

УДК 631.437+551.89

МАГНИТНАЯ ВОСПРИИМЧИВОСТЬ В ОЦЕНКЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ И ПРОФИЛЬНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ ПОЧВ, ОБУСЛОВЛЕННАЯ ПАЛЕОЭКОЛОГИЧЕСКИМИ ФАКТОРАМИ¹

© 2015 г. И.М. Вагапов, А.О. Алексеев

*Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пушкино, Россия
e-mail: vagapovim@mail.ru*

Поступила в редакцию 14.11.2014 г.

Объектами исследования являлись голоценовые почвы, сформированные на разных элементах рельефа и в условиях разных природных зон, а также палеопочвы, в том числе погребенные под курганными насыпями. Целью работы было выявить закономерности и механизмы формирования структуры пространственной неоднородности почвенных свойств и почвенного покрова, обусловленных палеоэкологическими факторами, на основе показателя магнитной восприимчивости (МВ).

Впервые выявлены закономерности пространственной изменчивости показателя МВ в почвах разных элементов палеокриогенного микрорельефа. Роль последнего в формировании сильномагнитных минералов Fe сопоставима с влиянием зональных условий почвообразования и выражается в дифференциации водно-воздушных условий, характер варьирования которых обуславливает неоднородность свойств почв на уровне подтипа. Вариография позволила выявить характерные размеры однородных структур, наличие которых связывается с палеокриогенным микрорельефом и его структурообразующими элементами. Пространственное распределение МВ, обусловленное палеокриогенным микрорельефом, имеет вид кольцеобразных, ритмически повторяющихся структур. Профильное распределение МВ в палеопочвах степной зоны, определяемое в первую очередь содержанием почвенного магнетита, может быть использовано в качестве “магнитной записи” палеоэкологических факторов степей и позволяет получать количественные характеристики климата (атмосферные осадки). Кроме того, топоизоплеты пространственного распределения МВ могут давать представления как об этапах конструирования грунтовых погребальных сооружений (курганов), так и о материалах, используемых при этом.

Результаты могут быть использованы при изучении структуры почвенного покрова и его картографировании, мониторинге почвенных характеристик в связи с развитием технологий “точного” земледелия.

Ключевые слова: голоценовые почвы, палеопочвы, палеокриогенный микрорельеф, вариография.

Введение. Пространственная и временная изменчивость факторов почвообразования, а также различные по интенсивности внутрипочвенные процессы обуславливают закономерное изменение почвенных свойств, как в вертикальном, так и горизонтальном направлениях [17, 24]. С середины 1960-х гг. эта неоднородность стала объектом пристального внимания, что, с одной стороны, привело к появлению работ теоретического характера, направленных на осмысление причин и форм проявления многообразия почв в простран-

стве, особенно в микро- и мезопространстве, а с другой стороны, к необходимости разработки соответствующих методов изучения пространственной вариабельности как отдельных почвенных свойств, так и факторов, их определяющих и от них зависящих [18].

Для исследования закономерностей и механизмов формирования структуры пространственной неоднородности почвенных свойств и почвенного покрова, обусловленных палеоэкологическими факторами, был использован показатель магнитной восприимчивости (МВ), который дает информацию о протекании ряда элементарных

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 14-04-31725 мол_а).

почвенных процессов [12] непосредственно *in situ* и позволяет выражать ее через объективно измеряемую физическую величину [20].

В последние два десятилетия научное направление, связанное с изучением магнитных свойств почв и пород получило активное развитие. Подробные обзоры полученных результатов представлены в работах, обобщающих достижения в этой области исследований [1, 4, 6, 27, 29, 30]. Магнитная восприимчивость почв, в первую очередь, отражает количество железосодержащих соединений, их состав, строение и дисперсность. Магнитные свойства почв во многом определяются биоклиматическими условиями. Известно, что при интенсификации процесса выветривания в ходе почвообразования происходит накопление несиликатных форм железа, представленных в основном высокодисперсным гетитом, а также гематитом, лепидокрокитом, магнетитом и маггемитом, в зависимости от почвенных условий. В результате почвообразования возможно формирование дисперсных частиц ферромагнитных минералов (магнетита, маггемита). Содержание последних в почвах составляет, как правило, не более 0.1%, размер частиц преимущественно <0.1 мкм, однако они, в первую очередь, формируют магнитный профиль почв. В процессе образования почвенного (биогенного) магнетита определяющую роль играют железоредуцирующие бактерии [1].

Показатель МВ определяется в полевых условиях без какой-либо специальной подготовки образца, что дает возможность проводить массовые исследования и получать картину, соответствующую природной.

Материалы и методы. Объектами исследования являлись почвы, сформированные на разных элементах рельефа и в условиях разных природных зон в пределах центра и юга Восточно-Европейской равнины. Исследования проводились в Среднерусской провинции дерново-подзолистых почв на пашне и под лесом (Вологодская область), в Вятско-Камской провинции дерново-подзолистых почв (Республика Чувашия), в Окско-Донской провинции серых лесных почв, черноземов выщелоченных и оподзоленных (Тульская область) и в Донской провинции темно-каштановых и каштановых почв (Ростовская область). Кроме современных почв, разрезы вскрывали горизонты погребенных криоморфных почв, подкурганых палеопочв и многочисленные палеокриогенные образования.

Детальные исследования пространственного и профильного распределения МВ были выполне-

ны на степных почвах юго-востока европейской части России, а именно на темно-каштановых, каштановых, светло-каштановых и бурых полупустынных (Ставропольский край, Волгоградская, Ростовская и Астраханская области, Республика Калмыкия). Кроме современных почв региона проведено комплексное изучение широкого спектра свойств голоценовых палеопочв археологических памятников (курганов) ряда ключевых объектов Нижнего Поволжья, Северных и Южных Ергей, Заволжья. На каждом из ключевых участков проведено исследование МВ почв педохронорядов, включавших несколько временных срезов (в том числе современных) в хроноинтервалах от 5 тыс. л. н. до современности. Для отдельных курганов с целью оценки скоростей формирования почвенных профилей были проведены детальные исследования закономерностей пространственно-го варьирования МВ курганных насыпей.

Как известно, почва является объектом, обладающим высокой пространственной неоднородностью и, в то же время, характеризуется непрерывностью и постепенностью изменения своих свойств [17]. Выбор подходов и методов к изучению их пространственного варьирования зависит от уровня структурной организации почвы, на котором оно рассматривается [24]. В данной работе была использована система крупных разрезов-траншей с площадью стенок более 20 м², которые позволяют увидеть характер изменения границ между горизонтами, количество трещин, морфонов, новообразований в зависимости от положения в микрорельефе.

В ходе полевых исследований проводилось определение величин объемной магнитной восприимчивости каппаметром КТ-6 по регулярной сетке с размерами ячеек 20 × 20 см. Такая сеть покрывала все основные морфоны профилей почв. В ареале дерново-подзолистых почв, где расстояния между элементами палеокриогенного комплекса составляли от 50 до 200 м, закладывались разрезы небольшого размера, но частота расположения точек опробования в них была больше.

В лабораторных условиях измерялись величины удельной магнитной восприимчивости на приборе Kappabridge KLY-2, определялись валовые формы Fe₂O₃ и TiO₂ с помощью рентгенофлуоресцентного анализатора "Спектроскан МАКС-GV" по методике измерений массовой доли металлов и оксидов металлов в порошковых пробах почв.

Для исследования закономерностей пространственного варьирования МВ и оценки возможного влияния на современный почвенный покров палеокриогенных структур применялась варио-

графия [15, 19, 23, 26, 28 и др.]. Для каждой горизонтальной линии опробования (вдоль траншеи) строилась экспериментальная семивариограмма – график зависимости полудисперсии МВ от расстояния между точками опробования (h). Аппроксимация семивариограмм осуществлялась в программах Surfer 7.0 и Vesper 1.6, степень соответствия оценивалась по величине среднеквадратической ошибки.

Результаты и их обсуждение. Известно, что современный почвенный покров в своих свойствах несет признаки суровых перигляциальных условий [5, 9, 13, 22], которые обуславливают значительную пространственную и профильную изменчивость почвенных свойств на разных уровнях их структурной организации [3, 10]. Детальный анализ современных почв, сформированных на разных элементах палеокриогенного микрорельефа (блочных повышениях и межблочных понижениях), показал, что они отличаются как по ряду морфологических, так и аналитических свойств. Как правило, почва в межблочье отличается более вытянутым гумусовым профилем, содержит большее количество углерода органического вещества, углерода микробной биомассы, подвижных форм фосфора и одновременно не содержит карбонатов, характеризуется низким содержанием обменных катионов и обладает низкими значениями pH, в отличие от почвы блока. Такие различия определяются интенсивностью и направленностью процессов выщелачивания, оглеения, оподзоливания и гумусонакопления, которые, в свою очередь, изменяют магнетизм соединений железа.

Дерново-подзолистые почвы, в которых железо является типоморфным элементом, имеют четко

дифференцированный магнитный профиль, что хорошо проявляется на участке под лесом. Картина распределения величин МВ показывает, что максимумы значений МВ приурочены к более дренированным блочным повышениям, тогда как в почвах межблочных понижений преобладают восстановительные условия, связанные с продолжительным застоем влаги, падением окислительно-восстановительного потенциала и развитием оглеения. Серые лесные почвы и черноземы имеют аккумулятивный тип магнитного профиля, а высокая положительная корреляция между распределениями МВ и $C_{\text{орг}}$ указывает на присутствие педогенных сильномагнитных оксидов Fe. На это же указывают и профильные кривые содержания валовых форм Fe и Ti, а именно их незначительное содержание в гумусовых горизонтах.

Влияние палеокриогенного микрорельефа и его структурообразующих элементов на формирование магнитных соединений железа изменяется в зональном направлении и выражается в дифференциации водно-воздушных условий, характер варьирования которых обуславливает неоднородность свойств почв на высоком таксономическом уровне (подтиповом). Почвенный покров в ареале дерново-подзолистых почв представляет собой комплексы, состоящие из языковатых подтипов на блоках и глееватых – в межблочных понижениях. В серых лесных почвах типичные подтипы приурочены к блокам, а подтипы со вторым гумусовым горизонтом – к межблочьям. В зоне черноземов северной лесостепи на блоках сформировались черноземы глинисто-иллювиальные типичные, а в оконтуривающих их межблочных понижениях – оподзоленные (рис. 1).

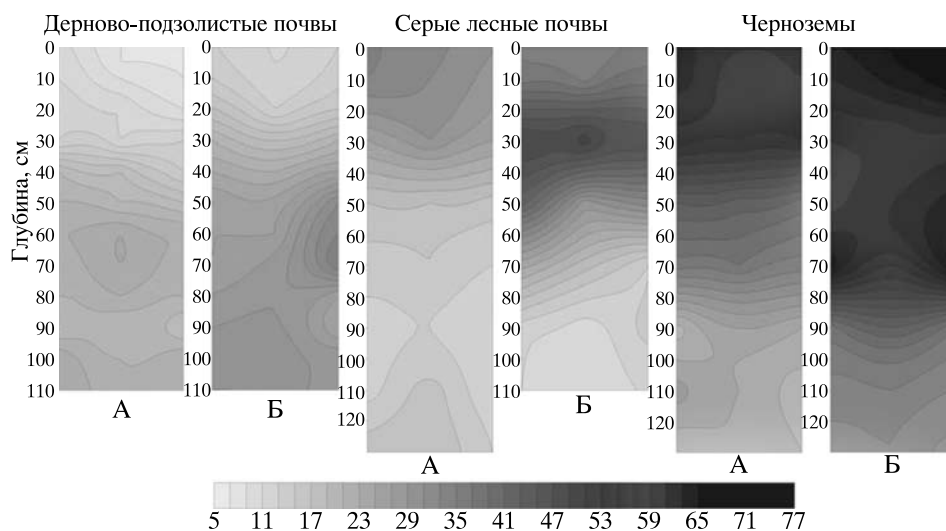


Рис. 1. Профильное распределение МВ ($\times 10^{-5}$ ед. СИ) в почвах, сформированных на различных элементах палеокриогенного микрорельефа: блочных повышениях (А) и межблочных понижениях (Б).

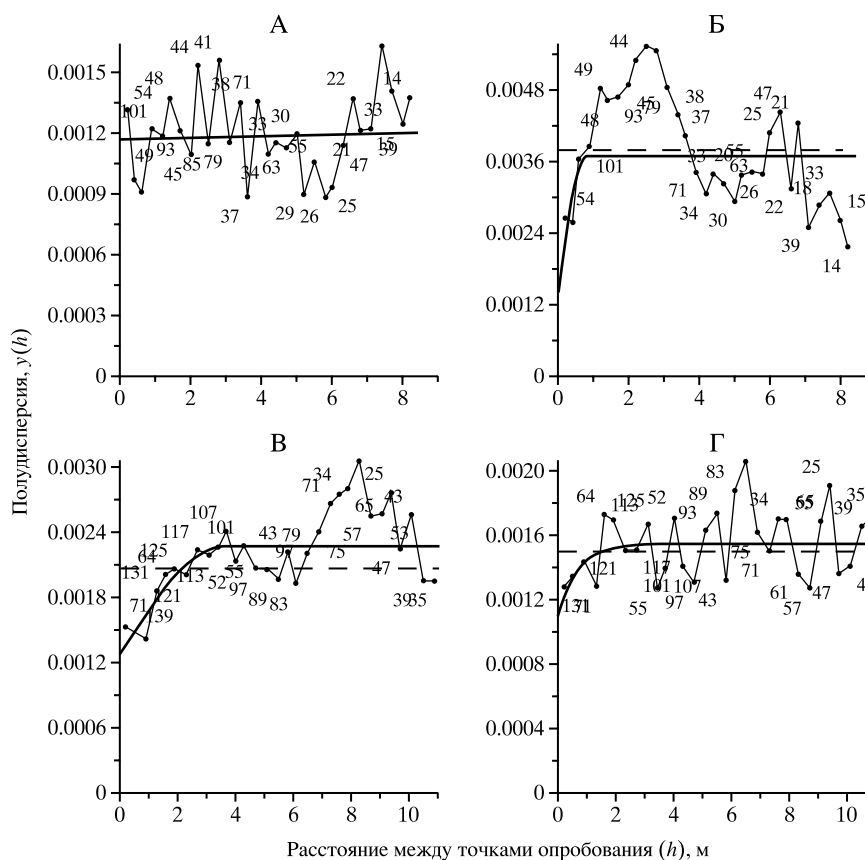


Рис. 2. Семивариограммы распределения МВ для глубин 10 и 30 см в серой лесной почве (А, Б) и для тех же глубин в черноземе (В, Г). Точки – экспериментальные значения, цифры у точек указывают количество пар, используемых в анализе, пунктирная линия соответствует величине дисперсии, сплошная – результат аппроксимации моделью.

С помощью вариографии в пространственно распределенных данных были обнаружены скрытые закономерности, а именно выявлены однородные структуры и определены их характерные размеры (рис. 2). Структурообразующие элементы палеокриогенного микрорельефа (реликтовые криогенные клиновидные структуры) формируют в гумусовых горизонтах черноземов области повышенного содержания ферримagnetитов шириной около 3–4 м, которые в плане оконтуривают блочные повышения. В серых лесных почвах подобные области имеют размеры не более 1–2 м и приурочены ко второму гумусовому горизонту, фрагменты которого в крупных западинах сохранились преимущественно на южных и пологих склонах. Таким образом, как и структура почвенного покрова, картина распределения МВ в пространстве имеет вид кольцеобразных, ритмически повторяющихся структур [7].

Традиционно магнитные параметры используются для обоснования палеоклиматических построений [6], диагностики погребенных почв и лёссов [10], а также для стратиграфии лёссов-

вых толщ и других отложений антропогена [20]. В большинстве случаев гумусовым горизонтам погребенных почв соответствуют повышенные значения МВ, благодаря вероятному накоплению аутигенного магнетита и маггемита, образование которых – специфическое свойство почвообразовательного процесса [1, 8].

Так, обнаруженная на северо-восточных окраинах Приволжской возвышенности криоморфная погребенная почва возрастом 38710 ± 480 л.н. (4197-ИГАН) по коэффициенту $K = \text{МВ}$ преобразованности пород близка к мерзлотным почвам (рис. 3), а шолмская палеопочва предголоценового возраста – к серым лесным почвам [14].

Увеличение показателя МВ в горизонтах погребенных почв позволяет не только диагностировать интенсивность почвообразования, но и использовать для обнаружения в морфологически однородной толще горизонтов слабо развитых инициальных погребенных почв. Сравнительный морфогенетический анализ профиля черноземов с топоизоплетами распределения в нем МВ позволил выявить наличие субгоризонтального

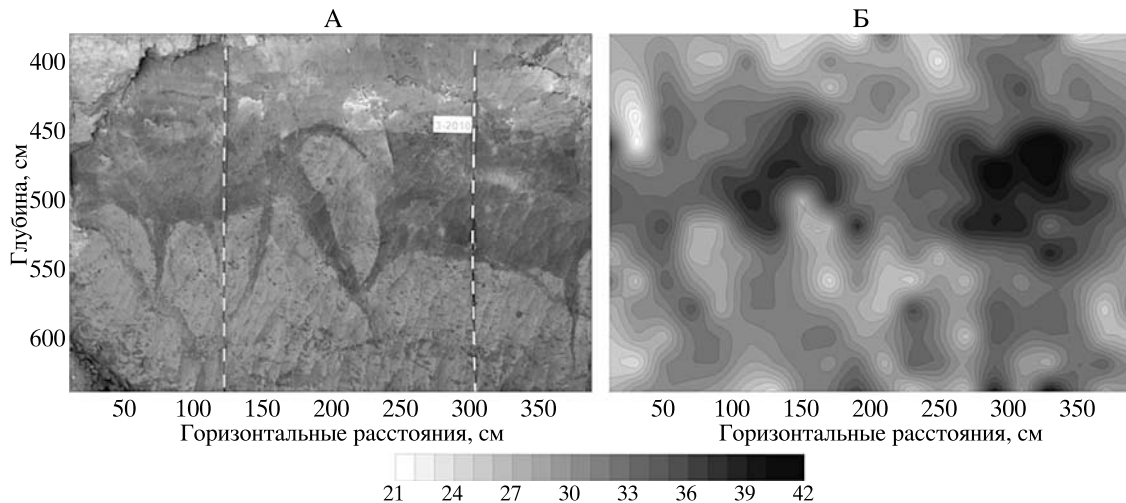


Рис. 3. Криоморфная погребенная почва (А) и топоизоплеты (Б) распределения МВ ($\times 10^{-5}$ ед. СИ) (северо-восток Приволжской возвышенности, Республика Чувашия).

прослая слабообразованной погребенной почвы, литологическую границу и две самостоятельные погребенные почвы, одна из которых сформировалась в автоморфных и относительно теплых климатических условиях, сезонном иссушении и преобладании окислительных условий над восстановительными.

Профиль магнитной восприимчивости всех изученных степных почв представляет собой кривую аккумулятивного характера. По приросту магнитной восприимчивости изученные почвы хорошо различаются на уровне типа, что связано, в первую очередь, с биоклиматическим фактором. Максимальные значения МВ (до $95 \times 10^{-8} \text{ м}^3 \text{ кг}^{-1}$) характерны для верхних горизонтов темно-каштановой почвы, в то время как в бурой полупустынной они составляют лишь $25\text{--}28 \times 10^{-8} \text{ м}^3 \text{ кг}^{-1}$. Для почвообразующих лёссовидных суглинков величина МВ составила $15\text{--}20 \times 10^{-8} \text{ м}^3 \text{ кг}^{-1}$, для песчаных отложений – $5\text{--}8 \times 10^{-8} \text{ м}^3 \text{ кг}^{-1}$. Основные изменения магнитного профиля изученных почв отмечаются до глубины 40 см. При этом средневзвешенный прирост магнитной восприимчивости ($\Delta\chi$) в почвенном профиле составляет $4 \times 10^{-8} \text{ м}^3 \text{ кг}^{-1}$ для бурых почв, $7\text{--}13 \times 10^{-8} \text{ м}^3 \text{ кг}^{-1}$ для светло-каштановых, $10\text{--}15 \times 10^{-8} \text{ м}^3 \text{ кг}^{-1}$ для каштановых и $15\text{--}21 \times 10^{-8} \text{ м}^3 \text{ кг}^{-1}$ для темно-каштановых почв [1, 2].

Исследования профильных распределений показателя МВ в погребенных палеопочвах археологических памятников подтверждают его связь с палеоэкологическими условиями. Профильные распределения МВ палеопочв всех изученных хроноинтервалов представляют собой кривые ак-

кумулятивного характера. Обобщая полученные результаты для интервала последних 5 тыс. лет можно констатировать, что максимальные изменения в исследуемом хроноинтервале наблюдаются в верхних 50 см (горизонты А1, В1, В2). Максимальные значения величины МВ – до $80\text{--}85 \times 10^{-8} \text{ м}^3 \text{ кг}^{-1}$ характерны для верхних горизонтов почв средневековья (XIII в. н.э., ~700 лет назад, климатический оптимум с максимумом увлажненности за последние 5000 лет) и сарматского периода (I в. н. э., ~1900 лет назад, микроплювиал), в то время, как для почв катакомбной культуры (рубеж III–II тыс. до н.э., ~4000 лет назад, отмечается максимальная аридизация) они составляют лишь $25\text{--}28 \times 10^{-8} \text{ м}^3 \text{ кг}^{-1}$. Для почвообразующих лёссовидных суглинков, основных почвообразующих пород величина МВ составляет $15\text{--}20 \times 10^{-8} \text{ м}^3 \text{ кг}^{-1}$. Представленные климатические реконструкции базируются на использовании традиционных почвенных показателей (содержание гумуса, легкорастворимых солей, карбонатов и др.) [16].

Базируясь на климатических зависимостях изменения магнитной восприимчивости почв, полученных для современных почв степей, существует возможность определения количественных показателей состояния климатических условий, в первую очередь, атмосферных осадков в прошлые эпохи. В погребенных почвах археологических памятников с помощью магнитных методов становится возможным фиксация состояния магнитного материала в почве на момент сооружения насыпи, которое соответствует равновесным условиям почвообразования для данного хроноинтервала. Профильное распределение МВ,

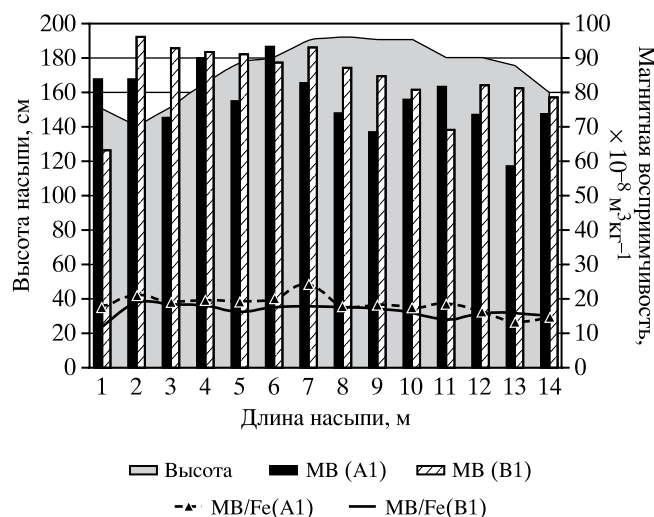


Рис. 4. Распределение показателя MB и коэффициента MB / Fe_2O_3 в верхних горизонтах подкурганной палеопочвы (с. Клетское Волгоградской обл.).

определяемое, в первую очередь, содержанием почвенного (биогенного) магнетита может быть использовано в качестве “магнитной записи” палеоэкологических условий степей и позволяет получать количественные характеристики климата (атмосферные осадки) [1, 25].

Для оценки существования диагенетических изменений в подкурганых палеопочвах, было изучено распределение MB и содержание валового железа под насыпью. В результате изучения пространственного распределения MB в горизонтах A1 и B1 подкурганной палеопочвы можно сделать вывод, что значительных изменений этого показателя под курганной насыпью не происходит, хотя и наблюдаются некоторые колебания значений по простиранию (рис. 4). В горизонте A1 значения MB показывают более неравномерное распре-

ление, особенно по краям насыпи. Такие колебания могут быть связаны как с тем, что верхний горизонт более подвержен разрушению, так и с тем, что он перемешивается с вышележащим материалом насыпи. В горизонте B1 колебания показателя MB менее значительны.

Отсутствие диагенетических изменений в верхних горизонтах подкурганых палеопочв подтверждает также коэффициент интенсивности восстановительного диагенеза MB/ Fe_2O_3 . Коэффициент основан на том, что диагенез восстанавливает ферримангнитные железистые минералы (магнетит, маггемит) в парамагнитные (гетит, гематит), посредством чего магнитная восприимчивость заметно уменьшается, а концентрация железа при этом остается практически неизменной, что приводит к уменьшению этого показателя. В данном случае не отмечается резких уменьшений данного коэффициента ни в горизонте A1, ни в горизонте B1 погребенной палеопочвы. Таким образом, можно сделать вывод о том, что почвы, захороненные в археологических памятниках степной зоны, сохраняют на значительное время (тысячи лет) все свойства и признаки, которыми они характеризовались на период погребения [1].

Предварительный анализ результатов полевых исследований 2014 г., включающих капаметрию насыпи кургана, состоящей из почвы, сформированной после его сооружения и подкурганной палеопочвы, показал, что наибольшими значениями MB обладают горизонты A1 и B1 подкурганной палеопочвы (рис. 5). Такое же распределение обнаружено в фоновой светло-каштановой солонцеватой почве. Топоизоплеты распределения MB указывают на то, что материал, из которого была сложена западная часть кургана, относится к почвообразующей породе, а центральная и восточная части кургана были сооружены из материала

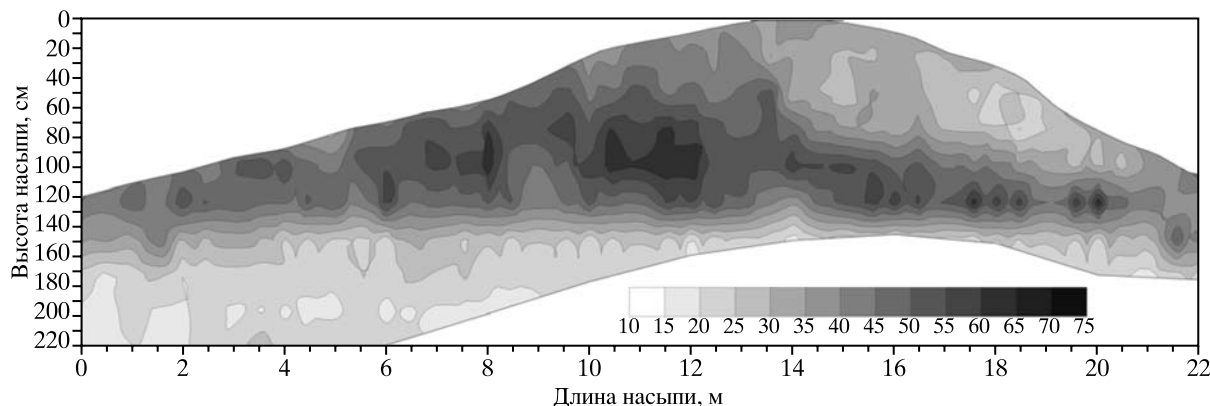


Рис. 5. Топоизоплеты распределения MB ($\times 10^{-5}$ ед. СИ) в профиле южной бровки кургана № 18 (с. Ремонтное Ростовской обл.).

гумусового горизонта, причем сформировавшегося в более гумидных условиях, чем современные. Ограниченное поступление влаги в толщу насыпи кургана, вследствие стекания атмосферных осадков с его поверхности, не привело к увеличению здесь магнитного сигнала, тогда как сохранению магнитного сигнала в центральной части насыпи могло способствовать засоление, которое снижает дальнейшую лимонитизацию.

Заключение. Таким образом, несмотря на интегральность показателя МВ, исследования показали перспективность его использования для выявления характерных размеров однородных структур, связанных с влиянием структурообразующих элементов палеокриогенного микрорельефа. Высокая корреляция МВ с $C_{орг}$ и физической глиной обуславливает чувствительность этого показателя к признакам педо-, лито- и криогенеза, что может способствовать уточнению информации, получаемой при комплексных палеопедологических исследованиях. Кроме того, связь МВ с гранулометрическим составом представляет интерес как для изучения голоценовых почв, сформированных на литологически разнокачественных (двучленных) породах, так и для изучения сложно построенных толщ. Обнаруженные в морфологически однородной толще с помощью каппаметрии слабовыраженные погребенные почвы и две наложенные друг на друга погребенные почвы предполагают, что поздневалдайские покровные лёссовидные суглинки центра Восточно-Европейской равнины представляют собой толщу, состоящую из наложенных друг на друга горизонтов погребенных почв.

Профильное распределение МВ в палеопочвах степной зоны, определяемое, в первую очередь, содержанием почвенного магнетита, может быть использовано в качестве “магнитной записи” палеоэкологических факторов степей и позволяет получать количественные характеристики климата (атмосферные осадки).

Анализ горизонтального распределения МВ вдоль насыпи кургана и в подкурганной палеопочве позволяет сделать вывод о том, что почвы, захороненные в археологических памятниках степной зоны, сохраняют на значительное время (тысячи лет) все свойства и признаки, которыми они характеризовались на период погребения. Исходя из этого, топоизоплеты пространственного распределения МВ могут давать представления как об этапах конструирования грунтовых погребальных сооружений (курганов), так и о материалах, используемых при этом².

² Авторы выражают искреннюю благодарность д-ру биол. наук. В.М. Алифанову и д-ру биол. наук. Л.А. Гугалинской за консультации и совместные полевые исследования палеокриоморфных почв.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев А.О., Алексеева Т.В. Оксидогенез железа в почвах степной зоны. М.: ГЕОС, 2012. 204 с.
2. Алексеев А.О., Ковалевская И.С., Моргунов Е.Г., Самойлова Е.М. Магнитная восприимчивость почв сопряженных ландшафтов // Почвоведение. 1988. № 8. С. 27–35.
3. Алифанов В.М. Палеокриогенез и современное почвообразование. Пушкино: ОНТИ ПНЦ РАН, 1995. 318 с.
4. Бабанин В.Ф., Трухин В.И., Карпачевский Л.О., Иванов А.В., Морозов В.В. Магнетизм почв. Ярославль–М.: Изд. ЯГТУ, 1995. 219 с.
5. Бердников В.В. Палеокриогенный микрорельеф центра Русской равнины. М.: Наука, 1976. 126 с.
6. Большаков В.А. Данные магнитных исследований пород лёссовой формации, их интерпретация и прикладное использование // Физика Земли. 2001. № 8. С. 86–96.
7. Ваганов И.М. Магнитная восприимчивость как показатель формирования пространственной изменчивости почв, обусловленной палеоэкологическими факторами: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М.: МГУ, 2013. 22 с.
8. Вадюнина А.Ф., Бабанин В.Ф., Ковтун В.Я. Магнитная восприимчивость фракций механических элементов некоторых почв // Почвоведение. 1974. № 1. С. 116–122.
9. Величко А.А. Криогенный рельеф позднеплейстоценовой перигляциальной зоны (криолитозоны) Восточной Европы // Четвертичный период и его история. М.: Наука, 1965. С. 104–120.
10. Величко А.А., Морозова Т.Д., Нечаев В.П., Порожнякова О.М. Палеокриогенез, почвенный покров и земледелие. М.: Наука, 1996. 150 с.
11. Вирина Е.И., Фаустов С.С., Хеллер Ф. Магнитная “климатическая” запись в лёссово-почвенной формации Русской равнины // Проблемы палеогеографии и стратиграфии плейстоцена. М.: Изд-во МГУ, 2000. С. 259–279.
12. Водяницкий Ю.Н. Минералы железа как память почвенных процессов // Память почв: почва как память биосферно-геосферно-антропоферных взаимодействий / Отв. ред. В.О. Таргульян, С.В. Горячкин. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. С. 289–313.
13. Герасимов И.П., Глазовская М.А. Основы почвоведения и географии почв. М.: Географгиз, 1960. 490 с.
14. Гугалинская Л.А., Алифанов В.М., Березина Н.С., Березин А.Ю., Хисяметдинова А.А., Попов Д.А., Ваганов И.М., Овчинников А.Ю., Кондрашин А.Г. Шолмская погребенная почва на финальнопалеолитическом поселении Шолма-I (Приволжская возвышенность, Чувашское плато) // Бюл. комис. по изуч. четвертич. периода. М.: ГЕОС, 2010. № 70. С. 45–58.
15. Гумматов Н.Г., Жиромский С.В., Мироненко Е.В., Пачепский Я.А., Щербаков Р.А. Геостатистический анализ пространственной изменчивости водоудер-

- живающей способности серой лесной почвы // Почвоведение. 1992. № 6. С. 52–62.
16. Демкин В.А., Ельцов М.В., Алексеев А.О., Алексеева Т.В., Демкина Т.С., Борисов А.В. Развитие почв нижнего Поволжья за историческое время // Почвоведение. 2004. № 12. С. 1486–1497.
 17. Дмитриев Е.А. Непрерывность почвы и проблема объекта почвенных классификаций // Вестн. МГУ. Сер. 17. Почвоведение. 1983. № 3. С. 10–19.
 18. Закономерности пространственного варьирования свойств почв и информационно-статистические методы их изучения / Отв. ред. М.А. Глазовская, Е.А. Дмитриев. М.: Изд-во, 1970. 219 с.
 19. Иванникова Л.А., Мироненко Е.В. Теория регионализированных переменных при исследовании пространственной вариабельности показателей агрохимических свойств почвы // Почвоведение. 1988. № 5. С. 113–120.
 20. Иванов А.В. Магнитное и валентное состояние железа в твердой фазе почв: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. М.: МГУ, 2003. 44 с.
 21. Ломов С.П., Пеньков А.В. Магнитная восприимчивость некоторых современных и ископаемых почв Таджикистана // Почвоведение. 1979. № 6. С. 100–109.
 22. Марков К.К. Изучение перигляциальных образований (обзор) // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1959. № 2. С. 113–127.
 23. Самсонова В.П. Пространственная изменчивость почвенных свойств: на примере дерново-подзолистых почв. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 160 с.
 24. Теории и методы физики почв / Под ред. Е.В. Шеина, Л.О. Карпачевского. М.: Гриф и К, 2007. С. 571–599.
 25. Alekseeva T., Alekseev A., Maher B.A., Demkin V. Late Holocene climate reconstructions for the Russian steppe, based on mineralogical and magnetic properties of buried palaeosols // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2007. Vol. 249. P. 103–127.
 26. Burgess T.M., Webster R. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties: I. The semi-variogram and punctual kriging // J. Soil Sci. 1980. Vol. 31. P. 315–331.
 27. Evans M.E., Heller F. Environmental magnetism. Principle and applications of enviromagnetics. Academic press. An imprint of Elsevier Science. 2003. 299 p.
 28. Krasilnikov P. Variography of discrete soil properties // Soil geography and geostatistics – Concepts and applications / P. Krasilnikov, F. Carré & L. Montanarella (eds.). Luxembourg: Office for official publications of the European Communities, 2008. P. 12–25.
 29. Maher B.A. Environmental magnetism and climate change // Contemporary Physics. 2007. Vol. 48. P. 247–274.
 30. Quaternary climates, environments and magnetism / B.A. Maher, R. Thompson (eds.). Cambridge University Press, 1999. 390 p.

Magnetic Susceptibility in the Evaluation of Spatial and Profile Heterogeneity of Soils Conditioned by the Paleoecological Factors

I.M. Vagapov, A.O. Alekseev

*Institute of Physicochemical and Biological Problems in Soil Science, Russian Academy of Sciences, Pushchino, Russia
e-mail: vagapovim@mail.ru*

The objects of this study were the Holocene soils formed on different elements of relief and under conditions of different natural zones, as well as paleosols including buried under the mounds. The aim was to identify the patterns and mechanisms of formation of the structure of spatial heterogeneity of soil properties and soil cover conditioned by the paleoecological factors, based on a measure of the magnetic susceptibility.

For the first time regularities of spatial variability of the magnetic susceptibility indicator in soils of different elements of paleocryogenic microrelief were identified. The paleocryogenic microrelief role in the formation of strong magnetic minerals of iron is comparable with the effect of zonal conditions of soil formation and is expressed in differentiation of water-air conditions. The character of variation of these conditions determines heterogeneity of soil properties at the subtype level. Variography allowed revealing the characteristic dimensions of homogeneous structures, the presence of which was associated with paleocryogenic microrelief and its structure-forming elements. The spatial distribution of the magnetic susceptibility conditioned by paleocryogenic microrelief has the form of annular, rhythmically repeating structures.

Profile distribution of the magnetic susceptibility in paleosols of the steppe zone defined primarily the soil magnetite content can be used as a “magnetic recording” of paleoecological factors of steppes and provides quantitative characteristics of climate (precipitation). In addition, the topoisopleths of spatial distribution of the magnetic susceptibility can show both the stages of construction of ground burial structures (mounds), and the materials used.

Results can be used in the study of soil cover structure and its mapping, monitoring of soil characteristics in connection with the development of technology “exact” agriculture.

Keywords: Holocene soils, paleosols, paleocryogenic microrelief, variography.

doi: 10.15356/0373-2444-2015-5-99-106