – методика цифрового анализа материалов Генерального межевания // Русь, Россия: Средневековье и Новое время. Выпуск 3: Третьи чтения памяти академика Л.В. Милова. М. 2013. С. 26–33.
13. *Козлов Д.Н., Сорокина Н.П.* Традиции и инновации в крупномасштабной почвенной картографии // Цифровая почвенная картография: теоретические и экспериментальные исследования. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2012. С. 35–57.
14. *Кусов В.С.* Качество карт межеваний и возможности их использования для ретроспективного картографирования // Вестник Московского университета. География. 1993. № 3. С. 66–76.
15. *Люри Д.И., Горячкин С.В., Караваева Н.А., Денисенко Е.А., Нефедова Т.Г.* Динамика сельскохозяйственных земель в России в XX веке и постагрогенное восстановление растительности и почв. М.: ГЕОС, 2010. 416 с.
16. *Матасов В.М.* Методические аспекты анализа пространственной структуры угодий Касимовского уезда в конце XVIII в. // Геодезия и картография. 2016. № 3. С. 59–64. DOI: [10.22389/0016-7126-2016-909-3-56-61](https://doi.org/10.22389/0016-7126-2016-909-3-56-61).
17. *Матасов В.М.* Изменение структуры землепользования в ландшафтах Рязанской Мещеры с конца XVIII века: Дис. ... к.г.н.: М., 2018. 220 с.
18. *Милов Л.В.* Исследование об “экономических примечаниях” к Генеральному межеванию. М.: Изд-во МГУ, 1965. 152 с.
19. *Милов Л.В.* Великорусский пахарь и особенности российского исторического процесса. М.: Российская политическая энциклопедия (РОССПЭН), 2006. 576 с.

20. *Мильков Ф.Н.* Человек и ландшафты: очерки антропогенного ландшафтоведения. М.: Мысль, 1973. 224 с.
21. *Нефедова Т.Г.* Российская периферия как социально-экономический феномен // Региональные исследования. 2008. № 5. С. 14–31.
22. *Низовцев В.А.* К теории антропогенного ландшафтогенеза // География и природные ресурсы. 2010. № 2. С. 5–10.
23. *Новенко Е.Ю.* Изменения растительности и климата Центральной и Восточной Европы в позднем плейстоцене и голоцене в межледниковые и переходные этапы климатических макроциклов. М.: ГЕОС, 2016. 228 с.
24. Общесоюзная инструкция по почвенным обследованиям и составлению крупномасштабных почвенных карт землепользований. М.: Колос, 1973. 96 с.
25. *Оглезнев А.К., Сапожников П.М.* Оценка влияния контрастной структуры почвенного покрова на нормативную урожайность сельскохозяйственных культур // Вопросы оценки. 2018. № 3. С. 36–47.
26. *Прохорова З.А., Сорокина Н.П.* Влияние компонентов элементарной структуры дерново-подзолистых почв на продуктивность сельскохозяйственных растений // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 1975. № 8. С. 178–190.
27. *Пузаченко Ю.Г.* Математические методы в экологических и географических исследованиях. М.: Издательский центр “Академия”, 2004. 416 с.
28. *Пузаченко Ю.Г., Козлов Д.Н.* Геоморфологическая история развития территории Центрально-Лесного заповедника // Летопись природы Центрально-Лесного государственного природного биосферного заповедника. Книга 44 за 2004 год. Пос. Заповедный, 2005. с. 33–54.
29. *Пузаченко М.Ю., Пузаченко Ю.Г., Козлов Д.Н., Федяева М.В.* Картографирование мощности органогенного и гумусового горизонтов лесных почв и болот южнотаяжского ландшафта (юго-запад Валдайской возвышенности) на основе трехмерной модели рельефа и дистанционной информации (Landsat 7) // Исследование Земли из космоса. 2006. № 4. С. 70–79.
30. *Романова Т.Г., Ефимова И.А., Ивахненко Н.Н., Каплевич Ж.А.* Парадоксы полугидроморфных почв // Почвоведение и агрохимия. 2011. № 46. С. 62–70.
31. *Рубинштейн Н.Л.* Сельское хозяйство России во второй половине XVIII в. (Историко-экономический очерк). М.: Политиздат, 1957. 496 с.
32. *Солодовников А.Н., Рожков В.А.* Исследование влияния древесной породы на почву методом дискриминантного анализа. Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2019. № 96. С. 22–46. DOI: [10.19047/0136-1694-2019-96-22-46](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2019-96-22-46).

33. *Сорокина Н.П., Козлов Д.Н.* Возможности цифрового картографирования структуры почвенного покрова // Почвоведение. 2009. № 2. С. 198–210.
34. Структура и продуктивность еловых лесов южной тайги. Л.: Изд-во Наука, 1973. 311 с.
35. *Сысеев В.В.* Морфометрический анализ геофизической дифференциации ландшафтов // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2003. № 4. С. 36–50.
36. *Трапезникова О.Н.* Исторические типы агроландшафтов лесной зоны Восточно-Европейской равнины и природные факторы их пространственной организации // Вопросы географии: Горизонты ландшафтоведения. 2014. Т. 138. С. 384–408.
37. *Трапезникова О.Н.* Структура и эволюция агроландшафтов Нечерноземной зоны Восточно-Европейской равнины: Дис. ... д.г.н. М., 2017. 360 с.
38. Указания по диагностике подзолистого и болотно-подзолистого типов почв по степени оглеенности. М.: Картофилиал Росземпроекта, 1982. 10 с.
39. *Antonov S.I., Danshin A.I., Kazmin M.A.* Change in land-cover and cultural landscapes in south-western part of moscow region under the influence of natural and anthropogenic factors // Understanding Land-Use and Land-Cover Change in global and Regional Context. Enfield (NH): Science Publishers. 2005. P. 97–105.
40. *Baumann M., Kuemmerle T., Elbakidze M., Ozdogan M., Radeloff V.C., Keuler N.S., Prishchepov A., Kruhlov I., Hostert P.* Patterns and drivers of post-socialist farmland abandonment in Western Ukraine // Land use policy. 2011. Vol. 28, No. 3, P. 552–562. DOI: [10.1016/j.landusepol.2010.11.003](https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2010.11.003).
41. *Briassoulis H.* Analysis of Land Use Change: Theoretical and Modeling Approaches. Wholbk. Regional Research Institute. West Virginia University. 2000. No. 17.
42. *Briassoulis H.* Land-Use Policy and Planning, Theorizing, and Modeling: Lost in Translation, Found in Complexity? // Environment and Planning B: Planning and Design. 2008. Vol. 35. No. 1. P. 16–33. DOI: [10.1068/b32166](https://doi.org/10.1068/b32166).
43. *Briner S., Elkin C., Huber R., Gret-Regamey A.* Assessing the impacts of economic and climate changes on land-use in mountain regions: A spatial dynamic modeling approach // Agriculture, Ecosystems & Environment. 2012. Vol. 149. P. 50–63.
44. *Diogo V., Koomen E., Kuhlman, T.* An economic theory-based explanatory model of agricultural land-use patterns: The Netherlands as a case study // Agricultural Systems. 2015. Vol. 139. P. 1–16.

45. *Ellis E.C., Goldewijk Klein K., Siebert S., Lightman D., Ramankutty N.* Anthropogenic transformation of the biomes, 1700 to 2000 // *Global Ecology and Biogeography*. 2010. Vol. 19. No. 5. P. 589–606.
46. *Ellis E.C.* Ecology in an anthropogenic biosphere // *Ecological Monographs*. 2015. Vol. 85, No. 3. P. 287–331.
47. *Florinsky I.* Digital terrain analysis in soil science and geology. Puschino, Academic Press, 2016. 486 p.
48. *Friedmann J.* Regional development policy: a case study of Venezuela. Boston, MIT Press., 1966. 279 p.
49. *Guest H.J., Lambin E.F.* What drives tropical deforestation? A meta-analysis of proximate and underlying causes of deforestation based on subnational case study evidence. LUCC Report Series. Vol. 4. 2001. 136 p.
50. *Hietel E., Waldhardt R., Otte A.* Statistical modeling of land-cover changes based on key socio-economic indicators // *Ecological Economics*. 2007. Vol. 62. No. 3–4. P. 496–507.
51. *Fischer G., Shah M., Tubiello F. N., van Velhuizen H.* Socio-economic and climate change impacts on agriculture: an integrated assessment, 1990–2080 // *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2005. Vol. 360. No. 1463. P. 2067–2083.
52. *Koomen E., Stillwell J., Bakema A., Scholten H.J.* Modelling land-use change: Progress and Applications. Dordrecht, Springer. 2007. 391 p.
53. *Lambin E.F., Geist H.* Land-Use and Land-Cover Change: Local processes and global impacts. Berlin Heidelberg, Springer, 2006. 222 p.
54. *Lobell D. B., Field C. B.* Global scale climate – crop yield relationships and the impacts of recent warming // *Environmental Research Letters*. 2007. Vol. 2. No. 1. P. 014002.
55. *Mann M.E., Zhang Z., Rutherford S., Bradley R.S., Hughes M.K., Shindell D., Ammann C., Faluvegi G. Ni F.* Global signatures and dynamical origins of the Little Ice Age and Medieval Climate Anomaly // *Science*. 2009. Vol. 326. No. 5957. P. 1256–1260.
56. *Noszczyk T.* A review of approaches to land use changes modeling // *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*. 2018. P. 1–29.
57. *Parker D.C., Manson S.M., Janssen M.A., Hoffmann M.J., Deadman P.* Multi-agent systems for the simulation of land-use and land-cover change: a review // *Annals of the association of American Geographers*. 2003. Vol. 93. No. 2. P. 314–337.
58. *Scherer L.A., Verburg P.H., Schulp C.J.E.* Opportunities for sustainable intensification in European agriculture // *Global Environmental Change*. 2018. Vol. 48. P. 43–55.

59. *Plieninger T., Draux H., Fagerholm N., Bieling C., Bürgi M., Kizos T., Verburg P.H.* The driving forces of landscape change in Europe: a systematic review of the evidence // *Land Use Policy*. 2016. Vol. 57. P. 204–214.
60. *Schaller L., Targetti S., Villanuev A.J., Zasada I., Kantelhardt J., Arriazaf M., Balg T., Fedrigottih V.B., Girayi F.H., Häfner K., Majewskij E., Malak-Rawlikowskaj A., Nikolovk D., Paolil J.-K., Piorre A., Rodríguez-E M.* Agricultural landscapes, ecosystem services and regional competitiveness – Assessing drivers and mechanisms in nine European case study areas // *Land Use Policy*. 2018. Vol. 76. P. 735–745.
61. *Prishchepov A.V., Müller D., Dubinin M., Baumann M., Radeloff V.C.* Determinants of agricultural land abandonment in post-Soviet European Russia // *Land use policy*. 2013. Vol. 30. No. 1. P. 873–884. DOI: [10.1016/j.landusepol.2012.06.011](https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2012.06.011).
62. *Prishchepov A.V., Kraemer R., Müller D., Kuemmerle T., Radeloff V.C., Dara A., Terekhov A., Frihauf M.* Dynamics and biophysical determinants of agricultural land-use change in the former virgin lands campaign area of Kazakhstan // *Potential of idle agricultural lands of the post-soviet area to mitigate the climate changes and improve an environment*. Pushchino: IPBSS RAS, 2015. P. 59–64.
63. *Schulp C.J.E., Levers C., Kuemmerle T., Tieskens K.F., Verburg P.H.* Mapping and modelling past and future land use change in Europe's cultural landscapes // *Land Use Policy*. 2019. Vol. 80. P. 332–344. DOI: [10.1016/j.landusepol.2018.04.030](https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.04.030).
64. *Stolbovoi V., McCallum I.* CD-ROM. Land resources of Russia // International Institute for Applied Systems Analysis and the Russian Academy of Science. Laxenburg, Austria. 2002.
65. *Terres J.M., Scacchiafichi L.N., Wania A., Ambar M., Anguiano E., Buckwell A., Coppola A., Gocht A., Nordström Källström H., Pointereau P., Strijker D., Visek L., Vranken L., Zobena A.* Farmland abandonment in Europe: Identification of drivers and indicators, and development of a composite indicator of risk // *Land Use Policy*. 2015. Vol. 49. P. 20–34.
66. *Turner B.L. II, Skole D., Sanderson S., Fischer G., Fresco L., Leemans R.* Land-Use and Land-Cover Change; Science // Research Plan. IGBP Report No. 35, HDP Report No. 7. IGBP and HDP, Stockholm and Geneva. 1995.
67. *Van Vliet J., de Groot H.L.F., Rietveld P., Verburg P.H.* Manifestations and underlying drivers of agricultural land use change in Europe // *Landscape and Urban Planning*. 2015. Vol. 133. P. 24–36. DOI: [10.1016/j.landurbplan.2014.09.001](https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.09.001).
68. *Webster R., Burrough P.A.* Multiple discriminant analysis in soil survey. *European Journal of Soil Science*. 1974. Vol. 25. No. 1. P. 120–134.

69. Weiss A. Topographic position and landforms analysis // Poster presentation. Proc. ESRI user conference. San Diego, CA. 2001. Vol. 200.

REFERENCES

1. Gvozdetskii N.A., Zvorykin K.V., *Agroprirodnoe i sel'skokhozyaistvennoe raionirovanie Nechernozemnoi zony evropeiskoi chasti RSFSR* (Agri-natural and agricultural zoning of Non-Chernozemic zone of the European part of the RSFSR), Moscow: Izd-vo MGU, 1987, 270 p.
2. Gedymin A.V., *Opyt ispol'zovaniya materialov russkogo mezhevaniya v geograficheskikh issledovaniyakh dlya sel'skokhozyaistvennykh tselei* (Experience of the application of the Russian land survey materials in geographical studies for agricultural purposes), *Voprosy geografii*, 1960, Vol. 50, pp. 147–171.
3. Jongman R.H.G., *Analiz dannykh v ekologii soobshchestv i landshaftov* (Data analysis in community and landscape ecology), Moscow: RASKhN, 1999, 306 p.
4. Davis J.C., *Statisticheskii analiz dannykh v geologii* (Statistics and data analysis in geology), Vol. 1, Moscow: Nedra, 1990, 319 p.
5. Zaidel'man F.R., *Rezhim i usloviya melioratsii zabolochennykh pochv* (Regime and conditions of reclamation of boggy soils), Moscow: Kolos, 1975, 321 p.
6. Kaz'min M.A., *Transformatsiya sel'skokhozyaistvennogo zemlepol'zovaniya v regionakh Rossii (vtoraya polovina XIX – nachalo XXI vv): Diss. ... doct. geogr. nauk* (Transformation of agricultural land use in Russian regions (second half of 19th – beginning of 21st centuries), Dr. geogr. sci. thesis), Moscow: MGU, 2017, 401 p.
7. Karimov A.E., Nosova M.B., *Ispol'zovanie zemel' i vozdeistvie na prirodu Tsentral'no-Lesnogo zapovednika (konets 16 nachalo 20 vv.)* (Land use and impact on the nature of the Central Forest Reserve (late 16th and early 20th centuries)), In: *Suktsessionnye protsessy v lesakh zapovednikov Rossii i sokhranenie biologicheskogo raznoobraziya* (Forest successions in protected areas of Russia and problems of biodiversity conservation), St. Petersburg: RBO, 1999, pp. 299–310.
8. Klimanov V.A., Khotinskii N.A., Blagoveshchenskaya N.V., *Kolebaniya klimata za istoricheskii period v tsentre Russkoi ravniny* (Climate fluctuations over the historical period in the center of the Russian Plain), *Izv. RAN, Ser. Geogr.*, 1995, No. 1, pp. 89–96.
9. Klimanova O.A., Kozlov D.N., *Formalizovannye podkhody k otsenke neopredelennosti geograficheskogo raionirovaniya* (Formal approaches to the

evaluation of non-uniqueness of the delimitation of geographical regions), *Vestnik Moskovskogo universiteta. Geografiya*, 2015, No. 3, pp. 3–11.

10. Koval'chenko I.D., Milov L.V., *Vserossiiskii agrarnyi rynok. XVIII – nachalo XX veka. Opyt kolichestvennogo analiza* (Russian agrarian market. 18th – beginning of 20th centuries. Experience of quantitative analysis), Moscow: Nauka, 1974, 399 p.

11. Kozlov D.N., Puzachenko M.Yu., Fedyaeva M.V., Puzachenko Yu.G., *Otobrazhenie prostranstvennogo var'irovaniya svoistv landshaftnogo pokrova na osnove distantsionnoi informatsii i tsifrovoi modeli rel'efa* (Representation of spatial variation of landscape cover properties on the basis of remote sensing data Landsat and digital elevation model), *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya geograficheskaya*, 2008, No. 4, pp. 112–124.

12. Kozlov D.N., Glukhov A.V., Golubinskii A.A., Khitrov D.A., *Rol' prirodno-pozitsionnykh uslovii v differentsiatsii zemlepol'zovaniya Evropeiskoi Rossii kontsa XVIII v. – metodika tsifrovogo analiza materialov General'nogo mezhevaniya* (The role of natural and positional conditions in the differentiation of land use in European Russia in the late XVIII. – Method of digital analysis of General Land Survey materials), (Proc. Intern. Conf. Devoted to the Memory for Academician L.V. Milov “Russia: the Middle Ages and modern times, Vol. 3”, Moscow, 2013, pp. 26–33.

13. Kozlov D.N., Sorokina N.P., *Traditsii i innovatsii v krupnomasshtabnoi pochvennoi kartografii* (Traditions and innovations in the area of the large-scale soil mapping), In: *Tsifrovaya pochvennaya kartografiya: teoreticheskie i eksperimental'nye issledovaniya* (Digital soil mapping: theoretical and experimental studies), Moscow: Dokuchaev Soil Science Institute, 2012, pp. 35–57.

14. Kusov V.S., *Kachestvo kart mezhevaniy i vozmozhnosti ikh ispol'zovaniya dlya retrospektivnogo kartografirovaniya* (Quality of land survey maps and the possibility of their use for retrospective mapping), *Vestnik Moskovskogo universiteta. Geografiya*, 1993, No. 3, pp. 66–76.

15. Lyuri D.I., Goryachkin S.V., Karavaeva N.A., Denisenko E.A., Nefedova T.G., *Dinamika sel'skokhozyaistvennykh zemel' v Rossii v KhKh veke i postagrogennoe vosstanovlenie rastitel'nosti i pochv* (Dynamics of agricultural lands of Russia in 20th century and postagrogenic restoration of vegetation and soils), Moscow: GEOS, 2010, 416 p.

16. Matasov V.M., *Metodicheskie aspekty analiza prostranstvennoi struktury ugodii Kasimovskogo uезда v kontse XVIII v.* (Methodological aspects of the spatial analysis of the land use structure in the Kasimov district at the end of the XVIII century), *Geodeziya i kartografiya*, 2016, No. 3. pp. 59–64, DOI: [10.22389/0016-7126-2016-909-3-56-61](https://doi.org/10.22389/0016-7126-2016-909-3-56-61).

17. Matasov V.M., *Izmenenie struktury zemlepol'zovaniya v landshaftakh Ryazanskoi Meshchery s kontsa XVIII veka: Diss. ... kand. geogr. nauk* (Changing the structure of land use in the landscapes of the Ryazan Meschera from the end of the 18th century, Cand. geogr. sci. thesis), Moscow: MGU, 2018, 220 p.
18. Milov L.V., *Issledovanie ob "ekonomicheskikh primekaniyakh" k General'nomu mezhevaniyu* (Study on "Economic Notes" to the General Land Survey), Moscow: Izd-vo MGU, 1965, 152 p.
19. Milov L.V., *Velikorusskii pakhar' i osobennosti rossiiskogo istoricheskogo protsessa* (The Great Russian plowman and specific features of the Russian historical process), Moscow: ROSSPEN, 2006, 576 p.
20. Mil'kov F.N., *Chelovek i landshafty: ocherki antropogennogo landshaftovedeniya* (Man and landscapes: essays on anthropogenic landscape science), Moscow: Mysl', 1973, 224 p.
21. Nefedova T.G., Rossiiskaya periferiya kak sotsial'no-ekonomicheskii fenomen (Russia's periphery as a socio-economic phenomenon), *Regional'nye issledovaniya*, 2008, No. 5, pp. 14–31.
22. Nizovtsev V.A., K teorii antropogennogo landshaftogeneza (Toward the theory of anthropogenic landscape genesis), *Geografiya i prirodnye resursy*, 2010, No. 2, pp. 5–10.
23. Novenko E.Yu., *Izmeneniya rastitel'nosti i klimata Tsentral'noi i Vostochnoi Evropy v pozdnem pleistotsene i golotsene v mezhlednikovye i perekhodnye etapy klimaticheskikh makrotsiklov* (Vegetation and climate changes in the Central and Eastern Europe in the Late Pleistocene and Holocene at the Interglacial and transitional stages of climatic macro-cycles), Moscow: GEOS, 2016, 228 p.
24. Ishchenko T.A., *Obshchesoyuznaya instruktsiya po pochvennym obsledovaniyam i sostavleniyu krupnomasshtabnykh pochvennykh kart zemlepol'zovaniya* (All-Union instruction on soil surveys and the compilation of large-scale soil maps of land use), Moscow: Kolos, 1973, 96 p.
25. Ogleznev A.K., Sapozhnikov P.M., Otsenka vliyaniya kontrastnoi struktury pochvennogo pokrova na normativnyuyu urozhainost' sel'skokhozyaistvennykh kul'tur (Assessment of the impact of the contrasting patterns of soil cover on the normative yield of agricultural crops), *Voprosy otsenki*, 2018, No. 3, pp. 36–47.
26. Prokhorova Z.A., Sorokina N.P., Vliyanie komponentov elementarnoi struktury dervno-podzolistykh pochv na produktivnost' sel'skokhozyaistvennykh rastenii (The influence of the components of the elemental structure of sod-podzolic soils on the productivity of agricultural plants), *Dokuchaev Soil Bulletin*, 1975, No. 8, pp. 178–190.

27. Puzachenko Yu.G., *Matematicheskie metody v ekologicheskikh i geograficheskikh issledovaniyakh* (Mathematical methods in environmental and geographical researches), Moscow: Izd-vo "Akademiya", 2004, 416 p.
28. Puzachenko Yu.G., Kozlov D.N., *Geomorfologicheskaya istoriya razvitiya territorii Tsentral'no-Lesnogo zapovednika* (Geomorphological history of the Central Forest Reserve), *Letopis' prirody Tsentral'no-Lesnogo gosudarstvennogo prirodnogo biosfernogo zapovednika. Kniga 44 za 2004 god* (Nature record of Central Forest Reserve, Vol. 44 for 2004 year), Zapovednyi, 2005, pp. 33–54.
29. Puzachenko M.Yu., Puzachenko Yu.G., Kozlov D.N., Fedyaeva M.V., *Kartografirovanie moshchnosti organogenного i gumusovogo gorizontov lesnykh pochv i bolot yuzhnataezhnogo landshafta (yugo-zapad Valdaiskoi vozvyshennosti) na osnove trekhmernoi modeli rel'efa i distantsionnoi informatsii (landsat 7)* (The mapping of the thickness of organic matter and humus horizons of soils and bogs in the southern taiga (Valdai hills) on the basis of digital elevation model and remote sensing data (Landsat-7)), *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2006, No. 4, pp. 70–79.
30. Romanova T.G., Efimova I.A., Ivakhnenko N.N., Kapilevich Zh.A., *Paradoкsy polugidromorfnykh pochv* (The paradoxes of the semi-hydramorphic soils), *Pochvovedenie i agrokhimiya*, 2011, No. 46, pp. 62–70.
31. Rubinshtein N.L., *Sel'skoe khozyaistvo Rossii vo vtoroi polovine XVIII v. (Istoriko-ekonomicheskii ocherk)* (Agriculture of Russia in the second half of the 18th century (Historical and economic essay)), Moscow: Politizdat, 1957, 496 p.
32. Solodovnikov A.N., Rozhkov V.A., *Issledovanie vliyaniya drevesnoi porody na pochvu metodom diskriminantnogo analiza* (Study of the tree species effect on the soil by means of discriminant analysis), *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2019, Vol. 96, pp. 22–46, DOI: [10.19047/0136-1694-2019-96-22-46](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2019-96-22-46).
33. Sorokina N.P., Kozlov D.N., *Vozmozhnosti tsifrovogo kartografirovaniya struktury pochvennogo pokrova* (Possibilities of digital mapping of soil cover structure), *Pochvovedenie*, 2009, No. 2, pp. 198–210.
34. Karpov V.G., *Struktura i produktivnost' elovykh lesov yuzhnoi taiga* (Structure and productivity of spruce forest if the southern taiga), Leningrad: Izd-vo Nauka, 1973, 311 p.
35. Sysuev V.V., *Morfometricheskii analiz geofizicheskoi differentsiatsii landshaftov* (Morphometric analyses of geophysical differentiation of the landscapes), *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya geograficheskaya*, 2003, No. 4, pp. 36–50.
36. Trapeznikova O.N., *Istoricheskie tipy agrolandshaftov lesnoi zony Vostochno-Evropeiskoi ravniny i prirodnye faktory ikh prostranstvennoi organizatsii* (Geoenvironmental principles of agrolandscape investigation by

the example of forest zone in the East European), *Voprosy geografii: Gorizonty landshaftovedeniya*, 2014, Vol. 138, pp. 384–408.

37. Trapeznikova O.N., *Struktura i evolyutsiya agrolandshaftov Nechernozemnoi zony Vostochno-Evropeiskoi ravniny: Diss. ... doct. geogr. nauk* (Structure and evolution of agrolandscapes of the Non-Chernozemic Zone of the Eastern Eaurpean plain, Dr. geogr. sci. thesis), Moscow: IGRAN, 2017, 360 p.

38. Satalkin A.I., Zhirov A.A., Ogleznev A.K., Shilova M.S., Nogina N.A., Romanova T.V., Zaks V.G., Fedorin Yu.V., Friev T.A., Ksenofontova V.A., *Ukazaniya po diagnostike podzolistogo i bolotno-podzolistogo tipov pochv po stepeni ogleennosti* (Guidelines for the diagnosis of podzolic and bog-podzolic soil types according to the degree of gleying), Moscow: Kartfilial Roszempromekta, 1982, 10 p.

39. Antonov S.I., Danshin A.I., Kazmin M.A., Change in land-cover and cultural landscapes in south-western part of moscow region under the influence of natural and anthropogenic factors, *Understanding Land-Use and Land-Cover Change in global and Regional Context, Enfield (NH): Science Publishers*, 2005, pp. 97–105.

40. Baumann M., Kuemmerle T., Elbakidze M., Ozdogan M., Radeloff V.C., Keuler N.S., Prishchepov A., Kruhlov I., Hostert P., Patterns and drivers of post-socialist farmland abandonment in Western Ukraine, *Land use policy*, 2011, Vol. 28, No. 3, pp. 552–562, DOI: [10.1016/j.landusepol.2010.11.003](https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2010.11.003).

41. Briassoulis H., Analysis of Land Use Change: Theoretical and Modeling Approaches, *Wholbk, Regional Research Institute, West Virginia University*, 2000, No. 17.

42. Briassoulis H., Land-Use Policy and Planning, Theorizing, and Modeling: Lost in Translation, Found in Complexity, *Environment and Planning B: Planning and Design*, 2008, Vol. 35, No. 1, pp. 16–33, DOI: [10.1068/b32166](https://doi.org/10.1068/b32166).

43. Briner S., Elkin C., Huber R., Gret-Regamey A., Assessing the impacts of economic and climate changes on land-use in mountain regions: A spatial dynamic modeling approach, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2012, Vol. 149, pp. 50–63.

44. Diogo V., Koomen E., Kuhlman T., An economic theory-based explanatory model of agricultural land-use patterns: The Netherlands as a case study, *Agricultural Systems*, 2015, Vol. 139, pp. 1–16.

45. Ellis E.C., Goldewijk Klein K., Siebert S., Lightman D., Ramankutty N., Anthropogenic transformation of the biomes, 1700 to 2000, *Global Ecology and Biogeography*, 2010, Vol. 19, No. 5, pp. 589–606.

46. Ellis E.C., Ecology in an anthropogenic biosphere, *Ecological Monographs*, 2015, Vol. 85, No. 3, pp. 287–331.

47. Florinsky I., *Digital terrain analysis in soil science and geology*, Puschino, Academic Press, 2016, 486 p.
48. Friedmann J., *Regional development policy: a case study of Venezuela*, Boston, MIT Press, 1966, 279 p.
49. Guest H.J., Lambin E.F., What drives tropical deforestation? A meta-analysis of proximate and underlying causes of deforestation based on subnational case study evidence, *LUCC Report Series*, Vol. 4, 2001, 136 p.
50. Hietel E., Waldhardt R., Otte A., Statistical modeling of land-cover changes based on key socio-economic indicators, *Ecological Economics*, 2007, Vol. 62, No. 3–4, pp. 496–507.
51. Fischer G., Shah M., Tubiello F. N., van Velhuizen H., Socio-economic and climate change impacts on agriculture: an integrated assessment, 1990–2080, *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2005, Vol. 360, No. 1463, pp. 2067–2083.
52. Koomen E., Stillwell J., Bakema A., Scholten H.J., *Modelling land-use change: Progress and Applications*, Dordrecht, Springer, 2007, 391 p.
53. Lambin E.F., Geist H., *Land-Use and Land-Cover Change: Local processes and global impacts*, Berlin Heidelberg, Springer, 2006, 222 p.
54. Lobell D. B., Field C. B., Global scale climate – crop yield relationships and the impacts of recent warming, *Environmental Research Letters*, 2007, Vol. 2, No. 1, pp. 014002.
55. Mann M.E., Zhang Z., Rutherford S., Bradley R.S., Hughes M.K., Shindell D., Ammann C., Faluvegi G., Ni F., Global signatures and dynamical origins of the Little Ice Age and Medieval Climate Anomaly, *Science*, 2009, Vol. 326, No. 5957, pp. 1256–1260.
56. Noszczyk T., A review of approaches to land use changes modeling, *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 2018, pp. 1–29.
57. Parker D.C., Manson S.M., Janssen M.A., Hoffmann M.J., Deadman P., Multi-agent systems for the simulation of land-use and land-cover change: a review, *Annals of the association of American Geographers*, 2003, Vol. 93, No. 2, pp. 314–337.
58. Scherer L.A., Verburg P.H., Schulp C.J.E., Opportunities for sustainable intensification in European agriculture, *Global Environmental Change*, 2018, Vol. 48, pp. 43–55.
59. Plieninger T., Draux H., Fagerholm N., Bieling C., Bürgi M., Kizos T., Verburg P.H., The driving forces of landscape change in Europe: a systematic review of the evidence, *Land Use Policy*, 2016, Vol. 57, pp. 204–214.
60. Schaller L., Targetti S., Villanuev A.J., Zasada I., Kantelhardt J., Arriazaf M., Balg T., Fedrigottih V.B., Girayi F.H., Häfner K., Majewskij E., Malak-Rawlikowskaj A., Nikolovk D., Paolil J.-K., Piorre A., Rodriguez-E M.,

Agricultural landscapes, ecosystem services and regional competitiveness – Assessing drivers and mechanisms in nine European case study areas, *Land Use Policy*, 2018, Vol. 76, pp. 735–745.

61. Prishchepov A.V., Müller D., Dubinin M., Baumann M., Radeloff V.C., Determinants of agricultural land abandonment in post-Soviet European Russia, *Land Use Policy*, 2013, Vol. 30, No. 1, pp. 873–884, DOI: [10.1016/j.landusepol.2012.06.011](https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2012.06.011).

62. Prishchepov A.V., Kraemer R., Müller D., Kuemmerle T., Radeloff V.C., Dara A., Terekhov A., Frühauf M., Dynamics and biophysical determinants of agricultural land-use change in the former virgin lands campaign area of Kazakhstan, In: *Potential of idle agricultural lands of the post-soviet area to mitigate the climate changes and improve an environment*, Pushchino: IPBPSS RAS, 2015, pp. 59–64.

63. Schulp S.J.E., Levers C., Kuemmerle T., Tieskens K.F., Verburg P.H., Mapping and modelling past and future land use change in Europe's cultural landscapes, *Land Use Policy*, 2019, Vol. 80, pp. 332–344, DOI: [10.1016/j.landusepol.2018.04.030](https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.04.030).

64. Stolbovoy V., McCallum I., CD-ROM, Land resources of Russia, *International Institute for Applied Systems Analysis and the Russian Academy of Science*, Laxenburg, Austria, 2002.

65. Terres J.M., Scacchiafichi L.N., Wania A., Ambar M., Anguiano E., Buckwell A., Coppola A., Gocht A., Nordström Källström H., Pointereau P., Strijker D., Visek L., Vranken L., Zobena A., Farmland abandonment in Europe: Identification of drivers and indicators, and development of a composite indicator of risk, *Land Use Policy*, 2015, Vol. 49, pp. 20–34.

66. Turner B.L. II, Skole D., Sanderson S., Fischer G., Fresco L., Leemans R., Land-Use and Land-Cover Change; Science, *Research Plan. IGBP Report No. 35, HDP Report No. 7*, IGBP and HDP, Stockholm and Geneva, 1995.

67. Van Vliet J., de Groot H.L.F., Rietveld P., Verburg P.H., Manifestations and underlying drivers of agricultural land use change in Europe, *Landscape and Urban Planning*, 2015, Vol. 133, pp. 24–36, DOI: [10.1016/j.landurbplan.2014.09.001](https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.09.001).

68. Webster R., Burrough P. A., Multiple discriminant analysis in soil survey, *European Journal of Soil Science*, 1974, Vol. 25, No. 1, pp. 120–134.

69. Weiss A., Topographic position and landforms analysis, Poster presentation, *ESRI user conference*, San Diego, CA, 2001, Vol. 200.

УДК 631.4

DOI: 10.19047/0136-1694-2019-98-37-56

Ссылки для цитирования:

Гуркова Е.А., Бронникова М.А., Герасимова М.И., Сухачева Е.Ю., Конопляникова Ю.В. Светлогумусовые аккумулятивно-карбонатные и палео-метаморфические почвы коллекции Центрального музея почвоведения: верификация типовой диагностики // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2019. Вып. 98. С. 37-56. DOI: 10.19047/0136-1694-2019-98-37-56

Cite this article as:

Gurkova E.A., Bronnikova M.A., Gerasimova M.I., Sukhacheva E.Y., Konoplyanikova Y.V., Light-humus carbonate-accumulative and paleo-metamorphic soils in the collection of Dokuchaev Central Soil Museum: verification of diagnostics at type level, Dokuchaev Soil Bulletin, 2019, V. 98, pp. 37-56, DOI: 10.19047/0136-1694-2019-98-37-56

**СВЕТЛОГУМУСОВЫЕ АККУМУЛЯТИВНО-
КАРБОНАТНЫЕ И ПАЛЕО-МЕТАМОРФИЧЕСКИЕ
ПОЧВЫ КОЛЛЕКЦИИ ЦЕНТРАЛЬНОГО МУЗЕЯ
ПОЧВОВЕДЕНИЯ: ВЕРИФИКАЦИЯ ТИПОВОЙ
ДИАГНОСТИКИ**

© 2019 г. Е. А. Гуркова^{1*}, М. А. Бронникова^{2**},
М. И. Герасимова^{3,5***}, Е. Ю. Сухачева^{4****},
Ю. В. Конопляникова^{2,3*****}

¹Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Россия
630090, Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 8/2,
*e-mail: sollygeohennet@mail.ru.

²Институт географии РАН, Россия
119017, Москва, Старомонетный переулок, 29,
**<https://orcid.org/0000-0003-4181-8530>,
*****<https://orcid.org/0000-0002-0062-9154>.

³МГУ им М.В. Ломоносова, Россия, 119991, Москва, Ленинские Горы, 1
***<https://orcid.org/0000-0002-1815-4476>.

⁴Центральный музей почвоведения им. В.В. Докучаева, Россия,
199034, Санкт-Петербург, Биржевой пр., 6,
****<https://orcid.org/0000-0003-3612-6265>.

⁵*Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Россия,
119017, Москва, Пыжевский пер, 7, стр. 2.*

*Поступила в редакцию 16.02.2019, после доработки 05.03.2019,
принята к публикации 05.09.2019.*

В статье представлены результаты исследования 24 почвенных монолитов каштановых, бурых аридных, палевых и криоаридных почв из фонда Центрального музея почвоведения им. В.В. Докучаева. Выявлено, что гумусовые горизонты каштановых и бурых аридных почв, в целом, удовлетворяют критериям светлогумусового горизонта А₁, но фактический диапазон их цветов по шкале Манселла заметно темнее указанного в классификации. Гумусово-аккумулятивные горизонты палевых почв диагностированы как серогумусовые, а не светлогумусовые, характерные для почв этого типа согласно классификации. Специфика криогумусового горизонта криоаридных почв заключается в накоплении криогенно-измельченного детрита; для горизонта А₁ характерны красноватые тона, однако они менее красные, чем требуется диагностикой. Метаморфические горизонты в музейных монолитах бурых аридных и каштановых почв не удалось дифференцировать на горизонты ВМ и ВМК, они оказались ближе к ксерометаморфическому горизонту ВМК. Палево-метаморфический горизонт ВР₁ оказался более темным и бурым, чем указано в классификации, и достоверно не отличается от горизонтов ВМ и ВМК по цвету, но выделяется существенно менее развитой, плохо оформленной структурой. Последняя имеет криогенные черты, заметно слабее выраженные в криоаридных почвах, по сравнению с палевыми. Возможно, для криоаридных почв нужно перевести горизонт ВР₁ из диагностических горизонтов на уровень признака. Обоснование индивидуальности текстурно-карбонатного горизонта САТ как диагностического горизонта каштановых почв не вполне подтверждается. Возможно, целесообразно снизить диагностический уровень горизонта САТ до уровня признака в аккумулятивно-карбонатном горизонте бурых аридных почв – ВСА₁. Характеристики ВСА горизонтов всех исследованных почв соответствуют диагностике. Горизонты достоверно различаются по морфологии карбонатных новообразований: преимущественно сегрегации в бурых аридных и каштановых, пропиточные в палевых, пропиточные формы и кутаны в криоаридных почвах.

Ключевые слова: криоаридные, палевые, каштановые, бурые аридные почвы, классификация почв, диагностические горизонты, музейные монолиты.

LIGHT-HUMUS CARBONATE-ACCUMULATIVE AND PALE-METAMORPHIC SOILS IN THE COLLECTION OF V. V. DOKUCHAEV CENTRAL SOIL MUSEUM: VERIFICATION OF DIAGNOSTICS AT TYPE LEVEL

E. A. Gurkova^{1*}, M. A. Bronnikova^{2}, M. I. Gerasimova^{3,5***},
E. Y. Sukhacheva^{4****}, Y. V. Konoplyanikova^{2,3*****}**

¹*Institute of Soil Sciences and Agrochemistry SB RAS,
Russia, 630090, Novosibirsk, Akademik Lavrent'ev's Avenue, 8/2,
e-mail: sollygeohennet@mail.ru.

²*Institute of Geography, RAS,
Russia, 119017, Moscow, Staromonetnyi per., 29,
**<https://orcid.org/0000-0003-4181-8530>,
*****<https://orcid.org/0000-0002-0062-9154>.*

³*Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography,
Russia, 119991, Moscow, Leninskie Gory, 1,
***<https://orcid.org/0000-0002-1815-4476>.*

⁴*V.V. Dokuchaev Central Soil Museum,
Russia, 199034, Saint-Petersburg, Birzhevoy pr., 6,
****<https://orcid.org/0000-0003-3612-6265>.*

⁵*V.V. Dokuchaev Soil Science Institute,
Russia, 119017, Moscow, Pizhevskiy per., 7, build. 2.*

Received 16.02.2019, Revised 05.03.2019, Accepted 05.09.2019.

Results of 24 soil monoliths studying in the collection of Dokuchaev Central Soil Museum were analyzed in terms of diagnostic criteria in Russian soil classification system; these were chestnut, brown aridic, pale and cryoaridic soils. The topsoils of chestnut and brown aridic soils meet the criteria for the light-humus horizon (AJ), but their values in Munsell readings proved to be lower. In pale soils, the upper horizons were identified as gray-humus instead of light-humus ones as prescribed in the system. The cryohumus AK horizon, diagnostic for cryoaridic soils, is peculiar by the abundance of reddish frost-fragmented plant residues (detritus). We failed to differentiate metamorphic BM and xerometamorphic BMK horizon, they had more features of the latter. Both horizons are similar to the pale-metamorphic BPL horizon in color, although the BPL has a definitely weaker structure displaying some cryogenic features. These are less prominent in cryoaridic soils than in pale soils, hence, the diagnostic BPL horizon in cryoaridic soils may be removed to the category of diagnostic property. A similar re-evaluation may be proposed for the

carbonate-textural CAT horizon: to consider it as a diagnostic property in the carbonate-accumulative horizon (BCAt). The BCA horizon in all soils studied differed by carbonate pedofeatures, namely, segregations in brown and chestnut soils, impregnations in pale soils, impregnations and coatings in cryoaridic soils.

Keywords: cryoaridic and pale soils, brown aridic and chestnut soils, soil classification, diagnostic horizons, museum monoliths.

ВВЕДЕНИЕ

Настоящая публикация представляет собой результат исследования почвенных монолитов, выполненного авторами в фондах Центрального музея почвоведения им. В.В. Докучаева. В задачи исследования входит верификация и уточнение морфологической диагностики степных почв, родственных по генезису и условиям формирования: криоаридных, каштановых и бурых аридных, а также палевых почв, классификационно близких криоаридным.

В современной классификации ([Классификация и диагностика..., 2004](#); [Полевой определитель..., 2008](#)) диагностика криоаридных почв составлена на основании работ В.И. Волковинцера, предложившего выделять их в криоксерофитных степях Алтая, Тувы, Забайкалья, Якутии, Тянь-Шаня, Монголии как отдельный тип ([1978](#)), отличный генетически и экологически от типа каштановых почв более теплых и менее континентальных сухих степей европейской части России и Казахстана. До работ В.И. Волковинцера почвы холодных сухих степей Южной Сибири и сопредельных областей описывались в региональных работах как каштановые и горные каштановые ([Почвы..., 1973](#); [Почвы..., 1954](#); [Носин, 1963](#); [Ногина, 1964](#); [Панкова, 1974](#)). В ранних работах и сам В.И. Волковинцер называл криоаридные почвы каштановыми и горными каштановыми и использовал для их обозначения ландшафтные термины (сухостепные почвы, почвы степных котловин, степные почвы экстраконтинентальных районов), что не соответствует принципам современной почвенной классификации. Таким образом, по ландшафтным условиям криоаридные почвы близки к каштановым, а самые аридные их варианты – к бурым аридным.

Каштановые и бурые аридные почвы отнесены в классификации почв России ([КПР](#)) к отделу светлогумусовых аккумулятив-

но-карбонатных. Криоаридные и палевые почвы включены в отдел палево-метаморфических с одноименным диагностическим горизонтом. Криоаридные почвы отличаются от палевых специфическим криогумусовым горизонтом. Во всех почвах ведущими профилеобразующими процессами являются гумусообразование и гумусонакопление, аккумуляция карбонатов и метаморфизм. Последний выражается в формировании в почвенном профиле срединных диагностических горизонтов – структурно-метаморфического (BM), ксерометаморфического (BMK) и палево-метаморфического (BPL), однако различия между ними нередко вызывают сомнения. Более достоверны отличия по преобладающим формам карбонатов: сегрегационные в каштановых и бурых аридных, натечные – бородки, кутаны – в криоаридных, пропиточные, реже псевдомицелий – в палевых.

С различиями между почвами по гумусовым горизонтам также имеются определенные сложности: согласно диагностике, бурые, каштановые и палевые почвы имеют светлогумусовые горизонты (AJ), что отличает их от криоаридных почв с их криогумусовым горизонтом (AK). Верхние горизонты палевых почв не соответствуют диагностическим критериям горизонта AJ ([Десяткин и др., 2011](#)). Кроме того, диагностика горизонта АК в современном изложении в классификации требует уточнения. Для того чтобы эти проблемы генетических различий, отражающиеся в морфологии профиля и определяющие разграничительную диагностику рассматриваемых почв, попытаться решить на первом, (макро) морфологическом уровне, авторы провели сравнительный анализ почвенных профилей в музейной коллекции.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

В мировой практике имеется небольшой опыт использования музейных коллекций почвенных монолитов для рассмотрения генетико-географического разнообразия почв, развития системы их диагностики и классификации. В Международном Почвенном музее в Вагенингене собраны монолиты, представляющие каждую реферативную группу в системе WRB; по некоторым из них написаны монографии, в которых региональные особенности почв реферативных групп описываются на основании музейной инфор-

мации. Примерами могут служить группы подзолов ([Mokma, Buurman, 1982](#)), ферралитных и вулканических почв. Работа с музейными монолитами имеет как ограничения, так и преимущества ([Апарин и др., 2007](#)). Первое ограничение заключается в высоте (размере) монолита. Большинство монолитов имеют параметры $20 \times 100 \times 5$ см, однако профили исследуемых почв в основном не были исходно глубже 1 м. Второе ограничение связано с воздушно-сухим состоянием монолитов, следовательно, с трудностью в полной мере понять структурную организацию профиля. Третье ограничение – неприкосновенность музейных монолитов, следовательно, неполнота информации. Тем не менее, есть и преимущества: возможность сравнительного анализа – одновременного рассмотрения профилей почв, ареалы которых находятся за сотни и тысячи километров друг от друга, одной и той же группой экспертов в равных условиях освещенности и влажности почв. Эти преимущества были решающим аргументом в пользу проведения данного исследования.

В фондах и экспозиционных залах музея были изучены все имевшиеся на момент исследования в коллекции монолиты каштановых, бурых полупустынных, криоаридных и палевых почв, в общей сложности 24 монолита (см. рисунок).



Рисунок. Места отбора почвенных монолитов. Номера точек на схеме соответствуют номерам монолитов в базе данных ЦМП. Светлогумусовые аккумулятивно-карбонатные почвы: № 1786 (Зольников В.Г., 1968); № 1103 (Пантюхин А.И., 1972); № 1675 (Барановская А.В., 1952); № 1618 (Пантюхин А.И., 1972); № 832, Барановская А.В., 1952); № 381 (Пантюхин А.И., 1972); № 839 (Зольников В.Г., 1968); № 1784 (Барановская А.В., 1952); № 1887 (Зольников В.Г., 1964); № 1453 (Говоренков Б.Ф., 1980). Палео-метаморфические почвы: № 670 (Быстрыков Г.М., 1984); № 1822 (Быстрыков Г.М., 1980); № 651, 649 (Быстрыков Г.М., 1982); № 228, 1197, 1187, 1188, 1190 (Зольников В.Г., 1969); № 243 (Алданский отряд Якутской экспедиции САМ, 1925–1930); № 244 (Огнев Г.Н., 1925)².

Figure. Soil monolithic sampling sites. The point numbers on the scheme correspond to the monolith numbers in the Central Soil Museum database. Light-humus carbonate-accumulative soils: No. 1786 (Zol'nikov V.G., 1968); No. 1103 (Pant'yukhin A.I., 1972); No. 1675 (Baranovskaya A.V., 1952); No. 1618 (Pant'yukhin A.I., 1972); No. 832, Baranovskaya A.V., 1952); No. 381 (Pant'yukhin A.I., 1972); No. 839 (Zol'nikov V.G., 1968); No. 1784 (Baranovskaya A.V., 1952); No. 1887 (Zol'nikov V.G., 1964); No. 1453 (Govorenkov B.F., 1980). Pale-metamorphic soils: No. 670 (Bystryakov G.M., 1984); No. 1822 (Bystryakov G.M., 1980); No. 651, 649 (Bystryakov G.M., 1982); No. 228, 1197, 1187, 1188, 1190 (Zol'nikov V.G., 1969); No. 243 (Aldan group of Yakut expedition SAM, 1925–1930); No. 244 (Ognev G.N., 1925).

Применялись традиционные методы морфологических исследований. Для экспозиционных монолитов, размещенных в залах музея под стеклом, были определены мощности и границы горизонтов, их окраска по шкале Манселла ([Munsell, 2009](#)). Для открытых монолитов из хранилищ музея описаны окраска, характер переходов, структура, гранулометрический состав, новообразования и включения, а также наличие и формы карбонатов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Отдел светлогумусовых аккумулятивно-карбонатных почв. Дифференциация профиля каштановых почв (9 монолитов) отчетлива по окраске и структуре: выделяются светлогумусовый, метаморфический и аккумулятивно-карбонатный горизонты. В

² монолиты №№ 1843, 2088 не указаны, отсутствует информация о привязке

бурых аридных почвах (2 монолита) дифференциация профиля выражена хуже по окраске и лучше по структуре; преобладает буроватый оттенок, переходы между горизонтами постепенные. Мощность гумусового горизонта составляет 11–19 см.

Цвет *светлогумусового горизонта* АJ каштановых и бурых аридных почв не везде соответствует диагностике ([Полевой.... 2008](#)). Ближе всего к требуемым критериям горизонты бурой аридной почвы – 10YR 7/2 (монолит № 1453) и одной каштановой – 10YR 5/2 (№ 1784). Остальные каштановые почвы темнее: светлота 4–5, а насыщенность варьирует от 2 до 6. Структура хорошо выражена, и она более разнообразна, чем указывается в диагностике. Существенным диагностическим критерием для горизонта АJ является карбонатность при отсутствии новообразований. В 5 из 11 монолитов отмечено слабое вскипание. Во всех монолитах наблюдалось “карбонатное осветление” граней агрегатов, вероятно, объясняющееся пропиткой, отчетливой в трех монолитах (№№ 1784, 1887, 1453); в монолитах каштановых почв отмечены единичные неясные сегрегации (№№ 1786, 832), в бурой аридной (№ 1543), кроме пропитки имеется белоглазка (табл. 1).

В соответствии с версией классификации 2004 г., бурые аридные почвы диагностировались по наличию *ксерогумусового* горизонта AKL. В версии 2008 г. горизонт “переведен” на уровень признака (“с корково-подкорковым микропрофилем” – [akl]). В классификации почв СССР ([1977](#)) для светло-каштановых почв упоминается “осветленный бесструктурно-слоеватый гумусовый горизонт”, такой же подгоризонт описан в верхней части гумусового горизонта целинных и старозалежных каштановых почв Казахстана ([1977](#), С. 103). По этому признаку в ранней версии КИР ([1997](#)) светло-каштановые почвы отделялись от типичных каштановых и рекомендовались к включению в тип бурых полупустынных. В музейных монолитах бурых аридных (№№ 1887, 1453) и каштановой почвы (№ 1784) корково-подкорковый микропрофиль идентифицирован в верхней части светлогумусового горизонта. Он имеет пористое сложение и нечетко разделяется на 2 части.

Таблица 1. Диагностические характеристики почв отдела светлогумусовых аккумулятивно-карбонатных

Table 1. Diagnostic characteristics of the light-humus accumulative-carbonate soils

Каштановые почвы	Бурые аридные почвы
Светлогумусовый горизонт AJ	
<u>Цвет:</u> 7.5–10YR (3)4–5/2–6 <u>Структура:</u> неоднородная, прочная, неясная ореховатая или призмовидная с элементами комковатости и блочности вертикальной и/или горизонтальной делимости <u>Карбонаты:</u> пропитка, единичные сегрегации	<u>Цвет:</u> 7.5YR 5/8; 10YR 7/2 <u>Структура:</u> блочно-призмовидная с выраженной вертикальной делимостью или непрочная комковато-ореховатая неясно призмовидная <u>Карбонаты:</u> пропитка, белоглазка (единично) <u>Другие признаки:</u> корково-подкорковый микропрофиль (akl)
Ксеро- или структурно-метаморфический горизонт ВМК/ВМ	
<u>Цвет:</u> 7.5–10YR 4-6/(1)3-5(6) <u>Структура:</u> прочная разной степени выраженности призмовидная с элементами ореховатости, комковатости или блочности, отмечена вертикальная делимость <u>Карбонаты:</u> пропитка, единичная белоглазка <u>Другие признаки:</u> солонцеватость, выраженная в виде кутан, в структуре	<u>Цвет:</u> 10YR 4/6; 6/3 <u>Структура:</u> прочная призмовидная или блочная, с элементами комковатости <u>Карбонаты:</u> пропитка, белоглазка <u>Другие признаки:</u> солонцеватость, выраженная в виде кутан, в структуре
Аккумулятивно-карбонатный горизонт ВСА	
<u>Цвет:</u> 10YR 6/3–6/4 <u>Структура:</u> блочно-призмовидно-ореховатая <u>Карбонаты:</u> пропитка, белоглазка, рыхлые плохо оформленные сегрегации <u>Другие признаки:</u> выделения солей	<u>Цвет:</u> 10YR 6/4; 7/3–6/3 <u>Структура:</u> неясная, блочная и ореховатая с элементами комковатости и призмовидности <u>Карбонаты:</u> пропитка, белоглазка, псевдомицелий <u>Другие признаки:</u> глянцевые грани агрегатов
Текстурно-карбонатный горизонт САТ	
<u>Цвет:</u> 10YR 6/3–6/5 <u>Структура:</u> призмовидно-блочная с ореховатостью, вертикальная делимость <u>Карбонаты:</u> пропитка, белоглазка <u>Другие признаки:</u> тонкие, фрагментарные глинисто-гумусовые кутаны	Отсутствует

Остановимся на различиях в срединных горизонтах – основании для разделения каштановых и бурых почв по КПП. В профиле первых *ксерометаморфический* горизонт ВМК сменяется *структурно-метаморфическим* горизонтом ВМ, у вторых формула профиля включает только *структурно-метаморфический* горизонт ВМ. Преобладающий тон окраски подгумусовой части профиля – 10YR (табл. 1), т. е. он оказывается менее бурым, чем требуется в диагностике для ВМК, за исключением одного монолита каштановой почвы (№ 381): 7.5YR 5/4. Наиболее часто встречающаяся светлота/насыщенность составляет, соответственно 5–6/3–4. Самыми темными оказались солонцеватые метаморфические горизонты каштановой почвы – 4/1 (№ 832). Другими словами, в изученных монолитах не был замечен красноватый “каштановый” оттенок, предусмотренный классификацией для горизонта ВМК, поэтому в профилях каштановых почв горизонты ВМК и ВМ четко разделить по цвету не удалось. Среди структурных отдельных всех метаморфических горизонтов присутствуют призмовидные агрегаты, ореховатые отмечаются только в каштановых, а комковатые – в бурых аридных почвах (табл. 1). Призмовидность более отчетлива в каштановых почвах, однако ясных различий в структуре горизонтов ВМК и ВМ не обнаружилось. Для почв этого типа можно отметить только некоторое (закономерное) укрупнение структурных отдельных и их худшую выраженность с глубиной. По вскипанию и формам карбонатных новообразований различий между горизонтами ВМК и ВМ также не было найдено.

В профиле каштановых и бурых аридных почв, помимо метаморфического горизонта, диагностическое значение имеют и аккумулятивно-карбонатные горизонты со своими специфическими особенностями. Тип каштановых почв диагностируется по *текстурно-карбонатному* горизонту САТ, тип бурых аридных почв – по *аккумулятивно-карбонатному* горизонту ВСА ([Полевой определитель..., 2008](#)). В монолитах бурых аридных и каштановых почв имеется общая черта – призмовидность структурных отдельных карбонатного горизонта, как бы продолжающаяся из вышележащего метаморфического (табл. 1). На этом фоне различаются ореховатые, комковатые и блочные элементы, как в каштановых, так и в бурых аридных почвах, но в последних они не-

сколько хуже оформлены. В каштановых почвах лучшая оструктуренность может быть связана с глинисто-гумусовыми кутанами на вертикальных гранях структурных отдельностей, свойственными горизонту САТ, и отчетливо выраженными в некоторых монолитах. Там же отмечена белоглазка и карбонатная пропитка. Менее оструктуренный карбонатный горизонт, но с обильными карбонатными новообразованиями (пропитка, рыхлые сегрегации, псевдомицелий), был диагностирован как ВСА в бурых аридных и в одной каштановой почве.

Таким образом, у каштановых и бурых аридных почв музейных монолитов довольно четко диагностируются светлогумусовый и карбонатный горизонты, со сходными формами карбонатных новообразований, но разной степенью структурности. Горизонт ВСА бурых почв относительно хорошо оструктурен, хотя и хуже, чем горизонт САТ. Диагностика метаморфических горизонтов оказалась неоднозначной по их отдельным свойствам, но по совокупности свойств можно заключить, что горизонты имеют больше общих черт, чем отличий.

Отдел палево–метаморфических почв. Диагностический для отдела горизонт BPL генетически близок к структурно-метаморфическому (в первой версии [классификации почв России, 1997](#)), у палевых почв выделялся именно горизонт ВМ), а географически он может рассматриваться как его провинциальный вариант. Предполагается, что процесс метаморфизма в жестких гидротермических условиях реализуется в двух диагностических признаках горизонта – бледной палевой окраске (10YR, светлота 7–8, насыщенность < 3) и плохо выраженной структуре ([Полевой определитель..., 2008](#)). Не совсем ясно, каким образом такая окраска согласуется с наличием железистых пленок, даже тусклых. В 13 изученных монолитах палевых и криоаридных почв (см. рисунок) окраска горизонта, диагностируемого как BPL, не всегда согласуется с приведенными критериями цвета (табл. 2). Спектр окраски более широкий: наиболее часто выделяемый тон – 10YR, по светлоте окраска темнее: 4–6 (единично 3), по насыщенности она чуть выше: 3–4 (единично 2).

Таблица 2. Диагностические характеристики почв отдела палео-метаморфических

Table 2. Diagnostic characteristics of the the paleo-metamorphic soils

Криоваридные почвы	Палео-метаморфические почвы
<i>Криогумусовый горизонт АК</i>	<i>Темногумусовый горизонт АУ</i>
<u>Цвет:</u> 10YR 3–4/1–2 <u>Структура:</u> комковатая, непрочная	<u>Цвет:</u> 7.5–10YR 2–3/1–2 <u>Структура:</u> комковатая, непрочная, с элементами слоистости, вертикальная делимость <u>Карбонаты:</u> пропитка <u>Другие признаки:</u> грубое орг. вещество, много углистых частиц
<u>Карбонаты:</u> слабое вскипание <u>Другие признаки:</u> сильнощебнистый, опесчанен, легкосуглинистый, с существенной долей мелкого корневого детрита	<i>Серогумусовый горизонт АУ</i> <u>Окраска:</u> 10YR 3–6/2–3 <u>Структура:</u> мелкокомковатая с ореховатостью, чешуйчатостью <u>Карбонаты:</u> пропитка <u>Другие признаки:</u> грубое орг. вещество, много углистых частиц
<i>Палео-метаморфический горизонт ВРЛ</i>	
<u>Окраска:</u> 10YR 4–5/3–4 <u>Структура:</u> плохо выражена, призмовидно-блочная или блочная. <u>Карбонаты:</u> слабое вскипание, неясные натечные формы на обломках пород <u>Другие признаки:</u> пылевато-глинистые кутаны, гумусовые кутаны, повышенная скелетность, каменистость	<u>Окраска:</u> 7.5–10YR (3)4–6/(2)3–4 <u>Структура:</u> непрочная, делится на блоки, призмы, мелкокомковатая, с ясной постшлировой текстурой. <u>Карбонаты:</u> вскипание слабое, пропитка <u>Другие признаки:</u> углистые частицы, криотурбации, скелетный материал отсутствует
<i>Аккумулятивно-карбонатный горизонт ВСА</i>	
<u>Окраска:</u> не определена <u>Структура:</u> не оструктурен <u>Карбонаты:</u> пропитка, “бородки” <u>Другие признаки:</u> не отмечены	<u>Окраска:</u> 10YR 5–6(7)/(2)3–4 <u>Структура:</u> разнопорядковая, призмовидная или блочная с элементами комковатости, плитчатости, чешуйчатости, вертикальная делимость <u>Карбонаты:</u> пропитка, единично белоглазка и псевдомицелий <u>Другие признаки:</u> остатки детрита

Различий между палевыми и криоаридными почвами не обнаружено, а в целом горизонт BPL по окраске близок горизонтам ВМК и ВМ в монолитах каштановых и бурых аридных почв.

Структура горизонта BPL в монолитах оформлена слабо, особенно в криоаридных почвах. Однако в палевых почвах в горизонте BPL отмечена тенденция к ореховатости и призмовидности, в двух монолитах описана мерзлотная постшпировая текстура (№ 1197, 243). Сходные блочные и призмовидные структурные отдельности были отмечены нами и для метаморфического горизонта (табл. 1) бурых аридных и каштановых почв. Карбонатность не относится к диагностическим признакам горизонта BPL ([Классификация..., 2004](#); [Полевой определитель..., 2008](#)). Однако, учитывая специфику климата и наличие в профиле горизонта ВСА, карбонаты могут присутствовать и в BPL, особенно в маломощных почвах. В монолитах отмечено слабое вскипание мелкозема в BPL, как в палевых почвах, так и в криоаридных. Новообразования карбонатов слабо выражены, хотя у палевых почв отмечена пропитка мелкозема, у криоаридных – натечные формы (“бородки”) на обломках плотных пород. Среди других признаков в криоаридных почвах (монолиты №№ 651, 649) отмечены пылеватогумусовые и гумусовые кутаны на щебне, а в горизонте BPL палевых почв (монолиты № 1188, 1187) – углистые частицы, как результат частых пожаров.

Второй срединный диагностический горизонт почв отдела – *аккумулятивно-карбонатный* ВСА. Во всех монолитах отмечено бурное вскипание и карбонаты в форме пропитки (палевые почвы), и/или “бородок”, в единичных случаях встречены белоглазка (№ 1190) и псевдомицелий (№ 1197). Структура блочная или призмовидная, иногда с элементом комковатости, в палевых суглинистых почвах в нижней части горизонта ВСА отчетлива криогенная постшпировая структура: плитчатость, творожистость (№ 1187).

Наиболее ясные различия между почвами отдела связаны с их верхними горизонтами. В палевых почвах выделяются: *светлогумусовый* горизонт АJ (тип палевые), *темногумусовый* – АU (тип палевые темногумусовые), в типе криоаридных – специфический *криогумусовый* горизонт АК ([Классификация..., 2004](#); [Полевой](#)

[определитель... 2008](#)). Темногумусовые горизонты палевых почв по цветовым характеристикам соответствуют диагностике: они имеют темную окраску, низкую насыщенность цвета и комковатую структуру. Судя по авторским названиям, монолиты музейной коллекции, имеющие темногумусовый горизонт, представляют палевые почвы с признаками повышенного увлажнения – “луговости” и присутствия льдистой мерзлоты (№№ 228, 244, 243). В некоторых случаях отмечаются перегнойный характер горизонта (№ 1197), обилие корней в верхней части гумусового горизонта (№ 1197, 243). Светлогумусовых горизонтов в монолитах палевых почв не было выявлено. Более светлые гумусовые горизонты палевых почв (монолиты №№ 1187, 1188, 1190) оказались по окраске близкими к серогумусовым АУ. Основной цвет варьирует в пределах: 10YR светлота 3–6, насыщенность 2–3, структура мелкокомковатая, без угловатости структурных отдельностей (табл. 2). Иногда обнаруживаются такие не характерные для светлогумусовых горизонтов элементы в структуре, как чешуйчатость, листоватость, связанные с криогенными процессами, возможно, осолодением. Все гумусовые горизонты содержат карбонаты, примесь и/или подгоризонты грубого гумуса (№ 1190) и углистые частицы.

Среди гумусовых горизонтов особыми свойствами выделяется криогумусовый горизонт АК криоаридных почв. Он содержит много детрита – слабо разложенных корневых растительных остатков размером от мелкого песка до крупной пыли, равномерно рассеянных в почвенной массе, отмечена “дернинность”, т.е. высокая насыщенность верхней части горизонтов АК корешками. Структура комковатая, хотя и непрочная, каменистые включения; вскипание было выявлено в горизонте только в одном монолите (№ 35.12). Вероятно, обилие детрита определяет многие морфологические свойства криогумусового горизонта: малую плотность (“легкость”, рыхлость), гидрофобность, непрочность агрегатов. В монолитах для горизонтов АК описаны цвета 10YR 3–4/1–2, существенно отличные от указанных в диагностических характеристиках горизонта (5YR или 7.5YR при светлоте 5–6, насыщенности 2–4). Диапазон цветовых индексов шкалы Манселла горизонта АК пересекается с диапазонами, описанными для других гумусовых горизонтов. Тем не менее, как правило, криогумусовый гори-

зонт оказывается темнее светлогумусового, светлее темnogумусового и бурее серогумусового горизонтов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное изучение музейных монолитов почв отделов светлогумусовых аккумулятивно-карбонатных и палео-метаморфических в целом подтвердило их диагностику, содержащуюся в классификации почв России. Безусловно, количество монолитов недостаточно для принятия каких-либо классификационных решений, несмотря на то, что они являются музейными эталонами и уникальными объектами, полученными, в том числе, в труднодоступных районах. Тем не менее, объективность проведенного анализа благодаря преимуществам “музейного метода” позволяет сформулировать ряд положений и предложений в отношении диагностических свойств почв, сходства и различий их диагностических горизонтов.

В профилях *каштановых* и *бурых аридных почв* гумусовые горизонты соответствуют критериям светлогумусового АJ, но отличаются более темной окраской; в *бурых аридных почвах*, а также в некоторых *каштановых* отмечен корково-подкорковый микропрофиль (признак *akl*), что также соответствует последней версии классификации. Менее однозначна интерпретация свойств метаморфических горизонтов ВМК и ВМ в *каштановых почвах*, которые не удается разделить по диагностическим критериям окраски и структуры. Метаморфический горизонт *бурых аридных почв* ВМ также достоверно не отличается от срединных горизонтов *каштановых почв*, хотя его структурные отдельности крупнее и грубее. Тем не менее, по структуре и сложению метаморфические горизонты оказываются ближе к горизонту ВМК, чем к ВМ, они содержат карбонаты в виде пропитки, реже – сегрегаций. Большинство из этих горизонтов не удовлетворяет цветовому критерию горизонта ВМК: они менее красные по тону (10YR), чем требуется диагностикой. В итоге, создается впечатление целесообразности уточнения критериев метаморфических горизонтов в классификации. Горизонт ВМ “педогенного преобразования почвообразующей породы” ([Полевой определитель..., 2008](#), С. 47) имеет слишком общее содержание, как и горизонт *cambic* между-

народной классификации; он входит в формулы профилей разных почв – от каштановых до желтоземов. Возможно, целесообразно сохранить горизонт ВМК в качестве диагностического для почв засушливых областей, в первую очередь каштановых, уточнив его определение.

Горизонты аккумуляции карбонатов: САТ в каштановых и ВСА в бурых аридных почвах достоверно различаются только степенью оструктуренности. Горизонт САТ имеет в большинстве случаев мелкую, многопорядковую, прочную структуру. Глинистые и глинисто-гумусовые кутаны, считающиеся его диагностическим признаком, обнаружены не во всех монолитах каштановых почв, но их присутствие коррелирует с хорошо выраженной структурой. В горизонтах ВСА бурых аридных почв глинистых кутан нет. В обеих почвах основной формой карбонатных новообразований являются в разной степени оформленные сегрегации – белоглазка, а также пропиточные формы карбонатов. Таким образом, обоснование индивидуальности текстурно-карбонатного горизонта САТ как диагностического, тоже не вполне подтверждается при рассмотрении музейных монолитов. Однако основной элемент, разграничивающий горизонты САТ и ВСА, – глинистые кутаны – трудно определим в сухих музейных образцах. При их слабой выраженности макроморфологическая диагностика может быть субъективной и требует уточняющего исследования (микроморфологического). Возможно, целесообразно понизить диагностический уровень горизонта САТ до уровня признака – индикатора кутан в аккумулятивно-карбонатном горизонте с формой выражения ВСАт.

Гумусовые горизонты *палевых* и *криоаридных почв* существенно различаются, причем для палевых почв диагностика в музейных монолитах не соответствует классификации, для криоаридных музейные монолиты послужили импульсом к дальнейшим детальным исследованиям. Представление о серогумусовых горизонтах как характерных для палевых почв, поддерживается Р.В. Десяткиным с соавторами ([Десяткин и др., 2011](#)). Диагностическим горизонтом криоаридных почв является криогумусовый горизонт АК. Согласно классификации, основное его отличие от других аккумулятивно-гумусовых горизонтов – каштановые крас-

новато-бурые, а не серые тона окраски. Действительно, красноватый оттенок в целом характерен для этих горизонтов. Своеобразие и диагностически значимая черта криогумусовых горизонтов – обилие в их составе мелкого, слаборазложившегося корневого детрита, рассеянного по всему горизонту и определяющего многие физические и химические свойства горизонта. В облике горизонта АК отражаются криогенные механизмы наряду с процессами гумусообразования и гумусонакопления степного типа. В международной классификации почв ([WRB–2014](#)) нам не удалось обнаружить каких-либо аналогов криогумусового горизонта.

Общий диагностический горизонт BPL палевых и криоаридных почв более темный и бурый, чем указано в классификации, и достоверно не отделяется по шкале Манселла от метаморфических горизонтов каштановых и бурых аридных почв. Его основное отличие состоит в существенно менее развитой, плохо оформленной структуре. Однако совсем неоструктурным, как значится в его диагностике, он тоже не является: в нем отмечены блочные, призмовидные мотивы, криогенные постшлировые текстуры. Известно, что на микроуровне горизонт BPL палевых почв имеет специфическую ооидную криогенную микроструктуру ([Морозова, 1966](#)). В криоаридных почвах выраженность макроструктуры и постшлировых текстур гораздо слабее, на микроуровне также обнаруживается более слабая криогенная оструктуренность криоаридных почв, по сравнению с палевыми. Тем не менее ооидная структура с характерной ориентацией глины у поверхности агрегатов в суглинистых BPL горизонтах криоаридных почв имеет место ([Конопляникова и др., 2018](#)). Возможно, для криоаридных почв имеет смысл перевести диагностический горизонт BPL на уровень признака. Карбонатно-аккумулятивные горизонты криоаридных почв отличаются от таковых в других рассмотренных почвенных типах тем, что наиболее характерной, специфической формой педогенных карбонатов являются натечные образования (кутаны, “бородки”), хотя встречается и карбонатная пропитка. Сегрегационные формы карбонатов для криоаридных почв не характерны.

Таким образом, одним из очевидных и достоверных результатов проведенного исследования можно считать подтверждение

высокой индивидуальности криоаридных почв, выделенных В.И. Волковинцером на уровне особого типа. В формате классификации почв России они могут быть предварительно разделены на *криоаридные натечно-карбонатные почвы* отдела палео-метаморфических почв, в случае отчетливо выраженного палео-метаморфического горизонта (профиль АК-BPL-BCAic), либо *криогумусовые палео-метаморфизованные натечно-карбонатные почвы* отдела органо-аккумулятивных почв, если горизонт BPL заменяется признаком (профиль АК-Cbpl,ic).

БЛАГОДАРНОСТЬ

Статья подготовлена по материалам исследований по гранту РФФИ (проект № 17-04-01526). Синтез материалов для таблиц 2, 3 проводился в рамках темы Государственного задания № 0148-2019-0006.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Апарин Б.Ф., Герасимова М.И., Лебедева И.И., Сухачева Е.Ю., Тонконогов В.Д. Верификация “Классификации и диагностики почв России” (2004) по коллекции почвенных монолитов Центрального музея почвоведения им. В.В. Докучаева // Почвоведение. 2007. № 5. С. 525–531.
2. Волковинцер В.И. Степные криоаридные почвы. Новосибирск: Наука (Сибирское отделение), 1978. 208 с.
3. Десяткин Р.В., Лесовая С.Н., Оконешникова М.В., Зайцева Т.С. Палевые почвы Центральной Якутии: генетические особенности, свойства, классификация // Почвоведение. 2011. № 12. С. 1425–1435. DOI: [10.1134/S1064229311120027](https://doi.org/10.1134/S1064229311120027).
4. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 241 с.
5. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 223 с.
6. Классификация почв России. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 1997. 236 с.
7. Конопляникова Ю.В., Бронникова М.А., Лебедева М.П. Криоаридные почвы Юго-Восточного Алтая: особенности морфогенеза в ландшафтно-высотном ряду // Материалы международной научной конференции XXI Докучаевские молодежные чтения “Почвоведение – мост между науками”. Санкт-Петербург: СПбГУ, 2018. С. 47–48.

8. *Морозова Т.Д.* Мерзлотные палевые почвы центральной Якутии // Микроморфологический метод в исследовании генезиса почв. М.: Наука, 1966. С. 93–114.
9. *Ногина Н.А.* Почвы Забайкалья. М.: Наука, 1964. 314 с.
10. *Носин В.А.* Почвы Тувы. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 342 с.
11. *Панкова Е.И.* Каштановые почвы Центрально-Азиатской почвенно-географической провинции (на примере почв Монгольской Народной Республики) // Почвоведение. 1974. № 12. С. 42–53.
12. Полевой определитель почв России. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
13. Почвы Горно-Алтайской автономной области. Новосибирск: Наука (Сибирское отделение), 1973. 350 с.
14. Почвы Минусинской впадины. М.: Изд-во АН СССР, 1954. 304 с.
15. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome. 2014. 181 p.
16. *Mokma D.L., Buurman P.* Podzols and podzolization in temperate regions. ISM monograph 1, Int. Soil Museum, Wageningen, 1982. 126 p.
17. Munsell Soil Color Charts, 2009.

REFERENCES

1. Aparin B.F., Gerasimova M.I., Lebedeva I.I., Sukhacheva E.Yu., Tonkonogov V.D., Verifikatsiya “Klassifikatsii i diagnostiki pochv Rossii” (2004) po kollektzii pochvennykh monolitov Tsentral'nogo muzeya pochvovedeniya im. V.V. Dokuchaeva (Verification of “Classification and Diagnostics of Soils of Russia” (2004) for the collection of soil monoliths of the Central Museum of Soil Science named after V.V. Dokuchaev), *Eurasian Soil Science*, 2007, No. 5, pp. 525–531, DOI: [10.1134/S106422930705002X](https://doi.org/10.1134/S106422930705002X).
2. Volkovintser V.I., *Stepnye krioaridnye pochvy* (Steppe krioaridic soils), Novosibirsk: Nauka (Sibirskoe otdelenie), 1978. 208 p.
3. Desyatkin R.V., Lesovaya S.N., Okoneshnikova M.V., Zaitseva T.S., Palevye pochvy Tsentral'noi Yakutii: geneticheskie osobennosti, svoistva, klassifikatsiya (Palevye (pale) soils of Central Yakutia: Genetic specificity, properties, and classification), *Eurasian Soils Science*, 2011, No. 12, pp. 1304–1314, DOI: [10.1134/S1064229311120027](https://doi.org/10.1134/S1064229311120027).
4. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii* (Classification and Diagnostics of Soils of Russia), Smolensk: Oikumena, 2004, 241 p.
5. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv SSSR* (Classification and Diagnostics of Soils of the Soviet Union), Moscow: Kolos, 1977, 223 p.

6. *Klassifikatsiya pochv Rossii* (Classification of Soils of Russia), Moscow: Pochv. in-t im. V.V. Dokuchaeva, 1997, 236 p.
7. Konoplyanikova Yu.V., Bronnikova M.A., Lebedeva M.P., Krioaridnye pochvy Yugo-Vostochnogo Altaya: osobennosti morfogeneza v landshaftno-vysotnom ryadu (Cryoaridic soils of South-East Altai: morphogenesis features in landscape-altitudinal sequences), *Proc. Intern. Conf. "XXI Dokuchaev's conference for young scientists" "Soil Science as Bridge between Sciences"*, St. Petersburg: SPbGU, 2018, pp. 47–48.
8. Morozova T.D., Merzlotnye palevye pochvy tsentral'noi Yakutii (Cryogenic pale soils of Central Yakutia), In: *Mikromorfologicheskie metody v issledovanii genezisa pochv* (Micromorphological methods in soils genesis researches), Moscow: Nauka, 1966, pp. 99–114.
9. Nogina N.A., *Pochvy Zabaikal'ya* (Soils of Transbaikalia), Moscow: Nauka, 1964, 314 p.
10. Nosin V.A., *Pochvy Tuvy* (Soils of Tuva), Moscow: Izd-vo AN SSSR, 1963, 342 p.
11. Pankova E.I., Kashtanovye pochvy Tsentral'no-Asiatskoi pochvennoi provintsii (Chestnut soils of Central-Asian soils province (by the example of the Mongolian Republic), *Pochvovedenie*, 1974, No. 12, pp. 42–53.
12. *Polevoi opredelitel' pochv Rossii* (Field guide for Russian soils), Moscow: V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, 2008, 182 p.
13. *Pochvy Gorno-Altayskoi avtonomnoi oblasti* (Soils of Mountain Altai autonomous region), Novosibirsk: Nauka (Sibirskoe otделение), 1973, 350 p.
14. *Pochvy Minusinskoi kotloviny* (Soils of Minusinsk depression), Moscow: Izd-vo AN SSSR, 1954, 304 p.
15. IUSS Working Group WRB, *World Reference Base for Soil Resources 2014*, International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps, World Soil Resources Reports No. 106, FAO, Rome, 2014, 181 pp.
16. Mokma D.L., Buurman P., *Podzols and podzolization in temperate regions*, ISM monograph 1, Int. Soil Museum, Wageningen, 1982, 126 p.
17. *Munsell Soil Color Charts*, 2009.

УДК 631.415:631.482.1

DOI: 10.19047/0136-1694-2019-98-57-76

Ссылки для цитирования:

Мартынов А. В. Варьирование показателей кислотности в почвах поймы реки Амур // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2019. Вып. 98. С. 57-76. DOI: 10.19047/0136-1694-2019-98-57-76

Cite this article as:

Martynov A.V., Variation of acid values in floodplain soils of the Amur River, Dokuchaev Soil Bulletin, 2019, V. 98, pp. 57-76, DOI: 10.19047/0136-1694-2019-98-57-76

ВАРЬИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КИСЛОТНОСТИ В ПОЧВАХ ПОЙМЫ РЕКИ АМУР

© 2019 г. А. В. Мартынов

*Институт геологии и природопользования ДВО РАН, Россия,
37500, г. Благовещенск, пер. Речной, 1,
<https://orcid.org/0000-0002-8839-036X>, e-mail: lexx_1981@list.ru.*

*Поступила в редакцию 17.04.2019, после доработки 15.05.2019,
принята к публикации 05.09.2019*

Понимание изменчивости кислотных свойств в почвенном покрове пойм необходимо для обеспечения рационального управления пойменными территориями, так как уровень pH является фундаментальным показателем, определяющим концентрацию растворимых и доступных для растений элементов. Выполнено определение актуальной, потенциальной и обменной кислотности в 87 почвенных разрезах, заложенных в пределах верхнего и среднего течения р. Амур. Для характеристики кислотности использовались методы описательной статистики, корреляция и линейная регрессия. Установлено, что кислотность снижается в пойме верхнего и среднего Амура в направлении: аллювиальные болотные (торфяно-глеевые и перегнойно-глеевые) почвы, остаточные аллювиальные (ржавоземы и бруннеземы) почвы, аллювиальные серогумусовые глееватые почвы, аллювиальные серогумусовые. Почвы поймы верхнего Амура, в сравнении с почвами среднего Амура, более кислые, в среднем значение pH_{KCl} в почвах одного генезиса меньше на 0.2–0.4. Выявлено, что коэффициент регрессии позволяет судить о кислотно-основных функциональных группах почвенных компонентов, формирующих реакцию среды в почвах.

Коэффициент больше единицы указывает на органическую природу кислотности, ниже единицы – на преобладание минеральных кислот.

Ключевые слова: актуальная, потенциальная, обменная кислотность, линейная регрессия, река Амур, аллювиальные почвы.

VARIATION OF ACID VALUES IN FLOODPLAIN SOILS OF THE AMUR RIVER

A. V. Martynov

*Institute of Geology and Nature Management
of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences,
Russia, 37500, Blagoveshchensk, Relochny lane, 1,
<https://orcid.org/0000-0002-8839-036X>, e-mail: lexx_1981@list.ru.*

Received 17.04.2019, Revised 15.05.2019, Accepted 05.09.2019

Understanding the variability of acidic properties in the soil cover of floodplains is of greatest importance as far as it helps to ensure the rational management of floodplain areas, since the pH level is a fundamental indicator that determines the concentration of soluble and available elements for plants. This article provides the results of actual, potential and exchangeable acidity measurements performed in 87 soil profiles located within the upper and middle reaches of the Amur River. Descriptive statistics, correlation and linear regression were used to characterize acidity. It has been established that acidity decreases in the floodplain of the upper and middle reaches of the Amur River in the following direction: alluvial marsh (peat-gley and humus-gley) soils, residually-alluvial (rzhavozems and brunezems) soils, alluvial gray gley soil, alluvial gray humus. The soils of the upper Amur floodplain are more acidic in comparison with the soils of the middle Amur, the average pH_{KCl} values in soils with the same genesis of the former are less by 0.2–0.4 than the ones of the latter. It was revealed that the regression coefficient is indicative of the acid-base functional groups of the soil components which are in charge of soil pH. The coefficient greater than 1 points to the organic nature of acidity; below 1 – to the prevalence of mineral acids.

Keywords: actual, potential, exchangeable acidity, linear regression, the Amur River, alluvial soils.

ВВЕДЕНИЕ

Поймы и сформированные на них аллювиальные почвы – уникальный природный объект. Представляя собой равнинные

территории, прилегающие к рекам и подверженные периодическому затоплению, поймы являются одним из наиболее важных географических континуумов на Земле ([Bayley, 1995](#)). Также пойма – одна из самых динамичных, сложных и разнообразных экосистем во всем мире ([Wälder et al., 2008](#)). Чередование циклов затопления и осушения обуславливает накопление в почвенном покрове поймы богатых питательными веществами осадков, что гарантирует высокое биоразнообразие пойм и приводит к пространственной и временной неоднородности структуры и функциональности поймы ([Amoros, Bornette, 2002](#)). Уже давно проводятся исследования экосистемных функций пойм для контроля обмена питательными и органическими веществами между водными и наземными экосистемами ([Pinay et al., 1988](#); [Cristofor et al., 1993](#)). Научной основой для этих исследований служит изучение изменчивости почвенных переменных ([Ahmed et al., 2017](#)). Особенно это актуально в отношении такой почвенной переменной как pH, без изучения которой добиться устойчивого управления в области пойменного почвообразования невозможно.

Уровень pH считается фундаментальным показателем, определяющим концентрацию растворимых и доступных для растений элементов ([Caritat, 2011](#)). Однако важность уровня pH определяется не только сама по себе, но и тем фактом, что pH влияет на множество других функций почв: адсорбционную способность силикатных глин, органических веществ и оксидов железа и алюминия; на реакции осаждения и растворения; на окислительно-восстановительный потенциал; на подвижность и распределение коллоидных веществ и образование металлоорганических комплексов. Например, при низких значениях pH оксиды алюминия блокируют соединения фосфора, снижая его доступность для растений, а биодоступность алюминия, железа и марганца может достигать токсического уровня ([Blume et al., 2016](#); [Onwuka, 2016](#)). Поэтому кислотность и характеризующие ее химические и агрохимические показатели широко исследуются и обсуждаются в российской и зарубежной литературе ([Koptsik, 2003](#); [Kokotov, 2004](#); [Чевердин, 2009](#); [Shamrikova et al., 2011](#); [Shamrikova et al., 2013](#); [Caritat, 2011](#); [Onwuka, 2016](#); [Blume et al., 2016](#)).

В отношении кислотного состояния почвенный покров поймы р. Амур, одной из крупнейших рек мира, изучен очень слабо. Частично это связано с ее трансграничным положением, разделением по фарватеру между Россией и Китаем. Также в Амурской области, в пределах которой расположено верхнее и среднее течения р. Амур, основной акцент почвенных исследований смещен в сторону черноземовидных почв и буроземов. Систематические исследования пойменных почв в Амурской области, несмотря на их значительную вовлеченность в хозяйственную сферу, почти не проводились. Сложившаяся ситуация диктует необходимость в детальном изучении pH как почвенного фактора, от которого зависит биоразнообразие и плодородие пойменных почв. Поэтому цель данной работы – охарактеризовать актуальную, потенциальную и обменную кислотность в различных типах пойменных почв верхнего и среднего течения р. Амур.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования послужили аллювиальные и остаточно-аллювиальные почвы, сформированные на территории пяти ключевых участков, расположенных в верхнем и среднем течении р. Амур (рис. 1). Поймы в верхнем течении небольшие по размеру (до 2 км шириной) и относятся к адаптивному типу. Поймы в среднем течении относятся к широкопойменному типу и достигают 15 км в ширину. Всего было заложено 87 почвенных разрезов: 59 в среднем течении и 28 в верхнем течении. Несмотря на то, что в почвенных профилях часто присутствовали переходные горизонты, в данной работе они не учитывались. Были использованы только образцы по генетическим горизонтам, присутствующим во всех пойменных почвах. Образцы взяты в период с 2011 по 2015 гг. в различные месяцы полевое сезона. Названия почв давались в соответствии с классификацией и диагностикой почв России ([Классификация..., 2004](#)). Кислотные свойства почв определялись стандартными методами: актуальная и потенциальная кислотности – потенциометрически по ГОСТ 26483-90; обменная кислотность и подвижный алюминий – методом А.В. Соколова ([Новицкий и др., 2009](#)).

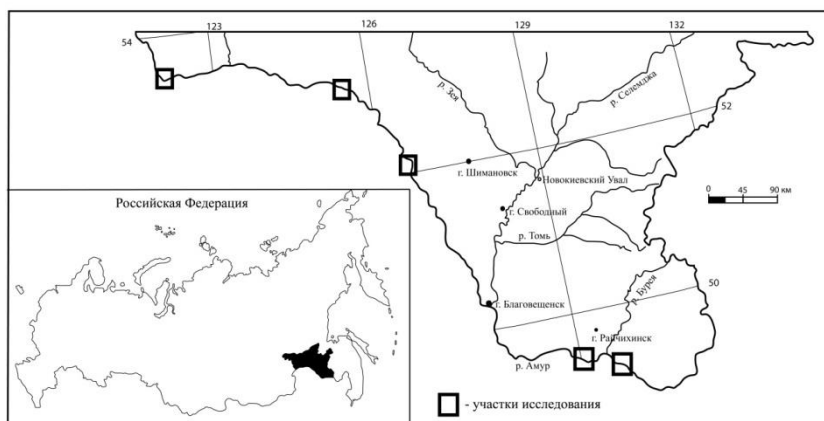


Рис. 1. Карта-схема южной части Амурской области с указанием участков исследования.

Fig. 1. Map of the southern part of the Amur Region indicating the study sites.

Определение свойств почв проводилось в аналитическом центре минералого-геохимических исследований ИГиП ДВО РАН. Классификация почв по кислотности определялась в соответствии со шкалой где: $pH < 4.0$ – очень сильнокислая; $pH 4.1–4.5$ – сильнокислая; $pH 4.6–5.0$ – среднекислая; $pH 5.1–5.5$ – слабокислая; $pH 5.6–6.0$ – близкая к нейтральной; $pH 6.1–7.1$ – нейтральная; $pH 7.2–7.5$ – слабощелочная ([Почвоведение, 1989](#)). Описательная статистика (среднее значение, минимум и максимум выборки, коэффициент вариации, стандартное отклонение и стандартная ошибка), расчет уравнений регрессии и коэффициентов корреляции проводился в программе Excel v. 2010.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Показатели кислотного состояния почв характеризуются значительной пространственной и временной изменчивостью. Соотношение размаха пространственного и временного варьирования изменяется в зависимости от особенностей почв и условий почвообразования (климатических условий, уровня грунтовых вод) ([Shamrikova et al., 2011](#)). Но, несмотря на высокую динамику показателей кислотности, зависящих к тому же от многочислен-

ных почвенных факторов, их изучение позволяет провести первичную оценку кислотного состояния почв.

Аллювиальные торфяно-глеевые и аллювиальные перегнойно-глеевые почвы

Формируются в пойменных депрессиях, чаще всего в пределах притеррасного понижения, вдоль стариц и высохших протоков. В структуре почвенного покрова пойм крупных рек Амурской области они могут занимать до 40 % ([Мартынов, 2013](#)). Разница в типе органического горизонта этих почв определяется климатическими условиями, в которых они формируются. В пределах верхнего течения р. Амур суммы положительных температур не достаточно для разложения органического вещества, что наряду с высоким уровнем грунтовых вод способствует консервации органических остатков и формированию торфяного горизонта. В среднем течении р. Амур более высокие температуры приводят к разложению органического вещества до перегноя. Кроме того, разница в скорости разложения органического вещества в болотных почвах может быть обусловлена составом и свойствами грунтовых вод: минерализацией воды, насыщенностью кислородом, величинами pH и Eh ([Рассказов, 2005](#)). Постоянная переувлажненность почв способствует развитию закисных условий и проявлению признаков глеевого процесса. Развитие глеевого процесса, в свою очередь, способствует увеличению содержания подвижного алюминия, закисного железа и снижению содержания кальция ([Зайдельман, 2009](#)), что вызывает значительное подкисление почв. Это подтверждают данные, приведенные в таблице 1, показывающие, что аллювиальные торфяно-глеевые почвы в среднем характеризуются как очень сильноокислые – сильноокислые. Кислотные свойства сильнее проявляются в глеевых горизонтах. Утверждать, что они вызваны увеличением катионов алюминия и водорода затруднительно. Максимальные концентрации Al^{3+} и H^+ отмечаются в менее кислом торфяном горизонте. Вероятно, повышенная кислотность глеевых горизонтов в данном случае вызвана содержанием различных форм железа, которые являются более сильной кислотой, чем алюминий ([Shamrikova et al., 2011](#)). Также можно отметить, что участие обменного водорода в формировании кислотно-

сти этих почв незначительно. Содержание Al^{3+} превышает H^+ минимум в 30 раз. Коэффициенты вариации содержания Al^{3+} и H^+ достигают 95 и 117 соответственно, что отражает высокую пестроту почвенных свойств, характерную для почвенного покрова пойменных массивов ([Wälder et al., 2008](#)). Коэффициент варьирования содержания алюминия увеличивается вниз по профилю, а водорода – вверх по профилю. Это обусловлено приуроченностью ионов водорода к органическому веществу, а ионов алюминия – к глинистым минералам ([Shamrikova et al., 2013](#)). Торфяные горизонты характеризуются более однородными условиями в сравнении с минеральными горизонтами, на что указывают более низкий коэффициент варьирования (V) и стандартная ошибка (SD) актуальной и потенциальной кислотностей. Следует отметить, что значения pH вследствие их логарифмирования характеризуются минимальным варьированием, V для торфяно-глеевых почв не превышают 10 %.

Аллювиальные перегнойно-глеевые почвы среднего течения р. Амур характеризуются сильнокислой реакцией среды, т. е. они менее кислые, чем почвы, формирующиеся в аналогичных условиях в верхнем течении р. Амур (табл. 2). Вероятно, понижение кислотности связано с более теплым климатом и, как следствие, особенностями биологического круговорота Ca^{2+} , Mg^{2+} и K^+ , участвующих в нейтрализации кислотных компонентов в почвах разных зон и подзон. Суммарное количество основных элементов, ежегодно поступающих с растительными остатками на единицу площади, увеличивается в направлении с севера на юг ([Shamrikova et al., 2011](#)). В отдельных случаях в минеральных горизонтах pH достигает значений выше 7.0, т. е. идет подщелачивание горизонтов. В условиях застойного водного режима, характерного для перегнойно-глеевых почв, подщелачивание горизонтов может происходить вследствие вытеснения в раствор щелочноземельных металлов из кристаллической решетки алюмосиликатов ([Зайдельман, 2009](#)). В случае минерализации грунтовых вод в минеральных горизонтах может происходить обменное поглощение ионов натрия, вызывающее их подщелачивание ([Чевердин, 2009](#)).

Таблица 1. Варьирование показателей кислотности почв поймы р. Амур
Table 1. Variation of acidity values in floodplain soils of the Amur River

Показатель	Горизонт	n	μ	x _{min}	x _{max}	SD	V	n	μ	x _{min}	x _{max}	SD	V
		Верхний Амур						Средний Амур					
		Аллювиальные торфяно-глеевые почвы						Аллювиальные перегнойно-глеевые почвы					
pH _{вод}	T	6	5.3	5.1	5.5	0.20	3.7	18	5.5	4.6	6.3	0.46	8.3
	G	6	5.2	4.8	5.9	0.49	9.3	12	5.9	4.7	6.7	0.67	11.2
	CG	6	5.5	5.2	6.2	0.39	7.1	12	5.9	4.6	7.4	0.86	14.5
pH _{KCl}	T	6	4.2	4.1	5.4	0.16	3.8	18	4.5	3.7	5.2	0.41	9.2
	G	6	3.9	3.7	4.4	0.32	8.1	12	4.4	3.6	5.2	0.53	12.3
	CG	6	4.1	3.7	4.4	0.33	8.2	12	4.5	3.1	6.7	0.96	21.5
H ⁺ _{обм}	T	6	0.4	0.1	1.2	0.42	95.3	18	0.6	0.1	5.5	1.26	197.8
	G	6	0.2	0.05	0.6	0.21	94.2	12	0.6	0.03	5.6	1.59	268.9
	CG	6	0.1	0.05	0.2	0.07	50.1	12	0.6	0.0	5.6	1.61	282.7
Al ³⁺ _{обм}	T	6	10.8	2.6	30.4	10.08	93.1	18	4.2	0.0	30.4	7.17	171.5
	G	6	5.8	1.3	16.9	5.85	100.7	12	1.3	0.0	4.8	1.89	140.2
	CG	6	6.0	0.3	18.0	7.10	117.6	12	1.1	0.0	4.2	1.28	118.5
		Аллювиальные серогумусовые глееватые почвы						Аллювиальные серогумусовые глееватые почвы					
pH _{вод}	AY	5	5.4	5.1	5.5	0.17	3.3	8	5.9	4.8	7.4	0.82	13.8
	Cg	5	5.4	5.1	5.6	0.25	4.4	8	6.1	5.5	6.9	0.48	8.0
pH _{KCl}	AY	5	4.2	3.7	4.6	0.34	8.3	8	4.8	3.9	6.2	0.73	15.3
	Cg	5	3.9	3.6	4.4	0.32	8.4	8	4.5	3.7	5.2	0.51	11.3
H ⁺ _{обм}	AY	5	0.3	0.2	0.6	0.17	54.7	8	0.1	0.04	0.3	0.11	65.5
	Cg	5	0.1	0.1	0.8	0.02	21.8	8	0.06	0.02	0.1	0.04	66.6
Al ³⁺ _{обм}	AY	5	10.3	0.1	22.6	10.18	98.5	8	0.7	0.0	2.7	0.93	137.1
	Cg	5	5.6	0.7	21.8	9.11	161.6	8	0.6	0.0	2.1	0.89	148.3

Показатель	Горизонт	n	μ	x _{min}	x _{max}	SD	V	n	μ	x _{min}	x _{max}	SD	V
		Верхний Амур						Средний Амур					
		Аллювиальные серогумусовые почвы						Аллювиальные серогумусовые почвы					
pH _{вод}	AY	19	5.8	4.9	6.5	0.43	7.4	35	6.1	4.7	7.4	0.68	10.9
	C	19	5.7	4.9	6.5	0.46	8.1	41	5.9	4.7	8.1	0.75	12.8
pH _{KCl}	AY	19	4.8	3.8	5.9	0.60	12.4	35	5.2	3.3	7.0	0.81	15.6
	C	19	4.3	3.5	5.3	0.52	12.0	41	4.3	3.2	6.6	0.72	16.5
H ⁺ _{обм}	AY	19	0.22	0.03	1.4	0.30	136.3	35	0.2	0.0	0.7	0.17	80.8
	C	19	0.09	0.01	0.2	0.07	72.7	41	0.1	0.0	1.1	0.2	149.9
Al ³⁺ _{обм}	AY	19	1.3	0.0	10.0	2.29	172.1	35	0.9	0.0	7.2	1.80	184.9
	C	19	2.08	0.1	15.8	3.87	186.0	41	1.3	0.0	9.5	2.3	172.4
		Ржавоземы остаточно-аллювиальные						Брунземы остаточно-аллювиальные					
pH _{вод}	AY	4	5.5	5.3	5.7	0.18	3.2	5	5.8	5.0	6.4	0.59	10.1
	BFM	4	5.4	5.2	5.8	0.24	4.8	7	5.8	5.3	6.2	0.27	4.7
	C	4	5.6	4.9	6.1	0.48	8.6	5	6.0	5.4	6.6	0.47	7.9
pH _{KCl}	AY	4	4.6	3.7	5.2	0.64	14.0	5	4.8	3.9	5.2	0.51	10.8
	BFM	4	4.1	3.7	4.6	0.39	9.8	7	3.9	3.4	4.5	0.40	10.2
	C	4	4.1	3.7	4.7	0.42	10.2	5	4.2	3.9	4.8	0.34	8.0
H ⁺ _{обм}	AY	4	0.4	0.09	0.9	0.39	103.3	5	0.2	0.1	0.4	0.11	49.1
	BFM	4	0.2	0.06	0.4	0.13	72.2	7	0.2	0.03	1.2	0.43	178.6
	C	4	0.2	0.03	0.5	0.21	104.6	5	0.1	0.03	0.4	0.15	115.5
Al ³⁺ _{обм}	AY	4	1.1	0.2	0.2	1.12	104.5	5	0.8	0.1	2.7	1.13	148.6
	BFM	4	0.6	0.2	1.2	0.49	76.4	7	1.5	0.02	4.8	1.64	110.2
	C	4	1.5	0.09	4.9	2.21	141.8	5	0.6	0.04	2.2	0.95	160.3

Повышению рН может способствовать восстановление Fe^{3+} , входящего в состав гидроксидов, которое происходит с потреблением H^+ ([Ponnamperuma, 1967](#)). В сравнении с торфяно-глеевыми почвами верхнего Амура, в перегнойно-глеевых почвах снижена значимость в формировании обменной кислотности катионов Al^{3+} . Содержание Al^{3+} варьирует от 1 до 4 мг-экв на 100 г почвы, тогда как содержание H^+ увеличилось и может достигать 5–6 мг-экв/100 г почвы. Более того, для показателей кислотности почв среднего Амура характерны более высокие значения V, достигающие 21 для pH_{KCl} , для H^+ – 280 и для Al^{3+} – 170. Это может свидетельствовать как о более разнородных условиях почвообразования, так и являться следствием более крупной выборки. Доверительный интервал для рН и H^+ в перегнойно-глеевых почвах выше, чем в торфяно-глеевых, но SD Al^{3+} почти в два раза ниже. Следовательно, несмотря на высокий V, в перегнойно-глеевых почвах содержание алюминия чаще близко к среднему значению.

Большую важность имеет информация о соотношении $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ и pH_{KCl} , определяемом природой кислотно-основных функциональных групп почвенных компонентов и отражающим специфику процессов почвообразования ([Shamrikova et al., 2013](#); [Ефремова, 2018](#)). В кислых почвах чем больше разница в значениях рН, тем кислее почва ([Соколова, 1993](#)). Эта разница наглядно отражается в сильно кислых аллювиальных торфяно-глеевых и перегнойно-глеевых почвах, где линейная корреляция между этими показателями варьирует по профилю с 0.80 до 0.91, а тангенс угла наклона – от 0.7 до 0.9, составляя в целом для почвы 0.7 (табл. 2). Поскольку H^+ и Al^{3+} вытесняются катионами K^+ , можно ожидать линейную зависимость между концентрацией H^+ и Al^{3+} в растворе и в ППК. Близость тангенса угла наклона к единице свидетельствует о равной селективности преобладающего катиона в горизонте к K^+ (H^+ – в органогенных горизонтах, Al^{3+} – в минеральных) ([Shamrikova et al., 2013](#)). Снижение тангенса угла ниже единицы указывает на подкисление почв, выше единицы – на подщелачивание. Поскольку в болотных почвах наблюдается низкое содержание катионов H^+ , то данный тангенс угла отражает селективность почвы по отношению к катионам Al^{3+} .

Таблица 2. Показатели взаимосвязи значений pH_{H_2O} и pH_{KCl} в аллювиальных почвах
Table 2. The relationship between pH_{H_2O} and pH_{KCl} in alluvial soils

Горизонты	Уравнение линейной регрессии	Коэффициент детерминации	Коэффициент корреляции
Аллювиальные торфяно-глеевые и перегнойно-глеевые почвы			
Т-Н	$y = 0.72 pH_{H_2O} + 0.50$	$R^2 = 0.65$	0.80
G	$y = 0.67 pH_{H_2O} + 0.40$	$R^2 = 0.83$	0.91
CG	$y = 0.95 pH_{H_2O} - 1.18$	$R^2 = 0.77$	0.88
Почва в целом	$y = 0.73 pH_{H_2O} + 0.21$	$R^2 = 0.65$	0.81
Аллювиальные серогумусовые глееватые почвы			
AУ	$y = 0.94 pH_{H_2O} - 0.78$	$R^2 = 0.91$	0.95
Cg	$y = 0.92 pH_{H_2O} - 1.07$	$R^2 = 0.81$	0.89
Почвы в целом	$y = 0.91 pH_{H_2O} - 0.79$	$R^2 = 0.78$	0.88
Аллювиальные серогумусовые почвы			
AУ	$y = 1.16 pH_{H_2O} - 1.88$	$R^2 = 0.86$	0.93
C	$y = 0.84 pH_{H_2O} - 0.64$	$R^2 = 0.77$	0.88
Почва в целом	$y = 1.02 pH_{H_2O} - 1.39$	$R^2 = 0.69$	0.84
Буроземы и бруоземы остаточно-аллювиальные			
AУ	$y = 0.86 pH_{H_2O} - 0.19$	$R^2 = 0.53$	0.73
BFM–BM	$y = 0.39 pH_{H_2O} + 1.77$	$R^2 = 0.17$	0.41
C	$y = 0.55 pH_{H_2O} + 0.97$	$R^2 = 0.59$	0.77
Почва в целом	$y = 0.58 pH_{H_2O} + 0.96$	$R^2 = 0.24$	0.49

Также значительную роль в подкислении могут играть соединения Fe^{3+} ([Shamrikova et al., 2013](#)), в большом количестве содержащиеся в аллювиальных почвах Приамурья ([Зимовец, 1967](#)).

Аллювиальные серогумусовые почвы

Самый распространенный тип почв в поймах крупных рек Амурской области. Может занимать до 80 % от площади поймы. Формируются на пологих равнинных участках и на вершинах пойменных гряд в пределах центральной и приустьевой поймы. Уровень залегания грунтовых вод в большинстве случаев расположен ниже почвенного профиля.

В верхнем течении значения pH аллювиальных серогумусовых почв изменяются в среднем от сильнокислой до близкой к нейтральной реакции среды с усилением кислотности вниз по профилю. Обменная кислотность представлена преимущественно Al^{3+} , содержание которого снижается вниз по профилю в среднем от 1 до 2 мг-экв/100 г почвы, с максимумом в минеральном горизонте до 15 мг-экв/100 г. Содержание H^+ варьирует от 0.1 до 1.4 с максимумом в гумусово-аккумулятивном горизонте. В среднем течении, так же, как у болотных почв, наблюдается снижение кислотности, обусловленное более высокой биомассой растительности и, как следствие, повышенным содержанием оснований, попадающих в почву. Максимальная величина pH достигает 7, минимальная – 3.2 с подщелачиванием в гумусово-аккумулятивном горизонте. Обменная кислотность варьирует от 0 до 10 с преобладанием обменного алюминия.

Линейная корреляция между $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ и pH_{KCl} и по горизонтам и в почвах в целом высокая, составляя в среднем 0.88. Кислотность в гумусово-аккумулятивном горизонте преимущественно обусловлена органическими кислотами, способными в равной мере растворяться в водной и солевой вытяжках, что подтверждается величиной тангенс угла больше единицы. Коэффициенты вариации и SD $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ и pH_{KCl} более высокие в среднем течении. Варьирование значений Al^{3+} и H^+ в среднем также выше в почвах среднего течения, но их SD ниже. Высокие значения V и SD в почвах среднего течения, в сравнении с почвами верхнего течения, можно связать с геоморфологическим строением и возрастом пойменных

массивов. В верхнем течении поймы адаптивно-врезанные, небольшие по размеру, чаще подвержены затоплению и, как следствие, обновлению почвенного профиля и усреднению почвенных параметров. В среднем течении почвы поймы широкопойменного типа, развивающиеся на протяжении длительного времени и испытывающие значительное влияние зональных процессов в области центральной поймы, при сохранении влияния интразональных процессов в прирусловой пойме, что в совокупности привело к сильной пестроте почвенного покрова и варьированию почвенных свойств.

Аллювиальные серогумусовые глееватые почвы

Являются подтипом аллювиальных серогумусовых почв и служат промежуточным звеном между серогумусовыми и серогумусовыми глеевыми почвами. Формируются в небольших понижениях центральной и прирусловой поймы и могут составлять до 20–30 % от территории занимаемой аллювиальными серогумусовыми почвами. Основное их отличие от типичных серогумусовых почв – это наличие слабых признаков глеевого процесса в их почвенном профиле, что предполагает незначительный застойный режим. В этой связи следует ожидать повышения кислотности почв и увеличение содержания обменного алюминия.

В аллювиальных серогумусовых глееватых почвах верхнего Амура средняя реакция среды снижается вниз по профилю с 4.2 до 3.9 с минимумом в 3.7 и максимум 6.2. Обменная кислотность представлена обменным алюминием, содержание которого более чем в 10 раз превышает содержание обменного водорода. Сравнивая с серогумусовыми почвами верхнего Амура, видно, что даже незначительное развитие глеевого процесса приводит к снижению pH в среднем на 0.4 и увеличению обменного алюминия в два раза.

В среднем течении разрыв между pH_{KCl} серогумусовых почв и серогумусовых глееватых почв меньше чем в почвах верхнего Амура и в среднем составляет 0.2. Обменная кислотность варьирует от 0 до 3 мг-экв/100 г с преобладанием Al^{3+} . Характерной особенностью аллювиальных серогумусовых глееватых почв является сниженное в два раза содержание катиона Al^{3+} в сравнении

с серогумусовыми почвами. Следовательно, подкисление почв осуществляется за счет других компонентов, вероятно, за счет более высокого содержания Fe^{3+} .

Корреляция между $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ и pH_{KCl} и по горизонтам и в почвах в целом высокая, составляя в среднем 0.90. Общее уравнение линейной регрессии для аллювиальных серогумусовых почв подтверждает преимущественно кислую – слабокислую реакцию среды с незначительным преобладанием вклада минеральных и органико-минеральных кислот и компонентов. Значения V и SD для всех исследуемых переменных более высокие для почв поймы среднего Амура.

Ржавоземы остаточно-аллювиальные и брунеземы остаточно-аллювиальные

Эти почвы представляют собой заключительный этап эволюции аллювиальных почв после их выхода из сферы влияния интразональных процессов. Ржавоземы формируются на аллювии преимущественно в северных районах Амурской области под лесной растительностью. Брунеземы развиваются в южных районах под луговой растительностью. Брунеземы или лугово-бурые почвы отсутствуют в классификации и диагностике почв России и фигурируют преимущественно в дальневосточных классификациях почв ([Ознобихин, 1994](#)). Характерная черта этих почв заключается в их развитии под одновременным влиянием лугового и буроземообразующего процессов.

Для ржавоземов характерно изменение реакции среды от очень сильнокислой до среднекислой. Обменная кислотность небольшая, до 5 мг-экв/100 г с преобладанием Al^{3+} . Сильнокислая реакция среды при незначительном содержании обменных Al^{3+} и H^+ , вероятно, обусловлена накоплением большого количества железа в этих почвах и фульватным составом гумуса ([Иванов, 1976](#)). Брунеземы менее кислые, чем ржавоземы, и характеризуются варьированием значений pH_{KCl} от 3.9 до 5.2 с минимумом в структурно-метаморфическом горизонте. В брунеземах также слабо развито присутствие Al^{3+} и H^+ , суммарное содержание которых достигает максимум 6 мг-экв/100 г почвы с преобладанием Al^{3+} . Кислая реакция среды в них обусловлена оглиниванием средней

части профиля по монтмориллонитовому типу с высвобождением свободных оксидов железа, придающих почвам буроватые тона, и формированием фульватно-гуматного типа гумуса ([Куликов, 2013](#)).

Корреляция между pH_{H_2O} и pH_{KCl} высокая в гумусово-аккумулятивном и почвообразующем горизонте, но низкая в структурно-метаморфическом и в почве в целом. Вероятно, в структурно-метаморфическом горизонте компоненты, отвечающие за наличие связей между pH_{H_2O} и pH_{KCl} , к которым относятся органическое вещество и алюмоорганические соединения ([Shamrikova et al., 2013](#)), слабо участвуют в формировании кислотности. Слабая корреляция между pH_{H_2O} и pH_{KCl} в структурно-метаморфическом горизонте и почвы в целом отразилась и на уравнении линейной регрессии, в котором тангенс угла указывает на очень сильно кислую реакцию среды, но низкий коэффициент детерминации говорит о недостоверности этого уравнения. В гумусово-аккумулятивном горизонте уравнение линейной регрессии указывает на кислую реакцию среды, а в почвообразующем горизонте на сильно кислую с преобладанием минеральных кислот. Коэффициент вариации pH_{H_2O} и pH_{KCl} в ржавоземах и буроземах ниже, чем в аллювиальных почвах, что указывает на более однородные условия формирования этих почв в сравнении с аллювиальными почвами. Для Al^{3+} и H^+ показатель V остается высоким, сопоставимым с аллювиальными почвами. Доверительные интервалы для всех переменных в ржавоземах и брунеземах также сопоставимы с аллювиальными почвами и не позволяют сделать каких-либо заключений.

ВЫВОДЫ

Генезис аллювиальных почв отражает высокую степень варьирования значений pH_{H_2O} и pH_{KCl} , а также содержания Al^{3+} и H^+ , что выражается в высоких коэффициентах вариации, которые для pH составляют от 3 до 20 и для Al^{3+} и H^+ – от 50 до 280. В целом кислотность снижается в пойме верхнего и среднего Амура в направлении: аллювиальные болотные (торфяно-глеевые и перегнойно-глеевые) почвы (3.9–4.2), остаточные аллювиальные (ржавоземы и брунеземы) почвы (3.9–4.6), аллювиальные серогумусо-

вые глееватые почвы (3.9–4.8), аллювиальные серогумусовые (4.3–5.2). Почвы поймы верхнего Амура более кислые, в среднем значение pH_{KCl} меньше на 0.2–0.4, тогда как почвы среднего течения характеризуются более интенсивным варьированием значений pH , Al^{3+} и H^+ , что указывает на более разнородные условия почвообразования. В аллювиальных почвах кислотность преимущественно обусловлена органическими кислотами и катионами Al^{3+} , в остаточно-аллювиальных ржавоземах и брунземах, вероятно, – соединениями железа. Коэффициент регрессии позволяет судить о кислотно-основных функциональных группах органического вещества, формирующих реакцию среды почв. Коэффициент больше единицы указывает на органическую природу кислотности, ниже единицы – на преобладание минеральных кислот.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ефремова Т.Т., Ефремов С.П., Мелентьева Н.В., Аврова А.Ф.* Высотная дифференциация кислотно-основных свойств долинных торфяных почв Кузнецкого Алатау // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2018. № 41. С. 135–155. DOI: [10.17223/19988591/41/8](https://doi.org/10.17223/19988591/41/8).
2. *Зайдельман Ф.Р.* Генезис и экологические основы мелиорации почв и ландшафтов. М.: КДУ, 2009. 720 с.
3. *Зимовец Б.А.* Почвенно-геохимические процессы муссонно-мерзлотных ландшафтов. М.: Изд-во “Наука”, 1967. 165 с.
4. *Иванов Г.И.* Почвообразование на юге Дальнего Востока. М.: Изд-во “Наука”, 1976. 200 с.
5. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 341 с.
6. *Куликов А.Я.* Почвенные ресурсы. Минск: Высшая школа, 2013. 319 с.
7. *Мартынов А.В.* Структура почвенного покрова поймы крупных рек Амурской области (на примере рр. Зея и Селемджа) // Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2013. № 2. С. 108–116.
8. *Новицкий М.В., Донских И.Н., Чернов Д.В.* Лабораторно-практические занятия по почвоведению. СПб: Проспект Науки, 2009. 320 с.
9. *Ознобихин В.И., Синельников Э.П., Рыбачук Н.А.* Классификация и агропроизводственные группировки почв Приморского края. Владивосток: ДВО РАН, 1994. 93 с.
10. Почвоведение / Под ред. *Кауричева И.С.* М.: Агропромиздат, 1989. 719 с.

11. *Рассказов Н.М.* Основные особенности химического состава болотных вод (на примере юго-восточной части Западной Сибири) // Известия Томского политехнического университета. 2005. Т. 308. № 4. С. 55–58.
12. *Соколова Т.А.* Химические основы мелиорации кислых почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1993. 182 с.
13. *Чеве́рдин Ю.И., Збо́рищук Ю.Н.* Закономерности изменения показателей кислотности черноземов каменной степи // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение. 2009. № 4. С. 22–25.
14. *Ahmed H.M.T., Siddique M. Iqbal, Hussain F.* Comparative study of interpolation methods for mapping soil pH in the apple orchards of Murree, Pakistan // Soil and Environment. 2017. Vol. 36. No. 1. P. 70–76. DOI: [10.25252/SE/17/41154](https://doi.org/10.25252/SE/17/41154).
15. *Amoros C., Bornette G.* Antagonistic and cumulative effects of connectivity: a predictive model based on aquatic vegetation in riverine wetlands. // Arch. Hydrobiol. Suppl. 1999. Vol. 11. No. 3. P. 311–327. DOI: [10.1127/Ir/11/1999/311](https://doi.org/10.1127/Ir/11/1999/311).
16. *Bayley P.B.* Understanding large river – floodplain ecosystems // Bioscience. 1995. Vol. 45. No. 3. P. 153–158.
17. *Blume H.-P., Brummer G.W., Horn R., Kandeler E., Kogel-Knabner I., Kretschmar R., Stahr K., Wilke B.-M.* Scheffer / Schachtschabel: Lehrbuch der Bodenkunde. Berlin: Springer. Heidelberg. 2000. 574 p.
18. *Caritat P., Cooper M., Wilford J.* The pH of Australian soils: field results from a national survey // Soil Research. 2011. Vol. 49. No. 2. P. 173–182. DOI: [10.1071/SR10121](https://doi.org/10.1071/SR10121).
19. *Cristofor S., Vadineanu A., Ignat G.* Importance of flood zones for nitrogen and phosphorus dynamics in the Danube Delta // Hydrobiologia. 1993. Vol. 251. No. 1–3. P. 143–148. DOI: [10.1007/BF00007174](https://doi.org/10.1007/BF00007174).
20. *Kokotov Y.A., Sukhacheva E.Y., Aparin B.F.* Acidity field of soils as ion-exchange systems and the diagnostics of genetic soil horizons // Eurasian Soil Science. 2014. Vol. 47. No. 12. P. 1227–1237. DOI: [10.7868/S0032180X14120077](https://doi.org/10.7868/S0032180X14120077).
21. *Koptsik G.N., Livantsova S.Yu.* Acidity and cation exchange properties of forest soils in the Russkii Sever National Park // Eurasian Soil Science. 2003. Vol. 63. No. 6. P. 599–609.
22. *Onwuka M.I., Ozurumba U.V., Nkwocha O.S.* Changes in Soil pH and Exchangeable Acidity of Selected Parent Materials as Influenced by Amendments in South East of Nigeria // Journal of Geoscience and Environment Protection. 2016. Vol. 4. P. 80–88. DOI: [10.4236/gep.2016.45008](https://doi.org/10.4236/gep.2016.45008).

23. Pinay G., Black V.J., Planty-Tabacchi A.M., Gumiero B., Décamps H. Geomorphic control of denitrification in large river floodplain soils // Biogeochemistry. 2000. Vol. 50. P. 163–182. DOI: [10.1023/A:1006317004639](https://doi.org/10.1023/A:1006317004639).
24. Ponnampereuma F.N. Effects of Flooding on Soils, In: Flooding and plant growth, London: Academic Press. 1984, P. 9–46.
25. Shamrikova E.V., Kazakov V.G., Sokolova T.A. Variation in the acid-base parameters of automorphic loamy soils in the taiga and tundra zones of the Komi Republic // Eurasian Soil Science. 2011. Vol. 44. No. 6. P. 641–653. DOI: [10.1134/S1064229311060111](https://doi.org/10.1134/S1064229311060111).
26. Shamrikova E.V., Sokolova T.A. Correlations between different acidity forms in amorphous loamy soils of the tundra and taiga zones // Eurasian Soil Science. 2013. Vol. 46. No. 5. P. 505–517. DOI: [10.1134/S1064229313050116](https://doi.org/10.1134/S1064229313050116).
27. Thomson C.J., Marschner H., Romheld V. Effect of nitrogen fertilizer form on pH of the bulk soil and rhizosphere, and on the growth, phosphorus, and micronutrient uptake of bean // Journal of Plant Nutrition. 1993. Vol. 16. P. 493–506. DOI: [10.1080/01904169309364548](https://doi.org/10.1080/01904169309364548).
28. Wälder K., Wälder O., Rinklebe J., Menz J. Estimation of soil properties with geostatistical methods in floodplains // Archives of Agronomy and Soil Science. 2008. Vol. 54. P. 275–295. DOI: [10.1080/03650340701488485](https://doi.org/10.1080/03650340701488485).

REFERENCES

1. Efremova T.T., Efremov S.P., Melent'eva N.V., Avrova A.F. Vysotnaya differentsiatsiya kislотно-osновnykh svoystv dolinnykh torfyanykh pochv Kuznetskogo Alatau (Altitude differentiation of acid-base properties of valley peat soils of the Kuznetsk Alatau), *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta, Biologiya*, 2018, No. 41, pp. 135–155, DOI: [10.17223/19988591/41/8](https://doi.org/10.17223/19988591/41/8).
2. Zaidelman F.R., *Genezis i ekologicheskie osnovy melioratsii pochv i lanshaftov* (Genesis and ecological fundamentals of soil and landscape reclamation), Moscow: KDU, 2009, 720 p.
3. Zimovets B.A., *Pochvenno-geokhimicheskie protsessy mussonno-merzlotnykh landshaftov* (Soil-geochemical processes of monsoon-frozen landscapes), Moscow: Izd-vo “Nauka”, 1967, 165 p.
4. Ivanov G.I., *Pochvoobrazovanie na yuge Dal'nego Vostoka* (Soil formation in the south of the Far East), Moscow: Izd-vo “Nauka”, 1976, 200 p.
5. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii* (Classification and diagnostics of soils of Russia), Smolensk: Oikumena, 2004, 341 p.

6. Kulikov A.Ya., *Pochvennye resursy* (Soil resources), Minsk: Vysshaya shkola, 2013, 319 p.
7. Martynov A.V. Struktura pochvennogo pokrova pojmy krupnykh rek Amurskoj oblasti (na primere rek Zeya i Selemdzha) (Soil cover structure of bottomland of major river in the Amur region (exemplified by the Zeya and Selemdja Rivers)), *Vestnik SVNC DVO RAN*, 2013, No. 2, pp. 108–116.
8. Novitskii M.V., Donskikh I.N., Chernov D.V., *Laboratorno-prakticheskie zanyatiya po pochvovedeniyu* (Laboratory and practical classes in soil science), St. Petersburg: Prospekt Nauki, 2009, 320 p.
9. Oznobikhin V.I., Sinel'nikov E.P., Rybachuk N.A., *Klassifikatsiya i agroproduktivnyye gruppirovki pochv Primorskogo kraja* (Classification and agro-industrial groups of soils of the Primorsky krai), Vladivostok: DVO RAN, 1994, 93 p.
10. Kaurichev I.S., *Pochvovedenie* (Soil Science), Moscow: Agropromizdat, 1989, 719 p.
11. Rasskazov N.M., Osnovnye osobennosti khimicheskogo sostava bolotnykh vod (na primere yugo-vostochnoi chasti Zapadnoi Sibiri) (The main features of the chemical composition of swamp waters (by the example of the southeast of Western Siberia)), *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta*, 2005, Vol. 308, No. 4, pp. 55–58.
12. Sokolova T.A., *Khimicheskie osnovy melioratsii kislykh pochv* (Chemical basis of acid soil reclamation), Moscow: Izd-vo Mosk. un-ta, 1993, 182 p.
13. Cheverdin Yu.I., Zborishchuk Yu.N., Zakonomernosti izmeneniya pokazatelei kislotsnosti chernozemov kamЕННОй stepi (Patterns of change in the acidity indicators of chernozem stone steppe), *Vestnik Moskovskogo universiteta, Pochvovedenie*, Ser. 17, 2009, No. 4, pp. 22–25.
14. Ahmed H.M.T., Siddique M. Iqbal, Hussain F., Comparative study of interpolation methods for mapping soil pH in the apple orchards of Murree, Pakistan, *Soil and Environment*, 2017, Vol. 36, No. 1, pp. 70–76, DOI: [10.25252/SE/17/41154](https://doi.org/10.25252/SE/17/41154).
15. Amoros C., Bornette G., Antagonistic and cumulative effects of connectivity: a predictive model based on aquatic vegetation in riverine wetlands, *Arch. Hydrobiol. Suppl.*, 1999, Vol. 11, No. 3, pp. 311–327, DOI: [10.1127/lr/11/1999/311](https://doi.org/10.1127/lr/11/1999/311).
16. Bayley P.B., Understanding large river – floodplain ecosystems, *Bioscience*, 1995, Vol. 45, No. 3, pp. 153–158.
17. Blume H.-P., Brummer G.W., Horn R., Kandler E., Kogel-Knabner I., Kretschmar R., Stahr K., Wilke B.-M., Scheffer / *Schachtschabel: Lehrbuch der Bodenkunde*, Berlin: Springer, Heidelberg, 2000, 574 p.

18. Caritat P., Cooper M., Wilford J., The pH of Australian soils: field results from a national survey, *Soil Research*, 2011, Vol. 49, No. 2, pp. 173–182, DOI: [10.1071/SR10121](https://doi.org/10.1071/SR10121).
19. Cristofor S., Vadineanu A., Ignat G., Importance of flood zones for nitrogen and phosphorus dynamics in the Danube Delta, *Hydrobiologia*, 1993, Vol. 251, No. 1–3, pp. 143–148, DOI: [10.1007/BF00007174](https://doi.org/10.1007/BF00007174).
20. Kokotov Y.A., Sukhacheva E.Y., Aparin B.F., Acidity field of soils as ion-exchange systems and the diagnostics of genetic soil horizons, *Eurasian Soil Science*, 2014, Vol. 47, No. 12, pp. 1227–1237, DOI: [10.7868/S0032180X14120077](https://doi.org/10.7868/S0032180X14120077).
21. Koptsik G.N., Livantsova S.Yu., Acidity and cation exchange properties of forest soils in the Russkii Sever National Park, *Eurasian Soil Science*, 2003, Vol. 63, No. 6, pp. 599–609.
22. Onwuka M.I., Ozurumba U.V., Nkwocha O.S., Changes in Soil pH and Exchangeable Acidity of Selected Parent Materials as Influenced by Amendments in South East of Nigeria, *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 2016, Vol. 4, pp. 80–88, DOI: [10.4236/gep.2016.45008](https://doi.org/10.4236/gep.2016.45008).
23. Pinay G., Black V.J., Planty-Tabacchi A.M., Gumiero B., Décamps H., Geomorphic control of denitrification in large river floodplain soils, *Biogeochemistry*, 2000, Vol. 50, pp. 163–182, DOI: [10.1023/A:1006317004639](https://doi.org/10.1023/A:1006317004639).
24. Ponnamperuma F.N., Effects of Flooding on Soils, In: *Flooding and plant growth*, London: Academic Press, 1984, pp. 9–46.
25. Shamrikova E.V., Kazakov V.G., Sokolova T.A., Variation in the acid-base parameters of automorphic loamy soils in the taiga and tundra zones of the Komi Republic, *Eurasian Soil Science*, 2011, Vol. 44, No. 6, pp. 641–653, DOI: [10.1134/S1064229311060111](https://doi.org/10.1134/S1064229311060111).
26. Shamrikova E.V., Sokolova T.A., Correlations between different acidity forms in amorphous loamy soils of the tundra and taiga zones, *Eurasian Soil Science*, 2013, Vol. 46, No. 5, pp. 505–517, DOI: [10.1134/S1064229313050116](https://doi.org/10.1134/S1064229313050116).
27. Thomson C.J., Marschner H., Romheld V., Effect of nitrogen fertilizer form on pH of the bulk soil and rhizosphere, and on the growth, phosphorus, and micronutrient uptake of bean, *Journal of Plant Nutrition*, 1993, Vol. 16, pp. 493–506, DOI: [10.1080/01904169309364548](https://doi.org/10.1080/01904169309364548).
28. Wälder K., Wälder O., Rinklebe J., Menz J., Estimation of soil properties with geostatistical methods in floodplains, *Archives of Agronomy and Soil Science*, 2008, Vol. 54, pp. 275–295, DOI: [10.1080/03650340701488485](https://doi.org/10.1080/03650340701488485).

УДК 631.4

DOI: 10.19047/0136-1694-2019-98-77-104

Ссылки для цитирования:

Таллер Е.Б., Артемьева З.С., Кириллова Н.П., Данченко Н.Н. Некоторые особенности динамики качественного состава органического вещества хроноряда дерново-подзолистых почв в процессе лесовосстановления // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2019. Вып. 98. С. 77-104. DOI: 10.19047/0136-1694-2019-98-77-104

Cite this article as:

Taller E.B., Artemyeva Z.S., Kirillova N.P., Danchenko N.N., Dynamics of organic matter under the afforestation of the former agricultural sod-podzolic soils, Dokuchaev Soil Bulletin, 2019, V. 98, pp. 77-104, DOI: 10.19047/0136-1694-2019-98-77-104

**НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИКИ
КАЧЕСТВЕННОГО СОСТАВА ОРГАНИЧЕСКОГО
ВЕЩЕСТВА ХРОНОРЯДА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ
ПОЧВ В ПРОЦЕССЕ ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЯ**

© 2019 г. Е. Б.Таллер¹, З. С. Артемьева^{2*},
Н. П. Кириллова³, Н. Н. Данченко²

¹РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, Россия,
127550, Москва, Тимирязевская ул., 49, e-mail: etallereb@mail.ru.

²Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Россия,
119017, Москва, Пыжевский пер, 7, стр. 2,

*<https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>, *e-mail: artemyevazs@mail.ru.

³МГУ им М.В. Ломоносова, Россия, 119991, Москва, Ленинские Горы, 1,
e-mail: npkirillova@yandex.ru.

Поступила в редакцию 07.05.2019, после доработки 28.06.2019,
принята к публикации 05.09.2019

На основе изучения гумусового состояния почв с помощью метода грануло-денсиметрического фракционирования исследована динамика качественного состава органического вещества хроноряда дерново-подзолистых почв в процессе лесовосстановления. Объектами исследования послужили дерново-подзолистые почвы хроноряда залежных участков, включающих основные стадии развития вторичной сукцессии: от зарастания травянистой растительностью до зональных ельников особо охраняемой природной территории Центрально-Лесного

государственного природного биосферного заповедника. В первые 20–25 лет после перевода пахотного участка в залежь наблюдаются деградационные изменения гумусового состояния дерново-подзолистых почв, обусловленные отсутствием агротехнологических обработок и недостатком свежего органического вещества (ОВ) культурных растений. Показано, что лишь по прошествии 50 лет функционирования в режиме залежи качественные и количественные показатели ОВ дерново-подзолистых почв начинают приближаться к таковым ельников разного видового состава возрастом более 100 лет. Это проявляется в увеличении количества дискретного ОВ, уровне накопления углерода данной фракции ОВ в почве и величине ее долевого участия в общем уровне накопления углерода в почве.

Ключевые слова: лесовосстановление, органическое вещество, грануло-денсиметрическое фракционирование, дискретное органическое вещество, легкие фракции, илистые фракции.

DYNAMICS OF ORGANIC MATTER UNDER THE AFFORESTATION OF THE FORMER AGRICULTURAL SOD-PODZOLIC SOILS

**E. B. Taller¹, Z. S. Artemyeva^{2*}, N. P. Kirillova³,
N. N. Danchenko²**

¹*Russian State Agrarian University –
Moscow Timiryazev Agricultural Academy,
Russia, 127550, Moscow, Timiryazevskaya str., 49,
e-mail: etallereb@mail.ru.*

²*V.V. Dokuchaev Soil Science Institute,
Russia, 119017, Moscow, Pizhevskiy per., 7, build. 2
*<https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>, *e-mail: artemyevazs@mail.ru.*

³*Lomonosov Moscow State University,
Russia, 119991, Moscow, Leninskie Gory, 1,
e-mail: npkirillova@yandex.ru.*

Received 07.05.2019, Revised 28.06.2019, Accepted 05.09.2019

The dynamics of the organic matter of the chronosequence of sod-podzolic soils in the process of reforestation has been investigated using the granulo-densitometric fractionation. The objects of research were sod-podzolic soils of the chronosequence of abandoned areas, including the main stages of the development of secondary succession: from overgrowing by grass vegetation to zonal spruce forests of the specially protected natural territory of the Central

Forest State Natural Biosphere Reserve. In the first 20–25 years after the reduction of agrocenosis, degradation changes of the humus state of sod-podzolic soils were observed, due to the lack of agrotechnological treatments and the lack of fresh organic matter (OM) of cultivated plants. It is shown that only after 50 years functioning in the reservoir regime, the qualitative and quantitative indicators of organic matter of sod-podzolic soils begin to approach those of spruce forests of different species composition over 100 years old. This is manifested in an increase in the amount of discrete OM, the level of carbon accumulation of this fraction of OM in the soil and the value of its share in the total carbon accumulation in the soil.

Keywords: afforestation, organic matter, granulo-densitometric fractionation, discrete organic matter, light fractions, clay.

ВВЕДЕНИЕ

За последние 30 лет около 38 млн га пахотных земель России, что составляет 1/3 общей посевной площади 1990 г., было выведено из сельскохозяйственного оборота ([Россия в цифрах, 2017](#)). Эта часть пахотного фонда перешла в залежь и постепенно зарастает кустарником и мелколесом. В пахотных почвах, выпавших из сферы сельскохозяйственного использования, восстанавливается естественный зональный тип почвообразования с последовательной сменой биогеоценозов в ряду: агроценоз – залежь – лес. Смена культурного ценоза естественной зональной растительностью на бывших пахотных почвах способствует трансформации пахотного слоя и постепенному восстановлению генетического профиля зональных лесных почв. Таким образом, лесовозобновление на старопахотных землях сопровождается обратным переходом почвы от сельскохозяйственной освоенной к почвам лесного ряда ([Владыченский, Телеснина, 2007](#); [Люри, Горячкин, 2010](#); [Телеснина и др., 2017](#); [Артемьева, 2017](#)). Наибольший интерес исследователей вызывают изменения содержания органического вещества (ОВ) при лесовозобновлении. Этому посвящено большое количество работ как отечественных, так и зарубежных ([Баранова, 1987](#); [Баранова и др., 1989](#); [Литвинович и др., 2002](#); [Курганова и др., 2006, 2007](#); [Артемьева и др., 2013](#); [Артемьева, 2017](#); [Vesterdal et al., 2002](#); [Paul et al., 2003](#); [Hooker, Compton, 2003](#); [Falkengen-Grerup et al., 2005](#); [Morris et al., 2007](#); [Smal, Olszewska, 2008](#); [Kalinina et al., 2009](#); [2015](#); [Artemyeva et al., 2018](#)).

Тем не менее, несмотря на большое количество работ, посвященных данной проблеме, однозначное мнение о направлении и характере динамики содержания и запасов ОБ при лесовозобновлении отсутствует. Большинство исследователей отмечают, что отсутствие отчуждения растительного материала в виде урожая и последующее восстановление многолетней растительности на бывших пахотных почвах инициируют процессы накопления углерода ([Артемяева и др., 2013](#); [Рыжова и др., 2015](#); [Артемяева, 2017](#); [Ерохова и др., 2014](#); [Artemyeva et al., 2018](#)). Многие исследователи обращают внимание на то, что вновь образованное органическое вещество должно характеризоваться разными количественным и качественным составами ([Lopes de Gerenyu et al., 2008](#); [Артемяева и др., 2013](#); [Рыжова и др., 2015](#); [Артемяева, 2017](#); [Ерохова и др., 2014](#)). При этом направленность и интенсивность этих процессов зависит от продолжительности периода восстановительной сукцессии. Наиболее противоречивые данные отмечены для небольших сроков функционирования в режиме залежи бывших пахотных почв. В некоторых работах выявлено, что содержание углерода в первые 4–10 лет после вывода пахотных почв из сельскохозяйственного оборота меняется незначительно ([Kalinina et al., 2013](#); [Артемяева, 2017](#)). В то же время в литературе имеются свидетельства о снижении содержания и запасов ОБ в первые 10 лет после вывода пахотных почв из сельскохозяйственного оборота в первую очередь за счет ослабления выраженности дернового процесса при сведении культурного ценноза ([Литвинович и др., 2011](#)). Тем не менее после 15–20 лет наблюдается устойчивое увеличение содержания и запасов углерода в залежных почвах ([Kalinina et al., 2013](#); [Артемяева, 2017](#)).

Большое значение имеет гранулометрический состав почв, на которых протекает лесовозобновление, и степень окультуренности пахотной почвы. Так для песчаных почв отмечено, что при их интенсивной окультуренности запасы ОБ в них убывают, тогда как при зарастании пашни, образованной на суглинистой почве, запасы ОБ сначала убывают, а далее возрастают на стадии щучкового луга ([Матинян и др., 2007](#)). В то же время при изучении зарастания пашни, образованной на флювиогляциальных песках, было выявлено, что содержание и запасы ОБ сначала увеличива-

лись на луговой стадии, а затем, после появления леса, постепенно уменьшались ([Фомина, 2009](#)).

Использование новых методологических подходов к оценке свойств почв могло бы существенно обогатить информационную базу для такого рода исследований. В частности, такая возможность может быть реализована на основе изучения составляющих ОВ почвы с помощью грануло-денсиметрического фракционирования. Метод гранулоденсиметрического фракционирования позволяет выделять достаточно гомогенные по морфологическим признакам, химическому составу и устойчивости к минерализации функционально значимые компоненты ОВ почвы разных периодов круговорота в мало измененном состоянии. Данный метод был успешно применен при исследовании динамики ОВ в процессе лесовозобновления в том числе на дерново-подзолистых почвах ([Артемяева и др., 2013](#); [Артемяева, 2017](#); [Artemyeva et al., 2017, 2018](#)), [Kalinina et al., 2013, 2015](#); [Popelau, Don, 2013](#); [Li et al., 2016](#)). Учитывая роль ОВ почвы в углеродном балансе наземных экосистем и глобальном цикле углерода, а также широкое распространение залежных земель в мире, и в России в частности, изучение динамики разных пулов ОВ почвы в процессе лесовозобновления актуально.

Целью настоящей работы является изучение динамики разных пулов ОВ в процессе постагрогенного развития в сопоставимом ряду дерново-подзолистых почв южной тайги почв разновременных залежных участков.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования послужили дерново-подзолистые почвы хроноряда залежных участков, включающих основные стадии развития вторичной сукцессии: от зарастания травянистой растительностью до зональных ельников особо охраняемой природной территории Центрально-Лесного государственного природного биосферного заповедника (ООПТ ЦЛГПБЗ). Заповедник расположен в Тверской области, в верховьях реки Межи, к северу от города Нелидово.

Центрально-Лесной государственный природный биосферный заповедник служит эталоном южно-таежных лесов в цен-

тральной части европейской России. Это область умеренно-континентального климата. Среднегодовая температура воздуха составляет + 3.6 °С. Среднегодовая сумма осадков составляет 700 мм. Среднее значение гидротермического коэффициента Селянинова – 1.6. Основные данные, включая географические координаты, климатические параметры, почвы, породы, видовой состав растительности приведены в таблице 1.

Исследуемые залежные участки находятся в средней части длинного склона западной экспозиции, что обеспечивает преимущественно автоморфные условия увлажнения. Зарастающие участки являются краевыми фрагментами постепенно зарастающей пашни, где почти все культурные растения сменились естественной флорой. Все залежные участки расположены на сопоставимых дерново-палево-подзолистых легкосуглинистых почвах, подстилаемых моренным суглинком в пределах 300-метровой трансекты и в сопоставимых геоморфологических и литологических условиях (диагностируются по плотности сложения почв).

Объекты исследования: 1) свежая залежь с луговым разнотравьем (5–7 лет); 2) залежь, заросшая березняком с включением подроста осины (*Betula pendula* + *Pópulus trémula*) возрастом 10–15 лет; 3) залежь, заросшая березняком (*Betula pendula*) возрастом 20–25 лет; 4) березняк с примесью осины (*Betula pendula* + *Pópulus trémula*) возрастом 50–60 лет; 5) ельник чернично-разнотравный (*Picea abies* – *Vaccinium myrtillus* – *Hylocomium splendns* + *Pleurozium schreberi*) возрастом старше 100–120 лет; ельник чернично-кисличный (*Picea abies* – *Vaccinium myrtillus* + *Oxalis acetosella*) возрастом старше 100–120 лет; ельник кислично-щитовниковый (*Picea abies* – *Oxalis acetosella* + *Dryopteris dilatata*) возрастом старше 100–120 лет.

Для исследования состояния ОБ был использован модифицированный вариант грануло-денсиметрического метода, позволяющий выделить три качественно различные группы органических и органо-минеральных составляющих почвы, концентрирующих основную массу ОБ и тонкодисперсных минеральных компонентов почвы ([Артемяева, 2010](#)).

Таблица 1. Расположение района исследования, растительность и исследуемые почвы
Table 1. Location of study area, vegetation and investigated soil type

Возраст	Видовой состав	Почва	Горизонт	Глубина, см	$C_{\text{общ}}$ % в почве	ρ , г/см ³
5–7 лет	Луговое разнотравье	Дерново-палево-подзолистая легко-суглинистая	A ₁	3–12	1.86	0.89
			A ₁ '	12–29	1.09	0.95
			A ₂	29–35	0.75	1.13
10–15 лет	Береза		A ₁	3–15	1.43	0.96
			A ₁ A ₂	15–28	1.12	1.36
			A ₂	28–43	0.46	1.38
20–25 лет	Береза		A ₁	4–20	1.20	1.04
			A ₁ A ₂	20–26	1.25	1.21
			A ₂	26–40	0.57	1.56
50–60 лет	Береза + осина		A ₁	3–16	1.90	1.04
			A ₁ A ₂	16–30	1.29	1.33
			A ₂	30–44	0.64	1.38
100–120 лет	Ельник чернично-разнотравный (ЕЧР)		A ₁	4–10	3.57	1.16
			A ₁ '	10–16	1.74	1.23
			A ₁ A ₂	16–26	1.13	1.48
	Ельник чернично-кисличный (ЕЧК)		A ₁	4–10	4.76	1.08
			A ₁ A ₂	10–20	0.85	1.09
			A ₂	20–30	0.31	1.24
	Ельник кислично-щитовниковый (ЕКЩ)		A ₁	3–7	5.68	0.87
			A ₁ '	7–17	2.73	1.05
			A ₁ A ₂	17–32	0.92	1.23

Примечание: горизонты A₁ и A₁' в залежной почве (5–7 лет) были выделены по плотности.

В первую группу входят легкие фракции (ЛФ) плотностью $< 1.8 \text{ г/см}^3$, ОВ которых не связано прочными химическими связями с глинистыми минералами и представлено органическими остатками разной степени гумификации. Вторая группа – органо-глинистые комплексы плотностью $> 1.8 \text{ г/см}^3$, размером $< 1 \text{ мкм}$ – продукты взаимодействия гумусовых соединений с глинистыми минералами (ил). Третья группа – остаток после выделения первых двух фракций, включает крупнозернистый минеральный компонент, устойчивые в УЗ-поле микроагрегаты, а также угли и углеподобные вещества.

ЛФ были выделены с помощью бромформ-этанольной смеси (БЭМ) плотностью 1.8 г/см^3 до и после того, как из почвы после 15-минутного воздействия ультразвуком (УЗ) на почвенную суспензию была удалена илистая фракция. Для физического диспергирования был использован ультразвуковой диспергатор зондового типа (LUZD-0,5K-02-00000 PS (Criamid, Russia). Озвучивание (69.7 Дж мл^{-1}) образца почвы ($10 \text{ г} + 50 \text{ мл}$ деионизированной воды) проводилось в течение 1 минуты с последующим центрифугированием в соответствии с законом Стокса, и повторялось 15 раз. Водная суспензия глинистых частиц ($< 1 \text{ мкм}$) собиралась и высушивалась ($60 \text{ }^\circ\text{C}$). Свободное ОВ (ЛФ_{СВ}), не входящее в состав микроагрегатов, сосредоточено в ЛФ плотностью $< 1.8 \text{ г/см}^3$, выделяемых до процедуры озвучивания, а агрегированное ОВ, включенное в состав микроагрегатов (ЛФ_{АГР}), выделяется после озвучивания ([Артемяева, 2010](#); [Артемяева, Федотов, 2013](#)).

Общий углерод ($\text{C}_{\text{общ}}$) и углерод органических и органо-минеральных фракций ($\text{C}_{\text{ЛФ}^{\text{СВ}}}$, $\text{C}_{\text{ЛФ}^{\text{АГР}}}$, $\text{C}_{\text{Ил}}$ и $\text{C}_{\text{Ост}}$) определяли методом каталитического сжигания на анализаторе TOC Analyzer (Shimadzu, Japan).

Статистическую обработку данных проводили с использованием пакета Microsoft Excel 2010 (Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA). Выбранный уровень значимости $P < 0.05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Выявлено, что в первые 20–25 лет функционирования в режиме залежи в дерново-подзолистых почвах рассмотренного хронология наблюдается снижение количества дискретного ОВ (ЛФ)

(табл. 2, рис. 1). Это обусловлено тем, что масштаб восстановления естественной растительности не компенсирует недостаток свежего ОБ в результате сведения агроценоза.

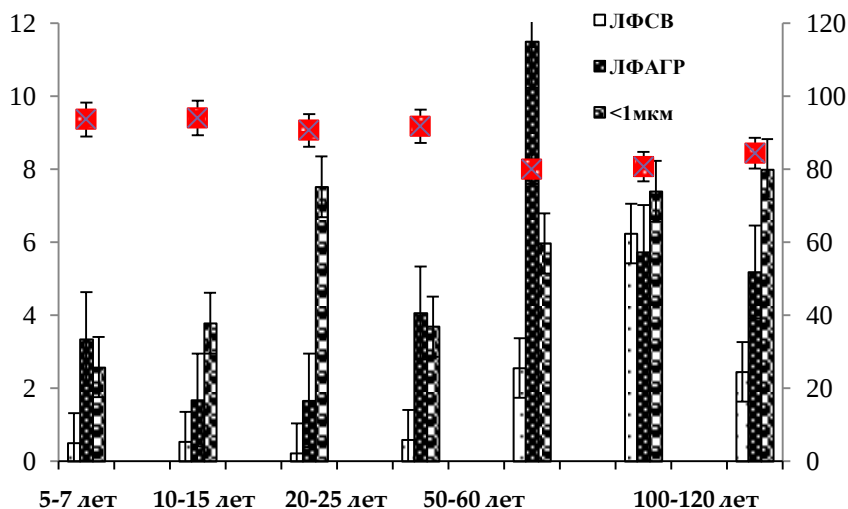


Рис. 1. Масса органических и органоминеральных фракций в верхних горизонтах исследованных почв хроноряда (%).

Fig. 1. The bulk of organic and organo-mineral fractions in the upper horizons of the studied soils (%).

По достижении срока функционирования в режиме залежи 50 лет наблюдается резкое повышение уровня накопления дискретного ОБ, что обусловлено накоплением мертвой биомассы в почве данного участка в течение достаточно продолжительного срока. Следует отметить, что количество дискретного ОБ в почвах ельников превышает таковое разновозрастных залежных участков в 2.6–6.3 раза (табл. 2).

Анализ экспериментальных данных по концентрации углерода органических и органо-минеральных фракций показал, что все рассматриваемые группы ОБ существенно различаются между собой по данному показателю (табл. 3).

Таблица 2. Распределение органических и органо-минеральных фракций в почвах исследованного хроноряда
Table 2. Distribution of organic and organo-mineral fractions in the studied soils

Ценоз	Возраст, годы	Видовой состав	Горизонт	Глубина, см	Масса, %			
					Легкие фракции, пл. < 1.8 г/см ³		Ил	Остаток
					ЛФ _{св}	ЛФ _{агр}		
Залежь	5–7	Луговое разнотравье	A ₁	3–12	0.51 (0.23)	3.35 (0.10)	2.58 (0.06)	93.57 (0.21)
			A ₁ '	12–29			3.41 (0.04)	96.59 (0.04)
			A ₁ A ₂	29–35			3.18 (0.08)	96.82 (0.08)
	10–15	Береза	A ₁	3–15	0.54 (0.07)	1.68 (0.05)	3.78 (0.08)	94.00 (0.11)
			A ₁ A ₂	15–28			4.32 (0.19)	95.68 (0.16)
			A ₂	28–43			2.90 (0.08)	97.10 (0.08)
	20–25	Береза	A ₁	4–20	0.23 (0.04)	1.67 (0.06)	7.52 (0.02)	90.59 (0.12)
			A ₁ A ₂	20–26			8.23 (0.08)	91.77 (0.08)
			A ₂	26–40			6.35 (0.12)	93.65 (0.12)
	50–60	Береза + осина	A ₁	3–16	0.59 (0.06)	4.06 (0.04)	3.69 (0.1)	91.67 (0.00)
			A ₁ A ₂	16–30			5.33 (0.08)	94.67 (0.08)
			A ₂	30–44			5.27 (0.11)	94.77 (0.11)
Лес	100–120	Ельник чернично-разнотравный	A ₁	4–10	2.45 (0.14)	5.19 (0.13)	7.99 (0.65)	84.37 (0.92)
			A ₁ '	10–16			10.00 (0.78)	90.00 (0.78)
			A ₁ A ₂	16–26			5.54 (0.27)	94.46 (0.27)
	100–120	Ельник чернично-кисличный	A ₁	4–10	6.24 (0.27)	5.74 (0.13)	7.39 (0.14)	80.63 (0.55)
			A ₁ A ₂	10–20			5.71 (0.21)	94.29 (0.21)
			A ₂	20–30			1.92 (0.63)	98.08 (0.63)
	100–120	Ельник кислично-щитовниковый	A ₁	3–7	2.56 (0.20)	11.5 (0.28)	5.97 (0.19)	79.97 (0.67)
			A ₁ '	7–17			6.12 (0.03)	93.88 (0.02)
			A ₁ A ₂	17–32			5.49 0.18	94.51 (0.18)

Примечание: в скобках – доверительный интервал.

Таблица 3. Величина концентрации углерода органических и органо-минеральных фракций в дерново-подзолистых почвах исследованного хронологического ряда

Table 3. The carbon content (% in fraction) in organic and organo-mineral fractions of the studied sod-podzolic soils

Ценоз	Возраст, годы	Видовой состав	Горизонт	Глубина, см	Легкие фракции пл. < 1.8 г/см ³		Ил	Остаток
					ЛФ _{СВ}	ЛФ _{АП}		
Залежь	5–7	Луговое разнотравье	A ₁	3–12	20.34 (2.04)	22.58 (2.11)	12.36 (0.12)	0.73 (0.05)
			A ₁ '	12–29			12.54 (0.10)	0.68 (0.04)
			A ₁ A ₂	29–35			10.14 (0.08)	0.44 (0.12)
	10–15	Береза	A ₁	3–15	24.14 (1.70)	26.66 (0.41)	10.09 (0.42)	0.50 (0.00)
			A ₁ A ₂	15–28			12.15 (0.10)	0.63 (0.05)
			A ₂	28–43			9.56 (0.14)	0.18 (0.03)
	20–25	Береза	A ₁	4–20	21.43 (0.14)	20.32 (0.12)	6.62 (0.08)	0.34 (0.06)
			A ₁ A ₂	20–26			8.60 (0.11)	0.59 (0.04)
			A ₂	26–40			6.11 (0.12)	0.19 (0.04)
	50–60	Береза + осина	A ₁	3–16	30.90 (0.59)	19.40 (0.09)	10.88 (0.07)	0.58 (0.00)
			A ₁ A ₂	16–30			10.91 (0.46)	0.75 (0.05)
			A ₂	30–44			7.31 (0.07)	0.27 (0.06)
Лес	100–120	Ельник чернично-разнотравный	A ₁	4–10	24.38 (0.24)	21.80 (0.00)	10.88 (0.24)	1.15 (0.04)
			A ₁ '	10–16			10.71 (0.34)	0.74 (0.08)
			A ₁ A ₂	16–26			12.21 (0.41)	0.48 (0.11)
	100–120	Ельник чернично-кисличный	A ₁	4–10	30.77 (0.43)	20.52 (0.25)	10.11 (0.11)	1.13 (0.04)
			A ₁ A ₂	10–20			7.28 (0.24)	0.46 (0.04)
			A ₂	20–30			7.88 (0.39)	0.16 (0.08)
	100–120	Ельник кислично-щитовниковый	A ₁	3–7	23.26 (0.12)	22.85 (0.29)	17.69 (0.02)	1.76 (0.04)
			A ₁ '	7–17			13.91 (0.04)	2.00 (0.06)
			A ₁ A ₂	17–32			9.34 (0.12)	0.43 (0.10)

Примечание: в скобках – доверительный интервал.

Свободное ОВ (ЛФ_{СВ}), обогащенное легкоразлагаемыми остатками растительного и микробного происхождения, локализуется в межагрегатном поровом пространстве почвы, являясь фракцией с наименьшей массой, обладает наиболее высокой величиной концентрации углерода: 20.3–30.9 % (М фракции). Чуть меньшими величинами концентрации углерода характеризуется агрегированное ОВ (ЛФ_{АГР}) – 20.5–26.6 % (М фракции (табл. 3).

Величина концентрации $C_{ил}$, в которой органические соединения прочно связаны с глинистыми минералами и оксидами-гидроксидами Fe и Al, гумусоаккумулятивных горизонтов почв исследованного хроноряда варьирует от 6.6 % до 17.7 % (М фракции) (в верхних горизонтах) и в пределах 6.1–10.1 % (М фракции) в горизонте A_2 (табл. 3). Исключение отмечено лишь для ельника чернично-разнотравного, где величина концентрации $C_{ил}$ сопоставима с таковыми верхних горизонтов.

Величина концентрации углерода фракции Остатка верхних двух горизонтов разновозрастных залежных участков колеблется в широких пределах – от 0.34 до 0.75 % (М фракции), в горизонте A_1A_2 / A_2 отмечена меньшая степень варьирования: от 0.2 до 0.48 % (М фракции) (табл. 3). В ельниках разного видового состава величина концентрации углерода фракции Остатка в горизонте A_1 существенно выше (в 2.4–5.2 раза) таковой залежных участков.

Уровень накопления углерода в гумусово-аккумулятивных горизонтах дерново-подзолистых почв исследованного хроноряда колеблется в пределах 1.2–5.8 % (М почвы), в горизонте A_1' / A_1A_2 величина $C_{общ}$ существенно ниже и колеблется в пределах 0.9–2.7 % (М почвы). Для нижних горизонтов отмечены минимальные наблюдаемые значения (табл. 4).

Таблица 4. Уровень накопления углерода органическими и органо-минеральными фракциями в дерново-подзолистых почвах исследованного хронологического ряда

Table 4. The carbon content (% in soil) in organic and organo-mineral fractions of the studied sod-podzolic soils

Ценоз	Возраст, годы	Видовой состав	Горизонт	Глубина, см	Углерод, % М почвы				С _{общ}
					Легкие фракции, пл. < 1.8 г/см ³		Ил	Остаток	
					ЛФ _{св}	ЛФ _{агр}			
Залежь	5–7	Луговое разнотравье	A ₁	3–12	0.10 (0.00)	0.76 (0.05)	0.32 (0.00)	0.68 (0.04)	1.86 (0.00)
			A ₁ '	12–29			0.43 (0.01)	0.66 (0.04)	1.09 (0.05)
			A ₁ A ₂	29–35			0.32 (0.01)	0.43 (0.11)	0.75 (0.12)
	10–15	Береза	A ₁	3–15	0.13 (0.03)	0.45 (0.01)	0.38 (0.01)	0.47 (0.00)	1.43 (0.01)
			A ₁ A ₂	15–28			0.52 (0.01)	0.60 (0.05)	1.12 (0.06)
			A ₂	28–43			0.28 (0.00)	0.18 (0.03)	0.46 (0.03)
	20–25	Береза	A ₁	4–20	0.05 (0.01)	0.34 (0.01)	0.50 (0.00)	0.31 (0.06)	1.20 (0.07)
			A ₁ A ₂	20–26			0.71 (0.00)	0.54 (0.04)	1.25 (0.03)
			A ₂	26–40			0.39 (0.01)	0.18 (0.04)	0.57 (0.00)
	50–60	Береза + осина	A ₁	3–16	0.18 (0.02)	0.79 (0.00)	0.40 (0.01)	0.53 (0.00)	1.90 (0.01)
			A ₁ A ₂	16–30			0.58 (0.03)	0.71 (0.05)	1.29 (0.01)
			A ₂	30–44			0.38 (0.00)	0.26 (0.06)	0.64 (0.05)
Лес	100–120	Ельник чернично-разнотравный	A ₁	4–10	0.60 (0.04)	1.13 (0.03)	0.87 (0.09)	0.97 (0.02)	3.57 (0.18)
			A ₁ '	10–16			1.07 (0.05)	0.67 (0.06)	1.74 (0.11)
			A ₁ A ₂	16–26			0.68 (0.01)	0.45 (0.11)	1.13 (0.10)
	100–120	Ельник чернично-кисличный	A ₁	4–10	1.92 (0.06)	1.18 (0.01)	0.75 (0.01)	0.91 (0.04)	4.76 (0.04)
			A ₁ A ₂	10–20			0.42 (0.00)	0.43 (0.04)	0.85 (0.04)
			A ₂	20–30			0.15 (0.04)	0.16 (0.08)	0.31 (0.12)
	100–120	Ельник кислично-щитовниковый	A ₁	3–7	0.60 (0.04)	2.63 (0.10)	1.06 (0.03)	1.41 (0.02)	5.68 (0.20)
			A ₁ '	7–17			0.85 (0.00)	1.88 (0.05)	2.73 (0.06)
			A ₁ A ₂	17–32			0.51 (0.01)	0.41 (0.09)	0.92 (0.08)

Примечание: в скобках – доверительный интервал.

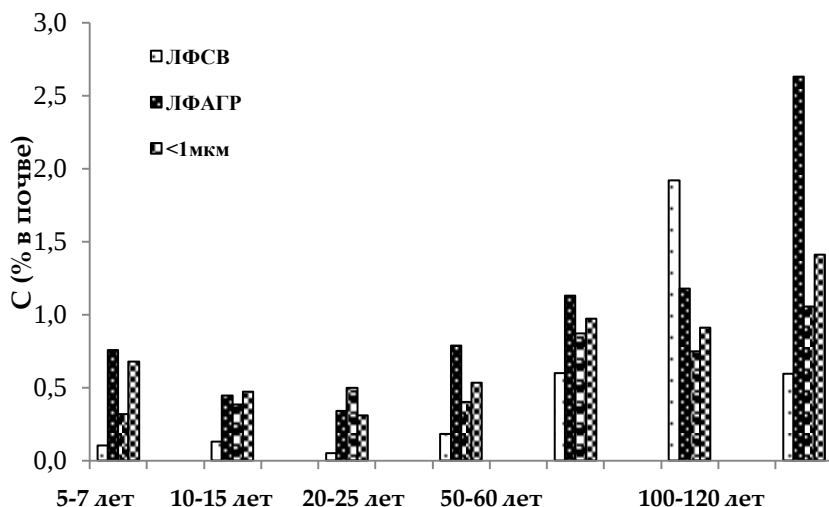


Рис. 2. Содержание углерода органических и органоминеральных фракций в верхних горизонтах исследованных почв хронологического ряда (% в почве).

Fig. 2. The carbon content (% in soil) in organic and organo-mineral fractions of the upper horizons of the studied soils.

При анализе уровня накопления $C_{\text{общ}}$ четко выделяются почвы лесных участков возрастом более 100 лет, в которых уровень накопления углерода в верхнем гумусоаккумулятивном горизонте превышает таковой почв залежей: 3.6–5.8 vs. 1.2–1.9 (% М почвы). Средние величины $C_{\text{общ}}$ для ельников разного видового состава почти в три раза выше по сравнению с таковыми почв рассмотренного хронологического ряда (табл. 4, рис. 2). Учитывая, что ельник кислично-щитовниковый представляет последнюю (5-ю) стадию сукцессии, полученные аналитические данные согласуются с литературными данными об увеличении $C_{\text{общ}}$ при зарастании дерново-подзолистых почв, выведенных из сельскохозяйственного использования ([Баранова, 1987](#); [Leifeld, Kogel-Knabner, 2005](#); [Christensen, 1992](#); [Guggenberger, Zech, 1999](#); [Артемяева и др., 2013, 2014](#); [Артемяева, 2017](#); [Artemyeva et al., 2017, 2018](#)).

Прослеживается тенденция к снижению $C_{\text{общ}}$ в верхних горизонтах исследованных почв хронологического ряда в течение первых 25 лет

лесовосстановления с последующим повышением величины $C_{\text{общ}}$, по мере увеличения сроков залежи (табл. 4, рис. 2). Достаточно высокие значения $C_{\text{общ}}$ в почвах, развивающихся под луговым разнотравьем, обусловлено, по-видимому, пролонгированным последствием положительного влияния их сельскохозяйственного прошлого.

Это сопровождается развитием процессов, способствующих дифференциации верхних горизонтов по содержанию углерода, отмечаемое многими авторами, что связывают в первую очередь с протекающими процессами восстановления профиля, характерного данному биоценозу ([Литвинович и др., 2002](#); [Артемьева, 2017](#)). С увеличением сроков лесовосстановления свыше 50 лет разница в содержании $C_{\text{общ}}$ в верхнем и нижележащем горизонтах достигает 1.5–5.6 раз соответственно, что обусловлено прежде всего высокой степенью аккумуляции $C_{\text{лф}}$ (в 3.2–4.4 раза) в гумусоаккумулятивном горизонте почв возрастом более 50–60 лет: 1.7–3.2 vs. 0.4–1.0 (% М почвы) (залежные участки возрастом менее 50 лет) (табл. 4).

Изменение уровня накопления $C_{\text{лф}}$ в исследуемом хроноряду прежде всего обусловлено заметным увеличением содержания углерода свободного ОВ ($C_{\text{св}}$) – от 0.1 до 0.6–1.9 (% М почвы) (табл. 4, рис. 2). Исключение отмечено лишь для почвы залежи сроком 20–25 лет, развивающейся под пологом березового леса. По-видимому, это обусловлено минимальным наблюдаемым проективным покрытием почвы по сравнению с остальными исследованными почвами, исключая почву под лугом (10–15 % vs. 25–30 ÷ 60–70 %) ([Комарова и др., 2018](#)).

Уровень накопления углерода фракции $\text{ЛФ}_{\text{АГР}}$ в почвах исследованного хроноряда также имеет тенденцию к увеличению в ряду: 20–25 лет < 10–20 лет < 50–60 лет < ельники (табл. 4, рис.2). Следует отметить, что в первые 20 лет уровень накопления данной фракции снижается, увеличение $C_{\text{лф}}^{\text{АГР}}$ наблюдается лишь после 50 лет функционирования почв в режиме залежи. При исследовании залежных дерново-подзолистых почв Костромской области было зафиксировано увеличение $C_{\text{АГР}}$, начиная с 20 лет после вывода почв из активного сельскохозяйственного оборота ([Артемьева, 2017](#)). Однако в литературе имеются сведения и об

обратной тенденции ([Kalinina et al., 2013](#); [Artemyeva et al., 2018](#)). Следует отметить, что почвы залежей аккумулируют в 1.4–8 раз меньше $C_{\text{АГР}}$ по сравнению с почвами ельников разного видового состава.

Уровень накопления $C_{\text{Ил}}$ в гумусоаккумулятивных горизонтах в изученных почвах хроноряда колеблется в пределах от 0.3–0.5 % (М почвы) (разновременные залежные участки) до 0.8–1.1 % (М почвы) (ельники) (табл. 4). Наблюдается тенденция к увеличению дифференциации верхних горизонтов по содержанию $C_{\text{Ил}}$ в ряду разновременных залежных участков: луг (в 1.3 раза) < 10–15 лет (в 1.4 раза) ≤ 20–25 лет (в 1.4 раза) < 50–60 лет (в 1.5 раза) (табл. 4).

Содержание $C_{\text{Ост}}$, ОВ которого локализуется в устойчивых в УЗ-поле микроагрегатах в гумусоаккумулятивных горизонтах изученных почв хроноряда, колеблется в пределах от 0.31 до 0.68 % (М почвы), и это в 2.1–4.6 раза меньше по сравнению с ельниками разного видового состава (табл. 4, рис. 2). Это согласуется с литературными данными об увеличении $C_{\text{Ост}}$ в залежных почвах, начиная с 45–50 лет после прекращения функционирования агроценоза ([Артемьева, 2017](#); [Artemyeva et al., 2018](#)). Аналогичная тенденция увеличения содержания ОВ устойчивых агрегатов < 20 мкм отмечалась и при исследовании ОВ почв при смене характера землепользования на территории Баварии ([Leifeld, Kogel-Knabner, 2005](#)).

Таким образом, снижение уровня накопления углерода всех исследованных фракций в верхних горизонтах, за исключением илистой, в первые 20–25 лет после вывода почв из активного сельскохозяйственного оборота обусловлено тем, что масштаб восстановления естественной растительности не компенсирует недостаток свежего ОВ в результате сведения агроценоза. С увеличением сроков залежи прирост биомассы увеличивается и, начиная с 50 лет функционирования в режиме залежи, наблюдается устойчивый рост уровня накопления углерода всех исследованных фракций.

Состав компонентов ОВ гумусоаккумулятивных горизонтов. Анализ долевого участия углерода изучаемых фракций в составе $C_{\text{общ}}$ исследованных дерново-подзолистых почв хроноряда показал, что доля дискретного ОВ увеличивается по мере увели-

чения возраста залежи: 20–25 лет < 10–15 лет < 5–7 лет < 50–60 лет (табл. 5).

Следует отметить, что долевое участие дискретного ОВ в почвах ельников в 1.3–2.0 раза выше по сравнению с таковым разновозрастных залежных участков, достигает 57–65 % $C_{\text{общ}}$ (табл. 5).

Величина долевого участия $C_{\text{Ил}}$ в гумусоаккумулятивных горизонтах почв исследованного хроноряда, начиная с 50–60 лет, демонстрирует тенденцию к уменьшению: доля $C_{\text{Ил}}$ закономерно снижается с 42 до 16–24 % от $C_{\text{общ}}$ (табл. 5).

В целом, анализ распределения величины долевого участия $C_{\text{Ил}}$ и $C_{\text{Ост}}$ показал, что они отчетливо увеличиваются от гумусоаккумулятивного горизонта к нижележащим.

Запасы углерода в гумусоаккумулятивных горизонтах. Анализ распределения запасов углерода изучаемых фракций в слое 0–20 см исследованных дерново-подзолистых почв хроноряда продемонстрировал тенденцию к увеличению по мере увеличения срока функционирования в режиме залежи (табл. 6, рис. 3).

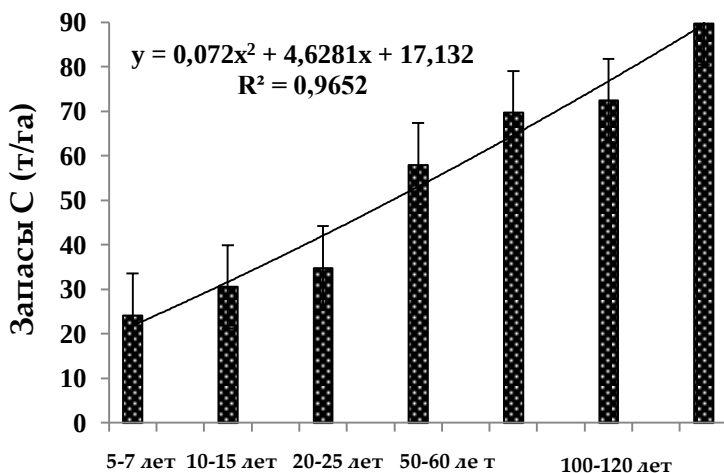


Рис. 3. Величина запасов углерода в слое 0–20 см дерново-подзолистых почв исследованного хроноряда (т/га).

Fig. 3. The carbon content ($t\ ha^{-1}$) in the 0–20 cm of the studied sod-podzolic soils.

Таблица 5. Распределение углерода органических и органо-минеральных фракций в дерново-подзолистых почвах исследованного хронологического ряда

Table 5. The carbon content (% of total C) in organic and organo-mineral fractions in studied sod-podzolic soils

Ценоз	Возраст, годы	Видовой состав	Горизонт	Глубина, см	Углерод, % C _{общ}			
					Легкие фракции пл. < 1.8 г/см ³		Ил	Остаток
					ЛФ _{св}	ЛФ _{агр}		
Залежь	5–7	Луговое разнотравье	A ₁	3–12	5.52 (0.02)	40.74 (2.62)	17.17 (0.26)	36.57 (2.38)
			A ₁ '	12–29			39.26 (1.07)	60.74 (1.07)
			A ₁ A ₂	29–35			43.34 (6.17)	56.66 (6.17)
	10–15	Береза	A ₁	3–15	9.15 (1.88)	31.27 (0.71)	26.71 (0.77)	32.88 (0.40)
			A ₁ A ₂	15–28			46.72 (1.28)	53.28 (1.28)
			A ₂	28–43			60.82 (3.86)	39.18 (3.86)
	20–25	Береза	A ₁	4–20	4.07 (0.37)	28.36 (0.56)	41.69 (2.94)	25.87 (3.13)
			A ₁ A ₂	20–26			56.65 (1.69)	43.35 (1.69)
			A ₂	26–40			68.07 (2.57)	31.21 (6.40)
Лес	100–120	Ельник чернично-разнотравный	A ₁	3–16	9.59 (1.07)	41.39 (0.07)	21.07 (0.82)	27.95 (0.18)
			A ₁ A ₂	16–30			45.21 (3.06)	54.79 (3.06)
			A ₂	30–44			60.17 (5.53)	39.83 (5.53)
	100–120	Ельник чернично-кисличный	A ₁	4–10	16.74 (0.26)	31.69 (0.82)	24.37 (1.29)	27.20 (0.74)
			A ₁ '	10–16			61.66 (1.20)	38.34 (1.20)
			A ₁ A ₂	16–26			60.09 (6.17)	39.91 (6.17)
	100–120	Ельник кислично-щитовниковый	A ₁	4–10	40.37 (0.89)	24.75 (0.05)	15.73 (0.02)	19.16 (0.96)
			A ₁ A ₂	10–20			49.06 (2.53)	50.94 (2.53)
			A ₂	20–30			49.53 (5.35)	50.47 (5.35)
100–120			A ₁	3–7	10.47 (0.39)	46.20 (0.15)	18.56 (0.04)	24.76 (0.50)
			A ₁ '	7–17			31.21 (0.57)	68.79 (0.57)
			A ₁ A ₂	17–32			55.93 (6.16)	44.07 (6.16)

Примечание: в скобках – доверительный интервал.

Таблица 6. Запасы углерода органических и органо-минеральных фракций в исследованных дерново-подзолистых почв хроноряд (слой 0–20 см)

Table 6. Carbon content ($t\ ha^{-1}$) in organic and organo-mineral fractions of the studied sod-podzolic soils (0–20 cm layer)

Ценоз	Возраст, годы	Видовой состав	Запасы С (т/га)					
			Легкие фракции, пл. < 1.8 г/см ³			Ил	Остаток	С _{общ}
			ЛФ _{СВ}	ЛФ _{АГР}	Σ			
Залежь	5–7	Луговое разнотравье	0.82 (0.00)	6.05 (0.39)	6.87 (0.39)	6.19 (0.03)	11.07 (0.01)	24.14 (0.43)
	10–15	Береза	1.51 (0.32)	5.14 (0.07)	6.65 (0.25)	12.01 (3.81)	11.93 (0.50)	30.58 (4.57)
	20–25	Береза	0.51 (0.08)	3.52 (0.15)	4.03 (0.22)	11.78 (0.56)	18.98 (1.19)	34.79 (1.98)
	50–60	Береза + осина	2.47 (0.29)	10.60 (0.05)	13.10 (0.34)	12.60 (0.31)	32.30 (0.27)	58.00 (0.38)
Лес	100–120	Ельник чернично-разнотравный	5.20 (0.34)	9.83 (0.24)	15.03 (0.58)	19.54 (0.46)	37.88 (1.94)	72.45 (2.98)
		Ельник чернично-кисличный	12.44 (0.37)	7.63 (0.07)	20.07 (0.45)	12.24 (0.22)	37.40 (0.39)	69.71 (0.17)
		Ельник кислично-щитовниковый	4.83 (0.35)	21.33 (0.80)	26.16 (1.15)	22.19 (0.31)	41.45 (1.03)	89.80 (2.49)

Примечание: в скобках – доверительный интервал.

Интересно, что начиная с 50–60 лет функционирования в режиме залежи отмечено устойчивое увеличение величин запасов дискретного ОВ и фракции Остатка, в котором локализуются устойчивые в УЗ-поле микроагрегаты.

Выявленная зависимость описывается полиномиальным уравнением второй степени с коэффициентом детерминации $R^2 = 0.97$ при $P < 0.05$ (рис. 1).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Лесовосстановление с течением времени приводит к накоплению мертвой биомассы, что способствует увеличению содержания наиболее чувствительных к изменению экологических условий легких фракций (ЛФ).

Материалы исследования с применением гранулоденсиметрического фракционирования почв свидетельствуют о том, что в почвах после выведения их из сельскохозяйственного производства происходят качественные и количественные изменения его гумусового состояния. В первые 20–25 лет после сведения агроценоза наблюдаются деградационные изменения гумусового состояния дерново-подзолистых почв, обусловленные отсутствием агротехнологических обработок и недостатком свежего ОВ культурных растений. Лишь по прошествии 50 лет функционирования в режиме залежи качественные и количественные показатели ОВ дерново-подзолистых почв начинают приближаться к таковым ельников возрастом более 100 лет. Это проявляется в увеличении количества дискретного ОВ, уровне накопления углерода данной фракции ОВ в почве и величине ее долевого участия в общем уровне накопления углерода в почве. Это согласуется с ранее полученными данными о восстановлении гумусового состояния дерново-подзолистой почвы 45-летнего возраста, ОВ которой практически достигло показателей, характерных для автоморфных почв естественных ценозов ([Артемяева и др., 2013](#); [Артемяева, 2017](#)).

БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Президиума РАН (грант на проведение фундаментальных исследований в 2018–2020 гг.) с привлечением оборудования Центра коллективного пользования “Функции и свойства почв и почвенного покрова” Почвенного института им. В.В. Докучаева.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Артемяева З.С.* Органическое вещество и гранулометрическая система почвы. М.: ГЕОС, 2010. 240 с.
2. *Артемяева З.С., Федотов Г.Н.* Состав функциональных пулов легкоразлагаемого органического вещества автоморфных зонального ряда почв центра русской равнины // Вестник Московского университета. Сер.17. Почвоведение. 2013. № 4. С. 3–10.
3. *Артемяева З.С., Рыжова И.М., Силева Т.М., Ерохова А.А.* Стабилизация органического углерода в микроагрегатах дерново-подзолистых почв в зависимости от характера землепользования // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. 2013. № 3. С. 19–26.
4. *Артемяева З.С., Рыжова И.М., Силева Т.М., Подвезенная М.А.* Состав компонентов микроструктуры гумусовых и пахотных горизонтов дерново-подзолистых почв // Почвоведение. 2014. № 2. С. 184–190.
5. *Артемяева З.С.* Некоторые особенности динамики качественного состава органического вещества дерново-подзолистых почв в период зарастания пашни лесом // Проблемы региональной экологии. 2017. № 2. С. 54–59.
6. *Баранова О.Ю.* Антропогенные изменения дерново-подзолистых почв и их эволюция при лесовозобновлении. Дисс. ... канд. биол. наук. М.: МГУ, 1987. 122 с.
7. *Баранова О.Ю., Номеров Г.Б., Строганова М.Н.* Изменение свойств пахотных дерново-подзолистых почв при зарастании лесом // Почвообразование в лесных биогеоценозах. М.: 1989. С. 60–78.
8. *Владыченский А.С., Телеснина В.М.* Сравнительная характеристика постагрогенных почв южной тайги в разных литологических условиях // Вестник МГУ. Сер. 17: Почвоведение. 2007. № 4. С. 3–10.
9. *Ерохова А.А., Макаров М.И., Моргун Е.Г., Рыжова И.М.* Изменение состава органического вещества дерново-подзолистых почв в результате естественного восстановления леса на пашне // Почвоведение. 2014. № 11. С. 1308–1314.

10. Комарова Т.В., Васенев И.И., Алилов Д.Р., Таллер Е.Б. Экологическая оценка сукцессионной динамики почвенных запасов углерода и потоков CO₂ в столетнем ряду зарастания залежи Центрально-Лесного заповедника // Электронный научно-производственный журнал “АгроЭкоИнфо”, 2018. № 3. URL: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2018/3/st_367.doc.
11. Курганова И.Н., Ермолаев А.М., Лопес де Гереню В.О. и др. Потоки и пулы углерода в залежных землях Подмосковья // Почвенные процессы и пространственно-временная организация почв: Сб. научных трудов. М.: Наука, 2006. С. 271–284.
12. Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Розанова Л.Н. и др. Многолетний мониторинг эмиссии CO₂ из дерново-подзолистой почвы: анализ влияния гидротермических условий и землепользования // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Прод. издание, Т. XXI. СПб.: Гидрометеиздат, 2007. С. 23–44.
13. Литвинович А.В., Павлова О.Ю., Чернов Д.В. Изменение гумусового состояния дерново-подзолистой песчаной почвы при прекращении антропогенного воздействия // Доклады Российской академии с/х наук. 2002. № 6. С. 26–28.
14. Литвинович А.В., Павлова О.Ю., Плылова И.А. Изменение состава растительного покрова, морфологического строения почвенного профиля, содержания и запасов гумуса в окультуренной дерново-подзолистой глееватой суглинистой почве в процессе постагрогенной эволюции // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2011. № 22. С. 74–77.
15. Люри Д.И., Горячкин С.В. Динамика сельскохозяйственных земель России в XX веке и постагрогенное восстановление растительности и почв. М.: ГЕОС, 2010. 246 с.
16. Матинян Н.Н., Бахметова К.А., Алексеев С.С. постагрогенная трансформация почв, сформированных на контрастных по гранулометрическому составу породах // Гумус и почвообразование. С. Петербург – Пушкин, 2007. С. 52–60.
17. Россия в цифрах. 2017. Краткий статистический сборник. М.: Росстат, 2017. 511 с.
18. Рыжова И.М., Ерохова А.А., Подвезенная М.А. Изменение запасов углерода в постагрогенных экосистемах в результате естественного восстановления лесов Костромской области // Лесоведение. 2015. № 4. С. 307–317.
19. Телеснина В.М., Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Овсепян Л.А., Личко В.И., Ермолаев А.М., Мишин Д.М. Динамика свойств почв и состава

растительности в ходе постагрогенного развития в разных биоклиматических зонах // Почвоведение. 2017. № 12. С. 1514–1534.

20. *Фомина А.С.* Интенсивность протекания элементарных почвообразовательных процессов в дерново-подзолистой песчаной почве и пути дальнейшего использования залежных земель // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2009. № 13. С. 11–15.

21. *Artemyeva Z., Zigova A., Kirillova N., Šťastný M., Holubík O., Podrázský V.* Evaluation of aggregate stability of Haplic Stagnosols using dynamic light scattering, phase analysis light scattering and color coordinates // Archives of Agronomy and Soil Science. 2017. Vol. 63. No. 13. P. 1838–1851.

22. *Artemyeva Z.S., Žigová A., Kirillova N.P., Šťastný M.* Dynamics of organic matter in soils following a change in landuse on Permo-Carboniferous rocks in the Cesky Brod area (Czech Republic) // Acta Geodymica et Geomaterialia. 2018. Vol. 15. No. 4 (192), P. 339–348.

23. *Christensen B.T.* Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates // Advances in Soil Science. 1992. Vol. 20. P. 1–90.

24. *Falkengen-Grerup U., ten Brink D.-J., Brunet J.* Land use effects on soil N, P, C and pH persist over 40–80 years of forest growth an agricultural soils // Forest Ecol. Manag. 2005. Vol. 225. P. 74–81.

25. *Guggenberger G., Zech W.* Soil organic matter composition under primary forest, pasture, and secondary forest succession, Region Huetar Norte, Costa Rica // Forest Ecology and Management. 1999. Vol. 124. P. 93–104.

26. *Hooker T.D., Compton J.E.* Forest ecosystem carbon and nitrogen accumulation during the first century after agricultural abandonment // Ecol. Appl. 2003. Vol. 13. No. 2. P. 299–313.

27. *Kalinina, O., Goryachkin, S.V., Karavaeva, N.A., Lyuri, D.I., Najdenko, L., Giani, L.* Self-restoration of post-agrogenic sandy soils in the southern taiga of Russia: soil development, nutrient status, and carbon dynamics // Geoderma. 2009. Vol. 152. P. 35–42.

28. *Kalinina, O., Chertov, O., Dolgikh, A.V., Goryachkin, S.V., Lyuri, D.I., Vormstein, S., Giani, L.* Self-restoration of post-agrogenic Albeluvisol: Soil development, carbon stocks and dynamics of carbon pools // Geoderma. 2013. Vol. 152. P. 221–233.

29. *Kalinina, O., Goryachkin S.V., Lyuri, D.I., Giani, L.* Post-agrogenic development of vegetation, soils, and carbon stocks under self-restoration in different climatic zones of European Russia // Catena. 2015. Vol. 129. P. 18–29.

30. *Leifeld J., Kogel-Knabner I.* Soil organic matter fractions as early indicators for carbon stock changes under different land-use // *Geoderma*. 2005. Vol. 124. No. 1–2. P. 143–155.
31. *Li, X.J., Li, X.R, Wang, X.P. and Yang, H.T.* Changes in soil organic carbon fractions after afforestation with xerophytic shrubs in the Tengger Desert, northern China // *European Journal of Soil Science*. 2016. Vol. 67. No. 2. 184–195.
32. *Lopes de Gerenyu V.O., Kurganova I.N., Kuzyakov Ya.* Carbon pool and sequestration in former arable chernozems depending on restoration period // *Ekologija*. 2008. Vol. 54. No. 4. P. 232–238.
33. *Morris S.J., Bohm S., Haile-Mariam S., Paul E.A.* Evaluation of carbon accrual in afforested agricultural soils // *Glob. Chang. Biol.* 2007. Vol. 13. P. 1145–1156.
34. *Paul E.A., Morris S.J., Six J., Paustian K., Gregorich E.G.* Interpretation of soil carbon and nitrogen dynamics in agricultural and afforested soils // *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2003. Vol. 67. P. 1620–1628.
35. *Poeplau C., Don A.* Sensitivity of soil organic carbon stocks and fractions to different land-use changes across Europe // *Geoderma*. 2013. Vol. 192. P. 189–201.
36. *Smal H., Olszewska M.* The effect of afforestation with Scots pine (*Pinus silvestris* L.) of sandy post-arable soils on their selected properties. II. Reaction, carbon, nitrogen and phosphorus // *Plant Soil*. 2008. Vol. 305. P. 171–187.
37. *Vesterdal L., Ritter E., Gundersen P.* Change in soil organic carbon following afforestation of former arable land // *Forest Ecol. Manag.* 2002. Vol. 169. P. 137–147.

REFERENCES

1. Artem'eva Z.S., *Organicheskoe veshchestvo i granulometricheskaya sistema pochvy* (Organic matter and granulometric system of the soil), Moscow: GEOS, 2010, 240 p.
2. Artem'eva Z.S., Fedotov G.N., Sostav funktsional'nykh pulov legkorazлагаемого органического veshchestva avtomorfnykh zonal'nogo ryada pochv tsentra russkoi ravniny (the composition of functional pools of easily decomposable organic matter of automorphic zonal series of soils in the center of the Russian plain), *Vestnik Moskovskogo universiteta, Ser. 17, Pochvovedenie*, 2013, No. 4, pp. 3–10.
3. Artem'eva Z.S., Ryzhova I.M., Sileva T.M., Erokhova A.A., Stabilizatsiya organicheskogo ugleroda v mikroagregatakh dernovo-podzolistykh pochv v zavisimosti ot kharaktera zemlepol'zovaniya (Stabilization of organic carbon

in microaggregates of sod-podzolic soils depending on the nature of land use), *Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser. 17, Pochvovedenie*, 2013, No. 3, pp. 19–26.

4. Artem'eva Z.S., Ryzhova I.M., Sileva T.M., Podvezennaya M.A. Sostav komponentov mikrostruktury gumusovykh i pakhotnykh gorizontov dernovo-podzolistykh pochv (The composition of the microstructure components of humus and arable horizons of sod-podzolic soils), *Pochvovedenie*, 2014, No. 2, pp. 184–190.

5. Artem'eva Z.S., Nekotorye osobennosti dinamiki kachestvennogo sostava organicheskogo veshchestva dernovo-podzolistykh pochv v period zarastaniya pashni lesom (Some features of the dynamics of the qualitative composition of the organic matter of sod-podzolic soils during the period of arable land overgrowing with forest), *Problemy regional'noi ekologii*, 2017, No. 2, pp. 54–59.

6. Baranova O.Yu., *Antropogennye izmeneniya dernovo-podzolistykh pochv i ikh evolyutsiya pri lesovozobnovlenii. Dis. ... kand. biol. nauk* (Anthropogenic changes in sod-podzolic soils and their evolution during reforestation, Cand. biol. sci. thesis), Moscow, MGU, 1987, 122 p.

7. Baranova O.Yu., Nomerov G.B., Stroganova M.N., *Izmenenie svoystv pakhotnykh dernovo-podzolistykh pochv pri zarastanii lesom* (Change in the properties of arable sod-podzolic soils during forest overgrowing), In: *Pochvoobrazovanie v lesnykh biogeotsenozakh* (Soil formation in forest biogeocenoses), Moscow, 1989, pp. 60–78.

8. Vladychenskiy A.S., Telesnina V.M., *Sravnitel'naya kharakteristika postagrogennykh pochv yuzhnoi taigi v raznykh litologicheskikh usloviyakh* (Comparative characteristics of post-agrogenic soils of the southern taiga in different lithological conditions), *Vestnik MGU, Ser. 17, Pochvovedenie*, 2007, No. 4, pp. 3–10.

9. Erokhova A.A., Makarov M.I., Morgun E.G., Ryzhova I.M., *Izmenenie sostava organicheskogo veshchestva dernovo-podzolistykh pochv v rezul'tate estestvennogo vosstanovleniya lesa na pashne* (The change in the composition of the organic matter of sod-podzolic soils as a result of natural restoration of the forest on arable land), *Pochvovedenie*, 2014, No. 11, pp. 1308–1314.

10. Komarova T.V., Vasenev I.I., Alilov D.R., Taller E.B., *Ekologicheskaya otsenka suktessionnoi dinamiki pochvennykh zasobov ugleroda i potokov SO₂ v stoletnem ryadu zarastaniya zalezhi Tsentral'no-Lesnogo zapovednika* (Environmental assessment of succession dynamics of soil carbon stocks and CO₂ fluxes in the centennial row of overgrowth of the Central Forest Reserve), *Elektronnyi nauchno-proizvodstvennyi zhurnal "AgroEkoInfo"*, 2018, No. 3, URL: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2018/3/st_367.doc.

11. Kurganova I.N., Ermolaev A.M., Lopes de Gerenyu V.O. et al., Potoki i puly ugleroda v zaleznykh zemlyakh Podmoskov'ya (Carbon streams and pools in the fallow lands of the Moscow Region), In: *Pochvennye protsessy i prostranstvenno-vremennaya organizatsiya pochv* (Soil processes and spatio-temporal soil organization), Moscow: Nauka, 2006, pp. 271–284.
12. Kurganova I.N., Lopes de Gerenyu V.O., Rozanova L.N. et al., Mnogoletnii monitoring emissii CO₂ iz dernovo-podzolistoi pochvy: analiz vliyaniya gidrotermicheskikh uslovii i zemlepol'zovaniya (Long-term monitoring of CO₂ emissions from sod-podzolic soil: analysis of the influence of hydrothermal conditions and land use), In: *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem* (Problems of environmental monitoring and modeling of ecosystems), Vol. XXI, St. Petersburg: Gidrometeoizdat, 2007, pp. 23–44.
13. Litvinovich A.V., Pavlova O.Yu., Chernov D.V., Izmenenie gumusovogo sostoyaniya dernovo-podzolistoi peschanoi pochvy pri prekrashchenii antropogennogo vozdeistviya (Changes in the humus state of sod-podzolic sandy soil upon termination of anthropogenic impact), *Doklady Rossiiskoi akademii s/kh nauk*, 2002, No. 6, pp. 26–28.
14. Litvinovich A.V., Pavlova O.Yu., Plylova I.A., Izmenenie sostava rastitel'nogo pokrova, morfologicheskogo stroeniya pochvennogo profilya, soderzhaniya i zapasov gumusa v okul'turennoi dernovo-podzolistoi gleevatoi suglinistoi pochve v protsesse postagrogennoi evolyutsii (Changes in the composition of the vegetation cover, the morphological structure of the soil profile, and the content and reserves of humus in the cultivated sod-podzolic gleyous loamy soil in the process of post-agrogenic evolution), *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2011, No. 22, pp. 74–77.
15. Lyuri D.I., Goryachkin S.V., *Dinamika sel'skokhozyaistvennykh zemel' Rossii v KhKh veke i postagrogennoe vosstanovlenie rastitel'nosti i pochv* (The dynamics of agricultural land in Russia in the twentieth century and the post-agrogenic restoration of vegetation and soil), Moscow: GEOS, 2010, 246 p.
16. Matinyan N.N., Bakhmetova K.A., Alekseev S.S., Postagrogennaya transformatsiya pochv, sformirovannykh na kontrastnykh po granulometricheskomu sostavu porodakh (Post-agrogenic transformation of soils formed on rocks contrasting in terms of particle size distribution), In: *Gumus i pochvoobrazovanie* (Humus and soil formation), St. Petersburg – Pushkin, 2007, pp. 52–60.
17. Rossiya v tsifrakh 2017 (Russia in numbers), *Kratkii statisticheskii sbornik* (Brief statistical compilation), Moscow: Rosstat, 2017, 511 p.

18. Ryzhova I.M., Erokhova A.A., Podvezennaya M.A., *Izmenenie zapasov ugleroda v postagrogennykh ekosistemakh v rezul'tate estestvennogo vosstanovleniya lesov Kostromskoi oblasti* (The change in carbon reserves in post-hydrogen ecosystems as a result of natural restoration of forests in the Kostroma region), *Lesovedenie*, 2015, No. 4, pp. 307–317.
19. Telesnina V.M., Kurganova I.N., Lopes de Gerenyu V.O., Ovsepyan L.A., Lichko V.I., Ermolaev A.M., Mirin D.M., *Dinamika svoystv pochv i sostava rastitel'nosti v khode postagrogennogo razvitiya v raznykh bioklimaticheskikh zonakh* (Dynamics of soil properties and vegetation composition during post-agrogenic development in different bioclimatic zones), *Pochvovedenie*, 2017, No. 12, pp. 1514–1534.
20. Fomina A.S., *Intensivnost' protekaniya elementarnykh pochvoobrazovatel'nykh protsessov v dernovo-podzolistoi peschanoi pochve i puti dal'neishogo ispol'zovaniya zaleznykh zemel'* (The intensity of the occurrence of elementary soil-forming processes in sod-podzolic sandy soil and ways of further use of fallow lands), *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2009, No. 13, pp. 11–15.
21. Artemyeva Z., Zigova A., Kirillova N., Šťastný M., Holubík O., Podrázský V., *Evaluation of aggregate stability of Haplic Stagnosols using dynamic light scattering, phase analysis light scattering and color coordinates*, *Archives of Agronomy and Soil Science*, 2017, Vol. 63, No. 13, pp. 1838–1851.
22. Artemyeva Z.S., Žigová A., Kirillova N.P., Šťastný M., *Dynamics of organic matter in soils following a change in landuse on Permo-Carboniferous rocks in the Cesky Brod area (The Czech Republic)*, *Acta Geodymica et Geomaterialia*, 2018, Vol. 15, No. 4 (192), pp. 339–348.
23. Christensen B.T., *Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates*, *Advances in Soil Science*, 1992, Vol. 20, pp. 1–90.
24. Falkengen-Grerup U., ten Brink D.-J., Brunet J. *Land use effects on soil N, P, C and pH persist over 40-80 years of forest growth an agricultural soils*, *Forest Ecol. Manag.*, 2005, Vol. 225, pp. 74–81.
25. Guggenberger G., Zech W., *Soil organic matter composition under primary forest, pasture, and secondary forest succession, Region Huetar Norte, Costa Rica*, *Forest Ecology and Management*, 1999, Vol. 124, pp. 93–104.
26. Hooker T.D., Compton J.E., *Forest ecosystem carbon and nitrogen accumulation during the first century after agricultural abandonment*, *Ecol. Appl.*, 2003, Vol. 13, No. 2, pp. 299–313.
27. Kalinina O., Goryachkin S.V., Karavaeva N.A., Lyuri D.I., Najdenko L., Giani L., *Self-restoration of post-agrogenic sandy soils in the southern taiga of Russia: soil development, nutrient status, and carbon dynamics*, *Geoderma*, 2009, Vol. 152, pp. 35–42.

28. Kalinina O., Chertov O., Dolgikh A.V., Goryachkin S.V., Lyuri D.I., Vormstein S., Giani L., Self-restoration of post-agrogenic Albeluvisol: Soil development, carbon stocks and dynamics of carbon pools, *Geoderma*, 2013, Vol. 152, pp. 221–233.
29. Kalinina O., Goryachkin S.V., Lyuri D.I., Giani L., Post-agrogenic development of vegetation, soils, and carbon stocks under self-restoration in different climatic zones of European Russia, *Catena*, 2015, Vol. 129, pp. 18–29.
30. Leifeld J., Kogel-Knabner I., Soil organic matter fractions as early indicators for carbon stock changes under different land-use, *Geoderma*, 2005, Vol. 124, No. 1–2, pp. 143–155.
31. Li X.J., Li X.R., Wang X.P., Yang H.T., Changes in soil organic carbon fractions after afforestation with xerophytic shrubs in the Tengger Desert, northern China, *European Journal of Soil Science*, 2016, Vol. 67, No. 2, pp. 184–195.
32. Lopes de Gerenyu V.O., Kurganova I.N., Kuzyakov Ya., Carbon pool and sequestration in former arable chernozems depending on restoration period, *Ekologija*, 2008, Vol. 54, No. 4, pp. 232–238.
33. Morris S.J., Bohm S., Haile-Mariam S., Paul E.A., Evaluation of carbon accrual in afforested agricultural soils, *Glob. Chang. Biol.*, 2007, Vol. 13, pp. 1145–1156.
34. Paul E.A., Morris S.J., Six J., Paustian K., Gregorich E.G., Interpretation of soil carbon and nitrogen dynamics in agricultural and afforested soils, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 2003, Vol. 67, pp. 1620–1628.
35. Poeplau C., Don A., Sensitivity of soil organic carbon stocks and fractions to different land-use changes across Europe, *Geoderma*, 2013, Vol. 192, pp. 189–201.
36. Smal H., Olszewska M., The effect of afforestation with Scots pine (*Pinus silvestris* L.) of sandy post-arable soils on their selected properties. II. Reaction, carbon, nitrogen and phosphorus, *Plant Soil*, 2008, Vol. 305, pp. 171–187.
37. Vesterdal L., Ritter E., Gundersen P., Change in soil organic carbon following afforestation of former arable land, *Forest Ecol. Manag.*, 2002, Vol. 169, pp. 137–147.

УДК 631.4

DOI: 10.19047/0136-1694-2019-98-105-131

Ссылки для цитирования:

Прудникова Е.Ю., Варламов Е.Б., Чурилин Н.А., Чурилина А.Е. Дифференциация и баланс минералов при трансформации открытой поверхности пахотных почв под воздействием атмосферных осадков // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2019. Вып. 98. С. 105-131. DOI: 10.19047/0136-1694-2019-98-105-131

Cite this article as:

Prudnikova E.Yu., Varlamov E.B., Churilin N.A., Churilina A.E., Differentiation and balance of minerals during transformation of the open surface of arable soils under the impact of rain, Dokuchaev Soil Bulletin, 2019, V. 98, pp. 105-131, DOI: 10.19047/0136-1694-2019-98-105-131

ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ И БАЛАНС МИНЕРАЛОВ ПРИ ТРАНСФОРМАЦИИ ОТКРЫТОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПАХОТНЫХ ПОЧВ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ

© 2019 г. Е. Ю. Прудникова^{1,2*}, Е. Б. Варламов¹,
Н. А. Чурилин¹, А. Е. Чурилина¹

¹Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Россия,
119017, Москва, Пыжжевский пер, 7, стр. 2,

*<https://orcid.org/0000-0001-7743-8607>, e-mail: prudnikova_eyu@esoil.ru.

²Российский университет дружбы народов, Россия,
117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6.

Поступила в редакцию 20.05.2019, после доработки 05.07.2019,
принята к публикации 05.09.2019

В ходе модельного эксперимента изучались особенности изменения минералогического состава открытой поверхности пахотных почв (выщелоченный чернозем, серая лесная почва, дерново-подзолистая почва) под воздействием ударной силы дождевых капель в условиях чистого пара. По окончании эксперимента проведен минералогический анализ отдельных гранулометрических фракций: < 1, 1–5, 5–10 и > 10 мкм, – из микрокорочек, сформировавшихся на открытых поверхностях и почвенного субстрата, не подвергавшегося воздействиям атмосферных осадков. Исследованием установлено, что в ходе экспонирования произошло перераспределение и изменения долевых соотношений содержания разных гранулометрических фракций и связанных с ними

глинистых и кластогенных минералов. За время проведения опыта наиболее значительные изменения произошли в образце дерново-подзолистой почвы и выщелоченного чернозема, что связано с особенностями вещественного состава данных почв. Сильнее всего в экспонируемых образцах снизилось содержание глинистых минералов. Произошло перераспределение из верхнего микрослоя кластогенных минералов, большей частью из тонкопылеватой и в меньшей мере из среднепылеватой фракций, которое сопровождалось относительным накоплением фракции > 10 мкм. Перераспределение гранулометрических фракций сопровождалось относительным накоплением в них кварца, калиевого полевого шпата и уменьшением содержания хлорита и слюд-гидрослюд. Подобное распределение определяется разной устойчивостью минералов к выветриванию. Балансовыми расчетами установлено, что общие потери глинистых и кластогенных минералов из верхней открытой поверхности монолитов в сравнении с исходным почвенным субстратом составили более 4 кг / 100 кг монолита для серой лесной почвы, 16 кг / 100 кг монолита для выщелоченного чернозема и 46 кг / 100 кг монолита для дерново-подзолистой почвы.

Ключевые слова: фракционный состав, открытая поверхность почв, глинистые, кластогенные минералы, кварц, калиевые полевые шпаты, плагиоклазы, иллит, каолинит, хлорит.

DIFFERENTIATION AND BALANCE OF MINERALS DURING TRANSFORMATION OF THE OPEN SURFACE OF ARABLE SOILS UNDER THE IMPACT OF RAIN

**E. Yu. Prudnikova^{1,2*}, E. B. Varlamov¹,
N.A. Churilin¹, A.E. Churilina¹**

¹*V.V. Dokuchaev Soil Science Institute,
Russia, 119017, Moscow, Pizhevskiy per., 7, build. 2*

^{*}*<https://orcid.org/0000-0001-7743-8607>, e-mail: prudnikova_eyu@esoil.ru.*

²*People's Friendship University of Russia,
Russia, 117198, Moscow, Mikluho-Maklaya str., 6.*

Received 20.05.2019, Revised 05.07.2019, Accepted 05.09.2019

During the model experiment the changes in the mineralogical composition of the open surface of arable soil (leached chernozem, gray forest soil, sod-podzolic soil) under the impact of raindrops under fallow conditions were studied. At the end of the experiment a mineralogical analysis of individual particle size fractions < 1 , 1–5, 5–10 and > 10 μm from microcrusts formed on

open surfaces and a soil substrate not exposed to the effects of precipitation was conducted. The study found that during the exposure there was redistribution and changes in the proportional ratios of the contents of different particle size fractions and associated clay and clastogenic minerals. During the experiment the most significant changes due to their composition occurred in the sample of sod-podzolic soil and leached chernozem. The content of clay minerals in exposed samples decreased the most. The redistribution of clastogenic minerals from the upper open layer, mostly from fine silt and to a lesser extent from the middle silty fraction, was accompanied by a relative accumulation of the fraction $> 10 \mu\text{m}$. The redistribution of granulometric fractions was accompanied by a relative accumulation of quartz, orthoclases and a decrease in the content of chlorite and biotite in them. Such a distribution is determined by their resistance to weathering. Balance calculations allowed establishing that the total losses of clay and clastogenic minerals from the upper open surface of the monoliths in comparison with the initial soil substrate were more than 4 kg / 100 kg of monolith for gray forest soil, 16 kg / 100 kg of monolith for leached chernozem and 46 kg / 100 kg of monolith for sod-podzolic soil.

Keywords: fractional composition, open soil surface, clay, clastogenic minerals, quartz, orthoclase, plagioclase, illite, kaolinite, chlorite.

ВВЕДЕНИЕ

Наблюдения за состоянием открытой поверхности пахотных почв выявили ее значительную динамичность во времени ([Савин, Прудникова, 2014](#); [Prudnikova, Savin, 2018](#)). В период после уборки урожая и послеуборочной вспашки почвы осенью и до появления растительности весной (всходов посевов яровых культур или сорняков), когда поверхность пахотных почв открыта, происходит ее изменение под воздействием атмосферных явлений, в большей степени, атмосферных осадков.

Ударное воздействие капель дождя на открытую поверхность почвы приводит к разрушению поверхностных агрегатов. Высвобождающийся при этом тонкодисперсный материал частично уносится поверхностными водными потоками (на поверхностях с уклонами), а частично вымывается в поры и полости нижележащих слоев, приводя к кольматированию поверхности.

Образовавшийся уплотненный слой (корка) по мере высыхания растрескивается. На его поверхности, как правило, остаются более тяжелые водопрочные агрегаты почвы, а также включения и

крупные отмытые зерна минералов ([Savin, 1993](#); [Савин, 1995](#); [Assoulin, 2004](#); [Савин, Прудникова, 2014](#)).

Рядом ученых отмечалось, что происходящее под воздействием осадков перемещение тонкодисперсного материала и его трансформация вызывают определенные изменения в минералогическом составе поверхностного горизонта, касающиеся глинистых минералов и минеральных зерен более крупных фракций ([Biielders, Baveye, 1995](#); [Ben-Dor et al., 2003](#); [Савин, Прудникова, 2014](#)).

Эти процессы также приводят к изменению спектральной отражательной способности (СОС) поверхностного слоя пахотных почв ([Ben-Dor et al., 2003](#); [Eshel et al., 2004](#); [Goldshleger et al., 2004](#); [Савин, Прудникова, 2014](#); [Прудникова, Савин, 2016](#)). При этом в ходе трансформации поверхности также изменяется связь СОС с почвенными свойствами ([Prudnikova, Savin, 2018](#)), что, в свою очередь, влияет на возможность детектирования почвенных характеристик по дистанционным данным.

В результате изменения поверхности под воздействием осадков снижается маскирующее влияние гумуса и увеличивается вклад минералогического состава в СОС почв. Информация о том, как при этом меняется минералогический состав поверхности, позволит понять, какие именно минералы определяют ее СОС в процессе трансформации. Это, в свою очередь, откроет возможности для дистанционной оценки минералогического состава и мониторинга состояния поверхности пахотных почв.

Исследования изменений минералогического состава и долевого участия минералов открытых поверхностей почв под влиянием атмосферных условий не столь хорошо отражены в литературе, как анализ их элементного состава ([Чижикова, 1998, 2006](#); [Варламов, 2007](#)). Учитывая то обстоятельство, что многие процессы в ландшафте носят вероятностный характер, очевидно, что интерпретация данных (в частности, по динамике почвенных твердых стоков) является довольно сложной задачей и иногда приводит к неточности в расчетах при проведении натурных экспериментов. Модельные эксперименты с полным контролем условий их проведения позволяют свести вышеописанные недостатки к минимуму.

Целью исследования было изучение в модельном эксперименте изменения поверхностного перераспределения минералов, происходящего под воздействием атмосферных осадков на открытую поверхность насыпного образца пахотного горизонта почв

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования выступали два типа образцов: 1) смешанные образцы поверхностного горизонта пахотных почв (среднесуглинистого выщелоченного чернозема (Куликово поле, Тульская область), среднесуглинистой серой лесной (Богословский район, Тульская область) и супесчаной дерново-подзолистой почвы (Раменский район, Московская область)), 2) поверхностные соскобы (0.2 мм) из новообразованных корочек насыпных образцов трех указанных почв после эксперимента.

Для определения основных закономерностей влияния ударного воздействия капель на открытую поверхность была разработана специальная экспериментальная установка, представляющая собой горизонтальную раму с расположенными в ней в одной плоскости пластиковыми лотками в виде плоских подносов прямоугольной формы, размерами 0.4×0.6 м, высотой 7.5 см, со сплошным дном и перфорированными боковыми стенками, через отверстия, в которых осуществлялся отток избыточной воды. В лотки способом послойной засыпки с небольшим уплотнением помещались вышеуказанные смешанные образцы. Далее лотки с образцами на горизонтальной раме экспонировались под открытым небом в течение 120 дней с 7 июня по 5 октября 2017 г. (рис 1.).

Визуальное наблюдение за изменением поверхности почвенных субстратов лотков во времени документировались фотосъемкой. За период экспонирования было сделано 10 измерений: 7.06, 16.06, 26.06, 7.07, 11.07, 25.07, 31.07, 07.08, 08.08. Что касается метеорологических условий проведения эксперимента, следует отметить, что лето 2017 г. было нетипично холодным и дождливым. Количество выпавших осадков, по данным метеостанции Балчуг (ближайшей к месту экспонирования образцов), значительно превысило среднемесячную норму в июле (256.7 мм при норме в 85 мм) и июне (140 мм при норме 80 мм) и составило

64 % от всех осадков, выпавших за период экспонирования. За август, сентябрь и октябрь выпало 213.8 мм осадков. Максимальное количество осадков, выпавшее за один дождь, наблюдалось 3 и 31 июля и составило 56 и 55 мм соответственно. Всего за время проведения эксперимента через почвенные образцы прошло 620.4 мм осадков.



Рис. 1. Расположение экспонируемых образцов (слева направо: серая лесная почва, дерново-подзолистая почва, выщелоченный чернозем; фото сделано 27.06.2017).

Fig. 1. The location of exposed samples (from left to right: grey forest soil, soil podzolic soil, leached chernozem, photo was taken on 27.06.2017).

По окончании эксперимента из лотков каждого варианта для минералогического анализа отбирался образец из новообразованных микрокорочек открытой поверхности, с которых соскабливался образец весом, необходимым для минералогического анализа (рис. 2).



Рис. 2. Отбор монолитов для минералогического анализа.

Fig. 2. The collection of block samples for mineralogical analysis.

Почвенный субстрат из варианта с дерново-подзолистой почвой в конце эксперимента представлял собой однородную бес-

структурную легко рассыпчатую массу. Поэтому для данного варианта отбор образцов на исследование произведен из средней части, для которой установлены признаки мелко-комковатой структуры почвенного субстрата, с предварительным тщательным удалением рыхлого бесструктурного материала, располагающегося выше. Параллельно с этими образцами для установления минералогических изменений отбирались и контрольные образцы, послужившие основой для засыпки лотков, которые не подвергались никаким воздействиям в эксперименте.

Методы минералогических исследований. Изучен состав глинистых фракции < 1 мкм и кластогенных минералов во фракциях 1–5, 5–10 и > 10 мкм. Фракционное разделение образцов проведено по методике Горбунова ([Горбунов, 1963](#)) путем последовательного исчерпывающего отмучивания, органическое и аморфные вещества перед фракционированием удалялись. Минералогический состав исследовали с помощью универсального рентген-дифрактометра HZG-4a. Режим съемки: излучение Cu , напряжение на трубке 30 кВ, сила тока 20 мА, угловая скорость движения счетчика 2θ град/мин. Расчеты производили с применением программного обеспечения дифрактометр-авто, версия 2016 разработчик ООО “Ирис”. Съемка ориентированных препаратов, насыщенных магнием, выполнена для фракции < 1 мкм в трех состояниях образца: воздушно-сухом, сольватированном этиленгликолем, после прокаливании в течение двух часов при температуре $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ с целью уточнения особенностей кристаллохимического строения лабильных минералов. Препараты кластогенных минералов других фракций, имеющие жесткую кристаллическую структуру, сняты только в воздушно-сухом состоянии. Качественный состав минералов установлен по известным рекомендациям ([Рентгеновские методы и структура..., 1965](#); [Градусов, 1967](#); [Соколова и др., 2005](#)). Количественный анализ проведен по следующим методикам: для глинистых минералов полуколичественное по соотношению основных минеральных фаз – методом Бискайя ([Biscaye, 1965](#)), кластогенные минералы – методом Кука ([Cook et al., 1975](#)).

Точность анализа кластогенных минералов оценена коэффициентом вариации результатов съемок их стандартных калиб-

ровочных смесей (съемка 3 препаратов по 3 раза). В зависимости от содержания минералов в смесях он характеризуется следующими параметрами (отн. %): кварц – 2.9–3.3; полевые шпаты – 3.8–8.9; слюды – 4.7–20; хлорит – 15–26. Те же данные для глинистых минералов (съемка 3 препаратов фракции < 1 мкм по 3 раза): группа смектита – 2.5–3.0; иллит – 2.2–2.6; хлорит (ил) – 12–25; каолинит (ил) – 15–25, каолинит (фр. > 1 мкм) – 20–30. При анализе кластогенных и глинистых минералов конечным результатом являлось среднее значение из четырех измерений (две съемки двух препаратов). При очередной съемке препарат поворачивался на 90 градусов с целью снижения влияния возможного неоднородного распределения суспензии на стекле ([Алексеев, 1994](#)).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Минералогия фракций (все расчеты приведены на образец в целом)

Образец 1: чернозем выщелоченный. Исходный образец (контроль) по гранулометрическому составу является иловато-крупнопылеватым с преобладанием пылевой и > 10 мкм фракций. По окончанию эксперимента произошло заметное облегчение почвенного монолита по сравнению с контролем. В верхнем микрослое (0.2 мм) монолита существенно снизилось содержание ила, примерно одинаковые потери наблюдались во фракциях тонкой и средней пыли, при этом относительно увеличилось содержание фракции > 10 мкм (рис. 3).

Преобладающими минералами кластогенных минералов контроля выщелоченного чернозема по мере убывания отмечен следующий ряд: кварц, калиевые полевые шпаты, плагиоклаз, слюды диоктаэдрического типа, хлорит магнезиально-железистый и несовершенный каолинит. По мере увеличения размерности фракции в них возрастают доли кварца, калиевого полевого шпата, плагиоклаза, хлорита, а слюды и каолинита, напротив, снижается, причем каолинит в размерности > 10 мкм отсутствует (рис. 4).

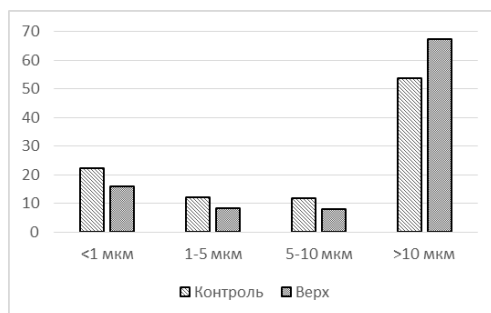


Рис. 3. Содержание гранулометрических фракций, выделенных по методу Н. И. Горбунова, в образце чернозема выщелоченного (%).

Fig. 3. The content of particle-size fractions, obtained by N.I. Gorbunov's method, in the sample of leached chernozem (%).

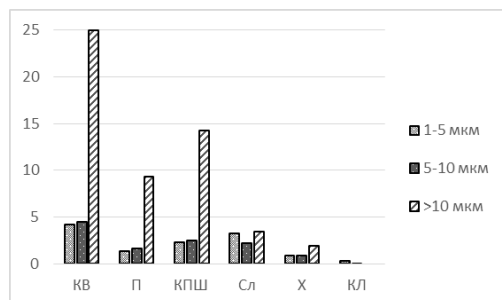


Рис. 4. Содержание минералов различных фракций для контрольного варианта выщелоченного чернозема (%): КВ – кварц; П – плагиоклазы; КПШ – калиевые полевые шпаты; Сл – слюды; Х – хлорит; КЛ – каолинит.

Fig. 4. The content of minerals of different particle-size fractions in control sample of leached chernozem (%): КВ – quartz; П – plagioclases; КПШ – orthoclases; Сл – biotite; Х – chlorite; КЛ – kaolinite.

В процессе перераспределения фракций к концу эксперимента произошли изменения количественного содержания кластогенных минералов в верхних 0.2 мм. Большей частью изменения затронули кварц, полевые шпаты, слюды и незначительно – хлорит и каолинит. В микрокорочке значительно снизилась доля кварца во фракциях мелкой и средней пыли и большим его накоплением во фракции > 10 мкм (рис. 5). Содержание остальных кластогенных минералов также уменьшилось. Несмотря на суще-

ственное увеличение относительного содержания фракции > 10 мкм, соотношение долевого содержания минералов осталось практически таким же, как и до экспонирования (рис. 5в).

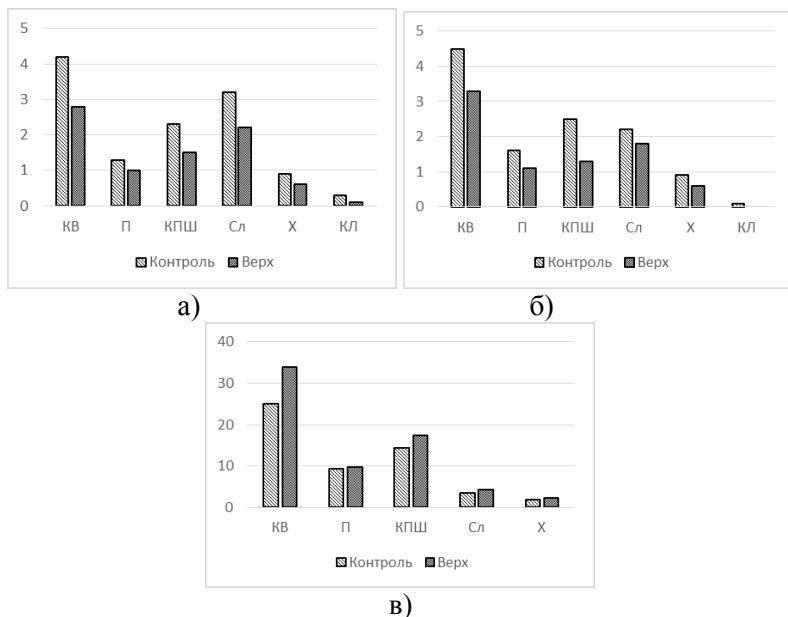


Рис. 5. Перераспределение кластогенных минералов в процессе экспонирования выщелоченного чернозема (%): а) 1–5 мкм; б) 5–10 мкм; в) > 10 мкм.

Fig. 5. Redistribution of clastic minerals during the exposure of leached chernozem (%): а) 1–5 μm ; б) 5–10 μm ; в) > 10 μm .

Глинистые минералы контроля представлены сложным неупорядоченным смешаннослойным образованием с чередованием пакетов смектитового и иллитового типов с высоким содержанием смектитовых пакетов и с незначительным переслаиванием хлорита. Далее по убыванию в содержании следует иллит диоктаэдрического типа в сопровождении магнезиально-железистого хлорита и несовершенного каолинита.

По окончании модельного эксперимента было установлено, что дифференциация фракционного состава сказалась на всех гли-

нистых минералах, содержание которых значительно снизилось в процессе экспонирования по сравнению с контролем (рис. 6).

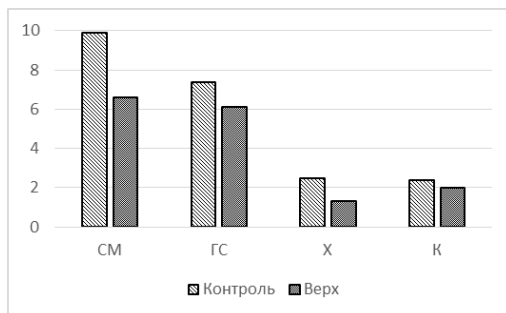


Рис. 6. Изменение содержания глинистых минералов в ходе модельного эксперимента в образце выщелоченного чернозема (%): CM – смешаннослойные минералы, GS – гидрослюда, X – хлорит, K – каолинит.

Fig. 6. Change in the content of clay minerals during the model experiment in the sample of leached chernozem (%): CM – mixed-layer minerals, GS – hydromicas, X – chlorite, K – kaolinite.

Образец 2: серая лесная почва. Исходный образец (контроль) по гранулометрическому составу является иловато-крупнопылеватым суглинком с преобладанием фракции > 10 мкм. По окончании эксперимента произошло облегчение грансостава почвенного поверхностного микрослоя. Установлена потеря ила и фракций тонкой и средней пыли, причем для последней потеря более существенная. Перераспределение этих фракций привело к относительной прибавке долевого соотношения фракции > 10 мкм (рис. 7).

Преобладающими кластогенными минералами является кварц, калиевые полевые шпаты, плагиоклаз, слюды (мусковит) диоктаэдрического типа, хлорит железистый и незначительное количество совершенного каолинита.

При увеличении размерности фракций в них возрастают доли кварца, калиевого полевого шпата, плагиоклаза, а слюды и каолинита напротив снижается, причем каолинит во фракции > 10 мкм отсутствует (рис. 8).

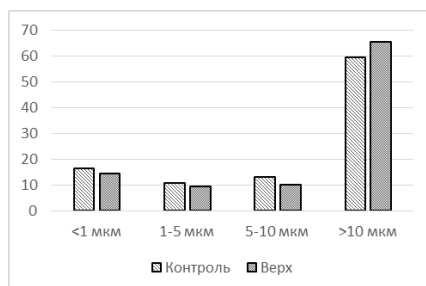


Рис. 7. Содержание гранулометрических фракций, выделенных по методу Н. И. Горбунова, в образце серой лесной почвы (%).

Fig. 7. The content of particle-size fractions, obtained by N.I. Gorbunov's method, in the sample of grey forest soil (%).

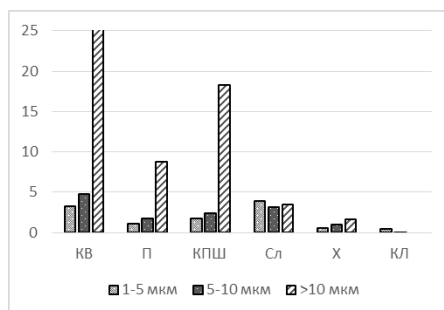


Рис. 8. Содержание минералов различных фракций для контрольного варианта серой лесной почвы (%): КВ – кварц; П – плагиоклазы; КПШ – калиевые полевые шпаты; Сл – слюды; Х – хлорит; КЛ – каолинит.

Fig. 8. The content of minerals of different particle-size fractions in control sample of grey forest soil (%): KB – quartz, П – plagioclases, КПШ – orthoclases, Сл – biotite, Х – chlorite, КЛ – kaolinite.

По окончании опыта для поверхностной микрокорочки монолита во фракциях мелкой и средней пыли установлено снижение доли кварца, слюд и незначительное уменьшение содержания калиевых полевых шпатов, плагиоклазов и хлоритов (рис. 9а, 9б).

Количественные изменения содержания минералов затронули фракции 1–5 и 5–10 мкм, содержание фракции >10 мкм изменилось незначительно. Таким образом, более высокие значения суммарного содержания фракций > 1 мкм и установленное незна-

чительное перераспределение фракций в конце опыта в монолите и затронули в основном фракцию 1–5 мкм, а в ней кварц и слюды.

Во фракции > 10 мкм наблюдается небольшое накопление кварца, плагиоклазов и хлорита (рис. 9в).

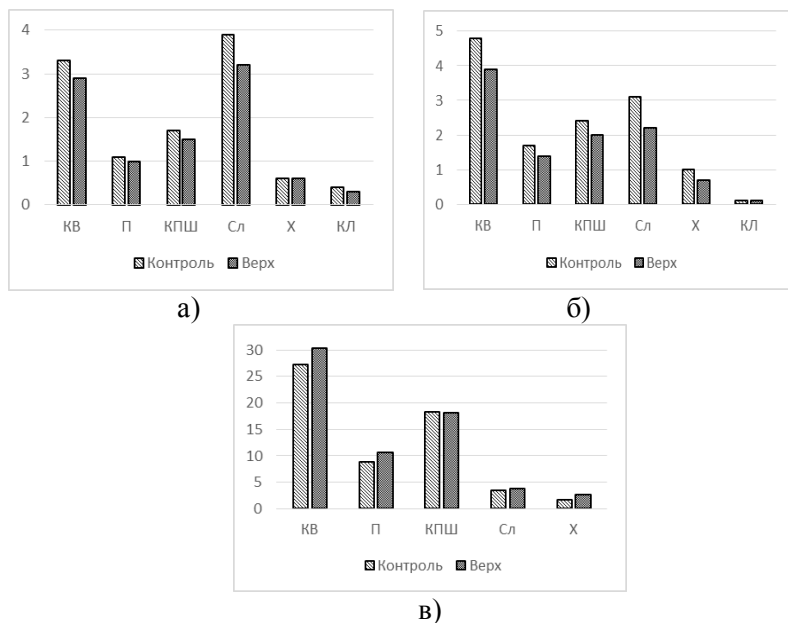


Рис. 9. Перераспределение кластогенных минералов в процессе экспонирования серой лесной почвы (%): а) 1–5 мкм, б) 5–10 мкм, в) > 10 мкм.

Fig. 9. Redistribution of clastic minerals during the exposure of grey forest soil (%): а) 1–5 μm, б) 5–10 μm, в) > 10 μm.

Глинистые минералы контроля данного образца преимущественно представлены набухающими минералами (индивидуальным смектитом) и неупорядоченными смешанослойными минералами (иллит-смектит) с высоким содержанием иллитовых пакетов с незначительной сегрегацией вермикулитовых и хлоритовых пакетов доля которых около 48 %, иллитом диоктаэдрического с долей 30 % в сопровождении незначительного количества железистого хлорита и каолинита совершенной формы.

За время проведения эксперимента в новообразованных микрокорочках произошло уменьшение доли всех глинистых минералов (рис. 10). Наибольшее снижение отмечается для лабильных минералов. При этом произошло относительное увеличение доли каолинита на фоне незначительной потери хлорита.

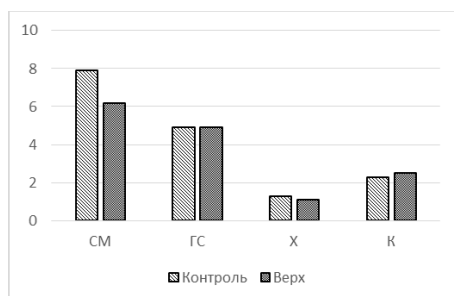


Рис. 10. Изменение содержания глинистых минералов в ходе модельного эксперимента в образце серой лесной почвы, (%): СМ – смешаннослойные минералы, ГС – гидрослюда, Х – хлорит, К – каолинит.

Fig. 10. Change in the content of clay minerals during the model experiment in the sample of grey forest soil (%): CM – mixed-layer minerals, ГС – hydromicas, X – chlorite, K – kaolinite.

Наблюдаемое менее заметное, по сравнению с выщелоченным черноземом, изменение минералогического состава илистой и тонкопылеватой фракций, произошедшее в процессе экспонирования в верхнем микрослое образца серой лесной почвы, скорее всего, обусловлено меньшим содержанием данных фракций в исходном образце серой лесной почвы и более высоким потенциалом хорошо агрегированного образца чернозема к разрушению агрегатов под воздействием атмосферных осадков.

Существенное увеличение содержания фракции > 10 мкм в верхнем микрослое выщелоченного чернозема, произошедшее в ходе модельного эксперимента, по-видимому, также связано с его более высокой агрегированностью.

Образец 3: дерново-подзолистая почва. В исходном образце (контроль) преобладает фракция > 10 мкм с участием иловато-крупнопылеватых фракций с примерно одинаковой долей тонкой и средней пыли. По окончании эксперимента произошла полная

потеря структуры почвенного монолита, которая сопровождалось перераспределением долевого соотношения фракций тонкой и средней пыли с относительным увеличением доли фракции > 10 мкм (рис. 11).

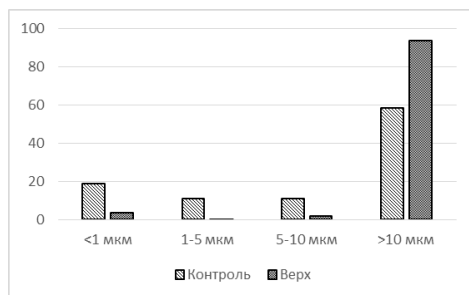


Рис. 11. Содержание гранулометрических фракций, выделенных по методу Н. И. Горбунова, в образце дерново-подзолистой почвы (%).

Fig. 11. The content of particle-size fractions, obtained by N.I. Gorbunov's method, in the sample of sod-podzolic soil (%).

Состав кластогенных минералов контроля представлен в основном кварцем, далее в порядке уменьшения содержания следуют калиевые полевые шпаты, слюды (мусковит), плагиоклаз, в незначительном количестве присутствуют хлорит и каолинит.

Распределение минералов во фракциях аналогично другим вариантам (рис. 12). По мере увеличения размерности фракции в них возрастают доли кварца, калиевого полевого шпата, плагиоклаза, а слюды, хлорита и каолинита, напротив, снижается. Каолинит во фракции > 10 мкм отсутствует.

Существенный вынос из средней части тела монолита фракций размерностью 1–5 и 5–10 мкм привел к относительному доминированию минералов фракции > 10 мкм (рис. 13). Это привело к значительному увеличению доли кварца и незначительно слюд и хлорита.

Таким образом, установленный вынос и последующее перераспределение фракций тонкой и средней пыли кластогенных минералов привели к существенному изменению долевого участия минералов этого варианта.

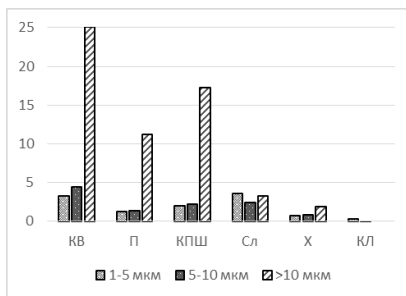


Рис. 12. Содержание минералов различных фракций для контрольного варианта дерново-подзолистой почвы (%): KB – кварц; П – плагиоклазы; КПШ – калиевые полевые шпаты; Сл – слюды; X – хлорит; КЛ – каолинит.

Fig. 12. The content of minerals of different particle-size fractions in control sample of sod-podzolic soil (%): KB – quartz, П – plagioclases, КПШ – orthoclases, Сл – biotite, X – chlorite, КЛ – kaolinite.

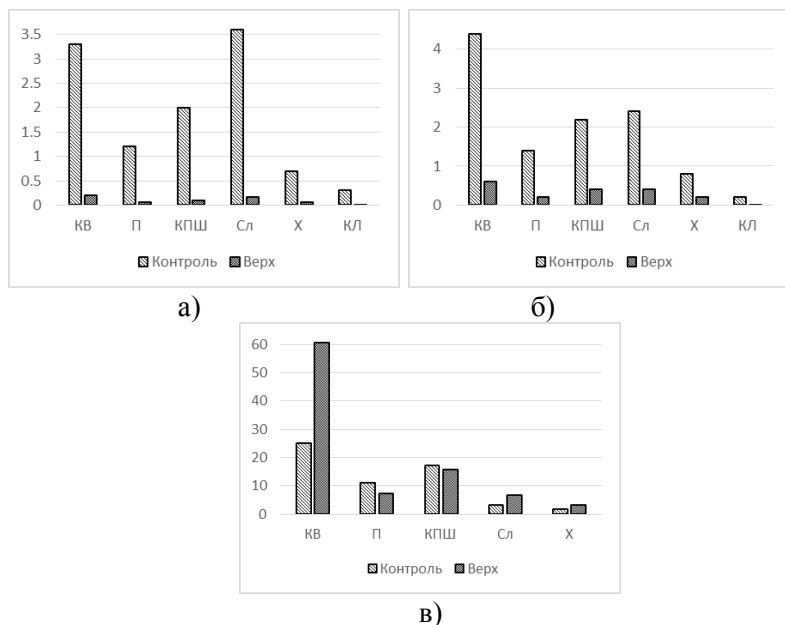


Рис. 13. Перераспределение кластогенных минералов в процессе экспонирования дерново-подзолистой почвы (%): а, 1–5 мкм, б) 5–10 мкм, в) > 10 мкм.

Fig. 13. Redistribution of clastic minerals during the exposure of sod-podzolic soil (%): а) 1–5 μm , б) 5–10 μm , в) > 10 μm .

Существенно более высокие значения в содержании кварца, калиевых полевых шпатов на фоне уменьшения в доле соотношении плагиоклаза, слюды и хлорита объясняются практически полным отсутствием фракции тонкой и средней пыли, в которых эти минералы присутствуют в значительном количестве.

Глинистые минералы контроля преимущественно состоят из набухающих минералов (сметита) и неупорядоченных смешанослойных минералов (иллит-сметита с высоким содержанием иллитовых пакетов), доля которых около 40 %, иллита диоктаэдрического с долей около 40 % в сопровождении незначительного количества железистого хлорита и каолинита совершенной формы.

По окончании эксперимента для данного варианта установлено пропорциональное снижение долевого содержания всех глинистых минералов (рис. 14).

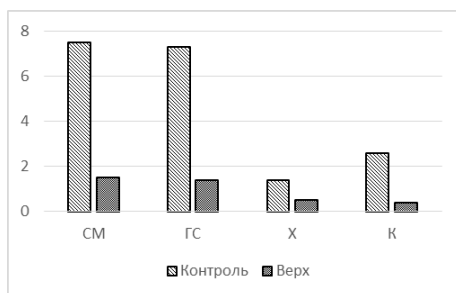


Рис. 14. Изменение содержания глинистых минералов в ходе модельного эксперимента в образце дерново-подзолистой почвы (%): CM – смешанослойные минералы, GC – гидрослюда, X – хлорит, К – каолинит.

Fig. 14. Change in the content of clay minerals during the model experiment in the sample of sod-podzolic soil (%): CM – mixed-layer minerals, GC – hydromicas, X – chlorite, K – kaolinite.

Указанные потери фракций размерности < 1, 1–5 мкм (глинистых, тонкопылеватых) мы связываем с механизмом трансформации поверхностного слоя под воздействием ударной силы дож-

девых капель при данном гранулометрическом составе и с особенностью материала, отобранного для экспериментального монолита.

В отличие от других рассмотренных вариантов, для данного варианта на супесчаных почвах выпадение осадков вызывает “просеивание” тонкодисперсного материала внутрь почвенного профиля и отмывку минеральных зерен от гумусовых пленок, на поверхности при этом относительно увеличивается концентрация песчаных зерен ([Valentin, Bresson, 1992](#); [Bielders, Baveye, 1995](#); [Варламов, 2007](#)).

Мономинеральные зерна кварца, полевого шпата, плагиоклаза, которые составляют минералогическую основу данного образца, представляют собой окатанные частицы сферической или близкой к ней формы с отсутствием на поверхностях полостей, сколов, карманов или трещин, что не способствует задержанию тонкодисперсного материала. На этом фоне, по-видимому, изначально подверженный кислотной деструкции материал быстро теряет глинистые пленки и тонкодисперсные фракции, что приводит к быстрой потере структуры, а освобожденный глинистый материал тонкодисперсных минералов сразу перемещается вглубь экспериментального монолита. Все это приводит в итоге к полной потере как глинистых минералов из тонкодисперсных частиц, так и кластогенных минералов тонкопылевой – пылевой размерностей.

Баланс первичных и глинистых минералов силикатной части почв опыта

Главное условие для корректного расчета баланса минералов в профилях вариантов опыта – это исходная (на начало эксперимента) однородность в пределах глубин отбора образцов. Данное условие было выполнено путем тщательной предварительной пробоподготовки, гомогенизации почвенного материала перед засыпкой в лотки в начале эксперимента. Итоговые результаты такого расчета балансовых потерь и прибавок по кластогенным минералам > 1мкм представлены в таблице 1. С балансом глинистых минералов можно ознакомиться в таблице 2. Таблица построена по тому же принципу, что и для кластогенных минералов.

Образец 1: выщелоченный чернозем

Рассчитанный баланс кластогенных и глинистых минералов по отношению к кварцу для верхней микрокорочки монолита полностью отрицательный (табл. 1, 2). Для кластогенных минералов установлены небольшие потери полевого шпата, плагиоклаза, слюд и хлорита (11–24 % по сравнению с контролем). Содержание каолинита уменьшилось в два раза. Итоговые потери кластогенных минералов по верхней плоскости монолита составили 7.5 кг / 100 кг монолита (табл. 1).

Наибольшие потери среди глинистых минералов наблюдались для хлорита (56 % по сравнению с контролем) и смешанно-слоистых минералов (40 % по сравнению с контролем). Содержание гидрослюд и каолинита в верхней плоскости уменьшилось на 30 % по сравнению с контролем. Итоговые потери глинистых минералов по верхней плоскости составили 8.8 кг / 100 кг монолита (табл. 2).

Образец 2: серая лесная почва

Баланс кластогенных минералов для верхней плоскости монолита отрицательный, за исключением положительного для плагиоклаза и хлорита, составляющий соответственно 0.9 кг / 100 кг и 0.3 кг / 100 кг от монолита. Установлены наибольшие потери слюд и полевого шпата. Итоговые потери первичных минералов по верхней плоскости монолита составили 2.1 кг / 100 кг монолита (табл. 1).

Баланс глинистых минералов для верхней плоскости преимущественно отрицательный. Сильнее всего снизилось содержание смешанно-слоистых минералов. Потери составили 2 кг / 100 кг монолита (25 % от содержания в контроле). Небольшие потери установлены для гидрослюд и хлорита. Также отмечается незначительное накопление каолинита. Итоговые потери глинистых минералов по верхней плоскости составили 2.4 кг / 100 кг монолита (табл. 2).

Образец 3: дерново-подзолистая почва

Баланс кластогенных и глинистых минералов для монолита отрицательный. Установлены максимальные потери полевого шпата, плагиоклаза, слюд, в меньшей мере для остаточного као-

линита. Итоговые потери кластогенных минералов составили 29.8 кг / 100 кг монолита (табл. 1).

Итоговые потери глинистых минералов по верхней плоскости составили 16.8 кг / 100 кг монолита (89 % от содержания в контроле) (табл. 2).

Таким образом, для варианта дерново-подзолистой почвы установлен энергичный вынос всех кластогенных минералов в основном тонкопылевой и пылевой размерности и практически полная потеря всех глинистых минералов.

Таблица 1. Баланс кластогенных минералов в образцах в модельном опыте³

Table 1. Balance of clastic minerals in samples of the model experiment

Образец		Выщелоченный чернозем		Серая лесная		Дерново-подзолистая	
Место отбора		Верх	Контроль	Верх	Контроль	Верх	Контроль
Весовой % в почве	КВ	40.1	33.6	37.1	35.4	61.5	32.8
	П	11.8	12.2	13.0	11.5	7.6	13.8
	КПШ	20.3	19.1	21.7	22.3	16.2	21.5
	Сл	8.2	8.8	9.3	10.5	7.4	9.3
	Х	3.3	3.7	3.8	3.3	3.6	3.4
	КЛ	0.2	0.4	0.4	0.5	0.0	0.4
	Фракция > 1мм	83.9	77.8	85.4	83.6	96.3	81.2
Мгн, кг / 100 кг породы	КВ	33.6	33.6	35.4	35.4	32.8	32.8
	П	9.9	12.2	12.4	11.5	4.1	13.8
	КПШ	17.0	19.1	20.7	22.3	8.6	21.5
	Сл	6.9	8.8	8.9	10.5	3.9	9.3
	Х	2.8	3.7	3.6	3.3	1.9	3.4
	КЛ	0.2	0.4	0.4	0.5	0.0	0.4
	Сумма	70.3	77.8	81.4	83.5	51.4	81.2
Мг, кг / 100 кг породы	КВ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	П	-2.3	0.0	0.9	0.0	-9.7	0.0
	КПШ	-2.1	0.0	-1.6	0.0	-12.9	0.0
	Сл	-1.9	0.0	-1.6	0.0	-5.4	0.0
	Х	-0.9	0.0	0.3	0.0	-1.5	0.0
	КЛ	-0.2	0.0	-0.1	0.0	-0.4	0.0
	БПМ	-7.5	0.0	-2.1	0.0	-29.8	0.0

³

В нижней части таблицы показаны исходное содержание первичных минералов в контрольных образцах и их содержание в верхнем слое отобранных из монолитов заложенного в лотки гомогенизированного почвенного материала, приведенное к содержанию кварца в контроле в соответствии с обозначением вариантов опыта.

Таблица 2. Баланс глинистых минералов в образцах в модельном опыте
Table 2. Balance of clay minerals in the samples of the model experiment

Образец		Выщелоченный чернозем		Серая лесная		Дерново-подзолистая	
Место отбора		Верх	Контроль	Верх	Контроль	Верх	Контроль
Весовой % в почве	СМ	6.6	9.9	6.2	7.9	1.5	7.5
	ГС	6.1	7.4	4.9	4.9	1.4	7.3
	Х	1.3	2.5	1.1	1.3	0.5	1.4
	К	2.0	2.4	2.5	2.3	0.4	2.6
	Фракция >1мкм	16.1	22.2	14.7	16.4	3.8	18.8
Мгп. кг / 100 кг исходная почва	СМ	5.5	9.9	5.9	7.9	0.8	7.5
	ГС	5.1	7.4	4.7	4.9	0.7	7.3
	Х	1.1	2.5	1.0	1.3	0.3	1.4
	К	1.7	2.4	2.4	2.3	0.2	2.6
	Сумма	13.4	22.2	14.0	16.4	2.0	18.8
Мд. кг / 100 кг исходная почва	СМ	-4.4	0.0	-2.0	0.0	-6.7	0.0
	ГС	-2.3	0.0	-0.2	0.0	-6.6	0.0
	Х	-1.4	0.0	-0.3	0.0	-1.1	0.0
	К	-0.7	0.0	0.1	0.0	-2.4	0.0
	Бгм	-8.8	0.0	-2.4	0.0	-16.8	0.0
Баланс	Бпм	-7.5	0.0	-2.1	0.0	-29.8	0.0
	Бгм	-8.8	0.0	-2.4	0.0	-16.8	0.0
	Бо	-16.3	0.0	-4.5	0.0	-46.6	0.0

Примечание: Мгп – содержание минерала в горизонте, приведенное к содержанию кварца в исходной почве; Мд – убыль (прибавка) минерала в сравнении с исходной почвой; Бпм баланс кластогенных (первичных) минералов; Бгм – баланс глинистых минералов; Бо – общий баланс минералов.

Наблюдаемое облегчение гранулометрического состава поверхностного микрослоя анализируемых почв сопровождается снижением содержания органического вещества, которое сосредоточено, главным образом, в илистой и тонкопылеватых фракциях. Соответственно, вклад органического вещества в спектральные свойства открытой поверхности исследуемых почв и его маскирующая роль в процессе трансформации поверхности под воздействием ударной силы дождевых капель уменьшаются, а вклад минералогического состава, наоборот, возрастает.

На фоне отрицательного баланса кластогенных минералов, усиливается вклад кварца в спектральное отражение открытой поверхности анализируемых почв. Его накопление во фракции > 10 мкм также будет приводить к изменению спектрального отражения трансформированного поверхностного микрослоя. В частности, из этого следует, что при трансформации открытой поверхности почв под влиянием дождя увеличивается роль минералогического

ского состава почв в формировании спектрального облика открытой поверхности почв и уменьшается роль гумусовых веществ. Это подтверждает предположение о том, что для детектирования по данным дистанционного зондирования гумусного состояния почв съемку лучше проводить когда поверхность почв свежеевпашана, а для детектирования минералогического состава – когда поверхность максимально трансформирована дождем ([Савин, Прудникова, 2014](#)).

ВЫВОДЫ

Воздействие атмосферных осадков на поверхность экспонируемых образцов привело к перераспределению содержания гранулометрических фракций, которое сопровождалось изменением их минералогического состава.

Основные изменения сопровождалась локализованной по открытой поверхности дифференциацией минералогического состава исследуемых монолитов почв. Совокупный анализ распределения гранулометрических фракций корочек микрогоризонтов открытой поверхности в сравнении с исходными почвенными субстратами для всех вариантов опыта показал, что наиболее информативными являются илистая и тонкопылеватая фракции.

Для всех экспонируемых образцов наблюдались общие тенденции в изменении минералогического состава, а основные различия проявляются, главным образом, в масштабе наблюдаемых трансформаций. Сильней всего профильная дифференциация проявилась в дерново-подзолистой почве, далее – в выщелоченном черноземе и менее всего – в серой лесной почве, что обусловлено особенностями исходного вещественного состава исследуемых почв (большая агрегированность образца чернозема и, соответственно, его больший потенциал к изменениям под воздействием дождя, а также разница в гранулометрическом составе почв).

Рассчитанный баланс минералов по отношению к содержанию кварца в исходных почвенных субстратах показал, что наиболее значительные количественные изменения для всех вариантов затронули глинистые минералы, а в ходе экспонирования произошло существенное уменьшение их содержания в верхних

микрокорочках. Только в серой лесной почве наблюдалось незначительное накопление каолинита в верхней плоскости.

Наблюдаемые процессы перераспределения содержания гранулометрических фракций, интенсивного выноса глинистых и кластогенных минералов и накопления кварца во фракции > 10мкм будут сопровождаться изменением спектральной отражательной способности поверхностного микрослоя анализируемых почв за счет снижения маскирующего влияния органического вещества и усиления вклада отдельных минералов.

Установленные закономерности необходимо учитывать при разработке и использовании методов дистанционного картографирования свойств почв и при установлении связей данных дистанционного зондирования со свойствами почв.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ 18-016-00052/19.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

18. *Алексеев В.Е.* Способ количественного определения первичных минералов в почвах и породах методом рентгеновской дифрактометрии // Почвоведение. 1994. № 1. С. 104–109.
19. *Варламов Е.Б.* Особенности состава глинистых минералов черноземов на склонах Южной Молдовы // Почвоведение и Агрохимия. 2007. № 2. Минск. С. 47–53.
20. *Горбунов Н.И.* Высокодисперсные минералы и методы их изучения их изучения. М.: Изд-во АН СССР. 1963. 302 с.
21. *Градузов Б.П.* Рентгендифрактометрический метод в минералогических исследованиях почв // Почвоведение. 1967. № 10. С. 127–137.
22. *Первова Н.Е., Золотарев Г.В.* О некоторых итогах исследований на модельных лизиметрах Почвенного стационара МГУ // Всероссийский журнал научных публикаций. 2012. № 4. С. 12–15.
23. *Прудникова Е.Ю., Савин И.Ю.* Исследование оптических свойств открытой поверхности почв // Оптический журнал. 2016. Т. 83. № 10. С. 79–86. DOI: [10.1364/JOT.83.000642](https://doi.org/10.1364/JOT.83.000642).
24. Рентгеновские методы изучения и структура глинистых минералов / Под. ред. *Брауна Г.* М.: Мир, 1965. 599 с.

25. *Савин И.Ю.* Влияние ливневого дождя на интегральную отражательную способность поверхности черноземных почв // Почвоведение. 1995. № 8. С. 976–980.
26. *Савин И. Ю., Прудникова Е. Ю.* Об оптимальном сроке спутниковой съемки для картографирования пахотных почв // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2014. №. 74. С. 66–77. URL: <https://yadi.sk/i/F9Vfe-zOfhjqs>.
27. *Соколова Т.А., Дронова Т.Я. Толпешина И.И.* Глинистые минералы в почвах: Учебное пособие. Тула: Гриф и К, 2005. 336 с.
28. *Чижикова Н.П.* Минералогический состав взвесей лизиметрических вод в решении проблем миграции минералов // Тез. Докл. На 1-й Всеросс. конф. Лизиметрическое исследование почв. М.: Изд-во МГУ. 1998. С. 137–140.
29. *Чижикова Н.П., Верховец И.А., Владыченский А.С.* Поведение компонентов илистых фракций в модельных экосистемах почвенных лизиметров // Почвоведение. 2006. № 9. С. 1088–1097.
30. *Assouline S.* Rainfall-induced soil surface sealing: a critical review of observation of clay suspensions // Soil Sci. 2004. Vol. 127. P. 134–139. DOI: [10.2136/vzj2004.0570](https://doi.org/10.2136/vzj2004.0570).
31. *Ben-Dor E., Goldshleger N., Benyamini Y., Agassi M. R., Blumberg. D. G.* The spectral reflectance properties of soil structural crusts in the 1.2-to 2.5- μ m spectral region // Soil Science Society of America Journal. 2003. Vol. 67. No. 1. P. 289–299. DOI: [10.2136/sssaj2003.2890](https://doi.org/10.2136/sssaj2003.2890).
32. *Bielders C. L., Baveye P.* Processes of structural crust formation on coarse-textured soils // European Journal of Soil Science. 1995. Vol. 46. No. 2. P. 221–232. DOI: [10.1111/j.1365-2389.1995.tb01830.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1995.tb01830.x).
33. *Biscaye P.E.* Mineralogy and sedimentation of the deep-sea sediment fine fraction in the Atlantic Ocean // Geochem. Techn. Rept. N.Y. 1964. Vol. 8. P. 97–105.
34. *Cook H.E., Johnson P.D., Matti J.C., Zemmels I.* Methods of sample preparation and X-ray diffraction data analysis // X-ray Mineralogy Laboratory. Deep Sea Drilling Project. University of California. DSDP. 28: Washington (U.S. Govt. Printing Office). 1975. P. 999–1007.
35. *Eshel G., Levy G. J., Singer M. J.* Spectral reflectance properties of crusted soils under solar illumination // Soil Science Society of America Journal. 2004. Vol. 68. No. 6. P. 1982–1991. DOI: [10.2136/sssaj2004.1982](https://doi.org/10.2136/sssaj2004.1982).
36. *Goldshleger N., Ben-Dor E., Benyamini Y., Agassi M.* Soil reflectance as a tool for assessing physical crust arrangement of four typical soils in Israel // Soil Science. 2004. Vol. 169. No. 10. P. 677–687. DOI: [10.1097/01.ss.0000146024.61559.e2](https://doi.org/10.1097/01.ss.0000146024.61559.e2).

37. Prudnikova E.Yu., Savin I.Yu. The effect of open soil surface patterns on soil detectability based on optical remote sensing data // Proceedings of the 2nd International Electronic Conference on Remote Sensing. Sciforum Electronic Conference Series. 2018. Vol. 2. P. 1–8. URL: <https://sciforum.net/manuscripts/5170/manuscript.pdf>.
38. Savin I. Formation of reflectance properties of the surface of tilled chernozem soil // Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering. 1993. Vol. 2107. P. 304–313. DOI: [10.1117/12.162165](https://doi.org/10.1117/12.162165).
39. Valentin C., Bresson L. M. Morphology, genesis and classification of surface crusts in loamy and sandy soils // Geoderma. 1992. Vol. 55. No. 3–4. P. 225–245. DOI: [10.1016/0016-7061\(92\)90085-L](https://doi.org/10.1016/0016-7061(92)90085-L).

REFERENCES

18. Alekseev V.E., Spособ kolichestvennogo opredeleniya pervichnykh mineralov v pochvakh i porodakh metodom rentgenovskoi difraktometrii (Method for quantitative determination of primary minerals in soils and rocks by x-ray diffractometry), *Pochvovedenie*, 1994, No. 1, pp. 104–109.
19. Varlamov E.B., Osobennosti sostava glinistykh mineralov chernozemov na sklonakh Yuzhnoi Moldovy (Features of the composition of clay minerals of black soil on the slopes of Southern Moldova), *Pochvovedenie i Agrokhiimiya*, 2007, No. 2, Minsk, pp. 47–53.
20. Gorbunov N.I., *Vysokodispersnye mineraly i metody ikh izucheniya ikh izucheniya* (Finely dispersed minerals and methods for studying them), Moscow: Izd-vo AN SSSR, 1963, 302 p.
21. Gradusov B.P., Rentgendifraktoметрический метод в минералогических исследованиях почв (X-ray diffraction method in the mineralogical studies of soils), *Pochvovedenie*, 1967, No. 10, pp. 127–137.
22. Pervova N.E., Zolotarev G.V., O nekotorykh itogakh issledovaniy na model'nykh lizimetrakh Pochvennogo statsionara MGU (On some results of studies on model lysimeters of the Soil Stationary Department of Moscow State University), *Vserossiiskii zhurnal nauchnykh publikatsii*, 2012, No. 4, pp. 12–15.
23. Prudnikova E.Yu., Savin I.Yu., Issledovanie opticheskikh svoystv otkrytoi poverkhnosti pochv (Study of the optical properties of an exposed soil surface), *Opticheskii zhurnal*, 2016, Vol. 83, No. 10, pp. 79–86, DOI: [10.1364/JOT.83.000642](https://doi.org/10.1364/JOT.83.000642).
24. *Rentgenovskie metody izucheniya i struktura glinistykh mineralov* (X-ray methods of studying and the structure of clay minerals), Ed. Braun G., Moscow: Mir, 1965, 599 p.
25. Savin I. Yu., Vliyanie livnovego dozhdya na integral'nuyu otrazhatel'nuyu sposobnost' poverkhnosti chernozemnykh pochv (The impact of heavy rain on

integral reflectance of surface of chernozem soils), *Pochvovedenie*, 1995, No. 8, pp. 976–980.

26. Savin I. Yu., Prudnikova E. Yu., Ob optimal'nom sroke sputnikovoi s'emki dlya kartografirovaniya pakhotnykh pochv (About optimal dates of satellite images acquisition for arable soil mapping), *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2014, No. 74, pp. 66–77, URL: <https://yadi.sk/i/F9Vfe-zOfhjqs>.

27. Sokolova T.A., Dronova T.Ya., Tolpeshta I.I., *Glinistye mineraly v pochvakh* (Clay minerals in soils), Tula: Grif i K, 2005, 336 p.

28. Chizhikova N.P., Mineralogicheskii sostav vzwesei lizimetriceskikh vod v reshenii problem migratsii mineralov (Mineralogical composition of lysimetric water suspensions in solving problems of mineral migration), Tez. Dokl. Na 1-i Vseross. konf. *Lizimetriceskoe issledovanie pochv* (Soil lysimetric study), Moscow: Izd-vo MGU, 1998, pp. 137–140.

29. Chizhikova N.P., Verkhovets I.A., Vladychenskii A.S., Povedenie komponentov ilistnykh fraktsii v model'nykh ekosistemakh pochvennykh lizimetrov (The behavior of the components of the clay fraction in model ecosystems of soil lysimeters), *Pochvovedenie*, 2006, No. 9, pp. 1088–1097.

30. Assouline S., Rainfall-induced soil surface sealing: a critical review of observation of clay suspensions, *Soil Sci.*, 2004, Vol. 127, pp. 134–139, DOI: [10.2136/vzj2004.0570](https://doi.org/10.2136/vzj2004.0570).

31. Ben-Dor E., Goldshleger N., Benyamini Y., Agassi M. R., Blumberg. D. G., The spectral reflectance properties of soil structural crusts in the 1.2-to 2.5- μm spectral region, *Soil Science Society of America Journal*, 2003, Vol. 67, No. 1, pp. 289–299, DOI: [10.2136/sssaj2003.2890](https://doi.org/10.2136/sssaj2003.2890).

32. Biielders C. L., Baveye P., Processes of structural crust formation on coarse-textured soils, *European Journal of Soil Science*, 1995, Vol. 46, No. 2, pp. 221–232, DOI: [10.1111/j.1365-2389.1995.tb01830.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1995.tb01830.x).

33. Biscaye P.E. *Mineralogy and sedimentation of the deep-sea sediment fine fraction in the Atlantic Ocean*, Geochem. Techn. Rept., N.Y., 1964, Vol. 8, pp. 97–105.

34. Cook H.E., Johnson P.D., Matti J.C., Zemmels I., Methods of sample preparation and X-ray diffraction data analysis, *X-ray Mineralogy Laboratory*, Deep Sea Drilling Project, University of California, DSDP. 28: Washington (U.S. Govt. Printing Office), 1975, pp. 999–1007.

35. Eshel G., Levy G. J., Singer M. J., Spectral reflectance properties of crusted soils under solar illumination, *Soil Science Society of America Journal*, 2004, Vol. 68, No. 6, pp. 1982–1991, DOI: [10.2136/sssaj2004.1982](https://doi.org/10.2136/sssaj2004.1982).

36. Goldshleger N., Ben-Dor E., Benyamini Y., Agassi M., Soil reflectance as a tool for assessing physical crust arrangement of four typical soils in Israel, *Soil Science*, 2004, Vol. 169, No. 10, pp. 677–687, DOI: [10.1097/01.ss.0000146024.61559.e2](https://doi.org/10.1097/01.ss.0000146024.61559.e2).

37. Prudnikova E.Yu., Savin I.Yu., The effect of open soil surface patterns on soil detectability based on optical remote sensing data, *Proceedings in 2nd International Electronic Conference on Remote Sensing*, Sciforum Electronic Conference Series, Vol. 2, 2018, pp. 1–8. URL: <https://sciforum.net/manuscripts/5170/manuscript.pdf>.
38. Savin I., Formation of reflectance properties of the surface of tilled chernozem soil, *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, 1993, Vol. 2107, pp. 304–313, DOI: [10.1117/12.162165](https://doi.org/10.1117/12.162165).
39. Valentin C., Bresson L. M., Morphology, genesis and classification of surface crusts in loamy and sandy soils, *Geoderma*, 1992, Vol. 55, No. 3–4, pp. 225–245, DOI: [10.1016/0016-7061\(92\)90085-L](https://doi.org/10.1016/0016-7061(92)90085-L).

УДК 631.45

DOI: 10.19047/0136-1694-2019-98-132-152

Ссылки для цитирования:

Юдин С.А., Белобров В.П., Дридигер В.К., Гребенников А.М., Айдиев А.Я., Ильин Б.С., Ермолаев Н.Р. К вопросу о методике проведения многолетних опытов по изучению влияния технологии прямого посева на свойства почв // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2019. Вып. 98. С. 132-152. DOI: 10.19047/0136-1694-2019-98-132-152

Cite this article as:

Yudin S.A., Belobrov V.P., Drediger V.K., Grebenikov A.M., Aydiev A.J., Ilyin B.S., Ermolaev N.R., To the question of the methodology of conducting long-term experiments on the no-till technology influence on soil properties, Dokuchaev Soil Bulletin, 2019, V. 98, pp. 132-152, DOI: 10.19047/0136-1694-2019-98-132-152

**К ВОПРОСУ О МЕТОДИКЕ ПРОВЕДЕНИЯ
МНОГОЛЕТНИХ ОПЫТОВ ПО ИЗУЧЕНИЮ
ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРЯМОГО ПОСЕВА НА
СВОЙСТВА ПОЧВ**

© 2019 г. С. А. Юдин^{1*}, В. П. Белобров¹, В. К. Дридигер^{2**},
А. М. Гребенников¹, А. Я. Айдиев³,
Б. С. Ильин³, Н. Р. Ермолаев¹

¹Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Россия,
119017, Москва, Пыжевский пер, 7, стр. 2,
*e-mail: yudin_sa@esoil.ru.

²Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр, Россия,
356241, Ставропольский край, Михайловск, ул. Никонова, д. 49,
**e-mail: dridiger.victor@gmail.com.

³Курский федеральный аграрный научный центр, Россия,
305021, Курск, ул. Карла Маркса, д. 70б,
e-mail: kniiapp@mail.ru.

Поступила в редакцию 16.01.2019, принята к публикации 05.09.2019

При длительном использовании технологии прямого посева (no-till) в почвах происходят изменения, которые обусловлены элементарными почвообразовательными процессами (ЭПП), меняющимися во времени и пространстве. Идентификация этих изменений и их достоверность

являются приоритетными условиями для обоснования особенностей и/или преимуществ технологии прямого посева над остальными, в первую очередь над традиционной технологией – вспашкой с оборотом пласта. Одним из условий решения проблемы является систематизация и приведение к единой структуре не только терминов и условий испытания, но и основных свойств почв, определяющих их плодородие, в качестве объективных показателей изменений самого объекта обработки. При постановке многолетнего полевого опыта по изучению влияния технологии прямого посева на свойства почв, кроме учета известных требований, необходим комплексный анализ неоднородности почв. Представлены результаты детального топографического и почвенно-агрохимического картографирования с оценкой вариабельности морфологических и агрохимических свойств типичных черноземов четырех опытных полей каждое площадью 2.4 га.

Ключевые слова: прямой посев, no-till, неоднородность, варьирование, репрезентативность, земледелие, чернозем.

TO THE QUESTION OF THE METHODOLOGY OF CONDUCTING LONG-TERM EXPERIMENTS ON THE NO-TILL TECHNOLOGY INFLUENCE ON SOIL PROPERTIES

S. A. Yudin^{1*}, V. P. Belobrov¹, V. K. Drediger^{2},
A. M. Grebenikov¹, A. J. Aydiev³,
B. S. Ilyin³, N. R. Ermolaev¹**

¹*V.V. Dokuchaev Soil Science Institute,
Russia, 119017, Moscow, Pizhevskiy per., 7, build. 2*

^{*}*e-mail: yudin_sa@esoil.ru.*

²*North Caucasian Federal Agrarian Centre,
Russia, 356241, Stavropol region, Mikhailovsk, Nikonova str., 49,*

^{**}*e-mail: dridiger.victor@gmail.com.*

³*Kursk Federal Agrarian Scientific Center,
Russia, 305021, Kursk, Karl Marks str., 70б,*

e-mail: kniiapp@mail.ru.

Received 16.01.2019, Accepted 05.09.2019

When setting a long-term field experiment in order to study the impact of direct sowing technology on soil properties it is necessary to take into account not only the known requirements, but a comprehensive analysis of soil

heterogeneity as well. The article presents the results of detailed topographic and soil-agrochemical mapping with estimation of variability of morphological and agrochemical properties of typical chernozems studied on four experimental fields of 2.4 ha area each.

Keywords: direct sowing, no-till, heterogeneity, variation, representativeness, agriculture, chernozem.

ВВЕДЕНИЕ

Мировой опыт ведения сельскохозяйственного производства показывает, что система земледелия без обработки почвы (no-till) с применением прямого посева быстро распространяется по всему миру, особенно в странах Северной и Южной Америки, Австралии, Новой Зеландии. Практически в любой стране мира, независимо от природно-климатических условий и уровня развития сельского хозяйства предпринимаются попытки внедрения технологии прямого посева (ПП) для выращивания сельскохозяйственной продукции. Высокая экономическая отдача стала главной причиной развития данной системы. В основе технологии прямого посева лежат три основных принципа: отказ от любой механической обработки почвы, т. е. посев производят по стерне предыдущей культуры специальной сеялкой; все растительные остатки от предыдущей культуры сохраняются в поле и равномерно распределяются по площади; строгое чередование сельскохозяйственных культур. Особое значение эта технология приобретает в экстремальных почвенно-климатических условиях, связанных с недостатком влаги в почве, проявлениями водной и ветровой эрозии. Растительные остатки (мульча), сохранившиеся на поверхности почвы, создают существенное препятствие для любого вида эрозии и в то же время являются защитой от иссушения поверхности поля.

Несмотря на постоянное увеличение площадей с использованием ПП и увеличение сбора зерна с этих территорий, существует и негативный опыт использования технологии no-till в некоторых странах, в том числе и в России.

Вопросы минимизации обработок почв и эффективности применения различных систем (технологий) остаются в нашей стране дискуссионными. Многочисленные эксперименты в разных

по почвенно-климатическим параметрам регионам дали противоречивые результаты, которые нельзя оценить однозначно в пользу той или иной технологии и, следовательно, рекомендовать для расширенного использования в агропроизводстве.

Некоторые ученые на основании обобщений пришли к заключению, что ПП является высокорентабельной технологией, способствующей увеличению урожайности сельскохозяйственных культур, а также снижению процессов деградации и восстановлению плодородия почв ([Ганжара, 2005](#); [Кирюшин, 2007](#); [Дридигер, 2016, 2017](#); [Чекаев, 2015](#); [Сергеев, 2016](#); [Derpsch, 2014](#)). Другие, напротив, утверждают о приоритете традиционной обработки (ТО) над ПП, обосновывая тезис полученными в результате полевых опытов данными ([Черкасов, 2012](#)). Наличие столь полярных точек зрения обосновывается разными причинами, главные из которых кроются в терминологии, неоднозначной трактовке основных элементов технологии прямого посева и методах постановки многолетних полевых опытов.

Оставив споры о терминах в стороне, отметим, что основным элементом технологии ПП является посев семян сельскохозяйственных культур дисковыми или анкерными сошниками в узкую щель необработанной почвы, что требует применения специальной техники (сеялок), рассчитанной на многолетнее использование ([Дридигер, 2016](#)). Научно-производственные исследования за рубежом, полученные результаты и накопленный практический опыт показали высокую эффективность многолетнего использования технологии ПП в сельскохозяйственном производстве, в особенности в зонах неустойчивого увлажнения, где почвы подвержены дефляции и водной эрозии ([Дридигер и др., 2017](#); [FAO, 2012, 2013](#)).

Таким образом, одним из препятствий для внедрения перспективной и эффективной системы земледелия в России являются противоречивые научные результаты, полученные разными методами, и, сопоставляя которые, невозможно прийти к однозначному мнению. Подобная проблема стоит остро не только в России, она также касается и тех стран, в которых технология ПП имеет широкое распространение. Так R. Derpsch ([Derpsch, 2014](#)) с соавторами из США, Бразилии, Германии, Швейцарии и др. стран на

основе анализа многочисленных публикаций приходит к выводу, что без унификации подходов к изучению системы ПП корректное сравнение результатов и их правильная интерпретация просто невозможны.

При длительном использовании технологии ПП в почвах происходят изменения в свойствах, которые обусловлены элементарными почвообразовательными процессами (ЭПП), меняющимися во времени и пространстве. Идентификация этих изменений и их достоверность являются приоритетными условиями для обоснования особенностей и/или преимуществ технологии прямого посева над остальными, в первую очередь над традиционной технологией – вспашкой с оборотом пласта.

Одним из условий решения проблемы является систематизация и приведение к единому стандарту не только терминов и условий испытания, но и основных свойств почв, определяющих их плодородие, в качестве объективных показателей изменений самого объекта обработки. Урожайность культур в этом плане, несмотря на зависимость от условий проведения опыта, является хорошим маркером позитивных или негативных изменений в почвах.

Методические подходы в нашей стране разработаны для решения разных задач в почвоведении и земледелии, в том числе и для проведения многолетних полевых опытов ([Доспехов, 1985](#); [Методические указания..., 1994](#); [Методические указания..., 2003](#); [Фрид, 2010](#)). Вместе с тем технология прямого посева без стандартизации и систематизации отдельных изучаемых признаков, размеров делянок, применяемых удобрений, техники для посева и получения продукции не обеспечивает сопоставимость результатов. Это достигается только при сравнимых базовых параметрах, в частности, показателях свойств почв, полученных в разных почвенно-климатических условиях и агроландшафтах.

Цель работы – предложить более адаптированный к технологии прямого посева комплексный метод, позволяющий фиксировать во времени и пространстве изменения функциональных свойств почв и обеспечивающий сопоставимость результатов.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили в 2013–2017 гг. на научно-производственной базе Курского НИИ АПП (п. Черемушки Курского района (51°37'46" с. ш., 36°15'40" в. д.)). Для закладки длительного полевого опыта был выбран старопахотный участок на водораздельной поверхности с миграционно-мицеллярными (типичными) черноземами. Участок разбит на четыре поля площадью по 2,4 га, расположенных сопряженно в виде прямоугольника. На каждом поле закладывался 4-вариантный опыт по изучению влияния способов обработки почвы на свойства и продуктивность чернозема типичного в четырехпольном зерно-пропашном севообороте. Размеры делянок составляли 60 × 100 м. Варианты полевого опыта включали: 1 вариант – вспашка (с оборотом пласта); 2 вариант – комбинированная обработка (дискование + чизель); 3 вариант – поверхностная обработка (дискование); 4 вариант – без обработки (прямой посев). Длительность эксперимента предполагает ежегодную, начиная с 2013 г. по 2016 г., последовательную закладку вариантов опыта на одном из четырех полей. Перед закладкой опыта проводился уравнительный посев горохо-овсяной смеси, затем, в соответствии с севооборотом, посев озимой пшеницы, которую в последующие годы сменяла кукуруза, ячмень и горохо-овсяная смесь. Использование удобрений и пестицидов осуществлялось в соответствии с рекомендациями для каждой культуры.

Таким образом, каждая культура имеет 4-летний цикл возделывания при стабильной агротехнике (обработках), но в разных погодных условиях, что дает возможность получить более достоверные усредненные данные по годам.

Такая методика полевого опыта многократно апробирована и имеет отличия только в размерах полей, которые в данном случае существенно превышают обычно используемые в полевых опытах. Эта особенность была обусловлена необходимостью максимально приблизить опыт к производству, технологии прямого посева, которая предусматривает минимизацию нагрузок техники на почвы в процессе посева и уборки урожая, а также для более достоверной оценки неоднородности почвенного покрова по мор-

фологическим, агрохимическим и агрофизическим свойствам ([Белобров и др., 2017](#)).

В этой методике полевые исследования по базовой оценке однородности почвенного покрова полей включают детальную топографическую и почвенную съемку (масштаб 1 : 1000). Причем почвенная съемка осуществляется по углам квадрата 25 × 30 м. Всего на одно поле приходится 45 буровых скважин. В 20 скважинах (по пять на каждый вариант обработки) отбираются образцы из гумусового горизонта на анализ агрохимических свойств, и в 12 скважинах (по три на каждый вариант обработки) – на определение равновесной плотности в трехкратной повторности с глубин 2–7 и 10–15 см.

Анализы почв выполнены в лаборатории Почвенного института им. В.В. Докучаева: содержание P_2O_5 и K_2O в мг/на 100 г почвы – по методу Чирикова, гумуса (%) – по Тюрину, $pH_{(водн.)}$ – потенциометрически и равновесная плотность – весовым методом с использованием стандартного цилиндра объемом 100 см³.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Данные детальной топографической съемки выявили специфичный микрорельеф природного и антропогенного характера (напаханный микрорельеф). Слабовыраженные в рельефе микроложбины естественной природы являются истоками более крупных ложбин, хорошо выраженных за пределами участка, базисом эрозии для которых является залуженный овраг. Микроложбины и микроповышения формируют в рельефе топогенную микроструктуру почвенного покрова естественной и антропогенной природы.

Многолетняя вспашка черноземов участка с оборотом пласта нивелировала естественную зоогенную микроструктуру почвенного покрова (сурчинный и слепышинный рельеф). “Останцы” сурчин, слабо или не выраженные в рельефе, хорошо маркируются в профиле черноземов по ряду признаков: 1) перерытости (ходы землероев в гумусовом горизонте заполнены мелкоземом из горизонтов B_{ca} и C_{ca}) и увеличенной мощности гумусированного профиля; 2) по глубине вскипания, как правило, в пределах гумусового горизонта на глубинах 0–30 (50) см.

Общий перепад высот на участке составляет 8 м на 520 м по уклону (в среднем около 1.5 м абсолютной высоты на каждые линейные 100 м), что характеризует плакорный рельеф водораздельной поверхности. Все поля (рис. 1) имеют уклон около 1^0 .

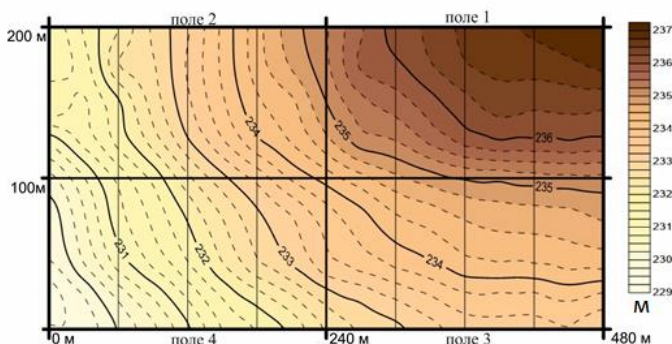


Рис. 1. Рельеф участка. Уменьшено с масштаба 1 : 1000 (основные горизонталы проведены через 1 м, полугоризонталы – 0.25 м).

Fig. 1. The relief of the site. Reduced from the scale of 1 : 1000 (the main horizontals drawn with 1 m step, half horizontals – 0.25 m).

На полях господствуют типичные черноземы, представленные несколькими видами: среднемощными – 79.5 %, маломощными – 17.8 % и мощными – 2.7 % (рис. 2); средне карбонатными (средне выщелоченными) – 48.8 %, глубоко карбонатными (сильно выщелоченными) – 34.0 % и высококарбонатными (слабо выщелоченными) – 17.2 % (рис. 3). Мощные и глубоко карбонатные черноземы приурочены к наиболее выраженным в рельефе микроложбинам, среднемощные – к основной поверхности разгрузки, тогда как высоко карбонатные и маломощные, как правило, занимают микроповышения между понижениями и ложбинами рельефа.

Черноземы опытного участка характеризуются достаточно высоким содержанием подвижных форм калия. Как видно из картограммы, значения по площади в основном варьируют от 7 до 15 мг/100 г почвы (рис. 4).

Черноземы можно отнести к почвам с высоким и повышенным содержанием подвижного фосфора (рис. 5).

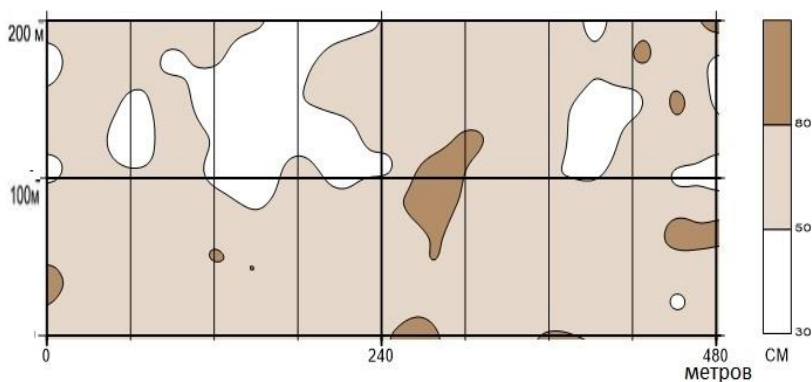


Рис. 2. Карта мощности гумусового горизонта чернозема типичного, уменьшено с масштаба 1 : 1000; маломощные 30–50 см, среднемощные 50–80 см, мощные 80–120 см.

Fig. 2. Map of the humus layer thickness of a typical chernozem, reduced from the scale of 1 : 1000; thin 30–50 cm, medium 50–80 cm, thick 80–120 cm.

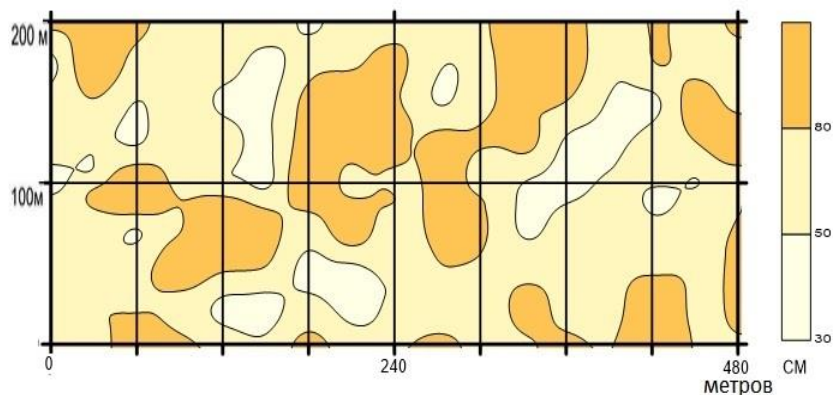


Рис. 3. Карта глубины залегания карбонатов, уменьшено с масштаба 1:1000; до 30 см – карбонатные, 30–50 см – высококарбонатные, 50–80 см – среднекарбонатные, 80–120 см – глубококарбонатные.

Fig. 3. The map of carbonates accumulation depth, reduced from the scale of 1 : 1000; up to 30 cm – carbonated, 30–50 cm – highly carbonated, 50–80 cm – medium carbonated, 80–120 cm – deeply carbonated.

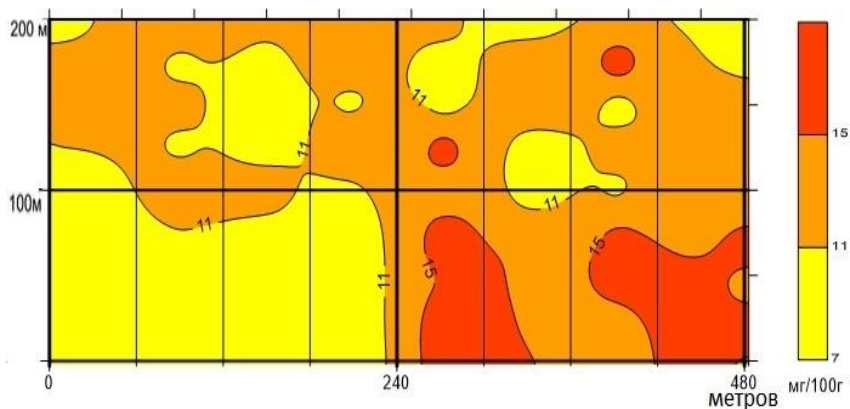


Рис. 4. Картограмма участка по содержанию K_2O .

Fig. 4. The map of K_2O content on the studied site.

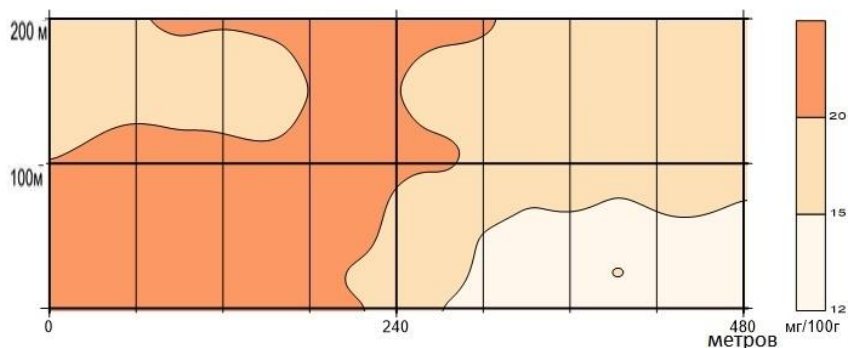


Рис. 5. Картограмма участка по содержанию P_2O_5 .

Fig. 5. The map of P_2O_5 content on the studied site.

По степени актуальной кислотности ($pH_{\text{водн.}}$) почвы участка относятся к слабокислым и близким к нейтральным ([Фрид и др., 2010](#)) (табл. 1). Объемный вес почв определялся на каждом поле сразу после уборки уравнительного посева. Значения этого показателя находились в пределах оптимума и составляли $1-1.15 \text{ г/см}^3$ (табл. 2).

Таблица 1. Статистические характеристики агрохимических свойств почв
Table 1. Statistical characteristics of agrochemical properties of soils

Свойства почв	n	x	÷		σ^2	σ	V	S	A	E
			- 0.95 %	+ 0.95 %						
Гумус 0–10	80	5.03	4.98	5.09	0.06	0.25	5	0.03	-0.07	0.44
Гумус 10–20	80	4.99	4.93	5.05	0.07	0.26	5	0.03	-0.19	-0.35
K ₂ O 0–10	80	11.83	11.15	12.50	9.16	3.03	26	0.34	0.57	-0.76
K ₂ O 10–20	80	11.81	11.13	12.49	9.42	3.07	26	0.34	0.64	-0.26
P ₂ O ₅ 0–10	80	19.37	18.45	20.29	17.13	4.14	21	0.46	0.57	-0.11
P ₂ O ₅ 10–20	80	19.21	18.27	20.14	17.53	4.19	22	0.47	0.22	-0.90
pH _{вод.} 0–10	80	6.35	6.30	6.40	0.05	0.23	4	0.03	0.06	0.59
pH _{вод.} 10–20	80	6.38	6.33	6.43	0.05	0.22	3	0.02	0.57	0.80

Примечание: n – объем выборки, шт; x – арифметическая средняя; ÷ - доверительный интервал; σ^2 – дисперсия; σ – стандартное отклонение; V – коэффициент вариации, %; S – стандартная ошибка; A – асимметрия; E – эксцесс.

Таблица 2. Статистические характеристики агрохимических свойств почв
Table 2. Statistical characteristics of agrochemical properties of soils

Свойства почв	n	x	÷		σ^2	σ	V	S	A	E
			- 0.95 %	+ 0.95 %						
А, см	180	64.3	27.00	100.00	232.40	15.24	24	1.14	-0.45	-0.33
А + АВ, см	180	103.6	48.00	155.00	337.93	18.38	18	1.37	-0.37	0.13
Вскипание, см	180	72.97	68.00	77.30	866.49	29.44	40	2.19	1.09	1.70
Объемный вес, 2–7 см	48	1.05	1.01	1.08	0.02	0.12	12	0.02	0.70	0.02
Объемный вес, 10–15 см	48	1.13	1.10	1.17	0.01	0.11	10	0.02	0.71	-0.42

Примечание: **n** – объем выборки, шт; **x** – арифметическая средняя; ÷ - доверительный интервал; σ^2 – дисперсия; σ – стандартное отклонение; **V** – коэффициент вариации, %; **S** – стандартная ошибка; **A** – асимметрия; **E** – эксцесс.

В программе наблюдений за изменениями функциональных свойств почв в зависимости от технологии обработки центральное место занимает не только выбор комплекса показателей, характеризующих химические, физико-химические, физические и биологические свойства почв, но и определение величины и диапазона их возможных колебаний. Статистически обоснованный характер этих изменений в совокупности характеризует показатели почвенного плодородия, являющиеся базовыми в многолетнем цикле исследований.

Общепринятый подход к оценке почвенных свойств в земледелии обычно сводится к определению тех же самых показателей, как правило, на примере одного типичного разреза, характеризующего всю занятую опытными полями площадь. Совершенно очевидно, что при такой постановке опытов происходит потеря информации о природной и антропогенной неоднородности почвенного покрова, на что большое внимание обращали Б.А. Доспехов ([1985](#)), Е.А. Дмитриев ([1973](#)), Ф.И. Козловский ([2003](#)) и др.

Таким образом, в методике планируемого длительного полевого эксперимента должно быть заложено изучение исходных количественных параметров почв, их вариабельность в пространстве и времени, а также статистический анализ исходных показателей плодородия почвы. Важным условием, определяющим возможность применения статистических (параметрических) методов, является подчинение анализируемых показателей закону нормального распределения. В связи с достаточно большим объемом выборки (табл. 1 и 2) мы не будем рассматривать в этой работе непараметрические критерии, имеющие невысокую мощность теста.

Самый простой способ, позволяющий составить предварительное заключение о “нормальности” распределения, основан на оценке величины коэффициента вариации. Для содержания гумуса и $pH_{\text{водн}}$ он не превышает 5 %, что дает основание считать данную выборку принадлежащей к одной генеральной совокупности, близкой к нормальному распределению. Относительная изменчивость содержания подвижных форм калия и фосфора значительно выше и составляет 21–26 %. По мнению Е.А. Дмитриева

([Дмитриев, 1973](#)), такую вариабельность можно считать значительной.

Коэффициент вариации как показатель относительной изменчивости признака не относится к главным статистическим параметрам. Аппроксимация нормальному закону распределения характеризуется также асимметрией и эксцессом. Теоретически нормальное распределение имеет нулевые значения асимметрии и эксцесса. При изучении природной вариабельности генеральной совокупности таких признаков, как почвенные свойства, показатели асимметрии и эксцесса никогда не бывают равны нулю. Это наблюдается и в данном случае, когда все значения показателей отличаются от нуля, но при этом они невелики и в каждом конкретном случае характеризуют особенности распределения изучаемого признака (табл. 1).

Подобные значения асимметрии и эксцесса мы наблюдаем и в распределении морфологических и физических свойств черноземов (табл. 2). Исключением является глубина вскипания, асимметрия и эксцесс которой несколько больше единицы, а ширина доверительного интервала (95 %) существенно отличается от среднего при высоком значении коэффициента вариации – 40 %. Тем не менее при такой пространственной вариабельности имеет смысл проверить “нормальность” этого показателя с помощью более мощного критерия Колмогорова-Смирнова. Результаты показывают, что глубина залегания карбонатов отклоняется от распределения Гаусса (рис. 6). Гистограмма позволяет качественно оценить различные характеристики распределения. Выборка неоднородна и имеет бимодальное распределение. Это подтверждают результаты детального почвенного картирования, выделение двух подтипов чернозема – типичного и выщелоченного ([Классификация..., 2004](#)). Такое распределение значений не является “фатальным”, но в дальнейшем при изучении влияния способов обработки на распределение карбонатов в профиле почв это необходимо учитывать.

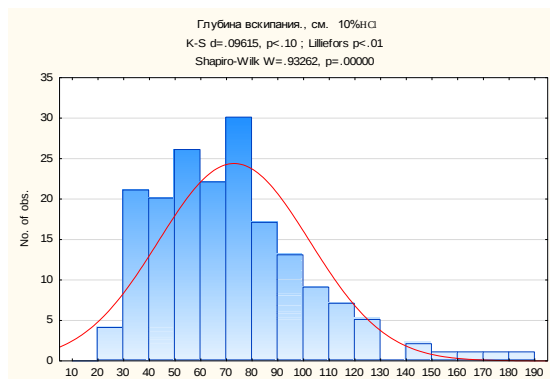


Рис. 6. Результат проверки нормальности распределения значений глубины вскипания.

Fig. 6. The result of checking the normality of the distribution of carbonates accumulation depth values.

Ни один количественный показатель не может заменить проверку распределения с помощью построения графиков, позволяющих визуально оценить “нормальность” эмпирического распределения. На диаграммах рассеивания (рис. 7, рис. 8) представлены примеры некоторых значений агрохимических и физических свойств, по которым легко оценить нормальность распределения. Такой график отображает зависимость ожидаемых нормальных частот значений признака от их реальных частот. Очевидно, что если между наблюдаемым и теоретическим распределением нет разницы, эмпирические точки на этом графике выстроятся строго вдоль прямой.

Таким образом, мы установили, что все изучаемые до начала эксперимента (“стартовые”) свойства почв, за исключением глубины вскипания, подчинялись закону нормального распределения. В этой связи у нас есть возможность оценить влияние способа обработки почвы на все почвенные свойства строгими критериями Гауссовой статистики. Через четыре года после завершения ротации в вариантах: 1 – вспашка с оборотом пласта и 4 – прямой посев (no-till), – в тех же точках были вновь отобраны образцы на объемный вес почвы.

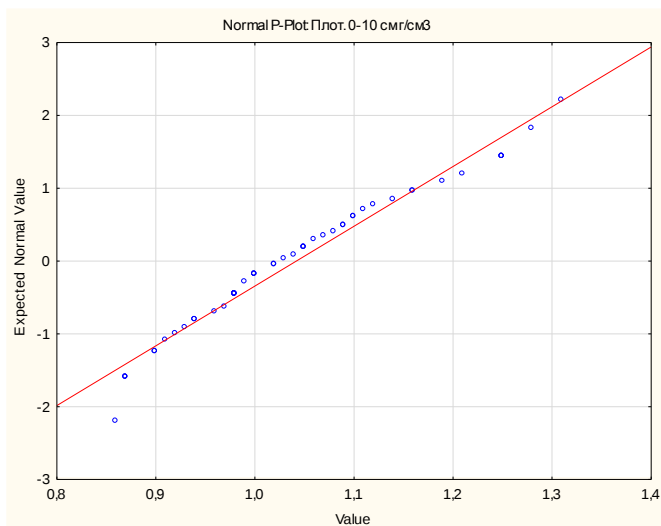


Рис. 7. Проверка нормальности распределения объемного веса почвы в слое 2–7 см с использованием графика вероятностей.

Fig. 7. Checking the normality of the distribution of volumetric weight of soil in 2–7 cm layer using a probability graph.

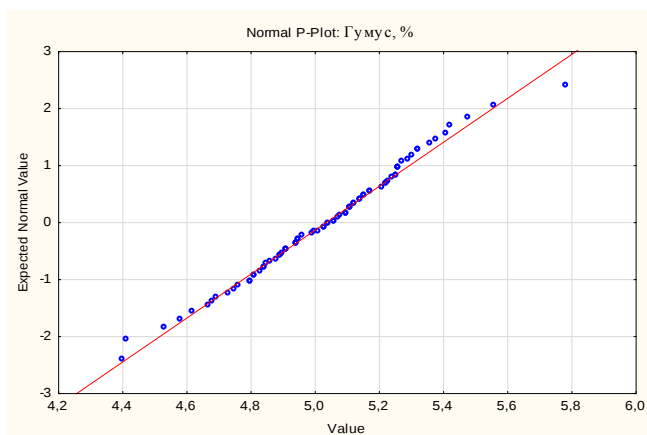


Рис. 8. Проверка нормальности распределения содержания гумуса в слое 2–7 см с использованием графика вероятностей.

Fig. 8. Verification of the normality of the distribution of the humus content in 2–7 cm layer using a probability graph.

Как видно из графика на рисунке 9, средние значения объемной массы почвы на глубине 2–7 см и 10–15 см по вариантам опыта достоверно не различаются и находятся в пределах доверительного интервала. Можно говорить только о тенденции увеличения плотности почвы при прямом посеве на глубине 10–15 см. Следовательно, за четырехлетний период ПП не оказал существенного влияния на объемный вес почвы.

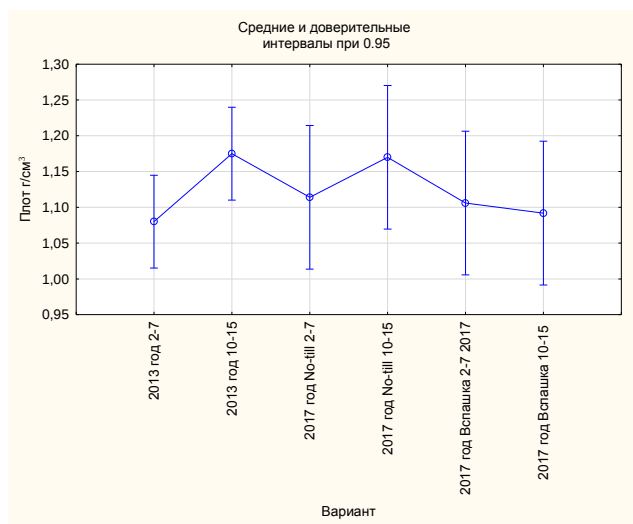


Рис. 9. Средние значения объемной массы почвы и доверительные интервалы при 0.95 в зависимости от обработки почвы.

Fig. 9. The average volumetric soil weight and confidence intervals at 0.95 depending on the tillage.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренный методический подход к постановке многолетнего полевого эксперимента позволяет охарактеризовать вариабельность совокупности морфологических, агрохимических и физических параметров почв до начала проведения опыта. Приведенные в статье данные характеризуют весь участок в целом, тогда как есть возможность рассматривать вариабельность признаков по каждому полю отдельно в ротационном временном цикле, что представляется одним из важнейших составляющих при ре-

шении методических задач любого полевого эксперимента. При изучении влияния прямого посева на свойства почв для данного метода вполне достаточно использованных исходных данных, что обеспечивает применение параметрических критериев и статистически обоснованной оценки свойств почв участка.

Таким образом, есть основание рекомендовать предложенный метод многолетнего полевого опыта для оценки систем технологии обработки почв, включая прямой посев, используя признаки изменчивости свойств почв во времени и пространстве. Как следствие, это обеспечивает корректное сравнение и интерпретацию результатов. Комплексные топографические и почвенно-агрохимические исследования на участке показали, что по рассмотренным параметрам он репрезентативен и отвечает условиям для проведения многолетнего полевого опыта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белобров В.П., Айдиев А.Ю., Юдин С.А., Ермолаев Н.Р., Дмитриева В.Т. Вариабельность агрохимических свойств типичных черноземов в многолетнем полевом опыте // В сборнике: Черноземы Центральной России: генезис, эволюция и проблемы рационального использования. Воронеж. 2017. С. 181–185.
2. Ганжара Н.Ф., Верзилин В.В., Байбеков Р.Ф., Борисов Б.А. Состояние органического вещества и соединений азота черноземов выщелоченных в зависимости от способов возделывания культур // Известия ТСХА. 2005. № 3. С. 1–13.
3. Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении. М.: Изд-во МГУ, 1973. 292 с.
4. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
5. Дридигер В.К. Практические рекомендации по освоению технологии возделывания сельскохозяйственных культур без обработки почвы в засушливой зоне Ставропольского края. Ставрополь: СНИИСХ, 2016. 80 с.
6. Дридигер В.К., Невечеря А.В., Таран Г., Шаповалова Н.В. Ипатовский опыт возделывания полевых культур без обработки почвы (no-till) // АгроСнабФорум. № 3. 2017. С. 35–40
7. Кирюшин В.И. Минимизация обработки почвы: итоги дискуссии // Земледелие. 2007. № 4. С. 28–30.

8. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 341 с.
9. *Козловский Ф.И.* Теория и методы изучения почвенного покрова. М.: ГЕОС, 2003. 535 с.
10. Методические указания по проведению комплексного агрохимического обследования почв сельскохозяйственных угодий. М.: ЦНТИПР Минсельхозпрода России, 1994. С. 6–8
11. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения / под ред. Державина Л.М., Булгакова Д.С. М.: ФГНУ “Росинформагротех”, 2003. 240 с.
12. *Сергеев К.* Прямой посев: Южноамериканская и Австралийская модель // Ресурсосберегающее земледелие. М. 2016. № 4 (32). С. 8–15
13. *Фрид А.С., Кузнецова И.В., Королева И.Е., Бондарев А.Г., Козут Б.М., Уткаева В.Ф., Азовцева Н.А.* Зонально-провинциальные нормативы изменений агрохимических, физико-химических и физических показателей основных пахотных почв европейской территории России при антропогенных воздействиях. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2010. 176 с.
14. *Чекаев Н.П., Кузнецов А.Ю.* Технология No-till – путь к реальным результатам // Продовольственная политика и безопасность. 2015. Том 2. № 1. С. 7–18. DOI: [10.18334/2.1.453](https://doi.org/10.18334/2.1.453).
15. *Черкасов Г.Н., Пыхтин И.Г. и др.* Теоретические основы формирования агротехнологической политики применения нулевых и поверхностных обработок почвы под зерновые культуры для модернизации земледелия. Курск: ГНУ ВНИИЗиЗПЭ РАСХН, 2012. 81 с.
16. *Derpcsh R., Franzluebbbers A.J., Duiker S.W., Reicosky D.C., Koeller K., Friedrich T., Sturny W.G., Sa J.C.M., Weiss K.* Why do we need to standardize no-tillage research? // Soil and Tillage Research. Vol. 137. 2014. P. 16–22. DOI: [10.1016/j.still.2013.10.002](https://doi.org/10.1016/j.still.2013.10.002).
17. FAO. Conservation Agriculture Adoption Worldwide. FAO AQUASTAT Database on CA Adoption. 2012. URL: <http://www.fao.org/ag/ca/6c.html>.
18. FAO. Basic Principles of Conservation Agriculture. 2013. URL: <http://www.fao.org/ag/ca/1a.html>.

REFERENCES

1. Belobrov V.P., Aidiev A.Yu., Yudin S.A., Ermolaev N.R., Dmitrieva V.T., Variabel'nost' agrokhimicheskikh svoistv tipichnykh chernozemov v mnogoletnem polevom opyte (Variability of agrochemical properties of typical chernozems in many years of field experience), In: *Chernozemy Tsentral'noi*

Rossii: genesis, evolyutsiya i problemy ratsional'nogo ispol'zovaniya (Chernozems of Central Russia: genesis, evolution and problems of rational use), Voronezh, 2017, pp. 181–185.

2. Ganzhara N.F., Verzilin V.V., Baibekov R.F., Borisov B.A., Sostoyanie organicheskogo veshchestva i soedinenii azota chernozemov vyshchelochennykh v zavisimosti ot sposobov vozdel'yvaniya kul'tur (The state of organic matter and nitrogen compounds leached chernozems, depending on the methods of cultivation of crops), *Izvestiya TSKhA*, 2005, No. 3, pp. 1–13.

3. Dmitriev E.A., *Matematicheskaya statistika v pochvovedenii* (Mathematical statistics in soil science), Moscow: Izd-vo MGU, 1973, 292 p.

4. Dospekhov B.A., *Metodika polevogo opyta* (Methodology of field experience), Moscow: Agropromizdat, 1985, 351 p.

5. Dridiger V.K., *Prakticheskie rekomendatsii po osvoeniyu tekhnologii vozdel'yvaniya sel'skokhozyaistvennykh kul'tur bez obrabotki pochvy v zasushlivoi zone Stavropol'skogo kraya* (Practical recommendations for mastering the technology of cultivation of agricultural crops without tillage in the arid zone of the Stavropol Territory), Stavropol': SNIISKH, 2016, 80 p.

6. Dridiger V.K., Nevecherya A.V., Taran G., Shapovalova N.V., Ipatovskii opyt vozdel'yvaniya polevykh kul'tur bez obrabotki pochvy (no-till) (Ipatov experience in cultivating field crops without tillage (no-till)), *AgroSnabForum*, No. 3, 2017, pp. 35–40.

7. Kiryushin V.I., Minimizatsiya obrabotki pochvy: itogi diskussii (Minimization of soil cultivation: the results of the discussion), *Zemledelie*, 2007, No. 4, pp. 28–30.

8. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii* (Classification and diagnostics of Russian soils), Smolensk: Oikumena, 2004, 341 p.

9. Kozlovskii F.I., *Teoriya i metody izucheniya pochvennogo pokrova* (Theory and methods of studying soil cover), Moscow: GEOS, 2003, 535 p.

10. *Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu kompleksnogo agrokhimicheskogo obsledovaniya pochv sel'skokhozyaistvennykh ugodii* (Guidelines for a comprehensive agrochemical survey of agricultural soils), Moscow: TsNTIPR Minsel'khozproda Rossii, 1994, pp. 6–8.

11. Derzhavin L.M., Bulgakov D.S., *Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu kompleksnogo monitoringa plodorodiya pochv zemel' sel'skokhozyaistvennogo naznacheniya* (Guidelines for the comprehensive monitoring of soil fertility of agricultural lands), Moscow: FGNU “Rosinformagrotekh”, 2003, 240 p.

12. Sergeev K., Pryamoi posev: Yuzhnoamerikanskaya i Avstraliiskaya model' (Direct sowing: South American and Australian models), *Resursoberegayushchee zemledelie*, 2016, No. 4 (32), pp. 8–15.

13. Frid A.S., Kuznetsova I.V., Koroleva I.E., Bondarev A.G., Kogut B.M., Utkueva V.F., Azovtseva N.A., *Zonal'no-provintsial'nye normativy izmenenii agrokhimicheskikh, fiziko-khimicheskikh i fizicheskikh pokazatelei osnovnykh pakhotnykh pochv evropeiskoi territorii Rossii pri antropogennykh vozdeistviyakh* (Zonal-provincial standards for changes in agrochemical, physico-chemical and physical indicators of the main arable soils of the European territory of Russia under anthropogenic influences), Moscow: Pochv. in-t im. V.V. Dokuchaeva, 2010, 176 p.
14. Chekaev N.P., Kuznetsov A.Yu., Tekhnologiya No-till – put' k real'nym rezul'tatam (No-till technology – the way to real results), *Prodovol'stvennaya politika i bezopasnost'*, 2015, Vol. 2, No. 1, pp. 7–18, DOI: [10.18334/2.1.453](https://doi.org/10.18334/2.1.453).
15. Cherkasov G.N., Pykhtin I.G. et al., *Teoreticheskie osnovy formirovaniya agrotekhnologicheskoi politiki primeneniya nulevykh i poverkhnostnykh obrabotok pochvy pod zernovye kul'tury dlya modernizatsii zemledeliya* (The theoretical basis for the formation of an agrotechnological policy for the application of zero and surface tillage for grain crops for the modernization of agriculture), Kursk: GNU VNIIZiPE RASKhN, 2012, 81 p.
16. Derpcsh R., Franzluebbbers A.J., Duiker S.W., Reicosky D.C., Koeller K., Friedrich T., Sturny W.G., Sa J.C.M., Weiss K., Why do we need to standardize no-tillage research? *Soil and Tillage Research*, Vol. 137, 2014, pp. 16–22, DOI: [10.1016/j.still.2013.10.002](https://doi.org/10.1016/j.still.2013.10.002).
17. FAO, *Conservation Agriculture Adoption Worldwide*, FAO AQUASTAT Database on CA Adoption, 2012, URL: <http://www.fao.org/ag/ca/6c.html>.
18. FAO, *Basic Principles of Conservation Agriculture*, 2013, URL: <http://www.fao.org/ag/ca/1a.html>.

УДК 631.4

DOI: 10.19047/0136-1694-2019-98-153-184

Ссылки для цитирования:

Мигунова Е.С. Результаты семидесятилетних исследований на стыке лесоведения и почвоведения // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2019. Вып. 98. С. 153-184. DOI: 10.19047/0136-1694-2019-98-153-184

Cite this article as:

Migunova E.S., Results of the 70-year research at the interface of Forestry and Soil Science, Dokuchaev Soil Bulletin, 2019, Vol. 98, pp. 153-184, DOI: 10.19047/0136-1694-2019-98-153-184

РЕЗУЛЬТАТЫ СЕМИДЕСЯТИЛЕТНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА СТЫКЕ ЛЕСОВЕДЕНИЯ И ПОЧВОВЕДЕНИЯ

© 2019 г. Е. С. Мигунова

*Украинский НИИ лесного хозяйства и агролесомелиорации
им. Г.Н. Высоцкого, Украина, 61024, Харьков, ул. Пушкинская, 86,
e-mail: migunova-e-s@yandex.ua*

Поступила в редакцию 27.05.2019, принята к публикации 05.09.2019

“...Ищите на стыках. Свет идет
от сопредельных знаний...”

Г.М. Кржыжановский

Кратко изложены основные результаты изучения влияния искусственной древесной растительности на черноземы и обусловленности состава и продуктивности лесных насаждений почвенно-грунтовыми условиями. Охарактеризовано влияние засоленности почв на рост насаждений. Оценена токсичность разных групп легкорастворимых солей, прежде всего хлоридов и соды. Выявлена определяющая роль глубины залегания токсичных количеств хлоридов и уровня водообеспеченности в установлении лесопригодности почв. Разработан экологический ряд водообеспеченности разных типов почв. Определена степень пригодности грунтовых вод разной минерализации. Оценена мощность корнеобитаемого слоя как ограничивающего фактора. Установлено, что уровень обеспеченности почв элементами минерального питания растений (трофность) определяет наибольшее в пределах корнедоступного слоя почв валовое количество фосфора и калия

(исключая калий, заключенный в кристаллических решетках полевых шпатов). С трофностью почв и с увлажнением связано все внутризональное разнообразие природы. Наряду с количеством тепла эти лимитирующие факторы формируют тот или другой уровень плодородия среды. Охарактеризована роль внутрипочвенного стока в формировании лесостепных ландшафтов. Выделены этапы и стадии первичного почвообразовательного процесса. Утверждается, что зональность почв является следствием их биокосной природы. Обосновывается положение о плодородии почв как факторе, обеспечивающем стабильность жизни на Земле, и о путях вывода почвоведения на уровень теоретической основы земледелия. Ведутся работы по изучению истории почвоведения, обосновывается необходимость возрождения учения о почве как о среде обитания растений.

Ключевые слова: плодородие, трофность, водообеспеченность, токсичность легкорастворимых солей, внутрипочвенный сток, лесостепь, первичный почвообразовательный процесс.

RESULTS OF THE 70-YEAR RESEARCH AT THE INTERFACE OF FORESTRY AND SOIL SCIENCE

E. S. Migunova

*Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration
named after G.M. Vysotsky, Ukraine, 61024, Kharkiv, Pushkinskaya str., 86
e-mail: migunova-e-s@yandex.ua*

Received 27.05.2019, Accepted 05.09.2019

The main results of studying the effect of artificial woody vegetation on chernozem are briefly described in the article, as well as the influence of soil and soil condition on composition and productivity of forest plantations. The effect of soil salinity on plant growth is characterized. The toxicity of different groups of readily soluble salts, especially chlorides and soda, has been evaluated. The decisive role of the depth of toxic amounts of chlorides and the level of water availability in the soil usability has been established. The ecological series of water availability for plants in different soil types have been developed and the degree of suitability of groundwater of different salinity has been evaluated. The power of the root zone as a limiting factor has been estimated, as far as the level of mineral elements supply for plant nutrition (trophicity) in the soil is determined by the greatest total amounts of phosphorus and potassium in the root zone (excluding potassium enclosed in feldspar lattices). All the intrazonal diversity of nature is due to the nutrient

status and moisture content in the soil. Along with the warmth level these limiting resources develop one or another level of soil fertility. The role of subsurface runoff in the formation of forest-steppe landscapes is characterized. The stages and phases of the primary soil-forming process are highlighted. It is argued that soil zonality results from bioinert nature of the soil. The article substantiates the statement that soil fertility is a factor ensuring the stability of life on Earth; and the ways of promoting Soil Science at the level of the theoretical basis for agriculture have been proposed.

Keywords: fertility, trophicity, water availability, toxicity of easily soluble salts, subsurface runoff, forest-steppe, primary soil-forming process.

ВВЕДЕНИЕ

Не каждому научному работнику выпадает на долю так долго заниматься научными исследованиями, причем в очень интересной для него сфере. Однако далеко не весь этот путь был гладким. Многие из приведенных ниже материалов получены внепланово, в процессе разработки других тематических заданий.

Уже в очень далеком 1949 г. на первой производственной практике на Биолого-почвенном факультете МГУ мы проводили изучение почв под старыми лесными посадками и на соседних необлесенных участках в Ростовской области. В следующем году на преддипломной практике такое же изучение было проведено на Каменно-Степном опытном участке Особой экспедиции В.В. Докучаева. В итоге эти работы завершились подготовкой на кафедре географии почв под руководством крупного ученого Д.Г. Виленского и защитой в 1958 г. кандидатской диссертации на тему: ***“Влияние широколиственной древесной растительности на черноземные почвы”***. В работе охарактеризованы почвы под искусственными насаждениями трех опытных участков Особой экспедиции: Каменно-Степного, Деркульского и Велико-Анадольского, – и трех естественных лесных массивов: Тульских засек, Шипова леса и Курского заповедника.

В процессе работы над диссертацией было установлено, что древесная растительность не вызывает ухудшения черноземов, как это долгие годы считалось, а, наоборот, способствует накоплению в них гумуса и увеличению мощности гумусированной части профиля. При этом ***тип почвообразования – черноземный – сохраняется***, но происходит небольшое осевечение почв – обыкновен-

ные черноземы сдвигаются в сторону типичных, типичные – выщелоченных. Для изменения типа почв необходимо изменение гидрологических условий ([Мигунова, 1960](#)).

С 1959 г. исследования ведутся в Украинском НИИ лесного хозяйства и агролесомелиорации имени Г.Н. Высоцкого (Харьков), сначала в отделе лесного почвоведения, а далее в лаборатории экологии леса. Основная тематика – проблемы одного из теоретических разделов лесоводства – *лесной типологии* – как учения о взаимосвязях леса с абиотической средой, о лесных экосистемах. Основы его были заложены в начале прошлого века Г.Ф. Морозовым, назвавшем его *учением о типах насаждений* ([Морозов, 1904](#)). Главным в этом учении является обоснование единства природы и жесткой обусловленности лесных насаждений абиотическими факторами, их средой, по народному постулату “*каков грунт земли, таков и лес*”. Будучи горячим приверженцем идей В.В. Докучаева о взаимосвязях в природе, Морозов попытался создать классификацию типов насаждений на базе генетических типов почв – дубравы на серых, темно-серых лесных почвах, солонцах и др. ([Морозов, 1913](#)). Однако эта классификация не получила распространения, так как нередко одни и те же типы насаждений (леса, сходные по составу и продуктивности) оказывались на разных типах почв и наоборот.

Первая научная классификация почв, как известно, разработана римским естествоиспытателем *Луцием Колумеллой (I век н. э.)*, разделившим почвы по их тучности (от бедных до богатых) и увлажнению (от сухих до сырых ([Крупеников, 1981](#))). Заметим, что почвы бедные и богатые, сухие и влажные выделяли еще в Древней Греции ([Теофраст, III век до н.э.](#)), но только отечественные лесоводы объединили эти два параметра почв, как они всегда представлены в природе. Сначала Гаффельдер ([Гаффельдер, 1835](#)), а далее А.А. Крюденер ([Крюденер, 1916](#)) и П.С. Погребняк ([Погребняк, 1931](#)) создали классификации почв в координатах их обеспеченности пищей и влагой. Применение этих классификаций показало, что образование разных типов леса обусловлено не генетическими особенностями почв, а механическим составом почвообразующих пород, определяющих содержание биоэлементов в формирующихся из них почвах. Широко применяемая в настоя-

щее время классификация Погребняка, получившая название “эдафической сетки” (от лат. *edaphos* – земля, почва), представляет систему координат из четырех типов богатства, трофотопов (от А. бедных до D. богатых) и шести типов влажности, гигротопов (от 0 сухих до 5 заболоченных). В единстве они представляют типы земель, типы местообитаний (А₂ – бедный свежий, D₃ – богатый влажный). А вместе с растущими на них насаждениями – типы леса. Выделено четыре основных типа, приуроченных к землям разного богатства: на А. бедных – **боры** (сосна), на В. относительно бедных – **субори** (сосна с примесью ели или дуба), на С. относительно богатых – **сурамени** и **сугруды** (сосново-еловые и сосново-дубовые леса), на D. богатых – **рамени** (ельники), **груды** (дубравы). Названия лесов народные. Каждый тип представлен шестью типами увлажнения – от сухих до заболоченных ([Мигунова, 2018](#), С. 131). Типы леса выделяются по изменению состава и продуктивности насаждений – растительность принята критерием качества почв. Широкие возможности использования данной сетки довольно скоро выдвинули ее на положение **теоретической основы лесохозяйственного производства Украины**, где принята эта классификация. Ни одно хозяйственное мероприятие не проводится здесь без предварительного определения типа леса и его местообитания. Это нередко выводило лесное хозяйство Украины на уровень одного из лучших в мире.

Оценка обеспеченности почв элементами питания и влагой осуществляется при этом в основном по составу и продуктивности всех ярусов лесных насаждений методом **фитоиндикации**. Лесоводам давно известна требовательность разных видов растений к плодородию почв – от олиготрофа (сосны обыкновенной), мезотрофов (дуба и ели) до мегатрофов (ясеня обыкновенного, кленов, ильмовых). Мы постарались подвести под этот метод почвенное обоснование.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Первыми по времени в рамках этой тематики были работы по изучению лесорастительных свойств засоленных почв.

В процессе работ на этих почвах были обследованы все районы их распространения на территории Украины – зона сухих

степи – Присивашье, в том числе Крымское, от Мариуполя до долины Дуная (Измаильский лесхоз), а также Среднее Приднепровье, где имеются почвы содового засоления. Поскольку древесных насаждений на разных видах засоленных почв в этих районах очень немного, были предприняты поездки в Поволжье – на Прикаспийскую низменность, в Ергени и дельту Терека. Большая поездка была совершена также по Средней Азии (Самарканд – Ашхабад – предгорья Копетдага). Эти поездки предпринимались не только для изучения лесорастительных свойств засоленных почв, но и для знакомства с имеющимся опытом создания на них лесных насаждений. Всего было заложено более 600 пробных площадей, а также большое количество почвенных разрезов на участках, подбиравшихся для закладки опытных культур.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенных исследований была оценена токсичность разных групп легкорастворимых солей (табл. 1). Установлено, что лесопригодность засоленных почв обусловлена *глубиной залегания угнетающих и токсических количеств легкорастворимых солей, особенно хлоридов и соды, и уровнем их увлажнения.*

Таблица 1. Допустимые, угнетающие и токсические количества легкорастворимых солей для солевыносливых деревьев и кустарников
Table 1. Permissible, inhibitory and toxic amounts of readily soluble salts for salt-tolerant trees and shrubs

Ионы вредных солей	Условия увлажнения	Содержание в % от веса почвы		
		допустимое	угнетающее	токсическое
CO_3^{2-} (сода)	Сухие	< 0.005	0.005 – 0.01	> 0.01
	Свежие	< 0.01	0.01 – 0.02	> 0.02
	Влажные	< 0.02	0.02 – 0.04	> 0.04
Cl ⁻ (хлориды)	Сухие	< 0.01	0.01 – 0.03	> 0.03
	Свежие	< 0.03	0.03 – 0.06	> 0.06
	Влажные	< 0.06	0.06 – 0.15	> 0.15
SO_4^{2-} (сульфаты, за вычетом гипса)	Сухие	< 0.1	0.1 – 0.3	> 0.3
	Свежие	< 0.3	0.3 – 0.5	> 0.5
	Влажные	< 0.5	0.5 – 1.0	> 1.0

*Ориентировочно содержание вредных сульфатов (без гипса) определено вычитанием из общего количества мг-экв. SO_4^{2-} разности $(\text{Ca}^{2+} - \text{HCO}_3^-)$.

Только учет этих двух характеристик – засоления и увлажнения – позволил дать основательную характеристику лесопригодности засоленных почв, выделив среди них пять групп: **лесопригодные, ограниченно, условно лесопригодные, пригодные только под солеустойчивые кустарники и полностью нелесопригодные**. Составлена сводная классификация засоленных почв по солонцеватости и солончаковатости с оценкой их лесопригодности ([Мигунова, 1978, 1994](#)). Наиболее объективным количественным показателем уровня водообеспеченности местообитаний при относительно глубоком залегании грунтовых вод является запас в них доступной влаги, определяемый по разности между общими весенними ее запасами в корнеобитаемом слое почвогрунта и влагой, оставшейся неиспользованной в самое засушливое время в конце вегетационного периода. Впервые этот показатель был применен Г.Н. Высоцким ([Высоцкий, 1900](#)) в 1893 г. в Велико-Анадоле. Он позволил установить, что древесная растительность расходует больше влаги, чем травянистая. Одновременно этот метод дает возможность по глубине иссушения почвогрунта определять объем корнеобитаемой зоны.

Экологический подход к оценке водообеспеченности местообитаний и насаждений на них при огромном разнообразии увлажненности почв в разных природных зонах позволяет выделить для каждой зоны несколько (5–8) крупных категорий водообеспеченности (гигротопов) – от очень сухих до сырых и мокрых (болотных). Меняется только соотношение площадей между разными гигротопами и их положение в рельефе.

В таблице 2 приведен экологический ряд водообеспеченности почв сухой степи, где нами выделено 9 гигротопов, кроме шести, встречающихся в лесной зоне (от сухого до мокрого), три более сухих нелесопригодных. На юге лесной зоны сухие типы местообитаний накапливают 300–450 мм доступной влаги, свежие – 450–600 мм, влажные – 600–800 мм. На землях, запасавших менее 300 мм доступной влаги, естественные леса отсутствуют, а искусственные посадки неустойчивы и недолговечны.

Таблица 2. Экологический ряд водообеспеченности почв сухой степи (на примере Причерноморья)
Table 2. The ecological series of water supply in soils of the dry steppe (by the example of the Black Sea)

Типы увлажнен- ности земель (гигротопы) и их индексы	Количество доступной влаги (мм) в слое 0–300 см	Основные источники водоснабжения	Преобладающие почвы, их положение по рельефу
Мокрые (5)	> 1000	Грунтовые воды	Болотные
Сырые (4)	500–1000	Грунтовые воды	Лугово-болотные
Влажные (3)	400–500	Грунтовые воды	Луговые
Свежие (2)	300–400	Атмосферные осадки + влага капиллярной каймы грунтовых вод	Каштаново-луговые и лугово- черноземовидные в поймах
Сухие (1)	200–300	Атмосферные осадки + поверх- ностный и внутripочвенный стоки	Лугово-каштановые в микропонижениях и на нижних частях склонов
Очень сухие (0)	150–200	Атмосферные осадки – поверх- ностный сток	Каштановые слабосолонцеватые глубокозасоленные почвы водоразделов (зональные)
Особо сухие (-1)	100–150	Атмосферные осадки	Среднесолонцеватые и глубокосолонча- коватые каштановые, эродированные
Крайне сухие (-2)	50–100	Атмосферные осадки (частично)	Сильносолонцеватые и солончаковатые каштановые, глубокие солонцы
Ультра сухие (-3)	< 50	Атмосферные осадки (частично)	Мелкие и корковые солончаковые солонцы

Определяющее значение в данном случае имеет полное исчерпание из почв доступной влаги. При таком водном режиме в естественной природе леса уступают место степям, растительность которых в засушливый период практически прекращает вегетацию.

Оценена также доступность для древесных пород грунтовых вод разной степени минерализованности. При близком залегании они служат для растений источником не только влаги, но и элементов питания и легкорастворимых солей. Собраны данные о мощности почв как ограничивающем факторе. Определены почвы, которые из-за низкой лесопригодности рекомендовалось исключать из-под облесения. Названные выше пять групп приняты и как пять галогенных (от греч. *hals (halo(s))* – соль) вариантов разных трофотопов. Позже они были выделены нами как самостоятельные **галотопы** – Е, F, G, H – продолжающие ряд трофотопов (А – D) эдафической сетки, от Е – слабозасоленных до H – злостнозасоленных (рис. 1). Это позволяет использовать такую сетку не только в лесной зоне, но и в степи и южнее.

Оценена солевыносливость произрастающих в районах распространения засоленных почв деревьев и кустарников. Выявлена весьма солевыносливая древесная порода – ясень остроплодный (*Fraxinus oxycarpa* (Willd)). Предложена система агротехнических и мелиоративных мероприятий по выращиванию насаждений на почвах с признаками засоленности. Эти материалы получили широкую известность во всех регионах быв. СССР, где имеются засоленные почвы, а также в Болгарии, и использовались проектными и производственными организациями при отводе земель под облесение и создании насаждений. Разработана шкала производительности почвогрунтов от I класса, пригодных для выращивания плантаций быстрорастущих пород до IX, полностью нелесопригодных. Лесоводы-морозовцы чаще пользуются термином “почвогрунты”, а не “почвы”, понимая какое большое значение имеют для древесной растительности с ее заглубленной корневой системой почвообразующие породы, их состав и водно-физические свойства. Разработана лесотипологическая классификация степной и более засушливых зон.

Одной из причин, по которой нам удалось решить поставленные задачи, была не только массовость наблюдений, но и принятая методика проведения исследований – сопряженное изучение почв (детальное их описание и анализ почвенных образцов до глубины 3 м (для чего почвенные разрезы доуглублялись бурением) и грунтовых вод, при их залегании выше 3 м, и таксационные описания насаждений на пробных площадках $20 \times 20 \text{ м}^2$. При этом пробные площади с почвенными разрезами закладывались на всех участках, различающихся состоянием насаждений – экологическими рядами – по 3–5 на каждом участке.

В 1975 г. по результатам этих работ была защищена докторская диссертация на тему: *“Лесопригодность засоленных почв и способы создания на них насаждений”*.

Следующим крупным этапом наших работ было изучение трофности лесных местообитаний (1970–1980 гг.). Хотя эдафическая сетка как основная классификационная модель давно используется украинскими типологами в научных и производственных работах, отсутствие понятийного и количественного обоснования одного из главных ее аргументов – *трофности* – было существенной ее недоработкой. Предложенный Г.Н. Высоцким термин “трофность” (от лат. *trophe* – пища) изначально увязал шкалу трофотопов эдсетки с нарастанием обеспеченности лесных местообитаний элементами питания растений. Однако определение подвижных форм NPK общепринятыми методами не выявляло никаких закономерных различий в их содержании в разных трофотопках.

Мы начали разработку вопросов трофности с сопряженного изучения лесных насаждений и всего комплекса факторов, формирующих их местообитания (почв, рельефа, почвообразующих, а при залегании выше 3 м также подстилающих пород и грунтовых вод) в лесной зоне и лесостепи Украины. Для того чтобы определить насколько объективны установленные типологами закономерности взаимосвязей лесных насаждений и среды и насколько широко они применимы, мы в разные годы, в основном внепланово, посетили многие заповедники, научные учреждения и производственные организации на огромной территории – от Закарпа-

тъя, Прибалтики и Архангельска до Красноярска, Якутска и Норильска, заложив в целом более 500 круговых пробных площадей.

Собранный материал в основном подтвердил выявленные ранее типологами связи между составом насаждений и механическим составом почвогрунтов, отражающим их минеральный состав, а потому и количество биоэлементов, сосредоточенных в тонких фракциях. Следовательно, чем больше в почвах песка, тем меньше в них биоэлементов. К чистым пескам в разных зонах приурочены насаждения олиготрофа сосны обыкновенной (тип А эдсетки, бедный – боры). Когда в верхнем 1.0–1.5-метровом слое песков имеются суглинистые прослойки, в сосновых насаждениях появляется второй ярус мезотрофов – ели в тайге, дуба в лесостепи (тип В, субори). При неглубоком подстилании песков суглинистыми породами (до 1.0–1.5 м) в сосново-еловых и сосноводубовых насаждениях имеется в разной степени выраженный третий ярус мегатрофов – липы, лещины (тип С, сурамени, сугрудки). При подстилании песков суглинками на глубине 1.5–3.0 м формируются высокопродуктивные чисто сосновые субори и сугруды, поскольку корни других древесных пород не могут достичь этих более богатых пород. И, наконец, к суглинистым отложениям в разных зонах разных генетических типов почв приурочены насаждения из требовательных пород – мезо- и мегатрофов (груды), различающиеся составом главных пород, обусловленным климатом, – рамени (ельники) в тайге, бучины – в мягком климате широколиственных лесов, дубравы – в лесостепи.

Проведенными исследованиями была подтверждена не только тесная связь между гранулометрическим составом почвогрунтов и количеством в них элементов питания растений, но и то, что с повышением оглиненности песков очень быстро увеличивается содержание в них биоэлементов. Уже 2–3 % физической глины достаточно для того, чтобы перевести их из одной группы богатства в другую. Поэтому многие лесоводы очень внимательно относятся к определению гранулометрического состава песков, а некоторые (А.Г. Гаель, А.С. Гладкий) подразделяют их не на две группы (рыхлые и связные), а на три (пески при содержании частиц < 0.01 мм до 3 %, глинистые пески – 3–6 %, легкие супеси – 6–10 %).

В результате обработки всех собранных данных установлено, что трофность лесных местообитаний определяют **наибольшие в пределах корнедоступного слоя** (для сосны до 3–3.5 м) **общие (валовые) количества** двух важнейших для жизнедеятельности растений элементов – **фосфора и калия**, исключая практически недоступный растениям калий кристаллических решеток полевых шпатов (табл. 3). К сожалению, именно этот калий преобладает на нашей планете. Остальные, в том числе труднодоступные формы этих элементов, извлекаются длительным кипячением в смеси концентрированных серной и хлорной кислот (вытяжка [Гинзбург, 1975](#)).

Таблица 3. Количества P_2O_5 и K_2O (извлекаемые вытяжкой Гинзбург), определяющие уровень обеспеченности почвогрунтов элементами минерального питания растений

Table 3. Amounts of P_2O_5 and K_2O (extracted using Ginsburg method), determining the level of supply of soil with mineral elements for plant nutrition

Уровень обеспеченности почвогрунтов	Наибольшие количества (%) в корнедоступной зоне почвогрунта*		Преобладающие почвообразующие породы
	P_2O_5	K_2O	
А. Бедные	< 0.02	< 0.03	Кварцевые пески
В. Относительно бедные	0.02–0.04	0.03–0.06	Полиминеральные и глинистые пески, элювий кислых пород
С. Относительно богатые	0.04–0.06	0.06–0.20	Супеси, подстилаемые суглинками
Д. Богатые	> 0.06	> 0.20 (0.80)**	Лессовидные, покровные, моренные и другие суглинки и глины, мощный элювий основных пород

* Исключая органогенные горизонты.

** 0.80 % K_2O и больше содержится в почвогрунтах, на которых растут наиболее требовательные древесные породы (ясень, клены, ильмовые).

Из двух этих элементов количество фосфора в природе очень невелико. “В природе, как известно, постоянно не хватает фосфора. И именно эту нехватку обычно имеют в виду, когда говорят о бесплодии почв.” (Диви, 1972, С. 128). Количество фосфора в растениях нередко превышает его содержание в почвах в 70 и более раз. Никакой другой элемент таких величин биологической аккумуляции не имеет. Количество калия, наоборот, очень велико, но почти весь он недоступен растениям. Количество азота в почвах обусловлено содержанием фосфора, необходимого для его фиксации из атмосферы (Пошон, 1960).

Наиболее богатыми элементами питания являются почвы, сформированные на богатых ими горных породах. Так еще сотрудники Нижегородской экспедиции Докучаева (1882–1886 гг.) обнаружили очень высокое плодородие черноземов на юрских отложениях. Это очень заинтересовало ученого в связи с проблемой возможного удобрения богатых черноземов. Лесовод А.А. Крюденер (Крюденер, 1916) кроме юрских отложений отметил очень высокое плодородие почв, сформированных на девонских глинах и глауконитовых песках. При этом он высказал предположение, что богатство почв биоэлементами может оцениваться по количеству в них фосфора и калия. Отечественные почвоведы за прошедшие после работ Докучаева годы к этим вопросам не обращались. В обзоре публикаций по горным породам западноевропейских авторов (Krabichler, 1981) основное внимание уделяется поведению биоэлементов, выделяемых на разных стадиях выветривания пород. В монографии по почвообразующим породам, опубликованной Московским университетом (Самойлова, 1983), вопрос о содержании в них биоэлементов даже не поднимается. А это единственный источник на Земле элементов питания растений, без которых нет жизни. Генетические типы почв отражают уровень увлажнения местообитаний, что проявляется, прежде всего, в продуктивности насаждений. Однако при этом ель, легко потребляющая биоэлементы из минеральных слоев почвогрунта на злостных суглинистых подзолах, благодаря лучшей водообеспеченности может достигать более высокой продуктивности, чем дуб на серых лесных почвах, имеющих метровый гумусовый горизонт. На неоподзоленных песчаных землях эти породы-мезотрофы

даже не приживаются. Почвообразующие породы, а соответственно, и почвы на них существенно различаются по содержанию этих элементов. В пределах природных зон, сформированных климатом, особенности растительности обусловлены наличием в почвогрунтах элементов питания и влаги: *от разных по составу лесов, степей и лугов из требовательных видов растений на богатых биоэлементами суглинистых почвогрунтах, особенно лессах, имеющих нейтральную реакцию, при которой биоэлементы наиболее доступны, а также на минерализованных грунтовых водах, до почти лишенных растительности перевенных кварцевых песков (практически 100 % бесплодного кварца) и верховых сфагновых болот на ультрапресных дождевых водах.*

При этом сразу выявилась жесткая связь роста насаждений с механическим составом почв, определяющим их водно-физические свойства, а потому обуславливающим и пищевой и водный режимы почв, оба главных фактора их плодородия.

Определение трофности как основного аргумента эдафической сетки, позволяющего оценивать богатство местообитаний, а значит и определяемый им состав насаждений, важно не только этим. Когда было установлено, что трофность местообитаний обусловлена содержанием в них элементов минерального питания, появилось понимание того, что *лесотипологическая классификационная система базируется на трех глобальных лимитированных экологических* (необходимых для жизни) *ресурсах: тепле, влаге и пище*. Впервые эти три фактора “*элементами жизни растений*” назвал Г.Н. Высоцкий ([Высоцкий, 1904](#)). В 1939 г. два “космических” (тепло и свет) и два “земных” (пища и влага) фактора жизни растений выделил В.Р. Вильямс. Из типологов П.С. Погребняк неоднократно отмечал особую роль этих факторов для формирования разных типов леса. Но эти ученые не оценивали их как факторы, лимитирующие жизнь. Между тем эти факторы представляют важнейшие составляющие плодородия среды и потому определяют все разнообразие природы нашей планеты. Тепло выступает в качестве ограничителя жизнедеятельности в приполярных областях и на высокогорьях, элементы питания – в тропических лесах, на грунтах легкого механического состава, мало-

мощных и выпаханных землях. На остальной преобладающей части суши главным ресурсом, ограничивающим жизнь биоты, является влага. Высказывавшиеся в разные годы предложения включить свет в качестве классификационного параметра остались не реализованными, так как свет, поступая на Землю в огромных количествах, не лимитирует жизнедеятельность и продуктивность биоты в целом, выступая в качестве ограничителя лишь по отношению к подчиненным ярусам растительного покрова. Зная количества этих ресурсов, можно прогнозировать состав и продуктивность биоты в любой точке планеты и программировать ее, воздействуя на них, особенно на фактор, находящийся в первом минимуме.

Сопряженные классификационные модели среды и растительности лесной типологии – **климатическая и эдафическая сетки** (системы) – построены в координатах **только лимитированных ресурсов среды**: климатическая – по нарастанию количества тепла и атмосферных осадков, эдафическая – по увеличению запасов пищи и доступной влаги в почвогрунтах. Все они уже оценены типологами количественно. В холодном климате сумма положительных средних месячных температур (сумма тепла) 24–44 °С, в теплом – 124–144 °С. В бедных типах наибольшее количество валовых P_2O_5 и K_2O (без калия полевых шпатов) меньше 0.02 и 0.03 %, в богатых соответственно больше 0.06 и 0.80 %. Количество доступной влаги в очень сухих типах 150–200, во влажных – 400–500 мм. Засоленность почв наиболее четко отражает глубина залегания токсичных количеств хлора ($> 0.03 \% Cl^-$) и соды ($> 0.01 \% CO_3^{2-}$) (Воробьев, 1961; Мигунова, 1994).

В эти же годы (1980–1986) была выполнена большая договорная с Гидропроектом тема: “**Прогноз влияния строительства канала Днепр – Донбасс на растительность и почвы поймы р. Северский Донец**”. Сделанный прогноз позволил отказаться от намечавшегося доуглубления русла Донца на участке сброса днепровской воды.

На рисунке 1 представлена модель классификации лесных экосистем (эдафическая сетка) Восточно-Европейской лесостепи с количественными параметрами местообитаний: по координате трофности-засоленности – нарастание количеств P_2O_5 и K_2O в по-

верхностных отложениях по мере утяжеления их механического состава, а в условиях засоления – токсичных количеств хлора; по координате водообеспеченности – увеличение запасов доступной влаги с понижением рельефа, а при близком залегании грунтовых вод – их глубина. Внутри сетки размещены типы леса (лесные экосистемы), их состав и продуктивность, и соответствующие им типы почв в разных типах местообитаний.



* Переходящие в вытяжку Гинзбург в корнедоступной зоне.

** Токсичные количества для солевых засоленных пород.

Рис. 1. Модель сопряженной классификации лесов и лесных местообитаний Центральной лесостепи Восточно-Европейской равнины с ареалами земель разной производительности.

Fig. 1. Associated classification model of forests and forest habitats of the Central forest-steppe of the East European Plain, including areas with different land productivity.

Типы леса: α – пустоши (предборовые пустоши), А – боры, В – суборы, С – судубравы (сугруды), D – дубравы (груды), Е – загруды, F – галоруды, G – галопустоши (солончаковые пустоши);

Состав коренных насаждений: 1 ярус/2 ярус

Преобладающий тип почв

1.65; 9. 49 – средний прирост древесины, т/га в год;

I–IX – земли разного уровня производительности (I – наиболее высокопроизводительные, IX – нелесопригодные;

С – сосна, Д – дуб, Я – ясень, Лп – липа, Б – береза, Ол. ч. – ольха черная.

На бедных песчаных землях боровых террас и выходах третичных песков преобладают искусственные сосновые древостои, созданные на месте широко распространенных здесь в прошлом дубово-сосновых насаждений – суборей и сугрудов. Черноземы на лессовых породах водоразделов (тип D), где раньше господствовали степи, распаханы. На более увлажненных землях коренных берегов рек произрастают сложные кленово-липовые дубравы на серых лесостепных почвах. На солонцеватых черноземах в прошлом были распространены менее продуктивные степи кое-где с зарослями солевывосливых кустарников, сменяющиеся по мере увеличения засоленности сообществами травянистых галофитов. При подтягивании грунтовых вод к поверхности идет процесс заболачивания, при слабоминерализованных водах – по переходному типу, на богатых – по низинному с древостоями черной ольхи. На засоленных землях формируются нелесопригодные солончаковые почвы и солончаки. По производительности и лесопригодности мы объединили все эти земли в девять классов. На эдафической сетке они образуют систему ареалов: от I наиболее высокопроизводительных (средний прирост древесины более 9 т/га в год) в богатых оптимально увлажненных условиях (типы C_{2-3} – D_{2-3}) до IX практически бесплодных – очень бедные (α), сильнозасоленные (H) и переувлажненные (6) земли, очень сухие (0).

Приведенные данные свидетельствуют, что эдафическая сетка представляет прекрасную бонитировочную модель почв, учитывающую все основные факторы их плодородия. В разных зонах закономерности изменения уровня плодородия почв сходны.

Наивысшей производительностью характеризуются оптимально увлажненные почвы. Климат – количество и соотношение по сезонам года тепла и влаги – определяет степень реализации потенциала почв.

Принципы лесной типологии дают развернутую характеристику законов, ответственных за взаимосвязи живой и неорганической составляющих природы, которые Докучаев называл сутью, ядром естествознания ([Докучаев, 1899](#)). Главное – это признание жесткой обусловленности живых организмов плодородием нашей планеты, количеством, соотношением и распределением по сезонам года тепла, влаги и пищи. Эти ресурсы определяют уровень биоразнообразия, состав, структуру и продуктивность всего живого на нашей планете. В общем виде это положение может быть сформулировано следующим образом: *какова среда, такова и ее биота*.

Разработана система экологических таксонов, включающая типы среды (тип климата, тип местообитания и тип лесорастительных условий как единство климатопы и эдактопы) и типов растительности – тип насаждения (естественные леса) и тип древостоя (производственные и искусственные насаждения).

Тип среды + тип насаждения → тип леса (лесная экосистема).

Мы называем эту элементарную ячейку природы *биоэкосистемой и определяем как однородный по плодородию (экологически однородный) участок суши или мелководья вместе со сформировавшимся на нем в процессе длительной эволюции биоценозом, строго соответствующим по своим экологическим потребностям уровню его плодородия и потому наиболее полно его использующим, самовосстанавливающимся после уничтожения стихийными и антропогенными факторами*. Составлена глобальная *эдафо-климатическая сетка*. Координатами ее являются главные *абиотические факторы: климат, поверхностные отложения и грунтовые воды* и их составляющие, лимитирующие жизнь, – *тепло, влага и пища*; зависимыми переменными – *биотические и биокосные – растительность, животные, почвы* ([Мигунова, 1994](#)).

Одинаковые типы экосистем, как следует из этой классификации, формируются в одном климате на близких по потенциальному плодородию – **биологически равноценных** – поверхностных отложениях. Их единства – **экосистемы** – могут рассматриваться как **виды** (элементарные экосистемы – свежая кленово-липовая дубрава, сырой белоусовый луг) и **типы** (сложные экосистемы – массивы нагорных дубрав, сосновых боров, сфагновых болот) **природы** ([Мигунова, 2014](#)).

В.В. Докучаев всю жизнь призывал изучать природу в целом, а не отдельные ее звенья. Однако он не мог представить возможности создания единой классификации природы. Типология позволяет это сделать потому, что ею принят единый критерий оценки экологических особенностей всех природных факторов. Им является высшая растительность, масса которой превышает 99 % всего имеющегося на Земле органического вещества. Метод оценки среды по растительности – **фитоиндикация среды** – одно из первых серьезных постижений человеком законов природы. Известно, что ею пользуются, в том числе с выделением особых растений-индикаторов, племена, находящиеся на самых ранних этапах развития цивилизации ([Levand, 1983](#)).

Известный эколог Л.Г. Раменский ([Раменский, 1938, 1956](#)), изучавший луга с использованием метода фитоиндикации, выявил те же причины разнообразия луговой растительности и создал классификации лугов, полностью аналогичные лесотипологическим.

На учете лимитированных ресурсов можно разработать и уравнение связи почв с факторами почвообразования, двумя главными из них – климатом (тепло и влага атмосферных осадков) и поверхностными отложениями, служащими почвообразующими породами (пища и доступная влага, после ее перераспределения рельефом и вычета недоступной растениям влаги, остающейся в почвах во второй половине вегетационного периода после продолжительного засушливого периода). Зная количество тепла, влаги и пищи, и их распределение по сезонам года, можно определить состав и продуктивность растительности, а далее генетический тип и производительность почв. Когда типологи вслед за Крюденером разместили леса по плодородию их местообитаний, природа

из живописного хаоса превратилась в строгую и стройную систему, в которой все можно предвидеть, пролонгировать, рассчитать.

В процессе работ не один раз приходилось иметь дело с лесами, растущими на свежих речных наносах и обнажениях. В результате их осмотра нами выделен ряд этапов и стадий первичного почвообразовательного процесса (табл. 4), в котором дерновый тип выступает как незавершенный этап почвообразования. Однако в особо жестких условиях (ультрасухих, бедных, холодных) он может сохраняться неопределенно долго. Что касается скорости почвообразования, смен разных стадий и этапов, то, по нашим данным, они происходят относительно быстро, особенно в благоприятных климатических и гидрологических условиях, исчисляясь десятилетиями.

Описанный В.В. Докучаевым ([Докучаев, 1883](#)) процесс формирования почв на развалинах Старо-Ладожской крепости нетипичен, так как она сложена из валунов массивно-кристаллических пород.

Выявлена огромная роль широко распространенного **внутрипочвенного и внутригрунтового стока**, к местам концентрации которого на доступной для древесных пород глубине приурочены **все наиболее высокопродуктивные лесные массивы**: Брянский на путях транзита почвенно-грунтового стока со Среднерусской возвышенности в низменное Полесье, Беловежская пушта на стоке с Прикарпатья, а также высокопродуктивные участки в других насаждениях и **все лесостепные дубравы**. Именно этот сток определяет устойчивое произрастание в пределах одной зоны двух различных по своим экологическим потребностям растительных формаций. Леса приурочены к коренным берегам рек, на которых концентрируется внутрипочвенный сток. Это исключает сильное иссушение почв во вторую половину вегетационного периода. Степи, заканчивающие в этот период вегетацию, занимали центральные части водоразделов. Севернее, в лесной зоне, наличие стока определяет большую продуктивность древостоев, в степи – смены разных типов растительности – злаково-разнотравных и ковыльных, типчаково-полынных и полынных. Даже в полупустынях к местам концентрации такого стока приурочены заросли солевыносливых кустарников.

Таблица 4. Этапы и стадии почвообразовательного процесса

Table 4. Stages and phases of the soil formation process

Этапы	Первичный		Дерновый		Зональный и климаксовый	
Стадии	Предпоч- ва	Первичная	Собственно дерновая	Переходная к зональной	Коротко- профильная	Полно- профильная
Почвы	Слабо гумуси- рованные породы	Первичные, примитив- ные	Дерновые слаборазвитые	Дерновые мало-, средне- мощные и мощные	Дерновые оподзоленные, дерново-бурые, черноземовидные, дерново-луговые и др.	Дерново- подзолистые, бурые, черноземы, луговые и др.
Строение профиля	C(A)–C	CA–C	AC–BC–C	A(C)–B(C)–C	A–B(C)–C + A ₁ A ₂ и др.	A–B–C + A ₂ и др.

Мы полагаем целесообразным дополнить четыре выделенных (Г.Н. Высоцкий) типа водного режима (**промывного, периодически промывного, непромывного и выпотного**) пятым – **боковым**, особенно интенсивно выраженным на двучленных породах (пески и супеси, подстилаемые суглинками) и склоновых землях.

В статье, посвященной обоснованию зональности почв, Н.М. Сибирцев ([Сибирцев, 1895](#)) назвал почвы геобиологическими образованиями. Развивая эти положения ученого, утверждаем, что причиной четко выраженной зональности почв является их биокосная ([Вернадский, 1926](#)) природа. У минеральных тел зональность отсутствует, на что указывал зачинатель разработки проблемы зональности природы А. Гумбольдт ([Гумбольдт, 1807](#)). Это очень важный момент, требующий значительного усиления внимания к биологическим процессам, совершающимся в почвах. Возможно, разработка путей управления этими процессами позволит повлиять на уровень плодородия почв.

К этим проблемам тесно примыкает еще одна очень важная функция почв, на которую в почвоведении с момента становления разных его школ, как нам представляется, совершенно не уделяется внимание. Это функция **глобального санитара**. С момента формирования современной природы все отжившее и отслужившее разлагается в почве и превращается в почву. До последнего времени почвы успешно справлялись с этой задачей, однако все нарастающее загрязнение среды грозит тем, что они не смогут с ним справиться, и почвоводам необходимо предвидеть этот процесс и подготовиться к нему.

Многие годы мы занимаемся историей почвоведения ([Мигунова, 1994](#)). Написаны работы о В.В. Докучаеве, Н.М. Сибирцеве, Г.Н. Высоцком. Обосновывается необходимость восстановления учения о почве как среде обитания растений. **“Изучение свойств почв по их отношению к жизни растений составляет предмет почвоведения”** ([Костычев, 1940](#)). Приведенные выше материалы, характеризующие почвы методами лесной типологии, представляют собой пример изучения почв как среды обитания растений, прежде всего их обеспеченности элементами питания и влагой. Они свидетельствуют о жесткой обусловленности растительности почвогрунтами и их плодородием. Это требует учета

свойств почв на всех этапах ведения сельско- и лесохозяйственного производства и создания оптимальных условий для роста растений.

Отечественные почвоведы уже очень многие годы изучают почвы как природное тело, сосредоточив внимание на их морфологии, по которой выделяют генетические типы. Более того, предлагается исключить из названий почв указания на их связь с растительностью (лесные, луговые) ([Шишов и др., 2004](#)). Поэтому вопросы генезиса почв и все, что с ними связано, отечественные почвоведы решают весьма успешно. Что же касается познания почв как среды обитания растений, то даже понимание этого вопроса практически полностью утрачено. Дальнейшее успешное развитие почвоведения возможно только на путях изучения почв как среды обитания растений и восстановления понимания того факта, что свойства этой среды определяются исходными породами, из которых почвы на 90–95 %, а сплошь и рядом на 98–99 %, состоят. Решение этой проблемы возможно при признании **генетического почвоведения**, прежде всего разделов генезиса и географии почв, теоретической базой учения о почве и воссоздание, в том числе за счет накопленного экологической школой лесной типологии и зарубежными почвоведомы опыта, учения о почве как среде обитания растений или **экологического** (от *oikos* – дом, среда) почвоведения. Только в этом направлении возможно преодоление давно сложившегося отчуждения между ведущими коллективами почвоведов генетической школы и представителями аграрной науки и превращение почвоведения в теоретическую базу земледелия, в подлинно фундаментальную науку о плодородии поверхности Земли, обеспечившую в свое время возникновение на ней жизни, о путях его поддержания и воспроизводства за счет наиболее эффективного использования разных типов и видов почв. Изучение почв должно завершаться не установлением их генетической принадлежности, а возможно более полным определением их основных функций – для каких видов использования и для каких культур они наиболее пригодны и какую их урожайность они способны обеспечить.

Отечественные почвоведы в значительной мере под влиянием идей В.В. Докучаева о почве как особом природном теле давно

перешли на изучение почв как таковых, без связи с той растительностью, которая на них произрастает и выращивается, а следом, уже в разрез с идеями Докучаева, от изучения плодородия и решения вопросов, представляющих интерес для сельскохозяйственного производства. По мере усиления отхода от запросов практики, при том, что почвы представляют основной объект сельскохозяйственного производства, сформировались представления о почвоведении как о чисто академической науке, и, более того, почвоведы уже добились для него такого статуса. Генетическое почвоведение (разделы генезис и география почв) можно признать академической наукой, но основное направление почвоведения, включая агропочвоведение, – это центральная сельскохозяйственная дисциплина, изучающая почву как основной объект сельскохозяйственного производства. А это одна из ведущих отраслей народного хозяйства, обеспечивающая на протяжении веков все жизненно важные потребности человека. Мы не говорим уже о том, что наша цивилизация началась с появлением земледелия. Внимание должно быть направлено на изучение плодородия почв как важнейшего составляющего природы Земли, основы жизни. Нужно не сравнивать (бонитировать) почвы по плодородию, а направлять все усилия на изыскание путей его поддержания и повышения. Не охранять (что сейчас привлекает много внимания), а поддерживать и повышать его, тесно сотрудничая с представителями разных отраслей сельскохозяйственного производства. Выход на эту ответственную роль предложен Н.М. Сибирцевым ([Сибирцев, 1951](#)) более 100 лет назад. Это единение генетического почвоведения, изучающего почву как природное тело по строению их профиля, с веками существующим учением о почве как среде обитания растений, оценивающим их по плодородию и классифицирующим по гранулометрическому составу. Весьма показателен пример почвоведов США. Создавая глобальные “приближения”, на местном земледельческом уровне они классифицируют почвы прежним агрогеологическим методом – по горным породам, выделяя тысячи почвенных серий, оцениваемых по количеству биоэлементов, влаги, а иногда тепла. И.П. Герасимов назвал этот принцип для почвоведов США неискоренимым ([Геннадиев, Герасимова, 1980](#)). Введенная в 1920-е годы известным профессором

Марбутом генетическая классификация уже через два года была заменена прежней – по горным породам ([Кирюшин, 2011](#)).

Докучаев, определивший почвы как природные тела, открыл широчайшие возможности всестороннего изучения почв и сам уже в первые годы выявил главное из того, что не было ранее известно. Это роль климата в развитии почв, и формирование в зависимости от его различий их разных генетических типов. Одновременно Докучаев видел главное – то, что почвоведение – это в первую очередь сельскохозяйственная наука, которая должна быть основой земледелия. Он настойчиво доказывал, что подъем сельского хозяйства страны невозможен без глубокого знания почв, без учета их специфики при проведении самых разнообразных сельскохозяйственных мероприятий. На этом положении базировался один из основных его принципов – зональность агрономии. Однако его последователи практически полностью исключили эти вопросы из арсенала почвоведения. Вот как писал об этом известный историк почвоведения А.А. Ярилов: “Ученики Докучаева уже через шесть лет после его смерти оторвались от тесного содружества с агрономией, которое самым энергичным образом устанавливал Докучаев.” ([Ярилов, 1939](#)). При изучении почв без связи с растительностью было резко понижено значение исходных материнских пород и их механического состава, предопределяющего обеспеченность почв биоэлементами и их пригодность для разных культур. При этом акцентируется внимание на разнообразных глобальных, биосферных функциях почв, вроде поддержания стабильности литосферы, гидросферы и др. Между тем биосферная функция почв исключительна по своему значению. Она состоит в том, чтобы быть средой произрастания высших зеленых растений, создающих в процессе фотосинтеза новое органическое вещество и тем самым поддерживающих жизнь на Земле.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В связи с изложенным внимание почвоведов должно быть сосредоточено на изучении плодородия разных типов почв. Необходимо существенное совершенствование принятых классификаций. Непригодность современных генетических классификаций для земледелия убедительно обоснована И.Ю. Савиным ([Савин,](#)

[2016](#)). А запросы земледелия для почвоведения – главное. Все остальное вторично. Классификации почв должны состоять из двух равноправных частей: генетического типа (на уровне подтипа), определяемого их строением, обусловленным теплом и увлажнением; и гранулометрического и вещественного составов, отражающих уровень их обеспеченности биоэлементами, – чернозем обыкновенный лессово-тяжелосуглинистый, дерново-подзолистая глеевая моренно-среднесуглинистая и др. Наши многочисленные материалы изучения содержания в почвах разного грансостава количества валовых фосфора и калия свидетельствуют о тесной связи их содержания с утяжелением грансостава. Однако изучение содержания фосфора и калия в почвообразующих породах разного состава и происхождения, безусловно, целесообразно.

Что касается условий увлажнения, то генетический тип их достоверно отражает внутри однородных по климату регионов с учетом перераспределения влаги рельефом. Увеличение мощности гумусированной части профиля и степени гумусированности почв свидетельствует о повышении уровня увлажнения. Оподрозленность и оглеение наблюдаются при наличии периодического переувлажнения и анаэробных условий. Определением количества доступной влаги методом Г.Н. Высоцкого ([Высоцкий, 1962](#)) можно получить достоверную оценку увлажнения разных типов почв.

Никакая самая детальная характеристика генетической принадлежности почв не дает ответа на вопрос “как оптимально их использовать?”. Определение лесоводами типа местообитания с оценкой обеспеченности пищей и влагой (богатое, свежее и др.) дает ответ на этот вопрос, что и вывело в свое время лесную типологию на положение теоретической основы лесоводства. При этом типологи учитывают не только почвы, но весь комплекс факторов, влияющих на рост растительности, – рельеф, грунты, а при близком залегании – грунтовые воды и подстилающие породы. Этот комплекс можно определить термином “земли”.

Почвы на почвообразующих породах сходного состава целесообразно объединять на надтиповом (ландшафтном) уровне при почвенном районировании.

Совершенствование имеющихся классификаций значительно облегчит почвоведению выход на положение теоритической основы земледелия, без которой оно, как утверждал В.Р. Вильямс, функционирует на уровне опытного дела.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

40. Вернадский В.И. Об участии живого вещества в создании почв // Тр. по биогеохимии и геохимии почв. М.: Наука, 1992. С. 282–301.
41. Вильямс В.Р. Почвоведение с основами земледелия. М.: Сельхозгиз. 1939. 447 с.
42. Воробьев Д.В. Лесотипологическая классификация климатов // Тр. Харьковского СХИ. 1972. Т. 169.
43. Высоцкий Г.Н. О карте типов местопроизрастаний // Современные вопросы русского сельского хозяйства. СПб. 1904.
44. Высоцкий Г.Н. Биологические, почвенные и фенологические наблюдения и исследования в Велико-Анадол. 1901–1902 // Избранные сочинения. М.: Изд-во АН СССР, 1962. Т. 1. С.159–497.
45. Гаффельдер. Описание хозяйства в Цирауских лесах, Курляндии // Лесной журнал. 1835. Ч. I. Кн. 1.
46. Геннадиев А.П., Герасимова М.И. О некоторых тенденциях в современных классификациях почв США // Почвоведение. 1980. № 9. С. 3–12.
47. Гинзбург К.Е. Методы определения фосфора в почвах // Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. 118 с.
48. Гумбольдт А. География растений. Л.: Сельхозгиз, 1936.
49. Диви Э. Круговорот минеральных веществ // Биосфера. М.: Мир, 1972. С. 120–138.
50. Докучаев В.В. Русский чернозем // Сочинения. 1949. Т. 3. С. 23–528.
51. Докучаев В.В. Место и роль современного почвоведения в науке и жизни // Сочинения. М.-Л.: АН СССР, 1951. Т. 6. С. 415–424.
52. Кирюшин В.И. Классификация почв и экологическая типология земель. СПб.: “Лань”, 2011. 283 с.
53. Костычев П.А. Почвоведение. 1886–1887. М.–Л.: Огиз-Сельхозгиз, 1940. 224с.
54. Крупеников И.А. История почвоведения. М.: Наука, 1981. 328 с.
55. Крюденер А.А. Основы классификации типов насаждений и их народнохозяйственное значение в обиходе страны. Птг. 1916–1917. Ч. I–II. 318 с.

56. *Мигунова Е.С.* О характере почвообразования под пологом широколиственных древесных насаждений в черноземной зоне // НДВШ. Биологические науки. 1960. № 1. С. 177–183.
57. *Мигунова Е.С.* Лесонасаждения на засоленных почвах. М.: Лесная промышленность, 1978. 144 с.
58. *Мигунова Е.С.* Классификация земель по производительности и лесопригодности // Лесное хозяйство. 1979. № 9. С. 16–19.
59. *Мигунова Е.С.* Лесоводство и почвоведение (исторические очерки). М.: Экология, 1994. 247 с.
60. *Мигунова Е.С.* Лесоводство и естественные науки (ботаника, география, почвоведение). М.: МГУЛ, 2007. 592 с.
61. *Мигунова Е.С.* Лесная типология, школа В.В. Докучаева и вопросы географии. Харьков: Новое слово, 2009. 302 с.
62. *Мигунова Е.С.* Леса и лесные земли (количественная оценка взаимосвязей). Харьков: Новое слово, 2010. 364 с.
63. *Мигунова Е.С., Гладун Г.Б.* В.В. Докучаев и лесоводство. Сумы: СНАУ, 2010. 432 с.
64. *Мигунова Е.С.* Типы леса и типы природы (экологические взаимосвязи). Palmarium. Германия. 2014. 293 с.
65. *Мигунова Е.С.* Почвоведение и лесная типология. Харьков: “Планета-Принт”, 2017. 94 с.
66. *Мигунова Е.С.* Почва как природное тело и среда обитания растений // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2018. Вып. 94. С. 124–153. DOI: [10.19047/0136-1694-2018-94-124-153](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2018-94-124-153).
67. *Морозов Г.Ф.* О типах насаждений и их значении в лесоводстве // Лесной журнал. 1904. Вып. 1. С. 6–25.
68. *Морозов Г.Ф.* Исследование лесов Воронежской губернии // Лесной журнал. 1913. Вып. 3–4. С. 463–481.
69. *Погребняк П.С.* Основы типологической классификации и методика ее составления // Сер. науч. изд. ВНИИЛХА. Вып. 10. 1931.
70. *Погребняк П.С.* Основы лесной типологии. Киев: АН УССР, 1955. 456 с.
71. *Пошон Ж. де Баржак.* Почвенная микробиология. М.: Иностраниздат, 1960. 438 с.
72. *Раменский Л.Г.* Введение в комплексное почвенно-геоботаническое исследование земель. М.–Л.: Сельхозгиз, 1938. 620с.
73. *Раменский Л.Г., Цаценкин И.А., Чижиков О.Н., Антипин Н.А.* Экологическая оценка кормовых угодий по растительному покрову. М.: Сельхозгиз, 1956. 470 с.

74. Савин И.Ю. Классификация почв и земледелие // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2016. Вып. 84. С. 3–9. DOI: [10.19047/0136-1694-2016-84-3-9](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2016-84-3-9).
75. Самойлова Е.М. Почвообразующие породы. М.: МГУ, 1983. 172 с.
76. Сибирцев Н.М. Почвоведение. Избранные сочинения. М.: Сельхозгиз, 1951. Т. I. С. 19–474.
77. Сибирцев Н.М. Об основаниях генетической классификации почв. Избранные сочинения. М.: Сельхозгиз, 1953. Т. II. С. 271–293.
78. Теофраст. Исследования о растениях. III в. до н.э. М.: АН СССР, 1951. 310 с.
79. Шишов Л.П., Тонконогов В.Д., Лебедева П.И., Герасимова М.И. Классификация и диагностика почв России. Смоленск. 2004. 342 с.
80. Ярилов А.А. Наследство В.В. Докучаева // Почвоведение. 1939. № 3. С. 7–19.
81. Krabichler A. Bodenbildung und Bodenfruchtbarkeit // Bodenkultur. 1981. Vol. 32. No. 4. P. 348–367.
82. Levand P. L'appreciation de la fertilite d'un sol par les dayaks du kalimantan central. // Journ. agronom. tradit. et botanique applic. 1983. Vol. 30. No. 2.

REFERENCES

1. Vernadskii V.I., Ob uchastii zhivogo veshchestva v sozdanii pochv (On the participation of living matter in the creation of soils), In: *Trudi po biogeokhimi i geokhimi pochv* (Works on biogeochemistry and geochemistry of soils), Moscow: Nauka, 1992, pp. 282–301.
2. Vil'yams V.R., *Pochvovedenie s osnovami zemledeliya* (Soil science with the basics of agriculture), Moscow: Sel'khozgiz, 1939, 447 p.
3. Vorob'ev D.V., Lesotipologicheskaya klassifikatsiya klimatov (Forest typological classification of climates), In: *Trudi Khar'kovskogo SKhI* (Works of Kharkov Agricultural Institute), 1972, Vol. 169.
4. Vysotskii G.N., Biologicheskie, pochvennye i fenologicheskie nablyudeniya i issledovaniya v Veliko-Anadole (Biological, soil and phenological observations and studies in Veliko-Anadol), In: *Izbrannye sochineniya* (Selected works), Moscow: Izd-vo AN SSSR, 1962, Vol. 1, pp. 159–497.
5. Vysotskii G.N., O karte tipov mestoproizrastanii (On the map of types of habitats), In: *Sovremennye voprosy russkogo sel'skogo khozyaistva* (Modern issues of Russian agriculture), St. Petersburg, 1904.
6. Gaffel'der, Opisanie khozyaistva v Tsirauskikh lesakh, Kurlyandii (Description of the economy in the Tsirau forests, Courland), *Lesnoi zhurnal*, 1835, Part I, Book 1.

7. Gennadiev A.P., Gerasimova M.I., O nekotorykh tendentsiyakh v sovremennykh klassifikatsiyakh pochv SShA (About some trends in modern classifications of US soils), *Pochvovedenie*, 1980, No. 9, pp. 3–12.
8. Ginzburg K.E., Metody opredeleniya fosfora v pochvakh (Methods for the determination of phosphorus in soils), In: *Agrokhimicheskie metody issledovaniya pochv* (Agrochemical methods for the study of soils), Moscow: Nauka, 1975, 118 p.
9. Gumbol'dt A., *Geografiya rastenii* (Geography of plants), Leningrad: Sel'khozgiz, 1936.
10. Divi E., Krugovorot mineral'nykh veshchestv (The cycle of minerals), In: *Biosfera* (Biosphere), Moscow: Mir, 1972, pp. 120–138.
11. Dokuchaev V.V., Russkii chernozem (Russian black soil.), In: *Sochineniya* (Works), 1949, Vol. 3, pp. 23–528.
12. Dokuchaev V.V., Mesto i rol' sovremennogo pochvovedeniya v nauke i zhizni (The place and role of modern soil science in science and life), In: *Sochineniya* (Works), Moscow–Leningrad: AN SSSR, 1951, Vol. 6, pp. 415–424.
13. Kiryushin V.I., *Klassifikatsiya pochv i ekologicheskaya tipologiya zemel'* (Soil classification and ecological typology of land), St. Petersburg: “Lan”, 2011, 283 p.
14. Kostychev P.A., *Pochvovedenie* (Soil Science), Moscow–Leningrad: Ogiz-Sel'khozgiz, 1940, 224p.
15. Krupenikov I.A., *Istoriya pochvovedeniya* (History of soil science), Moscow: Nauka, 1981, 328 p.
16. Kryudener A.A., *Osnovy klassifikatsii tipov nasazhdenii i ikh narodnokhozyaistvennoe znachenie v obikhode strany* (Fundamentals of classification of plantation types and their economic importance in the everyday life of the country.), Pyatigorsk, 1916–1917, Parts I–II, 318 p.
17. Migunova E.S., O kharaktere pochvoobrazovaniya pod pologom shirokolistvennykh drevesnykh nasazhdenii v chernozemnoi zone (About the nature of soil formation under the canopy of broad-leaved tree plantations in the chernozem zone), *NDVSh. Biologicheskie nauki*, 1960, No. 1, pp. 177–183.
18. Migunova E.S., *Lesonasazhdeniya na zasolennykh pochvakh* (Afforestation on saline soils), Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1978, 144 p.
19. Migunova E.S., *Klassifikatsiya zemel' po proizvoditel'nosti i lesoprigochnosti* (Classification of land by productivity and forest suitability), *Lesnoe khozyaistvo*, 1979, No. 9, pp. 16–19.

20. Migunova E.S., *Lesovodstvo i pochvovedenie (istoricheskie ocherki)* (Forestry and soil science (historical essays)), Moscow: Ekologiya, 1994, 247 p.
21. Migunova E.S., *Lesovodstvo i estestvennye nauki (botanika, geografiya, pochvovedenie)* (Forestry and natural sciences (botany, geography, soil science)), Moscow: MGUL, 2007, 592 p.
22. Migunova E.S., *Lesnaya tipologiya, shkola V.V. Dokuchaeva i voprosy geografii* (Forest typology, school V.V. Dokuchaev and questions of geography), Khar'kov: Novoe slovo, 2009, 302 p.
23. Migunova E.S., *Lesy i lesnye zemli (kolichestvennaya otsenka vzaimosvyazei)* (Forests and forest lands (quantification of relationships)), Khar'kov: Novoe slovo, 2010, 364 p.
24. Migunova E.S., Gladun G.B., V.V. Dokuchaev i lesovodstvo (V.V. Dokuchaev and forestry), Sumy: SNAU, 2010, 432 p.
25. Migunova E.S., *Tipy lesa i tipy prirody (ekologicheskie vzaimosvyazi)* (Types of forests and types of nature (environmental relationships)), Palmarium, Germany, 2014, 293 p.
26. Migunova E.S., *Pochvovedenie i lesnaya tipologiya* (Soil science and forest typology), Khar'kov: "Planeta-Print", 2017, 94 p.
27. Migunova E.S., The soil as a natural body and the environment for plants habitat, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2018, Vol. 94, pp. 124–153, DOI: [10.19047/0136-1694-2018-94-124-153](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2018-94-124-153).
28. Morozov G.F., O tipakh nasazhdenii i ikh znachenii v lesovodstve (About types of plantations and their significance in forestry), *Lesnoi zhurnal*, 1904, Issue 1, pp. 6–25.
29. Morozov G.F., Issledovanie lesov Voronezhskoi gubernii (The study of forests of the Voronezh province), *Lesnoi zhurnal*, 1913, Issue 3–4. pp. 463–481.
30. Pogrebnyak P.S., Osnovy tipologicheskoi klassifikatsii i metodika ee sostavleniya (Fundamentals of typological classification and the methodology of its compilation), *Ser. nauch. izd. VNIILKhA*, Vol. 10, 1931.
31. Pogrebnyak P.S., *Osnovy lesnoi tipologii* (Fundamentals of forest typology), Kiev: AN USSR, 1955, 456 p.
32. Poshon Zh. de Barzhak, *Pochvennaya mikrobiologiya* (Soil microbiology), Moscow: Inostranizdat, 1960, 438 p.
33. Ramenskii L.G., *Vvedenie v kompleksnoe pochvenno-geobotanicheskoe issledovanie zemel'* (Introduction to a comprehensive soil-geobotanical study of land), Moscow–Leningrad: Sel'khozgiz, 1938, 620 p.

34. Ramenskii L.G., Tsatsenkin I.A., Chizhikov O.N., Antipinin N.A. *Ekologicheskaya otsenka kormovykh ugodii po rastitel'nomu pokrovu* (Ecological assessment of forage land by vegetation), Moscow: Sel'khozgiz, 1956, 470 p.
35. Savin I.Y., The classification of soils and Agriculture, Dokuchaev Soil Bulletin, 2016, Vol. 84, pp. 3–9, DOI: [10.19047/0136-1694-2016-84-3-9](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2016-84-3-9).
36. Samoilova E.M., *Pochvoobrazuyushchie porody* (Parent rocks), Moscow: Moscow State University, 1983, 172 p.
37. Sibirtsev N.M., Pochvovedenie (Soil Science), In: *Izbrannye sochineniya* (Selected works), Moscow: Sel'khozgiz, 1951, Vol. I, pp. 19–474.
38. Sibirtsev N.M., Ob osnovaniyakh geneticheskoi klassifikatsii pochv (On the basis of soil genetic classification), In: *Izbrannye sochineniya* (Selected works), Moscow: Sel'khozgiz, 1953, Vol. II, pp. 271–293.
39. Theophrastus, *Research on plants, III century B.C.E.*, Moscow: AN SSSR, 1951, 310 p.
40. Shishov L.P., Tonkonogov V.D., Lebedeva P.I., Gerasimova M.I., *Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii* (Classification and diagnostics of Russian soils), Smolensk, 2004, 342 p.
41. Yarilov A.A., Nasledstvo V.V. Dokuchaeva (Inheritance of V.V. Dokuchaev), *Pochvovedenie*, 1939, No. 3, pp. 7–19.
42. Krabichler A., Bodenbildung und Bodenfruchtbarkeit, *Bodenkulturfur*, 1981, Vol. 32, No. 4, pp. 348–367.
43. Levand P., L'appreciation de la fertilite d'un sol par les dayaks du kalimantan central, *Journ. agronom. tradit. et botanique applic*, 1983, Vol. 30, No. 2.

УДК 631.4

DOI: 10.19047/0136-1694-2019-98-185-202

Ссылки для цитирования:

Иванов А.Л., Столбовой В.С. Инициатива “4 промилле” – новый глобальный вызов для почв России // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2019. Вып. 98. С. 185-202. DOI: 10.19047/0136-1694-2019-98-185-202

Cite this article as:

Ivanov A.L., Stolbovoy V.S. The Initiative “4 per mille” – a new global challenge for the soils of Russia, Dokuchaev Soil Bulletin, 2019, V. 98, pp. 185-202, DOI: 10.19047/0136-1694-2019-98-185-202

ИНИЦИАТИВА “4 ПРОМИЛЛЕ” – НОВЫЙ ГЛОБАЛЬНЫЙ ВЫЗОВ ДЛЯ ПОЧВ РОССИИ

© 2019 г. А. Л. Иванов, В. С. Столбовой*

*Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Россия,
119017, Москва, Пыжевский пер, 7, стр. 2,
e-mail: vladimir.stolbovoy@gmail.com.

*Поступила в редакцию 24.07.2019, после доработки 12.08.2019,
принята к публикации 05.09.2019*

Имплементация инициативы “4 промилле” или “4 на 1000” в России может быть одним из инструментов сдерживания концентрации парниковых газов в атмосфере. Подсчитано, что суммарный объем ежегодного поглощения углекислого газа (CO₂), включая естественную динамику и применение углерод сберегающих технологий, составит около 23–28 % от годового выброса газа в атмосферу Россией. Механизм инициативы “4 на 1000” будет действовать успешно в течение 12–15 лет, что соответствует времени насыщения пахотных почв углеродом. Внедрение инициативы “4 промилле” – это позиционирование России в числе стран, радеющих не только за устойчивое энергоэффективное экологическое развитие, но и за возможность страны реализовать свои конкурентные преимущества, востребованные в низко углеродном мире.

Ключевые слова: инициатива “4 промилле”, парниковые газы, углерод почв, климатические изменения, почвы.

THE INITIATIVE “4 PER MILLE” – A NEW GLOBAL CHALLENGE FOR THE SOILS OF RUSSIA

A. L. Ivanov, V. S. Stolbovoy*

*V.V. Dokuchaev Soil Science Institute,
Russia, 119017, Moscow, Pizhevskiy per., 7, build. 2
e-mail: vladimir.stolbovoy@gmail.com.

Received 24.07.2019, Revised 12.08.2019, Accepted 05.09.2019

The implementation of the “4 per mille” or “4 per 1000” Initiative in Russia can be one of the instruments mitigating concentration of the greenhouse gases in the atmosphere. It is estimated that the total annual absorption of carbon dioxide (CO₂), including natural dynamics and application of carbon saving technologies in agriculture, can be as much as 23–28 % of annual emission of the gas into the atmosphere. The “4 per 1000” Initiative mechanism will operate successfully for 12–15 years, which corresponds to the time of saturation of arable soil with carbon. The implementation of the “4 per mille” Initiative is not only Russia's positioning among the countries that support sustainable, energy-efficient and environmentally friendly development, but also demonstrates the ability of the country to realize its competitive advantages in demand in the low-carbon world.

Keywords: Initiative “4 per mille”, greenhouse gases, soil carbon, climate change, soil.

ВВЕДЕНИЕ

В городе Пуатье (Франция) 18–20 июня 2019 г. прошла международная конференция на тему: “Продовольственная безопасность и изменение климата: инициатива “4 на 1000” новые осязаемые глобальные вызовы для почв” (с деталями можно ознакомиться на сайте: <https://symposium.inra.fr/4p1000>, а также информационной статье в Природно-ресурсных ведомостях ([Иванов, Столбовой, 2019](#))). В работе конференции участвовало более 160 ученых из стран Европейского Союза, а также США, Австралии, Китая, Новой Зеландии и др.

Напомним, что глобальная инициатива “4 промилле” или “4 на 1000” была запущена международным почвенным сообществом в 2015 г. после Конференции по климату в Париже. Инициатива имеет целью содействие принятию экономически эффективных и экологически обоснованных методов ведения сельского хозяйства в направлении поглощения углерода. Одновременно инициатива направлена на решение нескольких задач в области устойчивого

развития, связанных с изменением климата и продовольственной безопасностью. В основе инициативы лежит предложение министерства иностранных дел Франции компенсировать выбросы парниковых газов их поглощением почвами. В этом предложении “4 промилле” составляют долю глобальных выбросов в общем запасе углерода в двухметровом слое почв мира.

Какие главные задачи Конференции? Таковыми декларировалось налаживание партнерских отношений для обеспечения качества и устойчивости почв, содействия инновациям и обмену знаниями, а также обеспечения принятия решений в рамках инициативы “4 на 1000”. Отметим, что, как следует из перечня задач, основные обсуждаемые вопросы выходят за рамки непосредственно инициативы “4 промилле” и связаны с проблемами устойчивого развития. В этом смысле тема Конференции созвучна с национальным докладом “Глобальный климат и почвенный покров России...” ([Национальный доклад..., 2018](#)). Важно подчеркнуть, что, несмотря на различия в формулировках, тематически проблемы отечественных и зарубежных почвенных институтов близки.

Конференция предоставила платформу для обмена мнениями ученых, лиц, принимающих решения, финансирующих агентств и геополитических структур, чтобы обсудить критические вопросы и реальные возможности и проблемы для реализации инициативы. При этом на Конференции часто подчеркивалось, что сотрудничество необходимо для уравнивания сильной научной креативности с прагматическими потребностями в краткосрочных и долгосрочных решениях по снижению рисков. Вместе с тем ключевым является необходимое представительство заинтересованных сторон. Форум с участием многих заинтересованных сторон может проанализировать множество полезных идей, внедрить общие методы, ведущие к эффективному использованию почв в разных странах. Все перечисленное необходимо для изменения фундаментальной траектории развития мирового сообщества и повышения качества жизни.

Цель настоящего сообщения – поделиться результатами работы Конференции и высказать некоторые соображения, которые возникли в связи с ее работой.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В представленном нами докладе на тему: “Инициатива 4 % – перспектива России” ([Ivanov et al., 2019](#)) анализируется способность почв страны компенсировать антропогенные выбросы углерода в атмосферу. В докладе также отмечено, что в России существует ряд государственных программ, включая Программу плодородия почв, Программу мониторинга сельскохозяйственных земель, в которых гумус (органический углерод) выступает главным критерием качества почв. Более того, в “Методических указаниях о проведении государственной кадастровой оценки”, утвержденных Министерством экономического развития Российской Федерации ([Приказ МЭР №226 от 12 мая 2017 года](#)), содержание гумуса и мощность гумусового горизонта являются одними из критериев качества почв (рис. 1).

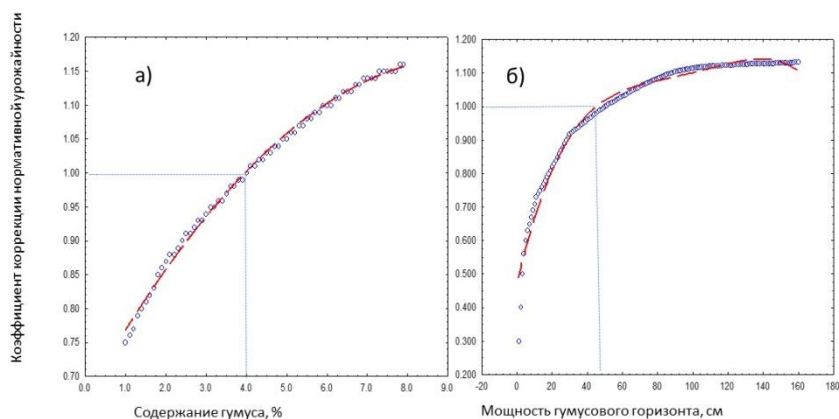


Рис. 1. Зависимость нормативной урожайности зерновых от: а) содержания гумуса в пахотном слое почв и б) мощности гумусового горизонта ([Ivanov et al., 2019](#)).

Fig. 1. The dependence of the standard grain crop productivity on the following factors: a) humus content in the soil plough-layer; and b) the thickness of the humus horizon ([Ivanov et al., 2019](#)).

Пунктирные линии рисунка 1а показывают, что коэффициент коррекции нормативной урожайности равен единице при содержании гумуса около 4 %. Большее содержание гумуса приводит к увеличению, а меньшее содержание гумуса – к уменьшению нормативной урожайности зерновых. Пунктирные линии рисунка 1б иллюстрируют, что коэффициент коррекции нормативной урожайности равен единице при мощности гумусового слоя около 44 см. Большая мощность гумусового горизонта приводит к увеличению нормативной урожайности. При достижении 100 см мощность гумусового горизонта не оказывает влияние на нормативную урожайность зерновых. Мощность гумусового горизонта менее 44 см приводит к понижению нормативной урожайности зерновых.

Отметим, что перечисленные выше государственные программы направлены исключительно на контроль содержания органического вещества почв и не предусматривают мероприятия по его увеличению, как в случае задач инициативы “4 промилле”. Иными словами, целью существующих национальных программ является сохранение запасов углерода гумуса почв. Очевидно, что инициатива “4 промилле” принципиально дополняет существующие традиции государственного контроля состояния сельскохозяйственных земель и направлена в первую очередь на повышение содержания органического вещества в сельскохозяйственных почвах.

В докладе также приведены результаты научно-практических работ по исследованию современной динамики содержания углерода в почвах России, баланса органического вещества в пахотных почвах (рис. 2) и др. В частности, в нашем сообщении отмечено, что исторически Россия развивала гумус/углерод сберегающие технологии сельскохозяйственного производства. Это связано с традиционным в стране ограниченным использованием минеральных удобрений. Гумус сберегающие технологии обеспечивались системами севооборотов, которые поддерживали баланс органического вещества в почвах. Отметим, что такая практика привела к относительно небольшим потерям запасов органического вещества в пахотных почвах страны. Так, по нашей оценке ([Stolbovoi, 2002](#)), общее снижение запасов органического

углерода составило около 16 %. Для сравнения, по опубликованным зарубежным данным, аналогичные потери достигают 50 % и более.

Конечно, при оценке средних потерь углерода почвами России необходимо иметь в виду, что при вовлечении в сельскохозяйственную деятельность лесных почв, имевших в нативном состоянии маломощный гумусовый горизонт (преимущественно дерново-подзолистые), происходило накопление органического вещества. Такое увеличение отмечено для почв 15 нечерноземных областей России. Увеличение концентрации органического углерода связано с образованием пахотного органо-аккумулятивного горизонта, что определялось выращиванием культур с развитой ризосферой, применением органических удобрений, известкованием и др.

О каком объеме углерода в инициативе “4 промилле” идет речь в отношении России? Очевидно, что без ответа на этот вопрос рассуждать о возможности постановки национальной задачи “4 промилле” трудно. Отметим, что, по нашему мнению, ключевым аспектом ответа на поставленный выше вопрос является решение о том, какие почвы имеют антропогенно регулируемый потенциал накопления углерода. Так, в широко цитируемом исследовании Минасни ([Minasny et al., 2017](#)) к подобным почвам отнесены все дневные почвы мира. Вместе с тем отдельные соавторы статьи Минасни (Савин и Столбовой) в разделе, посвященном России, высказывают точку зрения, что ближайшим потенциалом для страны являются сельскохозяйственные почвы, для которых существуют реальные инструменты регулирования содержания углерода, широко применяемые в гумус сберегающих технологиях производства. Эту точку зрения отмеченные выше авторы высказывали в национальном докладе “Глобальный климат и почвенный покров России...” ([Национальный доклад..., 2018](#)) и в статье: “Могут ли сельскохозяйственные почвы России влиять на изменение климата?” ([Столбовой, Савин, 2018](#)). Однако будет справедливым признать, что возможности воздействия на резервуар углерода почв в разных странах неодинаковы. Поэтому в части имплементации инициативы “4 промилле” должны использоваться национальные подходы и приоритеты.

Итак, общей целью, по смыслу инициативы “4 промилле”, является компенсация почвами совокупного годового выброса CO_2 в атмосферу. Этот выброс в России оценивается приблизительно в 2 500 млн т CO_2 -эквивалентов ([Седьмое национальное сообщение..., 2017](#)), что в пересчете на углерод составляет порядка 681 млн тС. Таким образом, последняя величина и представляет собой национальную цель инициативы “4 промилле”. Зная объем выброса, можно вычислить, сколько промилле он составит для нашей страны. Для этого необходимо соотнести величину совокупного годового выброса CO_2 (681 млн тС) с запасами углерода в 2-метровом слое почв России, которые, по нашим данным ([Stolbovoi, 2002](#)), равны 373 млрд тС. Вычисления показывают, что искомая доля составляет менее двух промилле. Иными словами, глобальная норма поглощения CO_2 “4 на 1000” транслируется в национальную цель “2 на 1000”, т.е. в два раза меньше.

Объяснение значительного снижения нормы поглощения CO_2 кроется в том, что почвы России характеризуются повышенным, по отношению к другим странам мира, запасом почвенного органического углерода (табл. 1). Ранее показано ([Stolbovoi, 2002](#)), что резервуар органического углерода в слое 0.3 м почв страны составляет около 23 % от глобальных запасов и почти 19 % – в слое почв 1.0 м, притом, что доля страны в почвенном покрове мира составляет около 12 %. Повышенные запасы почвенного органического углерода в почвах России связаны с интенсивным накоплением органического углерода в условиях доминирования холодного и влажного климата.

До освоения территории общие запасы органического углерода в наземной и подземной биомассе России составляли около 51.3 млрд тС (табл. 1). Запасы органического углерода в метровом слое почв страны были почти 297 млрд тС. Суммарный запас органического углерода (растительность плюс почвы) в наземных экосистемах России приблизительно равнялся 349 млрд тС. Осредненное для природных зон наземных экосистем России отношение запасов органического углерода в биомассе к запасам органического вещества в почвах составляло около 1/6.

Таблица 1. Запасы углерода в почвах и биомассе растительности природных зон России до освоения территории (рассчитано на основе данных [Nilsson et al., 2000](#); [Stolbovoi, 2002](#)).

Table 1. Carbon stock in both soils and plant biomass calculated for wildlands in each natural zone of Russia (based on [Nilsson et al., 2000](#); [Stolbovoi, 2002](#)).

Природная зона		Запасы, 10 ⁹ тС		Сумма	Отношение запасов в почвах к запасам в растительности
Название	Площадь *, 10 ⁶ га	Почвы, слой 1.0 м	Растительность **		
Полярные пустыни	0.7	0.1	1.0	1.1	н.о.
Тундры	266.9	44.2	2.0	46.2	22
Лесо-тундра и северная тайга	233.0	62.6	5.3	67.9	12
Средняя тайга	683.6	111.3	29.1	140.4	4
Южная тайга	211.5	40.9	10.7	51.6	4
Умеренные леса	60.4	8.7	3.8	12.5	2
Степи	148.8	27.3	1.2	28.5	23
Полупустыни и пустыни	25.4	2.4	0.2	2.6	12
Итого	1 629.8	297.4	51.3	348.7	6

Примечание: * без учета площади внутренних вод и выходов плотных пород;
** при пересчете величины сухого вещества растительности в углерод использовался коэффициент 0.5.

При этом наибольших величин (1/22–23) это отношение достигало в безлесных природных зонах, таких как тундры и степи. В лесных зонах тайги и умеренных лесов отношение запасов углерода в наземной и подземной биомассе к запасам органического углерода в почвах колеблется в пределах 1/2–4. Для сравнения, глобальные запасы органического углерода в растительности и почвах наземных экосистем составляют 2 477 млрд тС (466 и 2011 млрд тС, соответственно) ([IPCC, 2000](#)).

Таким образом, запасы органического углерода наземных экосистем России составляют более 14 % от мировых значений. Отношение запасов органического углерода в растительности и почвах наземных экосистем мира составляет около 1/4. Приведенные различия в общих запасах органического углерода растительности и почв в России и мире определяются главным образом повышенным накоплением углерода в почвах.

Отмеченное выше снижение нормы поглощения углерода – “трансформация” международной инициативы “4 промилле” в национальную цель “2 промилле” – также связано со снижением выбросов CO₂ в результате спада промышленного производства в стране. Вместе с тем снижение нормы поглощения углерода почвами России, по сравнению со среднемировой нормой, не дает практических преимуществ, поскольку не влияет на величину совокупного годового выброса CO₂. Поэтому, чтобы избежать путаницы в дальнейшем мы будем пользоваться международно принятым термином “4 промилле”.

Насколько выполнимы задачи национальной цели инициативы “4 промилле”? Для ответа на этот вопрос, прежде всего, необходимо понять современную динамику содержания углерода в почвах России, связанную с изменением климата и изменение запасов органического вещества, определяемого модификацией характера землепользования.

Проведенные нами исследования ([Stolbovoy, Ivanov, 2014](#)) показывают, что в настоящее время ежегодный баланс углерода почв России положительный и составляет около 76 ± 32 млн тС (табл. 2).

Таблица 2. Баланс углерода (1×10^6 тС) в органо-генетических горизонтах и органопрофилях почв России (Stolbovoy, Ivanov, 2014).

Table 1. Carbon balance (1×10^6 tonnes of carbon) in the organogenic horizons and in organic matter profiles of Russian soils (Stolbovoy, Ivanov, 2014).

Природная зона	Пашня	Пастбища	Леса	Заболоченные мелко-торфяные угодья	Глубоко- торфяные болота	Травяно- кустарниковые	Всего в зоне
Органический горизонт (O)							
Тундра	0	-3.6	-0.9	19.9	-17.0	17.7	16.1
Лесотундра и северная тайга	0	-2.2	-43.5	15.8	-52.4	12.0	-70.3
Средняя тайга	0	-16.1	-32.1	-0.4	-43.6	22.7	-69.5
Южная тайга	0	-12.4	-24.9	-0.5	-31.1	10.6	-58.3
Умеренные леса	0	-4.6	17.5	0.6	-0.2	8.4	21.7
Степи	0	9.5	43.8	3.9	2.4	127.8	187.4
Полупустыни и пустыни	0	-0.9	1.1	0.6	0.1	22.4	23.3
В целом по угодьям	0	-30.3	-39	39.9	-141.8	221.6	50.4

Органо-аккумулятивный горизонт (A1)							
Тундра	0	0	0	0.1	0.2	0.5	0.8
Лесотундра и северная тайга	0	0	0.7	0.1	0.2	0.1	1.1
Средняя тайга	0	0	4	0.2	0.4	0.8	5.4
Южная тайга	0.1	0	1.6	0.3	0	0.2	2.2
Умеренные леса	0.1	0	0.5	0	0	0.1	0.7
Степи	0.7	0.3	0.5	0	0	0.8	2.3
Полупустыни и пустыни	0	0	0	0	0	0.2	0.2
В целом по угольям	0.9	0.3	7.3	0.7	0.8	2.7	12.7
Органо-иллювиальный горизонт (Bh)							
Тундра	0	-0.1	-0.2	0.7	-0.2	-4.9	-4.7
Лесотундра и северная тайга	0	0	-2	0.7	-0.6	-0.2	-2.1
Средняя тайга	-0.2	-0.2	11.9	1.7	0.3	0.6	14.1
Южная тайга	-0.6	-0.2	3.5	0.2	0.4	0.3	3.6
Умеренные леса	-0.5	-0.1	-0.4	0	0	-0.1	-1.1
Степи	0.4	0.1	1.3	0.1	0.1	1.8	3.8
Полупустыни и пустыни	-0.1	-0.2	0	0	0	-0.4	-0.7
В целом по угольям	-1.0	-0.7	14.1	3.4	0	-2.9	12.9

Природная зона	Пашня	Пастбища	Леса	Заболоченные мелко-торфяные угодья	Глубоко- торфяные болота	Травяно- кустарниковые	Всего в зоне
Органопрофиль (O+A ₁ + Bh)							
Тундра	0	-3.7	-1.1	20.7	-17.0	13.3	12.2
Лесотундра и северная тайга	0	-2.2	-44.8	16.6	-52.8	11.9	-71.3
Средняя тайга	-0.2	-16.3	-16.2	1.5	-42.9	24.1	-50.0
Южная тайга	-0.5	-12.6	-19.8	0	-30.7	11.1	-52.5
Умеренные леса	-0.4	-4.7	17.6	0.6	-0.2	8.4	21.3
Степи	1.1	9.9	45.6	4.0	2.5	130.4	193.5
Полупустыни и пустыни	-0.1	-1.1	1.1	0.6	0.1	2.0	22.8
В целом по угодьям	-0.1	-30.7	-17.6	40.0	-141.0	221.4	76.0

Такая динамика связана с повышением среднегодовых температур и осадков, которое стимулирует увеличение продуктивности растительности и приводит к повышению поступления растительных остатков в почву. Как отмечено выше, масса поглощенного углерода почвами представляет 76 ± 32 млн тС в год, что составляет около 11 % от объема национальной цели инициативы “4 промилле”.

Дополнительная часть органического углерода может быть найдена при переводе сельского хозяйства на углерод сберегающие технологии производства, включая манипуляции с культурами, удобрениями, технологиями обработок (рис. 2) и др. По нашим оценкам ([Национальный доклад..., 2018](#); [Столбовой, Савин, 2018](#)), с учетом накопления органического углерода залежными землями (0.8–1.2 млрд тС) потенциал пахотных и пастбищных почв для секвестирования углерода в России составляет около 2.4 млрд тС.

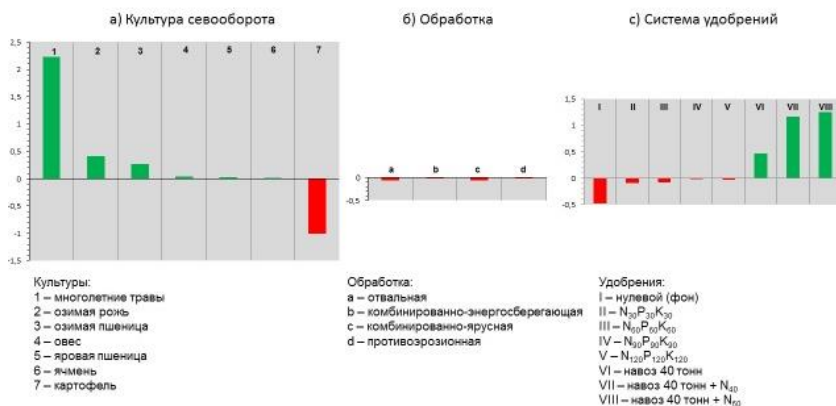


Рис. 2. Ежегодный баланс углерода (тС/га) в пахотных серых лесных почвах Владимирского ополья в зависимости от: а) культуры севооборота; б) способа обработки почвы; в) системы применяемых удобрений.

Fig. 2. The annual carbon balance (tonnes of C per ha) in the arable gray forest soil of the Vladimir Opol'e depending on: a) crop rotation; b) the method of soil tillage; c) fertilizer systems applied.

Наибольший положительный баланс (+ 2.4 тС/га) отмечается под культурой многолетних трав (рис. 2а). Отрицательный баланс (– 1.4 тС/га) обнаруживается под культурой картофеля. Положительный баланс (+ 1.2 тС/га) формируется также при внесении повышенных доз навоза (рис. 2с). Применяемые обработки почв не оказывали существенного влияния на баланс органического вещества почв (рис. 2б). Данные исследования баланса углерода (рис. 2) иллюстрируют практическую возможность управления содержанием углерода в почвах.

По данным многолетних полевых опытов, проведенных Р. Петросьяном на опытных полях Владимирского ополья Верхневолжского Аграрного Центра ([Ivanov et al., 2019](#)), например, производство яровой пшеницы по унавоженному пару позволяет статистически достоверно ежегодно накапливать в почве 1.08–1.41 тС/га. В пересчете на площадь пахотных земель России (около 80 млн га) общий объем секвестрации может достичь 80.64–112.8 млн тС. Эта величина секвестрации равна 12–17 % от требуемого национальной целью инициативы “4 промилле” объема.

Таким образом, суммарный объем ежегодного поглощения (естественная динамика и углерод сберегающие технологии) может составить около 23–28 % от национальной цели, т.е. может достичь четверти совокупного ежегодного выброса CO₂ в атмосферу Россией. Мы считаем, что механизм инициативы “4 промилле” будет действовать успешно в течение 12–15 лет, что соответствует времени насыщения пахотных почв углеродом.

Международная цель инициативы “4 промилле” полностью не может быть достигнута в России. Этот вывод не следует драматизировать, поскольку он лишь подтверждает тот факт, что регулирование концентрации парниковых газов в атмосфере – задача весьма сложная. Ее решение требует комплексного подхода, включающего трансформацию энергетического и промышленного секторов экономики, а также природопользования. Наивно полагать, что регулирование концентрации парниковых газов в атмосфере может быть осуществлено простыми одношаговыми подходами.

Отметим, что инициатива “4 промилле” не только способствует снижению концентрации парниковых газов в атмосфере, но

также совпадает с идеей обеспечения устойчивого развития сельскохозяйственного производства и работает на нее. Иными словами, инициатива “4 промилле” обладает явным двойным эффектом. Отметим, что повышение гумусированности почв касается не только увеличения содержания углерода, оно также включает накопление элементов питания, таких как азот, фосфор, калий, приводит к улучшению водно-физических свойств, структурного состояния почв, их аэрации, водоудерживающей способности и пр. Все перечисленное будет способствовать повышению плодородия почв, увеличению урожайности сельскохозяйственных культур при одновременном снижении потребления минеральных удобрений. В итоге повышение гумусированности будет способствовать продвижению производства экологически чистой продукции в России, служить улучшению качества природной среды и жизни людей.

Однако международная инициатива “4 промилле” – это не только позиционирование России в числе стран, выбравших энергоэффективное экологическое развитие. Важно, что страна находит и реализует свои конкурентные преимущества, востребованные в низкоуглеродном мире. Эти преимущества связаны с огромной территорией и значительными земельными ресурсами, позволяющими манипулировать системами использования земель в целях поглощения парниковых газов почвами. Диверсификация экономики страны призвана смягчить социально-экономические последствия сокращения энергетического экспорта в будущем. Иными словами, Парижское соглашение ставит перед Россией более широкий круг задач, чем просто необходимость сократить выбросы парниковых газов. Мы согласны с теми экспертами, которые считают, что России необходимо адаптироваться к новому энергетическому ландшафту и постепенно переходить на новую модель экономического роста, определяющую новую позицию страны в мировом хозяйстве. Россия имеет глобально значимый потенциал интенсификации сельскохозяйственного производства. В современном мире вопросы: с чем и как мы приступим к реализации этого потенциала? к выполнению нашей глобальной продовольственной миссии? – остаются далеко не пустыми.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключении хочется отметить, что нами высказано сдержанное мнение о возможном вкладе почв России (23–28 % от ежегодной совокупной эмиссии углекислого газа) в достижение национальной цели по уменьшению концентрации парниковых газов в атмосфере. Очевидно, что почвы могут решить лишь часть проблемы, и представляется важным определить величину этой части.

Не менее значимым выводом Конференции следует признать тот факт, что почвенные ресурсы мира выступают предметом острых научно-практических дебатов. Россия, обладающая огромным запасом почвенных ресурсов, включая и климаторегулирующие, не должна оставаться в стороне от этих дискуссий, отражающих тенденции современных глобальных процессов развития. Как показывает опыт нашего участия в Конференции по инициативе “4 на 1000”, нам есть что предложить по обсуждаемой проблеме, и у нас есть много того, что надо делать в научно-практическом плане.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Иванов А.Л., Столбовой В.С.* Глобальная инициатива “4 на 1000”. // Природно-ресурсные ведомости. 2019. № 7 (466). С. 6.
2. Методические указания о проведении государственной кадастровой оценки. Приказ Министерства экономического развития Российской Федерации № 226 от 12 мая 2017 года.
3. Национальный доклад “Глобальный климат и почвенный покров России: оценка рисков и эколого-экономических последствий деградации земель. Адаптивные системы и технологии рационального природопользования (сельское и лесное хозяйство) / под редакцией А.И. Бедрицкого. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, ГЕОС, 2018. 286 с.
4. Качество почв сельскохозяйственных угодий России (для кадастровой оценки земель сельскохозяйственного назначения) / под редакцией А.Л. Иванова. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева. 621 с. (в печати).
5. *Столбовой В.С., Савин И.Ю.* Могут ли почвы России влиять на изменение климата? // Природно-ресурсные ведомости. 2018. № 9 (456). С. 5.

6. Седьмое национальное сообщение Российской Федерации, представленное в соответствии со статьями 4 и 12 Рамочной Конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата и статьей 7 Киотского протокола. М.: 2017. 348 с. URL: https://unfccc.int/files/national_reports/annex_i_natcom/application/pdf/20394615_russian_federation-nc7-1-7nc.pdf
7. Ivanov A., Stolbovoy V., Petrosian R. The Initiative of 4 ‰ in perspective from Russia, In: Food security and climate change: 4 per 1000 initiative new tangible global challenges for the soil. Poitiers (France). 2019. 46 p. URL: <https://symposium.inra.fr/4p1000>
8. Land Use, Land-Use Change and Forestry / R.T. Watson, I.R. Noble, B. Bolin, N.H. Ravindranath, D.J. Verardo, D.J. Dokken (Eds.). Cambridge University Press, UK, 2000. 375 p.
9. Minasny B., Malone B.P., McBratney A.B., Field D.J., Odeh I., Padarian J., Stockmann U., Angers D.A., McConkey B.G., Arrouays D., Martin M., Richer-de-Forges A.C., Chambers A., Chaplot V., Chen Z.-S., Tsui C.-C., Cheng K., Pan G., Das B.S., Gimona A., Savin I.Y., Stolbovoy V.S. et al. Soil carbon 4 per mille // Geoderma. 2017. Vol. 292. P. 59–86.
10. Nilsson S., Shvidenko A., Stolbovoi V., Gluck M., Jonas M., Obersteiner M. Full Carbon Account for Russia. Interim Report IR-00-021. International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Austria, 2000. 181 p. URL: <http://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/6185/1/IR-00-061.pdf>.
11. Stolbovoi V. Carbon in Russian soils // Climatic Change. Kluwer Academic Publishers, the Netherlands, 2002. Vol. 55. Issue 1–2. P. 131–156. DOI: [10.1023/A:1020289403835](https://doi.org/10.1023/A:1020289403835).
12. Stolbovoy V., Ivanov A. Carbon balance in soils of Northern Eurasia. In: Soil Carbon. Progress in Soil Science. Springer, Cham, 2014. P. 381–390. DOI: [10.1007/978-3-319-04084-4_38](https://doi.org/10.1007/978-3-319-04084-4_38).

REFERENCES

1. Ivanov A.L., Stolbovoy V.S., Globalnaya initsiativa “4 na 1000” (Global initiative “4 per 1000”), *Prirodno-resursnye vedomosti*, 2019, No. 7 (466), pp. 6.
2. *Standard of the Russian Federation*, Guidelines for conducting state cadastral appraisal (Ministry of Economic Development of the Russian Federation), 12.05.2017, No. 226.
3. Bedritskii A.I. (Ed.), *National report “Global Climate and Soil Cover of Russia: assessment of risks and ecological and economic consequences of land degradation. Adaptive systems and technologies for environmental*

management (agriculture and forestry)”, Moscow: V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, GEOS, 2018, 286 p.

4. Ivanov A.L. (Ed.), *Kachestvo pochv sel'skokhozyaistvennykh ugodii Rossii (dlya kadaastrovoi otsenki zemel' sel'skokhozyaistvennogo naznacheniya (Soil quality of agricultural lands in Russia (for cadastral appraisal of agricultural land))*, Moscow: V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, 2019, 621 p. (in print).

5. Stolbovoi V.S., Savin I.Yu., Mogut li pochvy Rossii vliyat' na izmenenie klimata? (Can Russian soils affect climate change?), *Prirodno-resursnyye vedomosti*, 2018, No. 9 (456), pp. 5.

6. The seventh report of the Russian Federation performed according to the articles 4 and 12 of the United Nations Framework Convention on Climate Change and article 7 of the Kyoto Protocol, Moscow, 2017, 348 p. URL: https://unfccc.int/files/national_reports/annex_i_natcom/application/pdf/20394615_russian_federation-nc7-1-7nc.pdf.

7. Ivanov A., Stolbovoy V., Petrosian R., The Initiative of 4 % in perspective from Russia, In: *Food security and climate change: 4 per 1000 initiative new tangible global challenges for the soil*, Poitiers, France, 2019, 46 p., URL: <https://symposium.inra.fr/4p1000>.

8. Watson R.T., Noble I.R., Bolin B., Ravindranath N.H., Verardo D.J., Dokken D.J. (Eds.), *Land Use, Land-Use Change and Forestry*, Cambridge University Press, UK, 2000, 375 p.

9. Minasny B., Malone B.P., McBratney A.B., Field D.J., Odeh I., Padarian J., Stockmann U., Angers D.A., McConkey B.G., Arrouays D., Martin M., Richer-de-Forges A.C., Chambers A., Chaplot V., Chen Z.-S., Tsui C.-C., Cheng K., Pan G., Das B.S., Gimona A., Savin I.Y., Stolbovoy V.S. et al. Soil carbon 4 per mille, *Geoderma*, 2017, Vol. 292, pp. 59–86.

10. Nilsson S., Shvidenko A., Stolbovoi V., Gluck M., Jonas M., Obersteiner M., *Full Carbon Account for Russia*, Interim Report IR-00-021, International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Austria, 2000, 181 p., URL: <http://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/6185/1/IR-00-061.pdf>.

11. Stolbovoi V., Carbon in Russian soils, *Climatic Change*, Kluwer Academic Publishers, the Netherlands, 2002, Vol. 55, Issue 1–2, pp. 131–156, DOI: [10.1023/A:1020289403835](https://doi.org/10.1023/A:1020289403835).

12. Stolbovoy V., Ivanov A., Carbon balance in soils of Northern Eurasia. In: *Soil Carbon. Progress in Soil Science*, Springer, Cham, 2014, pp. 381–390, DOI: [10.1007/978-3-319-04084-4_38](https://doi.org/10.1007/978-3-319-04084-4_38).

Научное издание

Бюллетень Почвенного института
имени В.В. Докучаева

Выпуск 98

Главный редактор *А.Л. Иванов*

Редактор, компьютерная верстка *А.Ю. Романовская*

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
Почвенный институт имени В.В. Докучаева
119017, Москва, Пыжевский пер., 7, стр. 2

<https://bulletin.esoil.ru>

e-mail: bulletin@esoil.ru

Сдано в набор 15.09.2019 г.

Подписано в печать 15.09.2019 г.

Формат 60×84/16. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 11,9 Тираж 75 экз. Заказ №

Цена договорная.

Отпечатано с готового макета по заказу
Почвенного института имени В.В. Докучаева
ИП Ерховой И.М. (ОГРНИП 319774600080241)

Тел. (495) 799-48-85

e-mail: apr-rpa@list.ru