

УДК 631.417

ДИАГНОСТИКА НИЖНЕЙ ГРАНИЦЫ СТАРОПАХОТНОГО ГОРИЗОНТА В ЗАЛЕЖНОЙ СВЕТЛО-СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЕ*А.А. Шинкарев, К.И. Кузьмина, М.Г. Субботина, Д.Р. Низамова***Аннотация**

Экспериментально показана возможность объективной и надежной диагностики нижней границы старопашотного горизонта в залежных кислых сипалитных профилно-дифференцированных почвах по гигроскопичности и цветовым характеристикам полойных образцов после удаления из них органического вещества пероксидом водорода. Граница определяется по излому на профилных кривых содержания гигроскопической влаги и значений хроматической составляющей цвета (тона, насыщенности).

Ключевые слова: залежная светло-серая лесная почва, удаление органического вещества, гигроскопическая влажность, цветовые характеристики в координатах CIELAB, несиликатные соединения железа.

Введение

В XX столетии в России сформировались обширные площади залежных земель [1, 2]. На этой территории сейчас активно протекает естественный процесс почвообразования под различными восстановительными сукцессиями, который следует рассматривать как важный фактор современной эволюции почв России. Проблема изучения залежных почв имеет множество теоретических и прикладных аспектов. В любом случае наиболее ответственным этапом всего комплекса исследовательских работ является отбор репрезентативных проб почв с учетом пространственной изменчивости их свойств в масштабах конкретного угодья. Игнорирование или даже недостаточный учет специфических особенностей этого этапа в пределе могут обесценить результаты последующих этапов исследований. При этом в аспекте решения как чисто фундаментальных проблем (эволюция залежных почв), так и сугубо практических вопросов (определение системы мероприятий по повторному вовлечению залежных почв в культуру), безусловно, важной является корректная оценка нижней границы (мощности) старопашотного горизонта. В обычной практике она определяется на основании полевых морфологических описаний, допускающих субъективность восприятия и суждения при решающей роли опыта и наблюдательности исследователя. Поэтому специальный интерес представляют независимые аналитические и технически относительно несложные в исполнении подходы к диагностике нижней границы перемешанной вспашками части профиля.

подавляющее большинство залежных почв южно-таежной зоны и северной лесостепи восточной части Европейской России до распашки имело зрелый

элювиально-иллювиально-дифференцированный профиль с полным набором характерных генетических горизонтов при нормальной для данных ландшафтных условий их мощности. Дифференциация исходной почвообразующей породы на генетические горизонты происходила в периоды формирования преимущественных потоков влаги в результате транспорта ряда веществ из его верхней (элювиальной) части и аккумуляции этих же веществ или их доли в иллювиальной части. В свою очередь, элювиально-иллювиальная дифференциация профиля в конечном итоге проявляется в его дифференциации по гранулометрическому составу (ГС) [3]. Следовательно, формирование старопашотного горизонта путем перемешивания и гомогенизации органогенных горизонтов с материалом нижележащих минеральных горизонтов при отвальной вспашке должно отражаться в резком изменении дисперсности твердых фаз на границе с ненарушенной обработкой частью профиля.

Хорошо известно, что при одинаковой влажности воздуха содержание гигроскопической влаги в почве зависит от ГС, минерального состава и содержания органического вещества (ОВ) [4]. Поэтому способность почвы удерживать прочносвязанную воду должна меняться на границе пахотного и подпахотного слоев. При диагностике глубины старопашотного горизонта по профильным кривым содержания гигроскопической влаги можно усилить полезный аналитический сигнал путем удаления из образцов ОВ, не вызывая изменений в структуре силикатных минеральных фаз. Проверенным временем способом селективного удаления ОВ перед гранулометрическим и минералогическим анализом почв является обработка H_2O_2 [5].

Характерной чертой серых лесных почв является элювиально-иллювиальное распределение R_2O_3 в профиле, в частности относительное накопление несиликатных форм Fe в иллювиальном горизонте. В свою очередь, соединения Fe могут обуславливать широкую гамму цветов и оттенков почвенного профиля. На спектрах отражения от образцов из горизонтов, обогащенных несиликатными соединениями Fe, обычно присутствует перегиб в интервале длин волн от 480–500 до 600–700 нм [6]. Однако их окраска может сильно маскироваться ОВ. Поэтому предварительная окислительная деструкция ОВ также должна усилить полезный аналитический сигнал, и другим подходом к диагностике нижней границы старопашотного горизонта может оказаться оценка значений хроматической составляющей цвета (тон, насыщенность) в цветовом пространстве CIELAB. Конструктивность такого подхода уже была показана при изучении железосодержащих пигментов в почвах на аллювиальных отложениях Средне-Камской равнины [7].

Цель настоящей работы – обосновать возможность диагностики нижней границы старопашотного горизонта в залежной светло-серой лесной почве по гигроскопичности и цветовым характеристикам послойных образцов после селективного удаления из них ОВ окислительной деструкцией пероксидом водорода.

1. Объекты и методы

Объект исследования – залежная (70–75 лет) светло-серая лесная легкосуглинистая почва на желто-буром бескарбонатном делювиальном тяжелом суглинке. Участок расположен в Камско-Устьинском административном районе Республики Татарстан (55°11' с.ш. 49°17' в.д.) на очень пологом длинном склоне

юго-восточной экспозиции. Залежная растительность представлена разнотравно-злаковым луговым фитоценозом, подвергавшимся ранее систематическому сенокосению, без признаков зарастания древесной растительностью [8]. Отбор образцов проводили в узлах гексагональной 7-точечной решетки с расстоянием от центрального узла решетки до периферических, равным 20 м. Образцы отбирали послойно через каждые 5 см на глубину до 35 см, включая дернину, при помощи стального устройства коробчатого «П»-образного сечения с режущим краем в нижней части.

Предварительную пробоподготовку послойных почвенных образцов проводили согласно рекомендациям Международной организации по стандартизации [9]. Для удаления ОБ образцы в течение 15–20 дней подвергались многократной обработке H_2O_2 (30%) при комнатной температуре. Последующие операции включали отделение осадка центрифугированием, его высушивание и гомогенизацию. Содержание гигроскопической влаги в послойных образцах до и после удаления ОБ определяли при фиксированном значении относительного давления паров воды (P/P_0), проводя предварительную дегидратацию над насыщенным раствором $Ca(NO_3)_2 \cdot 2H_2O$, для которого $P/P_0 = 0.55$ [4]. Площадь удельной поверхности (УП) определяли по удерживанию моноэтилового эфира этиленгликоля [10]. Выделение несиликатных соединений железа проводили по Мера – Джексону, в основном придерживаясь методики, приведенной в руководстве [5]. Железо определяли фотометрически с тиоцианатом калия [10]. Цветовые характеристики растертых и пропущенных через сито с размером отверстий 0.5 мм послойных образцов определяли на спектрофотометре X-Rite Color Digital Swatchbook DTP22 производства X-Rite, Inc. (программное обеспечение X-Rite ColorPort 2.0.5).

Обработку данных проводили с использованием пакета MS Excel. По критерию Шапиро – Уилка для уровня значимости $\alpha = 0.05$ экспериментально измеренные значения УП, координат Lab, содержания гигроскопической влаги и несиликатных форм железа характеризовались нормальным распределением во всех слоях 7 профилей, поэтому для оценки связи между показателями и их вариабельности использовали параметрические показатели.

2. Результаты и их обсуждение

Графический анализ 7 профильных распределений (рис. 1, а) свидетельствует о том, что расстояние от поверхности, на котором фиксируется излом кривых в сторону увеличения содержания гигроскопической влаги, сильно варьирует. В одном из профилей (№ 3) он наблюдается уже ниже слоя 10–15 см, в трех профилях (№ 1, 6 и 7) – ниже слоя 15–20 см, а в трех профилях (№ 2, 4 и 5) перегиб на кривой отчетливо фиксируется только в слое 25–30 см.

Взаимосвязь между ГС, ОБ и сорбционными свойствами твердых фаз почвы в отношении полярных жидкостей слишком сложна [11], чтобы однозначно приписывать поведение профильных кривых только изменению дисперсности частиц. Обработка послойных образцов H_2O_2 приводит к снижению абсолютных значений содержания гигроскопической влаги, однако точки излома на кривых сохраняют свое положение. В верхней части каждого профиля значения показателя до перегиба кривой становятся практически одинаковыми (рис. 1, б).

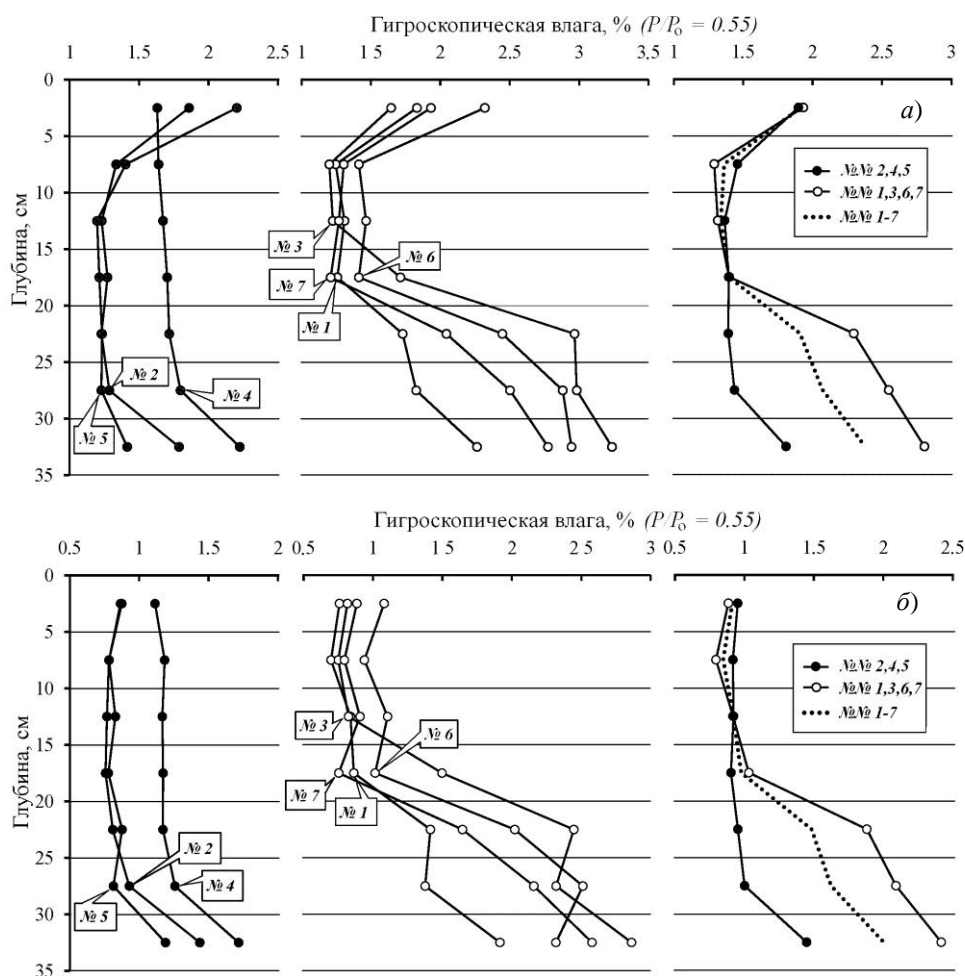


Рис. 1. Содержание гигроскопической влаги в образцах из верхней части профилей залежной почвы до (а) и после (б) удаления органического вещества 30% H_2O_2 как функция от глубины. Справа – средние профильные распределения

Графический анализ профильных распределений для образцов, подвергнутых окислительной деструкции, позволяет сгруппировать значения показателя гигроскопичности в две совокупности – до перегиба на кривых (включая значения точек излома) и после перегиба. Результаты t -теста независимых выборок для профилей с повышенной и пониженной глубиной перегиба показывают значимую разницу в содержании гигроскопической влаги. Для профилей № 1, 3, 6 и 7 значение t -критерия Стьюдента составляет 10.21 при критическом значении $t_{st} = 2.06$, а для профилей № 2, 4 и 5 $t = 3.40$ – при критическом значении $t_{st} = 2.09$.

Усредненным показателем дисперсности частиц является УП, которую в отечественной практике обычно рассчитывают, анализируя экспериментальные изотермы десорбции воды в координатах Брунауэра – Эмметта – Теллера в интервале относительных давлений паров воды $0.05 < P/P_0 < 0.35$ и в координатах Фаррера в интервале $0.40 < P/P_0 < 0.80$ [4]. Проведение всего комплекса сорбционно-

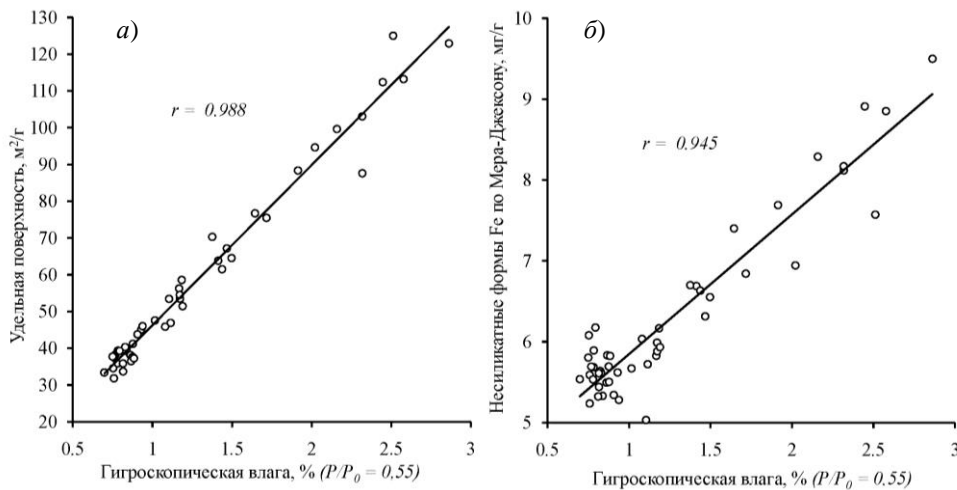


Рис. 2. Зависимость между содержанием гигроскопической влаги в образцах из верхней части профилей залежной почвы и (а) их удельной площадью поверхности, (б) содержанием несиликатных форм железа

десорбционных экспериментов по классической схеме определения изотерм десорбции воды не требует специального оборудования, однако достаточно длительно. Удобнее определять УП по удерживанию моноэтилового эфира этиленгликоля [10]. Сопоставление показателей содержания гигроскопической влаги и УП в послонных образцах после селективного удаления ОВ обнаруживает сильную прямую корреляционную связь на уровне значимости $\alpha = 0.001$. Таким образом, можно заключить, что перегибы на профильных кривых содержания гигроскопической влаги обусловлены изменением ГС (увеличением относительного содержания тонкодисперсных минеральных частиц) на границе старопашотного горизонта и не перемешанной вспашками части профиля.

Помимо аккумуляции тонкодисперсных частиц для иллювиальной части профиля серых лесных почв характерны отложение, трансформация и закрепление разнообразных соединений Fe, вынесенных нисходящим током воды из элювиальной части профиля. Между результатами определения гигроскопической влаги и экстрагируемых обработкой дитионит-цитрат-бикарбонатом форм Fe наблюдается сильная прямая корреляционная связь на уровне значимости $\alpha = 0.001$ (рис. 2). Рыхлые почвообразующие породы восточной части Европейской России обычно в той или иной степени прокрашены соединениями железа, и обусловленная ими широкая гамма цветов и оттенков может ослабевать или усиливаться в связи с перераспределением железа по почвенному профилю.

После устранения маскирующего действия ОВ точность диагностики нижней границы старопашотного горизонта по изменению цветовых характеристик послонных образцов в системе оценки цвета CIELAB должна повышаться. Результаты диагностики по профильным кривым значений координат тона и насыщенности, приведенные на рис. 3, практически соответствуют полученным по кривым содержания гигроскопической влаги (рис. 1, б), с тем лишь различием, что в профиле № 4 излом кривой фиксируется не в слое 25–30 см, а в слое 20–25 см.

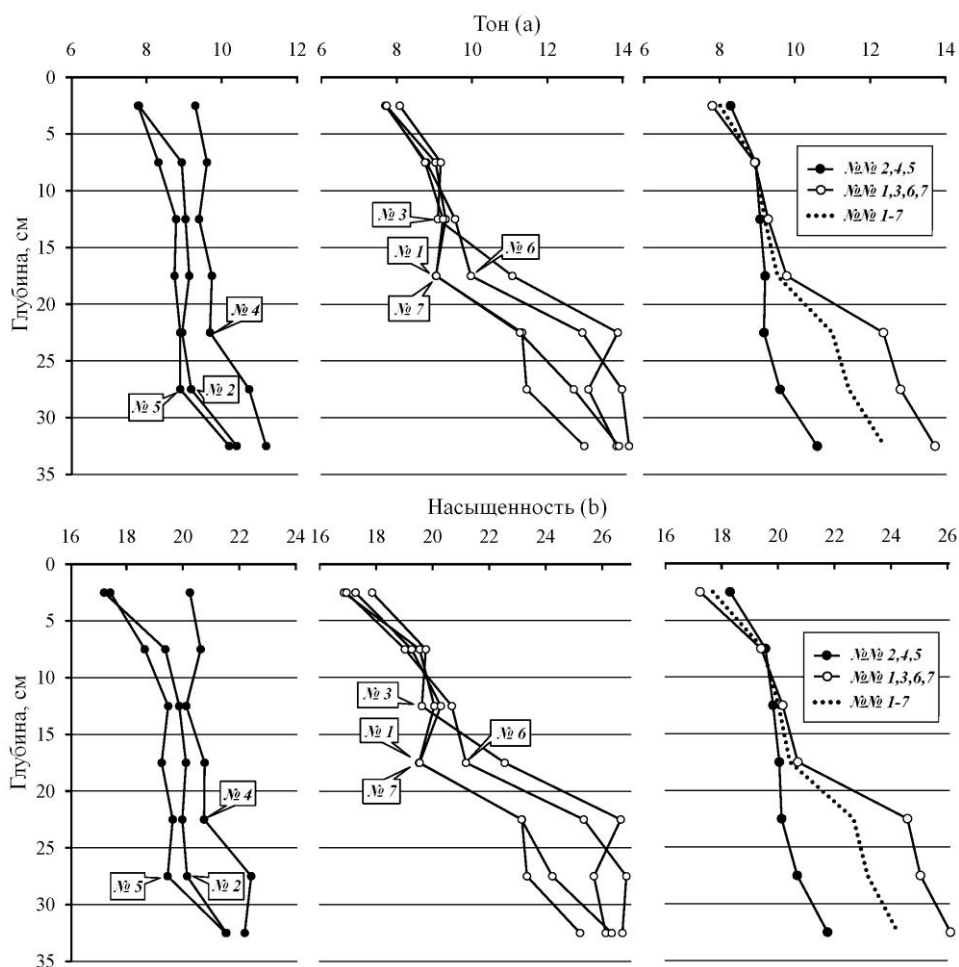


Рис. 3. Значения хроматической составляющей цвета в образцах из верхней части профилей залежной почвы после удаления органического вещества 30% H_2O_2 как функция от глубины. Справа – средние профильные распределения

Оценка различий при сопоставлении средних для выборок значений хроматической составляющей цвета до и после перегиба на профильных кривых показывает значимую разницу между ними. При сравнении тона и насыщенности для профилей № 1, 3, 6 и 7 значения t -критерия Стьюдента составляют 11.08 и 9.59 соответственно при критическом значении $t_{st} = 2.06$. Для профилей № 2, 4 и 5 соответствующие значения t -критерия составляют 4.44 и 3.54 при критическом значении $t_{st} = 2.09$.

Интересно сопоставить значения хроматической составляющей цвета (тон и насыщенность) в цветовом пространстве CIELAB для послойных образцов после удаления ОВ 30% H_2O_2 с содержанием в них несиликатных форм Fe. Результаты корреляционного анализа и в том, и в другом случае показывают сильную прямую связь на уровне значимости $\alpha = 0.001$ (рис. 4). Таким образом, можно уверенно заключить, что перегиб на кривых значений хроматической составляющей цвета обусловлен изменением гаммы цветов и оттенков, которые придают почвенной массе соединения Fe.

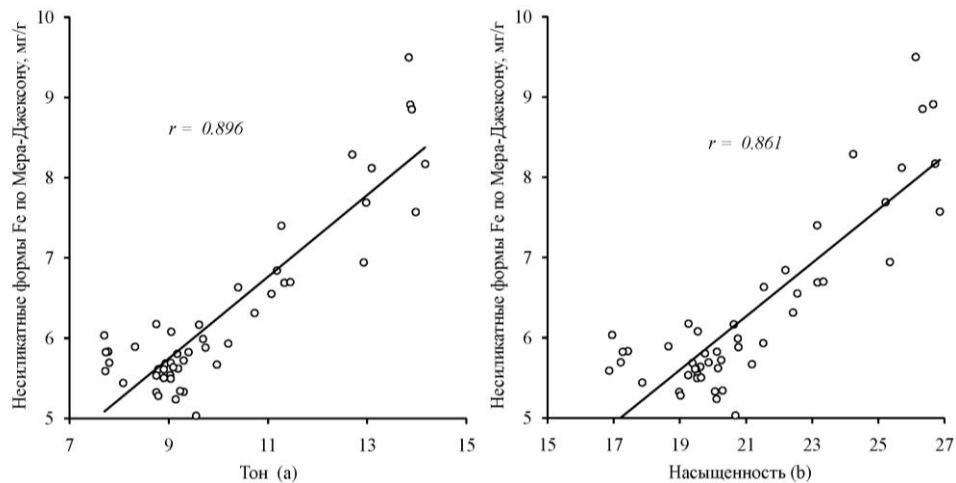


Рис. 4. Зависимость между значениями хроматической составляющей цвета и содержанием несиликатных форм железа в образцах из верхней части профилей залежной почвы

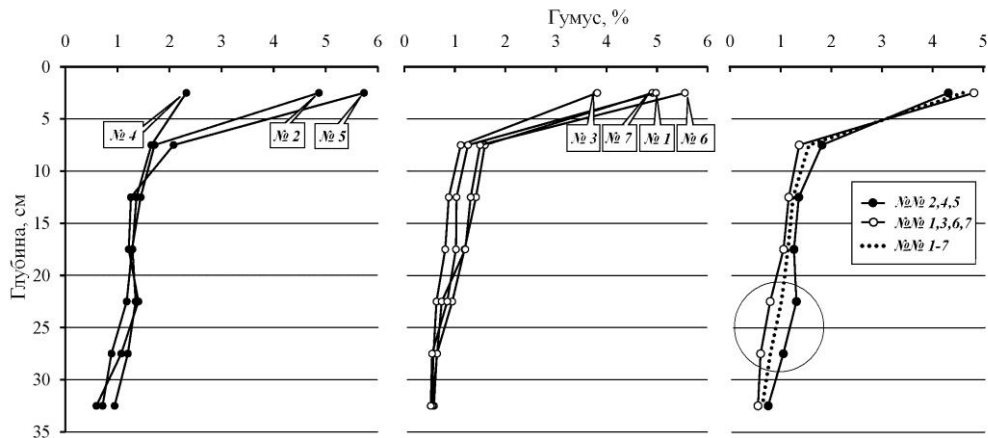


Рис. 5. Содержание гумуса в образцах из верхней части профилей залежной почвы как функция от глубины. Справа – средние профильные распределения

В идеальном случае одинаковая для всего поля система обработки почвы в прошлом должна была привести к формированию пахотного слоя равной мощности независимо от изменения высоты поверхности. Однако на исследованном ровном и относительно небольшом участке мощность перемешанной прошлыми вспашками части профиля изменяется в широких пределах. Вполне очевидно, что гипотетические причины несогласованного с поверхностью изменения нижней границы старопашотного горизонта могут быть самыми различными. Например, в ходе залежной сукцессии на отдельных участках с более благоприятными условиями для развития корневых систем травянистых растений поверхность почвы может подниматься относительно участков, где объем корней меньше. Однако более реалистично связать наблюдаемый интервал изменения мощности с начальными стадиями освоения территории под пашню. На этих стадиях систематическая отвальная вспашка и другие обработки могли приводить

к «стаскиванию» почвенного материала с несколько повышенных участков пашни и «натаскиванию» его в пониженные участки.

Такая интерпретация предыстории перемешанного обработками слоя до некоторой степени согласуется с картинами профильного распределения содержания гумуса. Если сгруппировать данные в целом или только для профилей с меньшей мощностью старопахотного горизонта, то содержание гумуса вполне закономерно снижается с глубиной (рис. 5). В то же время для профилей с большей мощностью старопахотного горизонта в нижней его части наблюдается слабовыраженный нетипичный максимум. Результаты t -теста независимых выборок действительно показывают значимую разницу в содержании гумуса между профилями с меньшей (№ 1, 3, 6 и 7) и большей (№ 2, 4 и 5) мощностью старопахотного горизонта в интервале глубин 20–30 см ($t = 5.57$ при критическом значении $t_{st} = 2.18$).

Заключение

На примере светло-серой лесной почвы экспериментально показана возможность объективной и надежной диагностики нижней границы старопахотного горизонта в залежных кислых сиаллитных профильно-дифференцированных почвах по изменению содержания гигроскопической влаги и значений хроматической составляющей цвета в послонных образцах после удаления из них ОВ обработкой пероксидом водорода. Используемые для диагностики показатели имеют ясный физический смысл и отражают изменение либо степени дисперсности минеральной части почвенной массы (гигроскопичность), либо содержания в ее составе несиликатных соединений Fe (тон и насыщенность в цветовом пространстве CIELAB). Диагностика одновременно по двум показателям очевидно избыточна. Выбор оптимального подхода в каждом конкретном случае может определяться, исходя из технических удобств. Фактическая граница раздела между пахотной и незатронутой отвальными обработками частями профиля проходит где-то между верхней и нижней границами слоя отбора образцов, расположенного ниже точки излома на профильных кривых. Однако точность диагностики можно увеличить, уменьшая шаг дискретности отбора послонных образцов.

Работа выполнена за счет средств субсидии, выделенной Казанскому федеральному университету для выполнения государственного задания в сфере научной деятельности.

Литература

1. Агроэкологическое состояние и перспективы использования земель России, вышедших из активного сельскохозяйственного оборота / Под ред. Г.А. Романенко. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2008. – 64 с.
2. Люри Д.И., Горячкин С.В., Караваева Н.А., Денисенко Е.А., Нефедова Т.Т. Динамика сельскохозяйственных земель России в XX веке и постагрогенное восстановление растительности и почв. – М.: ГЕОС, 2010. – 416 с.
3. Розанов Б.Г. Морфология почв. – М.: Акад. проект, 2004. – 432 с.
4. Манучаров А.С., Черноморченко Н.И., Харитонов Г.И. Удельная поверхность почв // Теория и методы физики почв. – М.: Гриф и К, 2007. – С. 130–165.

5. *Pansu M., Gautheyrou J.* Handbook of soil analysis. Mineralogical, organic and inorganic methods. – Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag, 2006. – 993 p.
6. *Орлов Д.С., Суханова Н.И., Розанова М.С.* Спектральная отражательная способность почв и их компонентов. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2001. – 176 с.
7. *Водяницкий Ю.Н., Васильев А.А., Кожева А.В., Сатаев Э.Ф., Власов М.Н.* Влияние железо-содержащих пигментов на цвет почв на аллювиальных отложениях Средне-Камской равнины // Почвоведение. – 2007. – № 3. – С. 318–330
8. *Гиниятуллин К.Г., Мухаметгалиева Г.Я., Латыпова А.И.* Применение различных подходов к репрезентативному пробоотбору при изучении гумусонакопления в залежных почвах // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2013. – Т. 155, кн. 3. – С. 208–220.
9. ISO 11464:1994. Soil Quality – Pretreatment of samples for physico-chemical analysis. – 11 p.
10. Soil Survey Laboratory Methods Manual. Soil Survey Investigations Report No 42, Version 4.0. – Lincoln, NE: USDA-NRCS, 2004. – 700 p.
11. *Pennell K.D., Abriola L.M., Boyd S.A.*, Surface area of soil organic matter reexamined // Soil Sci. Soc. Am. J. – 1995. – V. 59. – P. 1012–1018.

Поступила в редакцию
23.09.14

Шинкарев Александр Александрович – доктор биологических наук, профессор кафедры почвоведения, Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Россия.

E-mail: Ashinkar@mail.ru

Кузьмина Ксения Игоревна – учитель биологии, средняя общеобразовательная школа № 35 с углубленным изучением отдельных предметов, г. Казань, Россия.

E-mail: Ksusha177@bk.ru

Субботина Мария Георгиевна – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории освоения агрозоотехнологий, Пермская государственная сельскохозяйственная академия, г. Пермь, Россия.

E-mail: Subbotina@mail.ru

Низамова Диана Римовна – студент кафедры почвоведения, Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Россия.

E-mail: Nizamova1992@inbox.ru

* * *

DIAGNOSING THE LOWER BOUNDARY OF THE OLD-ARABLE HORIZON IN FALLOW LIGHT-GREY FOREST SOILS

A.A. Shinkarev, K.I. Kuzmina, M.G. Subbotina, D.R. Nizamova

Abstract

The possibility to objectively and reliably diagnose the lower boundary of the old-arable horizon in fallow acid siallitic soils with an eluvial-illuvial-differentiated profile has been demonstrated experimentally by determining the hygroscopicity and color characteristics of their layerwise samples following the removal of the soil organic matter by hydrogen peroxide. The boundary is defined by an inflection point on the profile curves of hygroscopic moisture content and chromatic components (hue, saturation).

Keywords: fallow light-grey forest soil, organic matter removal, hygroscopic moisture, CIELAB chromaticity coordinates, non-silicate compounds of Fe.

References

1. Romanenko G.A. (Ed.) Agroecological Condition and Perspectives of Using Abandoned Agricultural Lands in Russia. Moscow, FNGU "Rosinformagrotekh", 2008. 64 p. (In Russian)
2. Lyuri D.I., Goryachkin S.V., Karavaeva N.A., Denisenko E.A., Nefedova T.G. Dynamics of Agricultural Lands of Russia in the 19th Century and Postagrogenic Restoration of Vegetation and Soils. Moscow, GEOS, 2010. 416 p. (In Russian)
3. Rozanov B.G. Soil Morphology. Moscow, Akad. proekt, 2004. 432 p. (In Russian)
4. Manucharov A.S., Chernomorchenko N.I., Kharitonova G.I. Specific surface area of soils. *Theories and Methods of Soil Physics*. Moscow, Grif i K, 2007. pp. 130–165. (In Russian)
5. Pansu M., Gautheyrou J. Handbook of Soil Analysis. Mineralogical, Organic and Inorganic Methods. Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 2006. 993 p.
6. Orlov D.S., Sukhanova N.I., Rozanova M.S. Spectral Reflectivity of Soils and Their Components. Moscow, Izd. Mosk. Univ., 2001. 176 p. (In Russian)
7. Vodyanitskii Yu.N., Vasilev A.A., Kozheva A.V., Sataev E.F., Vlasov M.N. Influence of iron-containing pigments on the color of soils on alluvium of the Middle Kama plain. *Eurasian Soil Science*, 2007, vol. 40, pp. 289–301.
8. Giniyatullin K.G., Mukhametgalieva G.Ya., Latypova A.I. Application of various approaches to representative sampling for studying humus accumulation in fallow soils. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki*, 2013, vol. 155, no. 3, pp. 208–220. (In Russian)
9. ISO 11464. 1994. Soil Quality – Pretreatment of samples for physico-chemical analysis. 11 p.
10. Soil Survey Laboratory Methods Manual. Soil Survey Investigations Report No 42, Version 4.0. Lincoln, NE, USDA-NRCS, 2004. 700 p.
11. Pennell K.D., Abriola L.M., Boyd S.A. Surface area of soil organic matter reexamined. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1995, vol. 59, pp. 1012–1018.

Received
September 23, 2014

Shinkarev Aleksandr Aleksandrovich – Doctor of Biology, Professor, Department of Soil Science, Kazan Federal University, Kazan, Russia.
E-mail: Ashinkar@mail.ru

Kuzmina Kseniya Igorevna – Biology Teacher, General Secondary Education School No. 35, Kazan, Russia.
E-mail: Ksusha177@bk.ru

Subbotina Mariya Georgievna – PhD in Agricultural Sciences, Senior Research Fellow, Laboratory for the Development of Agricultural Technologies, Perm State Agricultural Academy, Perm, Russia.
E-mail: Subbotina@mail.ru

Nizamova Diana Rimovna – Student, Department of Soil Science, Kazan Federal University, Kazan, Russia.
E-mail: Nizamova1992@inbox.ru