

УДК 631.48

## ХАРАКТЕРИСТИКА ЗАЛЕЖНЫХ СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ ПО ДАННЫМ МАГНИТНЫХ И СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

*Л.А. Фаттахова, А.А. Шинкарев, Л.Р. Косарева, Л.З. Ихсанова*

### Аннотация

Изучены магнитные свойства и цветовые характеристики послойных образцов из верхней части профилей залежных серых лесных почв. Проведена оценка возможности корректной диагностики нижней границы старопахотного горизонта по значениям хроматической составляющей цвета (тон, насыщенность) и магнитной восприимчивости. При достаточно большой мощности гумусового горизонта кислых сиаллитных профильно-дифференцированных почв и слабовыраженной дифференциации профиля по элювиально-иллювиальному типу результаты определения тона и насыщенности послойных образцов в координатах CIELAB могут оказаться недостаточными для уверенной диагностики нижней границы старопахотного горизонта. Экспериментально показана возможность объективной и надежной диагностики границы перемешанной прошлыми вспашками части профиля залежной почвы с его подпахотной частью по излому на профильных кривых магнитной восприимчивости. Установлено, что селективное удаление органического вещества почв пероксидом водорода не оказывает влияния на профильную дифференциацию значений магнитной восприимчивости. Магнитные измерения являются полезным дополнением к спектрофотометрической оценке цветовых характеристик верхней части профилей залежных почв, поскольку они обеспечивают диагностику признаков постагрогенной дифференциации бывшего пахотного горизонта по магнитным свойствам.

**Ключевые слова:** залежная светло-серая лесная почва, залежная темно-серая лесная почва, магнитная восприимчивость, цветовые характеристики в координатах CIELAB, несиликатные соединения железа.

### Введение

На примере светло-серой лесной почвы была показана возможность определения нижней границы старопахотного горизонта в залежных кислых сиаллитных профильно-дифференцированных почвах по излому на профильных кривых значений хроматической составляющей цвета в цветовом пространстве CIELAB [1]. Физический смысл использования оптических характеристик заключался в оценке по ним изменения содержания в составе почвенной массы окрашенных соединений Fe на границе перемешанной прошлыми вспашками части профиля с его подпахотной частью.

Светло-серые лесные почвы по своим признакам и свойствам близки к дерново-подзолистым. В профиле почв этого подтипа серых лесных почв особенно сильно проявляется дифференциация валового химического состава по элювиально-иллювиальному типу. При отчетливо выраженном элювиально-иллювиальном

распределении  $R_2O_3$  в профиле и при относительно небольшой мощности органических горизонтов формирование пахотного горизонта происходит путем их перемешивания и гомогенизации с материалом нижележащих минеральных горизонтов. Все это позволяет говорить о возможности использования в диагностических целях данных спектрофотометрических измерений цвета. Однако в темно-серых лесных почвах, которые по свойствам близки к черноземам, мощность гумусового горизонта может достигать 40 см при слабовыраженной дифференциации профиля по содержанию  $R_2O_3$ . В этой ситуации результаты определения нижней границы старопашотного горизонта по цветовым характеристикам могут оказаться недостаточно однозначными, что обуславливает необходимость поиска других подходов к ее диагностике.

В последние два десятилетия как за рубежом, так и в России широкое развитие получило изучение магнетизма окружающей среды, в том числе и магнитных характеристик почв [2–4]. Показатели магнитных характеристик, такие как магнитная восприимчивость, определяются в первую очередь содержанием в почвах соединений Fe, их фазовым составом и дисперсностью. Установлено, что магнитные свойства ряда зональных почв могут закономерно изменяться с глубиной, формируя магнитный профиль, который обнаруживает тесную связь с типом и выраженностью почвообразовательного процесса. Показано, что профили магнитной восприимчивости серых лесных почв могут представлять собой кривые как элювиально-иллювиального, так и аккумулятивного характера [2, 5, 6]. Отмечается, что из антропогенных процессов почвообразования наибольшее влияние на магнетизм оказывает образование пахотного горизонта, поскольку периодическая обработка верхней части профиля при земледелии ведет к выравниванию в нем показателей магнитных характеристик [2]. Поэтому магнитная восприимчивость серых лесных почв должна меняться на границе пахотного и подпахотного слоев.

Следует заметить, что изучение магнитных свойств залежных почв представляет и самостоятельный интерес. Считается, что кардинальное изменение характера почвообразования при выведении пахотных земель в залежь приводит к эволюции почв. Если климаксные стадии постагрогенных сукцессий вполне достижимы, а такие финальные стадии в геоботанической литературе фактически постулируются [7], то процесс восстановления исходной климаксной растительности должен быть сопряжен с обратимым возвращением почвы в первоначальное состояние.

Однако почвообразование не сводится только к процессам преобразования органических остатков в почвенный гумус, связывания его с минеральными поверхностями той или иной степени дисперсности, гумусонакопления и аккумуляции биофильных элементов, сопровождающихся образованием биогенных органо-аккумулятивных поверхностных горизонтов. Оно включает и медленную химическую трансформацию материнских пород, обусловленную протеканием ряда реакций, которые редко достигают химического равновесия.

Что касается собственно химического выветривания, то в большинстве почв главная роль отводится гидролизу: инконгруэнтному растворению минералов, таких как полевые шпаты, с образованием вторичных тонкодисперсных минералов и появлением катионов щелочных и щелочноземельных металлов в растворе [8].

Однако прямое и косвенное влияние живого вещества на процессы выветривания минералов при почвообразовании, опосредованное спецификой условий среды в ризосфере и в эктомикоризосфере и особенностями синергетического воздействия на минералы грибов, бактерий и высшей растительности, увеличивает скорость процессов выветривания на много порядков [9]. Для старопахотных почв с высокой степенью уверенности можно констатировать отсутствие тождества между компонентным и фазовым составами тонкодисперсных минеральных фаз на стадиях вовлечения целинной почвы в обработку и выведения пахотной почвы в залежь. Из этого со всей очевидностью вытекает, что утверждения о возможности самовосстановления почв до исходного ненарушенного состояния под естественно развивающимися растительными сукцессиями при выведении пахотных земель носят декларативный характер. Некогда гомогенный старопахотный слой, образовавшийся путем перемешивания материала различных горизонтов, следует рассматривать как литологически однородную почвообразующую породу для субпрофиля, формирующегося на ней в процессе сукцессионного восстановления экосистем. Поэтому изучение магнитных свойств верхней части профилей залежных почв целесообразно и в аспекте выявления тех или иных признаков постагрогенной дифференциации бывшего пахотного горизонта.

Цель настоящей работы – провести сравнительную оценку возможности корректной диагностики нижней границы старопахотного горизонта в залежных серых лесных почвах по цветовым характеристикам и магнитной восприимчивости послойных образцов и диагностики признаков постагрогенной дифференциации бывшего пахотного горизонта по магнитным свойствам.

### 1. Объекты и методы

Первый объект исследования – залежная (9–10 лет) темно-серая лесная среднесуглинистая почва на желто-буром бескарбонатном делювиальном среднем суглинке, подстилаемом древнеаллювиальными песками. Участок расположен в Лаишевском районе Республики Татарстан (55°37' с.ш., 49°10' в.д.) на очень пологом склоне северо-восточной экспозиции. Залежная растительность представлена зарастающим кленом американским разнотравно-злаковым луговым фитоценозом при полном доминировании щучки дернистой, образующей кочки или плотные дернины. Второй объект – 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 сенокосу, без признаков зарастания древесной растительностью [10].

Отбор образцов проводили в узлах гексагональной 7-точечной решетки с расстоянием от центрального узла решетки до периферических – 20 м. Образцы отбирали послойно через каждые 5 см на глубину до 35–45 см, включая дернину.

Предварительную пробоподготовку послойных почвенных образцов проводили согласно рекомендациям Международной организации по стандартизации [11]. Для удаления органического вещества (ОВ) 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. Для измерения магнитной восприимчивости ( $\chi$ ) использовался измеритель магнитной восприимчивости фирмы Bartington MS2–В. Измерения каждого образца производили в двух режимах высоких и низких частот (0.460 кГц для  $\chi_{hf}$  и 1.65 кГц для  $\chi_{lf}$  соответственно). Предварительно все образцы были измельчены в агатовой ступке. Проведена нормировка по массе проб. Цветовые характеристики послойных образцов, растертых и пропущенных через сито с размером отверстий 0.5 мм, определяли на спектрофотометре X-RiteColor Digital Swatchbook DTP22 производства X-Rite, Inc. (программное обеспечение X-Rite ColorPoint 2.0.5). Спектры отражения регистрировали на спектрофотометре V-650 производства Jasco (программное обеспечение Spectra Manager II). Пробоподготовка состояла в измельчении и пропускании через сито с размером отверстий 0.1 мм. Выделение оксалоторастворимых соединений Fe проводили, придерживаясь рекомендаций руководства для лабораторий США [12]. Экстракцию проводили в темноте, чтобы предотвратить фотохимическое восстановление Fe(III) и замедлить растворение окристаллизованных соединений железа. Железо определяли фотометрически с сульфосалициловой кислотой [13, 14].

Обработку данных проводили с использованием пакета MS Excel. По критерию Шапиро – Уилка для уровня значимости  $\alpha = 0.05$  экспериментально измеренные значения магнитной восприимчивости, координат Lab, разности коэффициентов отражения при 650 и 480 нм и показателей группового состава соединений железа характеризовались нормальным распределением во всех слоях 7 профилей двух залежных почв, поэтому для оценки связи между показателями и их вариабельности использовали параметрические показатели.

## 2. Результаты и их обсуждение

Эксперименты с темно-серой лесной почвой моделируют жесткий вариант проверки возможностей диагностики нижней границы старопашотного горизонта по цветовым характеристикам послойных образцов без предварительного удаления из них ОВ. Анализ профилей по цветовым характеристикам (рис. 1) свидетельствует, что только в трех из них (№ 1, 3, и 6) можно уверенно связать расстояние от поверхности, на котором фиксируется излом кривых значений тона и насыщенности с глубиной пахотного слоя. Для этих профильных кривых наблюдается излом в сторону увеличения значений координат  $a$  и  $b$ . Оценка различий при сопоставлении средних двух несвязных и неравных по численности выборок значений хроматической составляющей цвета до перегиба на кривых (включая точку излома) и после перегиба показывает значимую разницу между ними. Для тона и насыщенности значения  $t$ -критерия Стьюдента составляют 4.99 и 6.11 соответственно при критическом значении  $t_{st} = 2.06$ . Для профилей № 2, 4, 5 и 7 проявляется только слабовыраженная и статистически незначимая тенденция уменьшения значений цветовых характеристик с глубиной, начиная со слоя 20–25 см. Таким образом, цветовые характеристики послойных образцов в координатах Lab не обеспечивают однозначной диагностики нижней границы

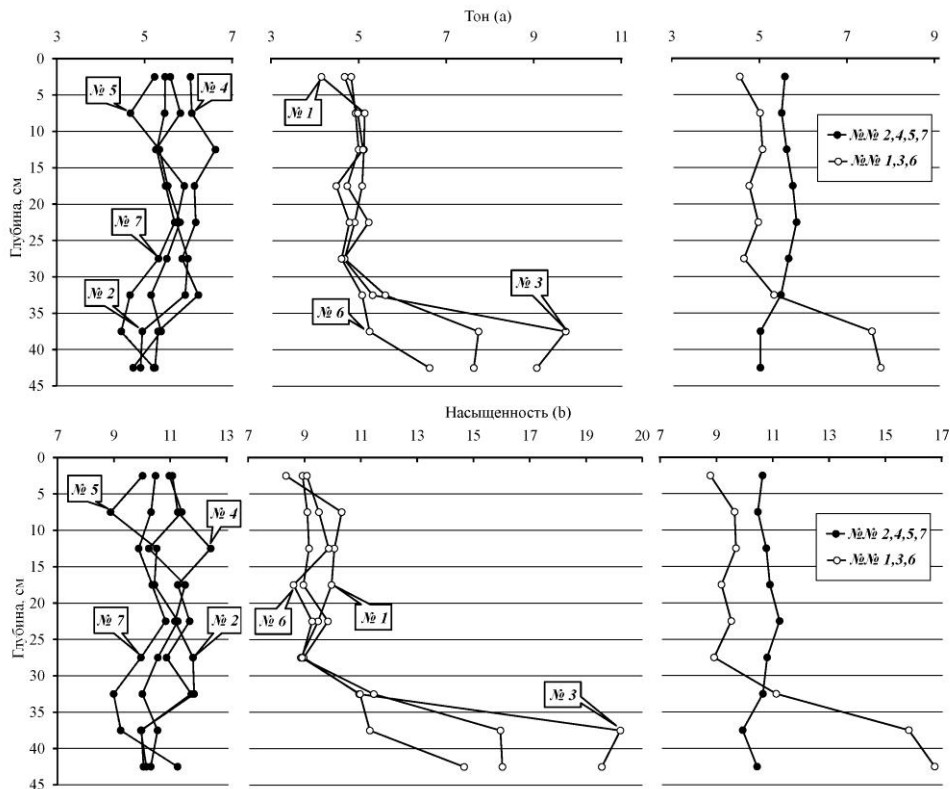


Рис. 1. Значения хроматической составляющей цвета в образцах из верхней части профилей залежной темно-серой лесной почвы как функция от глубины. Справа – средние профильные распределения

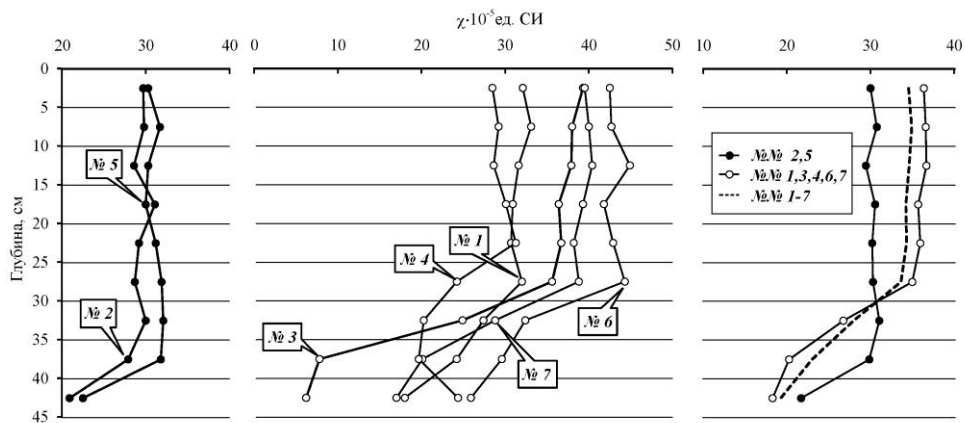


Рис. 2. Магнитная восприимчивость образцов из верхней части профилей залежной темно-серой лесной почвы как функция от глубины. Справа – средние профильные распределения

старопахотного горизонта залежной темно-серой лесной почвы. Можно лишь уверенно констатировать, что подвергавшаяся перемешиванию часть профиля подстигается как оставшейся его гумусово-элювиальной частью (в профилях № 2, 5, 4 и 7), так и оставшейся его иллювиальной частью (в профилях № 1, 3, 4 и 6).

Графический анализ 7-профильных распределений магнитной восприимчивости показывает, что во всех случаях на кривых отчетливо фиксируется излом в сторону уменьшения величины показателя (рис. 2). Это может свидетельствовать о том, что целинная темно-серая лесная почва, скорее всего, характеризовалась аккумулятивным типом магнитного профиля. Расстояние от поверхности, на котором фиксируется излом кривых, сильно варьирует. В одном из профилей (№ 4) он наблюдается ниже слоя 20–25 см, в четырех профилях (№ 1, 3, 6 и 7) – ниже слоя 25–30 см, а в двух профилях (№ 2 и 5) перегиб на кривой отмечается в слое 35–40 см. На рис. 2 профильные кривые сгруппированы по глубине перегиба. Результаты  $t$ -теста независимых выборок значений  $\chi_{lf}$  для профилей с пониженной и повышенной глубиной перегиба показывают значимую разницу между ними. Для профилей № 5 и 2 значение  $t$ -критерия Стьюдента составляет 4.28 при критическом значении  $t_{st} = 2.12$ . Для профилей № 1, 3, 4, 6 и 7 значение  $t$ -критерия составляет 7.77 при критическом значении  $t_{st} = 2.02$ .

Для светло-серой лесной залежной почвы ранее было установлено, что на исследованном участке мощность верхней части почвенной толщи, которую правомочно рассматривать как старопашотный горизонт (а следовательно, и как почвообразующую породу для формирующегося на залежи субпрофиля), изменяется в достаточно широких пределах [1]. По цветовым характеристикам при шаге дискретности отбора послойных образцов 5 см она диагностируется как мощность трех (профиль № 3), четырех (профили № 1, 6 и 7), пяти (профиль № 4) и шести (профили № 2, 4 и 5) слоев.

Графический анализ магнитных профилей (рис. 3, а) показывает, что по виду они подобны профильным кривым значений координат тона и насыщенности, приведенным в работе [1]. Расстояния от поверхности, на которых фиксируется излом на профильных кривых магнитной восприимчивости и значений хроматической составляющей цвета, полностью соответствуют друг другу. Так же, как и для значений координат  $a$  и  $b$ , оценка различий при сопоставлении средних для выборок значений  $\chi_{lf}$  до и после перегиба на профильных кривых показывает значимую разницу между ними. При сравнении  $\chi_{lf}$  для профилей № 1, 3, 6 и 7 значение  $t$ -критерия Стьюдента составляет 5.98 при критическом значении  $t_{st} = 2.06$ . Для профилей № 2, 4 и 5 значение  $t$ -критерия равно 2.09 при критическом значении  $t_{st} = 2.09$ . Установлено, что селективное удаление ОВ не оказывает влияния на профильную дифференциацию значений магнитной восприимчивости (рис. 3, б). Несколько повышенные абсолютные значения  $\chi_{lf}$  в верхней части профилей обусловлены тем, что после обработки пероксидом водорода навеска состоит из минеральной матрицы, содержащей магнитные минералы, в отличие от органической составляющей.

Ниже старопашотного слоя значения  $\chi_{lf}$  возрастают, следовательно, целинная почва имела элювиально-иллювиальный тип магнитного профиля. Магнитная восприимчивость почв отражает качественные и количественные характеристики содержащихся в них соединений Fe. Частично информацию о таких характеристиках дают показатели группового состава соединений Fe, с которыми, в свою очередь, связаны и цветовые характеристики, определяемые спектрофотометрическими методами. В уже упомянутой работе [1] результаты корреляционного анализа показали сильную прямую корреляционную связь между значениями

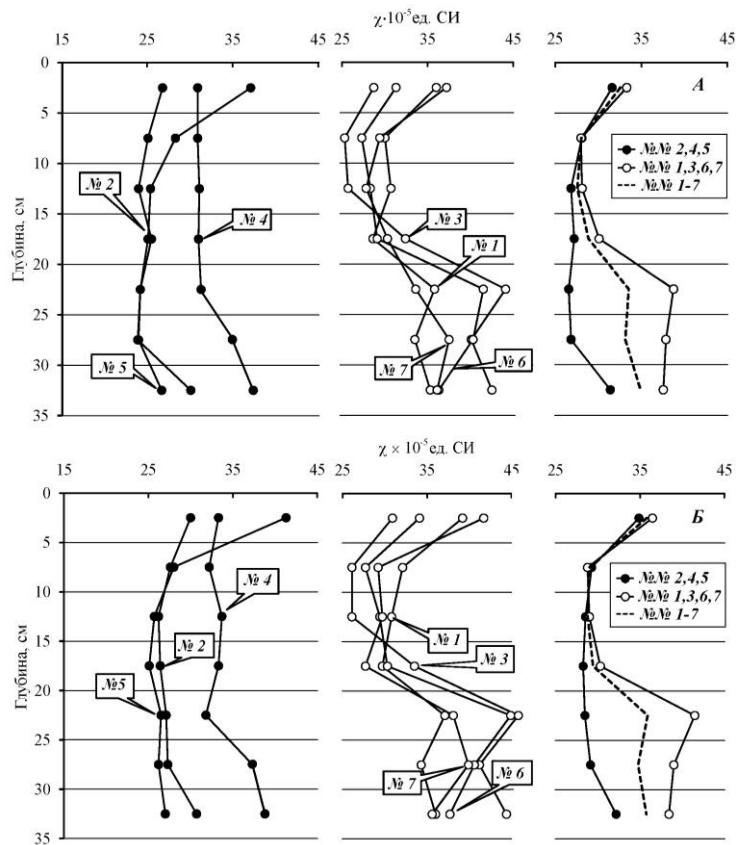


Рис. 3. Магнитная восприимчивость в образцах из верхней части профилей залежной светло-серой лесной почвы до (а) и после (б) удаления органического вещества 30%  $H_2O_2$  как функция от глубины. Справа – средние профильные распределения

координат  $a$  и  $b$  в цветовом пространстве CIELAB для послойных образцов залежной светло-серой лесной почвы и содержанием в них несиликатных форм Fe. Поэтому представляет интерес сопоставить магнитную восприимчивость послойных образцов с их цветовыми характеристиками.

На рис. 4 приведены спектры отражения в видимой области послойных образцов профиля с повышенной (№ 3) и пониженной (№ 4) границами старопашотного горизонта. На кривых отражения ясно выражен перегиб в интервале длин волн от 480–500 до 600–700 нм, причем различия между спектрами послойных образцов гораздо сильнее проявляются в профиле с меньшей мощностью старопашотного горизонта. Перегиб на кривых отражения принято связывать с присутствием несиликатных соединений Fe, и по разности коэффициентов отражения при 480 и 650 нм:  $\Delta R = R_{650} - R_{480}$  – обычно судят об относительном содержании несиликатных соединений Fe [15].

Для интегральной характеристики цвета образцов в координатах Lab может быть использован индекс краснотности, предложенный в работе [16], который рассчитывают по формуле:

$$R_{Lab} = a(a^2 + b^2)^{1/2} \cdot 10^{10}/bL^6,$$

где  $a$  – тон,  $b$  – насыщенность,  $L$  – светлота.

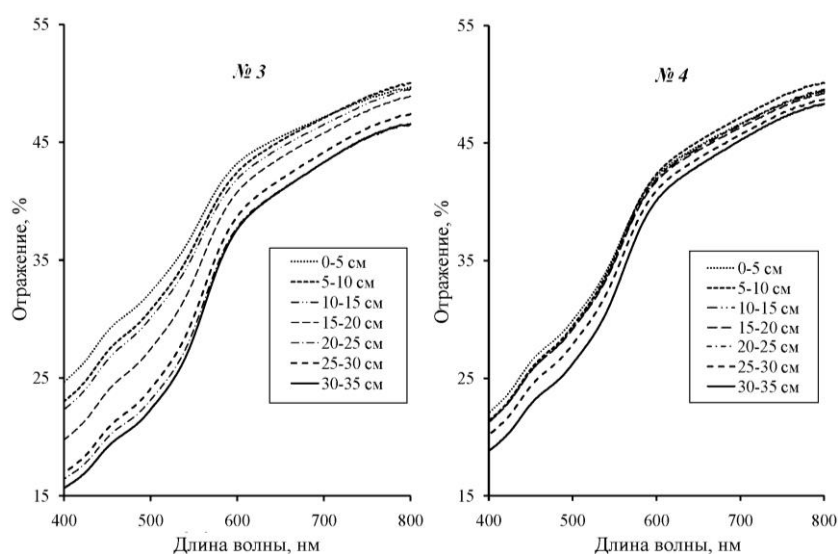


Рис. 4. Спектры отражения образцов из верхней части профилей залежной светло-серой лесной почвы после удаления органического вещества 30%  $H_2O_2$

Табл. 1

Корреляции между цветовыми характеристиками и магнитной восприимчивостью по-слойных образцов залежной светло-серой лесной почвы

	Исходные образцы				
	Содержание не-силикатных соединений Fe, мг/г	Тон ( <i>a</i> )	Насыщенность ( <i>b</i> )	Критерий красноцветности ( <i>R(ab)</i> )	
Магнитная восприимчивость, $\chi \cdot 10^{-8}$ ед. СИ	0.785 ( $\alpha=0.001$ )	0.633 ( $\alpha=0.001$ )	0.547 ( $\alpha=0.001$ )	0.648 ( $\alpha=0.001$ )	
	После обработки пероксидом водорода				
	$\Delta R = R_{650} - R_{480}$	Тон ( <i>a</i> )	Насыщенность ( <i>b</i> )	Критерий красноцветности ( <i>R(ab)</i> )	Индекс красноцветности ( <i>R<sub>Lab</sub></i> )
Магнитная восприимчивость, $\chi \cdot 10^{-8}$ ед. СИ	0.508 ( $\alpha=0.001$ )	0.692 ( $\alpha=0.001$ )	0.651 ( $\alpha=0.001$ )	0.689 ( $\alpha=0.001$ )	0.714 ( $\alpha=0.001$ )

В гумусовых горизонтах почв темноокрашенные органические компоненты могут влиять на цветовые характеристики минеральных компонентов, и в ряде случаев используют модифицированный критерий красноцветности, из которого исключена переменная координата светлоты [17]. Расчет ведут по формуле:

$$R(ab) = a(a^2 + b^2)^{1/2} \cdot 17b^6.$$

Результаты корреляционного анализа показывают сильную прямую связь между магнитной восприимчивостью образцов и содержанием в них несиликатных соединений Fe (табл. 1). В полном соответствии с обнаруженной ранее для тех же образцов тесной взаимосвязью между содержанием несиликатных соединений Fe и значениями координат Lab результаты корреляционного анализа также показывают среднюю и сильную прямую корреляционную связь



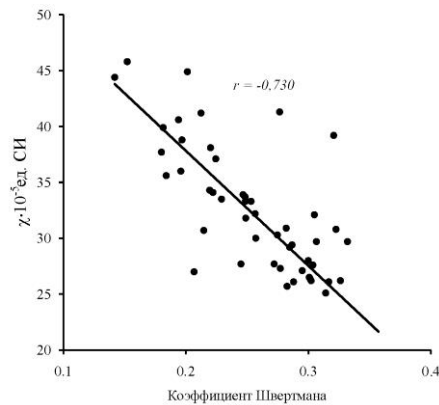


Рис. 5. Зависимость между магнитной восприимчивостью образцов и долей «аморфных» и слабоокристаллизованных форм среди всех несиликатных соединений Fe

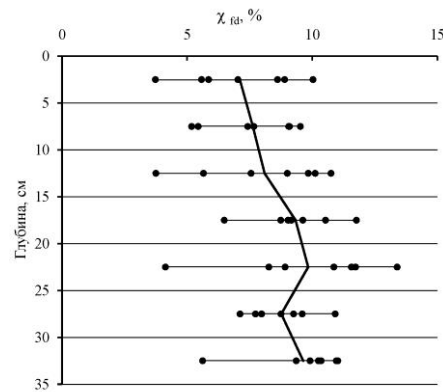


Рис. 6. Частотно-зависимая магнитная восприимчивость образцов из верхней части профилей залежной светло-серой лесной почвы как функция от глубины

между магнитной восприимчивостью и цветовыми характеристиками (табл. 1). Таким образом, данные магнитных и спектрофотометрических измерений вполне согласуются между собой.

Отношение содержания оксалоторастворимых соединений Fe к содержанию соединений Fe, экстрагируемых обработкой дитионит-цитрат-бикарбонатом при параллельной схеме экстракции (коэффициент Швертмана), принято использовать как характеристику доли «аморфных» и слабоокристаллизованных форм среди всех несиликатных соединений Fe [18]. Наличие сильной обратной связи на уровне значимости  $\alpha = 0.001$  между магнитной восприимчивостью и значениями коэффициента Швертмана (рис. 5) можно расценивать как свидетельство определяющего вклада окристаллизованных соединений Fe в магнитные свойства верхней части профиля залежной светло-серой лесной почвы.

Отдельный вопрос – диагностика признаков постагрогенной дифференциации бывшего пахотного горизонта по данным магнитных измерений. После 9–10 лет пребывания темно-серой лесной почвы в залежи признаков формирования магнитного субпрофиля в старопашотном горизонте не обнаружено (рис. 2). В то же время в светло-серой лесной почве, находившейся в залежи 70–75 лет, кривые распределения магнитной восприимчивости в верхних трех-четыре слоях имеют явно аккумулятивный характер (рис. 3). По формуле  $F = (\chi_{lf} - \chi_{hf}) / \chi_{lf} \cdot 100\%$  был определен  $F$ -фактор, отражающий наличие ферримангнетиков в суперпарамагнитном состоянии. Полученные значения варьируют в пределах от 4% до 13%, что свидетельствует о наличии в магнитной фракции как мелких, так и крупных зерен, однако статистически значимая вертикальная неоднородность старопашотного горизонта по  $F$ -фактору не проявляется (рис. 6). Что же касается магнитной восприимчивости, то результаты  $t$ -теста независимых выборок показывают значимую разницу  $\chi_{lf}$  между верхним и следующими тремя слоями старопашотного горизонта (значение  $t$ -критерия Стьюдента составляет 3.20, при критическом значении  $t_{st} = 2.06$ ). Однако следует заметить, что вопрос о генезисе магнетиков в почвах пока остается слишком дискуссионным, чтобы приписать

формирующийся аккумулятивный магнитный субпрофиль только влиянию растительности и микроорганизмов, поскольку не исключена и возможность их техногенного поступления [2].

### Заключение

Экспериментально показано, что при достаточно большой мощности гумусового горизонта кислых сиаллитных профильно-дифференцированных почв и слабовыраженной дифференциации профиля по элювиально-иллювиальному типу результаты определения цветовых характеристик послойных образцов в координатах Lab могут оказаться недостаточными для однозначной диагностики нижней границы старопахотного горизонта. В то же время граница перемешанной прошлыми вспашками части профиля залежной темно-серой лесной почвы с его подпахотной частью может надежно определяться по излому на профильных кривых магнитной восприимчивости. Это можно расценивать как экспериментальное свидетельство принципиальной возможности использования данных магнитных измерений для определения нижней границы старопахотного слоя в залежных черноземах, характеризовавшихся до распашки аккумулятивным типом магнитного профиля. При отчетливо выраженном элювиально-иллювиальном распределении  $R_2O_3$  в профиле и при относительно небольшой мощности органогенных горизонтов почв, формирующихся в кислой среде при промывном водном режиме на сиаллитной переотложенной коре выветривания, для корректной оценки мощности пахотного слоя достаточно спектрофотометрических измерений. Тем не менее магнитные измерения во всех случаях окажутся полезным дополнением к любой характеристике верхней части профилей залежных серых лесных почв, поскольку они обеспечивают диагностику признаков постагрогенной дифференциации бывшего пахотного горизонта по магнитным свойствам.

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

### Литература

1. Шинкарев А.А., Кузьмина К.И., Субботина М.Г., Низамова Д.Р. Диагностика нижней границы старопахотного горизонта в залежной светло-серой лесной почве // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2014. – Т. 156, кн. 4. – С. 60–69.
2. Бабанин В.Ф., Трухин В.И., Карпачевский Л.О., Иванов А.В., Морозов В.В. Магнетизм почв. – М.; Ярославль: ЯГТУ, 1995. – 222 с.
3. Evans M.E., Heller F. Environmental Magnetism: Principles and Applications of Environmental Magnetism. – San Diego: Acad. Press, 2003. – 311 p.
4. Liu Q., Robersts A.P., Larrasoana J.C., Banerjee S.K., Guyodo Y., Tauxe L., Oldfield F. Environmental magnetism: Principles and applications // Rev. Geophys. – 2012. – V. 50, No 4. – Art. RG4002, P. 1–50. – doi: 10.1029/2012RG000393.
5. Бусоргина Н.А. Магнитная восприимчивость почв Среднего Предуралья как генетический и диагностический их показатель: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. – Уфа, 2002. – 23 с.

6. *Обыденова Л.А.* Магнитная восприимчивость почв Среднего Предуралья как показатель агроэкологической оценки их свойств: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – М., 2003. – 23 с.
7. *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.
8. *Retallack G.J.* Soils and global change in the carbon cycle over geological time // *Treatise on Geochemistry*. – Elsevier, 2003. – V. 5. – P. 581–605.
9. *Соколова Т.А.* Роль почвенной биоты в процессах выветривания минералов (обзор литературы) // *Почвоведение*. – 2011. – № 1. – С. 64–81.
10. *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.
11. ISO 11464:1994. Soil Quality – Pretreatment of samples for physico-chemical analysis. – 11 p.
12. Soil Survey Laboratory Methods Manual. Soil Survey Investigations Report No 42, Version 4.0. – Lincoln, NE: USDA-NRCS, 2004. – 700 p.
13. *Глебова Г.И.* Показатели и методы оценки группового (фракционного) состава соединений химических элементов в почвах // *Теория и практика химического анализа почв*. – М.: ГЕОС, 2006. – С. 248–309.
14. *Федорова Н.Н., Касаткина Г.А., Растворова О.Т.* Показатели и методы определения элементного состава минеральной части почв (валовой анализ) // *Теория и практика химического анализа почв*. – М.: ГЕОС, 2006. – С. 141–193.
15. Физико-химические методы исследования почв / Под ред. Н.Г. Зырина, Д.С. Орлова. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1980. – 382 с.
16. *Barron V., Torrent J.* Use of the Kulbeka–Munk theory to study the influence of iron oxides on soil color // *J. Soil Sci.* – 1986. – V. 37, No 4. – P. 499–510. – doi: 10.1111/j.1365-2389.1986.tb00382.x
17. *Водяницкий Ю.Н., Шишов Л.Л.* Изучение некоторых почвенных процессов по цвету почв. – М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева РАСХН, 2004. – 85 с.
18. *Schwertmann U.* Occurrence and formation of iron oxides in various pedoenvironment // *Stucki J.W., Goodman B.A., Schwertmann U. (Eds.) Iron in Soils and Clay Minerals*. – Dordrecht, Netherlands: D. Reidel Publ. Co., 1988. – P. 267–308.

Поступила в редакцию  
12.08.15

---

**Фаттахова Лейсан Айдаровна** – аспирант кафедры почвоведения, Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Россия.  
E-mail: [L.a.fattakhova@yandex.com](mailto:L.a.fattakhova@yandex.com)

**Шинкарев Александр Александрович** – доктор биологических наук, профессор кафедры почвоведения, Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Россия.  
E-mail: [Ashinkar@mail.ru](mailto:Ashinkar@mail.ru)

**Косарева Лина Раисовна** – инженер-проектировщик кафедры геофизики и геоинформационных технологий, Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Россия.  
E-mail: [Lina.kosareva@mail.ru](mailto:Lina.kosareva@mail.ru)

**Ихсанова Лейсан Заудатовна** – студент кафедры почвоведения, Казанский (При-  
волжский) федеральный университет, г. Казань, Россия.  
E-mail: *L.Ikhsanova@mail.ru*

\* \* \*

## CHARACTERIZATION OF FALLOW GRAY FOREST SOILS ACCORDING TO MAGNETIC AND SPECTROPHOTOMETRIC MEASUREMENTS

*L.A. Fattakhova, A.A. Shinkarev, L.R. Kosareva, L.Z. Ikhsanova*

### Abstract

The magnetic properties and color characteristics of layerwise samples from the upper part of fallow gray forest soil profiles are studied. The estimation of a possibility to objectively and reliably diagnose the lower boundary of the old-arable horizon is carried out by determining the chromatic components (hue, saturation) and magnetic susceptibility. It is shown that the spectrophotometric measurements of hue and saturation of the layerwise samples of dark-gray forest soils in the CIELAB coordinates can be insufficient for correct diagnosis of the lower boundary of the old-arable horizon. The possibility to objectively and reliably diagnose the lower boundary of the old-arable horizon in fallow dark-gray forest soils is demonstrated experimentally by determining the magnetic susceptibility of their layerwise samples. The boundary is defined by an inflection point on the profile curves of magnetic susceptibility. It is established that selective removal of the soil organic matter by hydrogen peroxide does not influence the profile differentiation of magnetic susceptibility. Magnetic measurements are useful addition to the spectrophotometric evaluation of the color characteristics of the upper profile part of fallow soils. They provide diagnosis of the features of postagrogenic differentiation of the former arable horizon by the magnetic properties.

**Keywords:** fallow light-gray forest soil, fallow dark-gray forest soil, magnetic susceptibility, CIELAB chromaticity coordinates, non-silicate iron compounds.

### References

1. Shinkarev A.A., Kuzmina K.I., Subbotina M.G., Nizamova D.R. Diagnosing the lower boundary of the old-arable horizon in fallow light-grey forest soils. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennyye Nauki*, 2014, vol. 156, no. 4, pp. 60–69. (In Russian)
2. Babanin V.F., Trukhin V.I., Karpachevskii L.O., Ivanov A.V., Morozov V.V. Soil Magnetism. Moscow, Yaroslavl, YaGTU, 1995. 222 p. (In Russian)
3. Evans M.E., Heller F. Environmental Magnetism: Principles and Applications of Enviromagnetics. San Diego, Acad. Press, 2003. 311 p.
4. Liu Q., Robersts A.P., Larrasoña J.C., Banerjee S.K., Guyodo Y., Tauxe L., Oldfield F. Environmental magnetism: Principles and applications. *Rev. Geophys.*, 2012, vol. 50, no. 4, Art. RG4002, pp. 1–50. doi: 10.1029/2012RG000393.
5. Busorgina N.A. Magnetic susceptibility of soils in the Middle Cis-Ural region as their genetic and diagnostic indicator. *Extended Abstract of Cand. Agric. Sci. Diss.*, Ufa, 2002. 23 p. (In Russian)
6. Obydenova L.F. Magnetic susceptibility of soils in the Middle Cis-Ural region as the indicator of agroecological estimation of their properties. *Extended Abstract of Cand. Biol. Sci. Diss.*, Moscow, 2013. 23 p. (In Russian)
7. 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)
8. Retallack G.J. Soils and global change in the carbon cycle over geological time. *Treatise Geochem.*, Elsevier, 2003, vol. 5, pp. 581–605.
9. Sokolova T.A. The role of soil biota in the weathering of minerals: A review of literature. *Eurasian Soil Sci.*, 2011, vol. 44, no. 1, pp. 56–72.

10. 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 Estestvennyye Nauki*, 2013, vol. 155, no. 3, pp. 208–220. (In Russian)
11. ISO 11464. 1994. Soil Quality – Pretreatment of samples for physico-chemical analysis. 11 p.
12. Soil Survey Laboratory Methods Manual. Soil Survey Investigations Report No 42, Version 4.0. Lincoln, NE, USDA-NRCS, 2004. 700 p.
13. Glebova G.I. Indexes and methods for estimating group (fractional) composition of chemical elements in soils. *Teoriya i praktika khimicheskogo analiza pochv* [Theory and Practice of Chemical Analysis of Soils]. Moscow, GEOS, 2006, pp. 248–309. (in Russian)
14. Fedorova N.N., Kasatkina G.A., Rastvorova O.T. Indexes and methods for estimating element composition in the mineral part of soils (total element determination). *Teoriya i praktika khimicheskogo analiza pochv* [Theory and Practice of Chemical Analysis of Soils]. Moscow, GEOS, 2006, pp. 141–193. (in Russian)
15. Physical and Chemical Methods of Soil Research, Zyrin N.G., Orlova D.S. (Ed.), Moscow, Izd. Mosk. Univ., 1980. 382 p. (In Russian)
16. Barron V., Torrent J. Use of the Kulbeka-Munk theory to study the influence of iron oxides on soil color. *J. Soil Sci.*, 1986, vol. 37, no. 4, pp. 499–510. doi: 10.1111/j.1365-2389.1986.tb00382.x.
17. Vodyanitskii Yu.N., Shishov L.L. Analysis of Some Soil Processes Based on Soil Color. Moscow, Pochv. Inst. im. V.V. Dokuchaeva RASKhN, 2004. 85 p. (In Russian)
18. Schwertmann U. Occurrence and formation of iron oxides in various pedoenvironment. *Iron in Soils and Clay Minerals*. Stucki J.W., Goodman B.A., Schwertmann U. (Eds.), Dordrecht, Netherlands, D. Reidel Publ. Co., 1988. pp. 267–308.

Received  
August 12, 2015

---

**Fattakhova Leisan Aidarovna** – PhD Student, Department of Soil Science, Kazan Federal University, Kazan, Russia.

E-mail: [L.a.fattakhova@yandex.com](mailto:L.a.fattakhova@yandex.com)

**Shinkarev Aleksandr Aleksandrovich** – Doctor of Biology, Professor, Department of Soil Science, Kazan Federal University, Kazan, Russia.

E-mail: [Ashinkar@mail.ru](mailto:Ashinkar@mail.ru)

**Kosareva Lina Raisovna** – Design Engineer, Department of Geophysics and Geoinformation Technologies, Kazan Federal University, Kazan, Russia.

E-mail: [Lina.kosareva@mail.ru](mailto:Lina.kosareva@mail.ru)

**Ikhsanova Leisan Zaudatovna** – Student, Department of Soil Science, Kazan Federal University, Kazan, Russia.

E-mail: [L.Ikhsanova@mail.ru](mailto:L.Ikhsanova@mail.ru)