

УДК 538.214:631.41

ПОЧВОВЕДЕНИЕ

## МАГНИТНАЯ ВОСПРИИМЧИВОСТЬ НЕКОТОРЫХ ПОЧВ В СВЯЗИ С ИХ ХИМИЧЕСКИМ СОСТАВОМ

*В. Ф. Бабанин, А. Н. Маланьин*

Изучена магнитная восприимчивость южного чернозема и многоярусных разновозрастных песчаных почв в зависимости от валового содержания в них гумуса, железа, титана и марганца. Магнитная восприимчивость исследованных почв связана с распределением по горизонтам перечисленных элементов при малом их содержании в почве и низких значениях  $\chi$ . Магнитная восприимчивость не связана с распределением валового железа при высоком содержании его в почве и больших значениях  $\chi$ .

В веществе, помещенном в магнитное поле напряженности  $H$ , возникает магнитная индукция  $B = H + 4\pi I$  (плотность магнитного потока в намагниченном материале). Величина  $I$  называется намагниченностью, а  $\frac{I}{H} = \kappa$  — магнитной восприимчивостью единицы объема. Следовательно,  $B = H(1 + 4\pi\kappa)$ . Магнитная восприимчивость  $\kappa$  имеет диамагнитную, парамагнитную и ферромагнитную составляющие. В зависимости от величины и знака магнитной восприимчивости вещество будет диамагнитным, парамагнитным или ферромагнитным. Диамагнетики имеют незначительную отрицательную удельную магнитную восприимчивость; например,  $\text{CaSO}_4$  имеет  $\chi \left( \chi = \frac{\kappa}{d} \right)$ , где  $d$  — плотность вещества), равную  $-0,364 \cdot 10^{-6}$  CGSM,  $\text{CaCO}_3$  —  $\chi$ , равную  $-0,382 \cdot 10^{-6}$  CGSM. Парамагнетики имеют малую положительную удельную магнитную восприимчивость; например,  $\text{SiO}_2$  имеет  $\chi$ , равную  $0,493 \cdot 10^{-6}$  CGSM. Магнитная восприимчивость диамагнетиков и парамагнетиков в широком интервале значений  $H$  остается постоянной. Ферромагнетики имеют положительную магнитную восприимчивость; значение ее велико и зависит от напряженности магнитного поля. Ферромагнетиками являются железо, никель, кобальт и целый ряд минералов, содержащих железо, например магнетит ( $\chi = 0,1 - 0,8$  CGSM).носителем ферромагнитных свойств в основных ферромагнитных минералах служит катион  $\text{Fe}^{3+}$ .

Магнитная восприимчивость наряду с другими физическими параметрами широко используется в геологии и других областях науки и техники. Магнитные свойства почвы изучаются сравнительно недавно. В первых сообщениях о магнитных свойствах почв [6, 7] было показано, что магнитная восприимчивость почв убывает с глубиной и всегда выше в горизонтах А и В, чем в материнской породе. Она не зависит от общего содержания железа и выше в глинистой фракции. Возраста-

ние  $\chi$  в верхних горизонтах почв, связанное с органическим веществом, отмечали Эно [6] и Ле Борнь [7]. Ноймайстер [9] указывал на прямую корреляцию между магнитной восприимчивостью и содержанием в почвенном профиле гумуса. Эно [6] и Оадес [10] отмечали, что не существует зависимости между общим содержанием железа в почве и ее магнитной восприимчивостью и что последние обусловлены новообразованиями железа, возникающими в результате почвообразовательных процессов (биологического и химического выветривания). Повышение магнитной восприимчивости гумусовых горизонтов Мацусака [8] и Ноймайстер [9] объясняли присутствием в этих горизонтах ферромагнитных минералов типа  $Fe_2O_3$  (маггемита) и др., образующихся из немагнитных или слабомагнитных лимонита, лепидокрокита в результате почвообразования. Ферромагнитными свойствами обладают не всякие формы железа: соединения железа в коллоидной форме парамагнитны и имеют низкую магнитную восприимчивость; парамагнетиками они остаются и при высушивании [8]. А. В. Васильев [1] и В. С. Семенов [4] показали, что почвы Забайкалья обладают относительно высокой магнитной восприимчивостью. Они отметили, что магнитная восприимчивость коренных пород и иллювиально-делювиальных отложений, за отдельными исключениями, не превышает  $n \cdot 10^{-6}$  CGSM ( $n$  достигает нескольких десятков) и  $\chi$  почвенного профиля в несколько раз выше магнитной восприимчивости пород, на которых залегает почва. А. А. Лукшин [3] связывал магнитную восприимчивость почв с содержанием в них валового железа и наибольшие значения  $\chi$  в иллювиальных горизонтах подзолистых почв объяснял выносом железа при подзолообразовании. Таким образом, в литературе до сих пор нет единого мнения о природе повышенной магнитной восприимчивости гумусовых горизонтов почв.

Мы попытались изучить магнитную восприимчивость некоторых почв в связи с их химическим составом.

В поле из почвенных разрезов брали образцы, которые в лаборатории высушивали до воздушно-сухого состояния, измельчали и просеивали через сито в 1 мм. Для измерения магнитной восприимчивости подготовленную почву насыпали в бумажную коробку известного объема, а затем проводили измерения на приборе ИМВ-2 в единицах CGSM с точностью до  $1 \cdot 10^{-6}$ .

Для того чтобы показать корреляцию  $\chi$  с содержанием в почвенных горизонтах гумуса, мы выбрали серию разновозрастных многоярусных почв [2] на борových террасах в долине Среднего Дона (Арчединский лесхоз Волгоградской области). Луговые и болотные почвы в ложбинах между грядами бугристых песков были покрыты песчаными золовыми наносами, на которых сформировались за последние 0,5—1,5 тыс. лет дерново-луговые почвы. Схематический профиль таких почв (рис. 1) имеет следующее строение (ярусы обозначены римскими цифрами).

I. А — гумусовый горизонт связнопесчаной (супесчаной) дерново-луговой почвы на золовом песчаном наносе.

BC — переходный связнопесчаный горизонт.

С — песок золового наноса, не затронутый почвообразовательным процессом; ниже резко переходит в погребенную почву.

II. А — гумусовый горизонт супесчаной (легкосуглинистой) луговой (лугово-болотной) почвы на водном наносе.

BC — переходный связнопесчаный горизонт с бобовинами ортштейна, нередко переходящий в следующую погребенную почву.

III. А — гумусовый горизонт связнопесчаной болотной почвы с бобовинами ортштейна.

В верхних горизонтах I.А дерново-луговых почв содержание гумуса достигает 1—4%, и  $\chi$  составляет  $1—3 \cdot 10^{-6}$  CGSM. В горизонтах С золового наноса обнаруживаются лишь следы гумуса (0,01%),

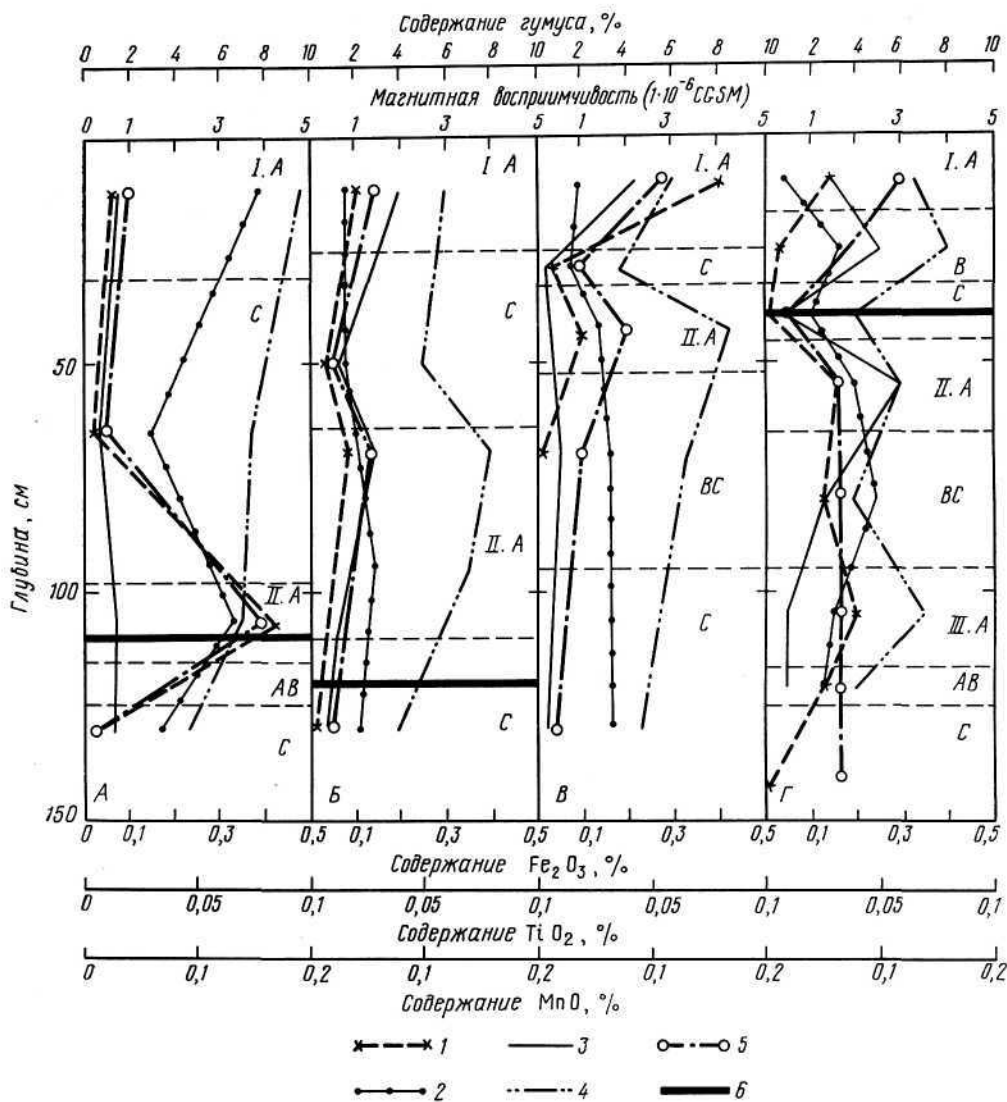


Рис. 1. Магнитная восприимчивость песчаных многоярусных почв в связи с содержанием в них валовых гумуса,  $Fe_2O_3$ ,  $TiO_2$  и  $MnO$ . А — разрез № 3а; Б — разрез № 12, В — разрез № 6; Г — разрез № 5:

1 — содержание гумуса, 2 — содержание  $Fe_2O_3$ , 3 —  $MnO$ , 4 —  $TiO_2$ , 5 — магнитная восприимчивость, 6 — уровень грунтовых вод. Остальные обозначения в тексте

и  $\chi$  уменьшается до нуля. В темноцветных горизонтах погребенных почв II.A или III.A, содержащих до 5% гумуса,  $\chi$  вновь резко возрастает до  $2-4 \cdot 10^{-6}$  CGSM, а в горизонте III.C уменьшается до нуля.

Сравнение данных о валовом содержании железа, титана и марганца в многоярусных почвах со значениями  $\chi$  показало, что изменение магнитной восприимчивости коррелирует с наличием в почвенных горизонтах  $TiO_2$ ,  $MnO$  и  $Fe_2O_3$ . Основной вклад в магнитную восприимчивость песчаных почв вносят титан- и марганецсодержащие железистые минералы типа ильменита, титаномагнетита, эпидота и др.

Согласно исследованиям А. М. Цехомского [5], в Донских песках титан входит в состав рутила и ильменита, основное количество которых сосредоточено в пленках, покрывающих зерна кварца. Удельная

магнитная восприимчивость ильменита примерно в 60 раз больше восприимчивости рутила, а удельная магнитная восприимчивость материнского песка значительно меньше  $\chi$  гумусовых горизонтов. При пересчете процентного содержания титана в песчаной почве на ильменит и рутил с учетом изменения  $\chi$  по профилю получим, что в гумусовых горизонтах он на 20—30% представлен ильменитом, а остальная его часть — рутилом. В горизонте С титан входит в основном в состав рутила.

Для сравнения с многоярусными песчаными почвами приводим описание южного чернозема из разреза № 17 (рис. 2), заложенного на плакоре у села Луначарского Ждановской области на поле под кукурузой. Мощность гумусовых тяжелосуглинистых горизонтов  $A+B_2=63$  см ( $A_{пах}$  около 27 см). Почва выщелочена от карбонатов на глубину 40 см. Выбор этого разреза обусловлен тем, что почва рас-

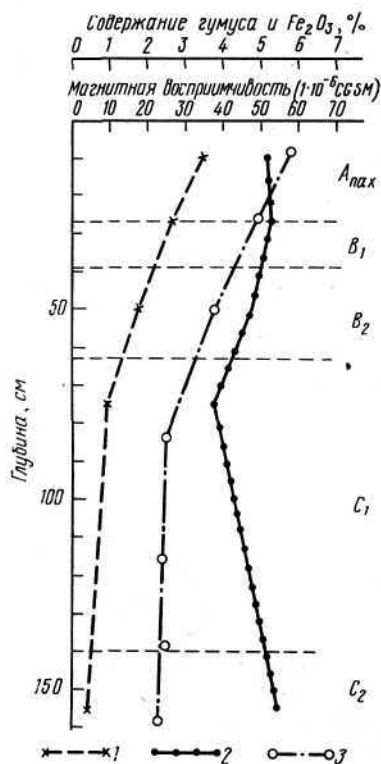


Рис. 2. Магнитная восприимчивость южного чернозема в связи с содержанием в нем валовых гумуса и железа:

1 — содержание гумуса, 2 — содержание  $Fe_2O_3$ , 3 — магнитная восприимчивость

увеличение содержания общего железа. Таким образом, в южном черноземе удельная магнитная восприимчивость коррелирует с запасом гумуса в верхних горизонтах и не зависит от изменения количества валового железа.

Изменение величины  $\chi$  с изменением валового содержания  $Fe_2O_3$ ,  $MnO$  и  $TiO_2$  в песчаных почвах, по-видимому, вызвано их низким процентным содержанием. Перечисленные элементы в изученных почвах в основном входят в состав парамагнитных соединений, так как если бы все железо этих почв входило в состав ферромагнетиков (магнетита,

однако южный чернозем существенно отличается от песчаных почв по валовому содержанию основного носителя ферромагнетизма —  $Fe_2O_3$  — и по величине  $\chi$  почвенного профиля. Возрастание  $\chi$  в гумусовых горизонтах песчаных почв и южного чернозема по сравнению с ее значениями в материнской породе примерно одинаково (в два-три раза) при содержании гумуса от 1 до 4%. Величина и характер изменения  $\chi$  выбранного разреза типичны для всех исследованных нами почв, формирующихся на материнских породах тяжелого механического состава (чернозем, каштановая почва).

В пахотном горизонте южного чернозема магнитная восприимчивость достигает  $60 \cdot 10^{-6}$  CGSM и постепенно убывает с глубиной. В горизонте  $C_1$  на глубине около 100 см  $\chi$  становится постоянной и равна  $25 \cdot 10^{-6}$  CGSM. Как видно из рисунка 2, магнитная восприимчивость коррелирует с содержанием в почве гумуса: с уменьшением количества гумуса магнитная восприимчивость уменьшается (причем эта связь сохраняется при содержании гумуса не менее 1%).

При возрастании удельной магнитной восприимчивости в гумусовом горизонте более чем в два раза содержание валового железа по профилю изменяется незначительно. С глубины 100 см величина  $\chi$  остается постоянной, несмотря на

маггемита, титаномаггемита и др.), значения  $\chi$  достигали бы  $1000-5000 \cdot 10^{-6}$  CGSM. В песчаных почвах максимальная магнитная восприимчивость равна  $4 \cdot 10^{-6}$  CGSM. Для получения такой восприимчивости необходимо примерно  $0,001-0,01\%$   $Fe_2O_3$  в виде ферромагнетика.

При низком значении  $\chi$  в песчаных почвах существенный вклад в магнитную восприимчивость вносят парамагнитные соединения и минералы,  $\chi$  которых изменяется от десятков до сотен миллионных долей единиц CGSM ( $HFeO_2$ —гетит—42,  $MnCl_2$ —120,  $MnO$ —84,  $FeTiO_3$ —100). Следовательно, там, где обнаруживается наибольшая корреляция  $\chi$  с содержанием железа (разрез № 3а—рис. 1), преобладают соединения железа с высокой  $\chi$ ; корреляцию с содержанием  $MnO$  обуславливают марганцовистые соединения с высокой  $\chi$  (разрез № 12—рис. 1). Везде  $\chi$  достигает наибольшего значения там, где выше содержание гумуса, хотя количество перечисленных элементов возрастает незначительно или они вообще отсутствуют (горизонты I.A, II.A разреза № 3а—рис. 1; горизонты А, В разреза № 17—рис. 2). Но так как органическое вещество обладает очень низкой магнитной восприимчивостью, вклад его в общую  $\chi$  исчезающе мал, и возрастание значений  $\chi$  обуславливают соединения, образующиеся в его присутствии. Этими соединениями могут быть маггемит и другие [8], образующиеся из лимонита, лепидокрокита при воздействии органического вещества, являющегося восстановителем [6].

Проведенные нами исследования позволяют предположить, что противоположные выводы в литературе о зависимости  $\chi$  от содержания валового железа обусловлены различиями в процентном содержании железа, гумуса и величины  $\chi$  в изученных почвах. При содержании железа ( $Fe_2O_3$ ) порядка  $0,1\%$  и значении  $\chi$  около  $10 \cdot 10^{-6}$  CGSM существенную роль играют парамагнитные соединения и изменение содержания  $Fe_2O_3$  на величину порядка  $0,1\%$  значительно изменяет величину  $\chi$ . В почвах с  $\chi$  около  $1000 \cdot 10^{-6}$  CGSM Эно [6] и др. не установили зависимости между изменением  $\chi$  и изменением содержания валового железа. Напротив, А. А. Лукшин [3] обнаружил корреляцию  $\chi$  с количеством валового железа в почвах с низкой магнитной восприимчивостью (порядка  $10 \cdot 10^{-6}$  CGSM).

В песчаных почвах на зависимость  $\chi$  от содержания валовых  $Fe_2O_3$ ,  $TiO_2$  и  $MnO$  влияют водный режим и количество гумуса. В гумусовых горизонтах почв, залегающих ниже уровня грунтовых вод, магнитная восприимчивость низка и не связана с динамикой содержания элементов, обуславливающих изменение  $\chi$ . На хорошую аэрацию и ощутимое содержание гумуса как оптимальные условия образования ферромагнитных окислов указывает Одес [10].

#### Литература

1. Васильев А. В., Семенов А. С. 1960. Магнитная восприимчивость почв. Уч. зап. Ленинградск. гос. ун-та, сер. физ. и геол. наук, № 286.
2. Гаель А. Г., Маланьин А. Н., Сафарова С. А. 1970. Многоярусные разновозрастные почвы под дубовым лесом на Доно-Цимлянских песках. Почвоведение, № 1.
3. Лукшин А. А., Румянцева Т. И., Ковриго В. П. 1968. Магнитная восприимчивость основных типов почвы Удмуртской АССР. Почвоведение, № 1.
4. Семенов В. С., Пахотнова В. И. 1961. Магнитные свойства некоторых почв. Изв. высш. учебн. заведений. Физика. № 1.
5. Цехомский А. М. 1960. О строении и составе пленки на зернах кварцевых песков. В сб.: Кора выветривания, вып. 3. Изд-во АН СССР, М.

6. Henin S., Le Borgne E. 1954. Sur les proprietes magnetiques des sols et leurs interpretations pedologiques. Intern. Congr. Soil Sci., vol. 5, № 2.
7. Le Borgne E. 1955. Susceptibilite magnetique anormale du sol superficiel. Ann. de Geophys., vol. 11.
8. Matsusaca Y., Sherman G. D. 1961. Magnetism of iron oxide in Hawaiian soils. Soil Sci., vol. 91.
9. Neumeister H., Peschel G. 1968. Die magnetische Suszeptibilität von Böden und pleistozänen sedimenten in der Umgebung Leipzigs. Albrecht-Thaer-Archiv, Bd. 12, № 12.
10. Oades I. M. 1963. The detection of ferromagnetic minerals in soil and clays. Journ. Soil Sci., vol. 14, № 2.

Рекомендована кафедрой физики и  
мелиорации почв Московского госу-  
дарственного университета  
им. М. В. Ломоносова

Поступила  
2 июня 1970 г.