

Вариабельность магнитной восприимчивости почв в связи с отражением палеоклиматических обстановок и влиянием почвообразующих пород

Магнитная восприимчивость почв отражает количество железосодержащих соединений в почве, 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 ферримагнитных минералов (магнетита, маггемита). Содержание последних в почвах составляет, как правило, не более 0.1 %, размер частиц преимущественно <0.1 мкм, однако именно они, в первую очередь, формируют магнитный профиль почв. В процессе образования почвенного (биогенного) магнетита определяющую роль играют железоредуцирующие бактерии [Алексеев, Алексеева, 2012].

Магнитные соединения железа в почвах имеют различное происхождение. В естественных ландшафтах величина магнитной восприимчивости (МВ) определяется, в основном, присутствием ферримагнитных минералов педогенного, литогенного, и, частично, космогенного происхождения. При их очень незначительном содержании возможно судить об интенсивности протекания ряда элементарных почвенных процессов непосредственно *in situ* и о палеоэкологических условиях в целом. Эта информация выражается через объективно измеряемую физическую величину магнитной восприимчивости почв [Вагапов, Алексеев, 2015].

В отечественной и иностранной литературе вопросам природы ферримагнетиков посвящены обстоятельные исследования, которые показали, что основной вклад в МВ почв дает магнетит различного происхождения.

На основе показателя магнитной восприимчивости (МВ) можно выявить закономерности и механизмы формирования структуры пространственной неоднородности почвенных свойств и почвенного покрова, обусловленных палеоэкологическими факторами, например, такими как палеокриорельеф [Вагапов, 2013; Вагапов, Алексеев, 2015]. Но наиболее интересна цель использования показателей магнитной восприимчивости для палеоклиматических реконструкций [Maher, et al., 2007]. 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 [Вагапов, Алексеев, 2015]. Опыт измерения магнитной восприимчивости и интерпретации показателя применительно к различным типам археологических памятников в комплексе с рядом других почвенных свойств получен коллективом лаборатории археологического почвоведения ИФХиБПП РАН для горных террас Дагестана [Борисов, и др., 2016] и почв археологического поселения средней полосы России [Борисов, и др., 2013]. Для степной зоны Зауралья капаметрия проведена на ряде погребальных объектов Страны Городов [Зданович, и др., 2001] и эталонных черноземных глубококарбонатных супесчаных почвах [Плеханова, 2017]. Для Приуралья показатель измерен в комплексе методов изучения

**Магнитная восприимчивость погребенных почв
и курганных насыпей разного возраста**

Горизонт, глубина отбора, см	χ	Горизонт, глубина отбора, см	χ	Горизонт, глубина отбора, см	χ
Курган Кремень. Разрез Крем 1–17, 800 лет		Курган Кремень. Разрез Крем 2–17, 100 лет		Курган с «усами» Солочанка IX (курган 5). Разрез Ал-105, 1600 лет	
Ад, 2	1.6	Ад, 2	0.32	A1 _{нас.} , 5	27
A1, 10	0.83	A1, 8	0.48	A1 _{нас.} , 13	20
ABнас, 20	0.1	B, 16	0.68	AB _{нас.} , 22	12
ABнас, 38	0.17	[A], 25	3.06	[30
КСпеч, 60	0.34	[AB], 34	0.14	[19
B, 75	0.13	[B], 50	0.12	[6
[BFe], 100	0.04			[6
BC, 116	0.01				

Примечание. Использованы сокращения при названии горизонтов: Ад – д – «дернина»; нас – «насыпь» – курганная насыпь; печ – «печина», содержит обломки печной обмазки из глины. В квадратных скобки заключены погребенные горизонты.

различных свойств почв, включая ферментативную активность [Каширская и др., 2017]. Однако, некоторые высоковариативные измерения МВ почв археологических памятников остаются без внимания и интерпретации.

Приведем профильные характеристики магнитной восприимчивости почв отдельных памятников (табл. 1 и 2). Для сравнения мы выбрали памятники, расположенные на берегах рек, почвы и палеопочвы которых имеют сходный гранулометрический состав, преимущественно связнопесчаный. Возраст насыпей курганных памятников представлен хроносрезами 100 лет,

Таблица 2

**Магнитная восприимчивость почв поселений Степное III, Степное V, Степное VIII
и курганного могильника, Степное VII эпохи бронзы**

Разрез Степн-3-01, посел.	χ	Разрез Степн-5-01, посел.	χ	Разрез Степн-7-01, курган	χ	Разрез Степн-8-01, фон	χ
1	2	3	4	5	6	7	8
A _{нас.} , 0–10	105			A1, 0–10	108	A _{нас.} , 0–10	118
A1, 20–30	130	A1-1 20–30 см	97			A1, 25–30	135
		A1-2 40–50	150			AB, 45–50	101
КС _{золин?} , 33–40	162	A1-3 _{горельн?} , 57–64	205	КС _{нас.} , 14–20	125		
КС _{СА? золин} , 45–55	118			КС _{нас.} , 28–35	122		
B, 60–70	103	B, 70–80	120	[A], 5–15	120	B, 70–80	128
				[AB], 25–35	135		
				[B], 55–65	167		
				[B], 85–100	114		
				BC, 110–120	207		
				BC, 130–140	177		
				BC, 150–160	118		
				BC, 165–185	115		
Разрез Степн-6-01, заполнение рва				χ			
135–145 см				128			

Примечания. 1) A_{нас.}, КС_{золин?}, B – названия горизонтов. В квадратные скобки заключены погребенные горизонты; 2) цифры после названия горизонта в 3, 5 и 7 столбцах – глубина горизонта в см.

800 лет, 1600 лет и 3600 лет. Кроме того, представлены измерения для культурных слоев поселения возрастом 3400–3200 лет.

Разрезы курганов представлены через насыпь и погребенную под курганами почву. Для палеопочвы кургана с «усами» Солончанка IX величины МВ демонстрируют высокую сохранность погребенной под насыпью почвы, изменяясь с 12 до 30 ед на границе насыпь-погребенная почва. В кургане Кременье для хроносреза 100 лет также отражена отличная сохранность погребенной почвы и высокий скачок значений МВ с 0.67 до 3.06 ед. Однако для хроносреза 800 лет того же кургана граница насыпь-погребенная почва не фиксируется ни магнитной восприимчивостью, ни гумусом, хотя визуальнo слабо заметна погребенная под курганом почва, и активностью микроорганизмов мы показали ее наличие [Каширская и др., 2018].

Магнитная восприимчивость почв Зауралья высокая, для памятников Степное она колеблется в пределах 108–207 ед (табл. 2). Восприимчивость почвообразующих пород свыше 100 единиц (103–118 ед). На поселении ее максимум совпадает суглистым культурным слоем – КС_{угли} (205 ед), КС_{зольник} имеет значения более полутора сотен единиц (162 ед). Местами профильный ход сходен с ходом кривой гумуса, но имеются несколько максимумов значений в нижних песчаных горизонтах, обусловленных составом почвообразующих пород.

Магнитный профиль северных вариантов черноземов участка Степное с высоким уровнем магнитной восприимчивости, отражает наиболее благоприятные в зональном спектре Зауралья условия образования ферромагнетиков. Ранее нами был зафиксирован максимум значений магнитной восприимчивости на мегалитическом памятнике Черкаснская аллея менгиров, расположенном на склоне одноименной сопки в Аркаимской долине. Зафиксированное превышение значений МВ до 780–930 ед. объясняется расположением аллеи менгиров на выходе пород вулканического происхождения. В тоже время погребальные памятники и поселения, такие как представленные здесь Кременье, Степное, Солончанка IX, находятся в долинах рек на песчаных-супесчаных породах осадочного чехла, и несмотря на различный возраст и принадлежность к разным регионам, демонстрируют небольшой разброс величин МВ.

Вывод о ритуальном либо строительном происхождении КС «зольник» и «прокал» по материалам поселения Степное, где рассматривались культурные слои поселения эпохи бронзы, в которых общая магнитная восприимчивость почвообразующих пород характеризовалась довольно высокими значениями: фоны – 115–125 единиц, значения в КС «зольник» 118–162 единицы, КС «горельник» – 205 единиц – то есть порядок значений не меняется, КС светло-серый со слабым коричневым оттенком слабовскипающий. Материал культурного слоя «зольник» не подвергался воздействию огня и представляет собой не только остатки костровой золы, но и антропогенно преобразованную обогащенную карбонатами породу, возможно, принесенную извне в результате какой-то деятельности.

По поводу уменьшения со временем концентрации антропогенных веществ в культурном слое всегда стоит вопрос, имеем ли мы дело с переходом пределов устойчивости и необратимыми изменениями ландшафта, или же антропогенные изменения химического состава лишь увеличивают время формирования определенных свойств, и почвы достигнут того же состояния, что и на менее измененных участках, если нарушение не продолжается. В пределах степной зоны Зауралья по прошествии более чем трех тысяч лет после антропогенного воздействия нами зафиксированы многочисленные изменения почв поселений и их окрестностей.

Показатель МВ определяется как в полевых так и в лабораторных условиях, без какой-либо специальной подготовки образца, что дает возможность проводить массовые замеры, но интерпретация этого отдельного показателя возможна только вместе с проведением комплексных исследований почвенных и палеопочвенных свойств рядом других методов, как минимум, с определением содержания гумуса и форм железа. Кроме того, при интерпретации

значений магнитной восприимчивости следует учитывать геологическое строение, поскольку нами зафиксировано аномально высокие значения на одном из памятников.

Автор выражает признательность археологам-держателям открытых листов и руководителям раскопов за организацию исследований памятников: к.и.н. А.Д. Таирову и к.и.н. И.Э. Любчанкиному (курган с усами Солончанка IX, ранний железный век), к.и.н. А.С. Сыроватко (курган Кременье, XII в н.э.), к.и.н. Д.Г. Здановичу (курган и поселение Степное, средняя бронза).

Работа выполнена в рамках госзадания № АААА-А18-118013190175-5 (в системе «Парус» – 0191-2019-0046).

Исследования археологического памятника Кременье выполнены при финансовой поддержке гранта РФФИ № 17-06-00326 А.

Литература

- Алексеев А.О., Алексеева Т.В.* Оксидогенез железа в почвах степной зоны. М.: ГЕОС, 2012. 204 с.
- Борисов А.В., Бухонов А.В., Гак Е.И., Плеханова Л.Н.* Инфраструктура катакомбного поселения Рыкань-3 в свете междисциплинарных исследований // В сб.: Археология Восточно-Европейской степи Материалы IV Нижневолжской междунар. археол. конф. 2013. С. 66–74.
- Борисов А.В., Иорисов И.А., Коробов Д.С., Ельцов М.В., Савицкий Н.М., Плеханова Л.Н.* Земледельческие террасы с межевыми откосами в горном Дагестане // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. 2016. Т. 10. № 4. С. 85–97.
- Вагапов И.М.* Магнитная восприимчивость как показатель формирования пространственной изменчивости почв, обусловленной палеоэкологическими факторами: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М.: МГУ, 2013. 22 с.
- Вагапов И.М., Алексеев А.О.* Магнитная восприимчивость в оценке пространственной и профильной неоднородности почв, обусловленная палеоэкологическими факторами // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2015. № 5. С. 99–106.
- Зданович Г.Б., Иванов И.В., Плеханова Л.Н.* Музей-заповедник «Аркаим» в Стране Городов // Природа. 2001. № 9. С. 50–58.
- Каширская Н.Н., Плеханова Л.Н., Петросян А.А., Потапова А.В., Сыроватко А.С., Клещенко А.А., Борисов А.В.* // Подходы к выявлению шерсти по численности кератинолитических микроорганизмов в грунтах древних и средневековых погребений // Нижневолжский археологический вестник. 2018. Т. 17. № 2. С. 95–107.
- Каширская Н.Н., Плеханова Л.Н., Удальцов С.Н., Чернышева Е.В., Борисов А.В.* Механизмы и временной фактор ферментативной организации палеопочв // Биофизика. 2017. Т. 62. № 6. С. 1235–1244.
- Плеханова Л.Н.* Проблемы поиска эталонных почв степного Зауралья для создания Красной книги почв // Аридные экосистемы. 2017. Т. 23. № 3 (72). С. 50–58.
- Maher B.A., Alekseev A.O., Alekseeva T.* Magnetic mineralogy of soils across the Russian steppe: climatic dependence of pedigenic magnetite formation // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2003. Т. 201. № 3–4. P. 321–341.