

УДК 631.437

А. Ф. ВАДЮНИНА, В. Ф. БАБАНИН

## МАГНИТНАЯ ВОСПРИИМЧИВОСТЬ НЕКОТОРЫХ ПОЧВ СССР

Определена удельная магнитная восприимчивость ( $\chi$ ) основных почвенных типов СССР. Показано, что в ходе почвообразования в автоморфных почвах  $\chi$  возрастает и становится больше  $\chi$  материнской породы в  $K$  раз, причем  $K$  изменяется от 2 до 5—20, в гидроморфных почвах  $K \sim 1$ . Величина  $\chi$  имеет определенные значения для каждого типа почв и может служить индикатором ряда элементарных почвенных процессов.

Раздел физики почв — магнетизм, переживает в настоящее время стадию становления (разработка методики исследования, накопление экспериментальных данных и на основании их установление закономерностей). Наиболее важными магнитными характеристиками почв являются магнитная восприимчивость, остаточная намагниченность, коэрцитивная сила и др. Из них наиболее изучена и доступна для измерения относительно простыми приборами магнитная восприимчивость.

Все вещества, составляющие почву, являются в известной степени магнитноактивными, т. е. способными намагничиваться в магнитном поле —  $H$ . Способность вещества намагничиваться характеризуется магнитной восприимчивостью. Объемная магнитная восприимчивость  $\kappa$ , магнитное поле —  $H$  и намагниченность  $I$  связаны уравнением

$$\kappa = \frac{I}{H}. \quad (1)$$

Восприимчивость обычно вычисляют для единицы массы и называют удельной магнитной восприимчивостью, получают ее путем деления объемной восприимчивости —  $\kappa$  на плотность почвы в измеряемом объеме:

$$\chi = \frac{\kappa}{\rho}. \quad (2)$$

В состав почвы входят вещества, обладающие различной магнитной восприимчивостью, — диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики, антиферромагнетики и ферримагнетики. В наших исследованиях мы ограничимся полуклассической теорией магнетизма и феноменологической классификацией магнетиков, исходя в основном из величин магнитной восприимчивости: диамагнетики —  $\chi < 0$ , парамагнетики  $\chi > 0$  (особенно парамагнетики и антиферромагнетики), ферромагнетики (особенно ферромагнетики и ферримагнетики), обладающие значительной величиной магнитной восприимчивости. Диамагнетики в магнитном поле намагничиваются противоположно внешнему магнитному полю, величина  $\chi$  колеблется в пределах  $(0,3 \div 0,9) \cdot 10^{-6}$  CGSM. Диамагнетиками в почве являются ортоклаз, кальцит, кварц, вода, органическое вещество (табл. 1). Содержание их в почве снижает магнитную восприимчивость почв.

Парамагнетики намагничиваются согласованно с внешним полем. Величина  $\chi$  у разных минералов изменяется (от 0,9 до 23)  $\cdot 10^{-6}$  CGSM. В почве распространены следующие парамагнетики — мусковит, доло-

Удельная магнитная восприимчивость некоторых пород, минералов и соединений

Вещество	Магнитный класс	$\chi \cdot 10^{+4}$	Литературный источник
Корунд	Д	-0,34	Поваренных [17]
Ангидрит	Д	-0,36	»
Ортоклаз, кальцит	Д	-0,38	»
Кварц	Д	-0,46	»
Всда	Д	-0,72	»
Сахар тростниковый	Д	-0,57	»
Доломит	П	0,9	»
Мусковит	П	1,0—12,0	»
Биотит	П, Ф.	12,0—52,0	»
Амфиболы	П, Ф.	13,0—55,0	Вернон (Verноn, [28])
Пироксены	П, Ф.	3,0—75,0	То же
Эпидот	П, Ф.	20,0—25,0	»
Роговая обманка	П, Ф.	38,0	Ефимов [7]
Гематит	П	20,0	»
Сидерит	П	93,0	Винокуров [4]
Базальты	Ф	250—4800	»
Андезиты	Ф	360—1650	»
Габбро	Ф	80—1400	»
Магнетит	Ф	до 800 000	Свешников [21]
Лепидокрокит, гетит	П	42,0	»
Маггемит	Ф	до 30 000	»

Буквами Д, П, Ф. обозначен преобладающий вид магнетизма вещества.

мит, лепидокрокит, гетит, гематит и группа смешанных магнетиков, обладающих пара- и ферромагнетизмом.

Диамагнетики и парамагнетики имеют постоянные значения магнитной восприимчивости в широком интервале напряженности магнитного поля от 0 до  $10^4$  эрстед, которая не зависит от температуры.

Ферромагнетизм — свойство вещества сильно намагничиваться согласованно с внешним полем и частично сохранять намагниченность при снятии магнитного поля. Диамагнетики и парамагнетики остаточной намагниченностью не обладают. Магнитная восприимчивость ферромагнетиков зависит от напряженности внешнего магнитного поля. Выше некоторой температуры (точка Кюри) они теряют ферромагнитные свойства и ведут себя как парамагнетики. Магнитная восприимчивость их достигает величины  $800\,000 \cdot 10^{-6}$  CGSM и более. К группе ферромагнетиков относятся магнетит, маггемит, пирит, базальты, андезиты и др. (табл. 1). Таким образом, магнитная восприимчивость почвы ( $\chi$ ) складывается из магнитной восприимчивости ферро- ( $\chi_f$ ), пара- ( $\chi_p$ ) и диамагнетиков ( $\chi_d$ ):  $\chi = \chi_f + \chi_p + \chi_d$ .

В силу того, что  $\chi$  диа- и парамагнетиков не зависит от  $H$ , а  $\chi$  ферромагнетиков является сложной функцией напряженности приложенного поля, для сопоставимости результатов необходимо подобрать такие условия, при которых  $\chi$  была бы близка к постоянной величине. Это требование удовлетворяется в полях насыщения при  $H$  порядка  $10^3$ — $10^4$  эрстед. Для получения таких полей необходимо довольно сложное оборудование. Вторая возможность — измерение в магнитных полях  $H \sim 0$ . При этих условиях  $\chi$  не зависит от величин  $H$  и называется начальной восприимчивостью.

В наших исследованиях магнитная восприимчивость измерялась на приборе ИМВ-2 в переменном магнитном поле при частоте 1000 гц напряженностью 0,5—0,7 эрстед. При этих значениях  $H$   $\chi$  вещества близка к постоянной. К достоинствам прибора следует отнести и то, что он позволяет измерять восприимчивость относительно больших образцов ( $V =$

= 100 см<sup>3</sup>), что важно ввиду гетерогенности почв. Прибор прост в обращении, дает вполне удовлетворительную точность измерения.

### Магнитная восприимчивость почв

Магнитные свойства почв, в частности магнитную восприимчивость, начали изучать в начале 50-х годов текущего столетия. В первых исследованиях было показано, что магнитные характеристики почв связаны с содержанием в них ферромагнетиков таких, как магнетит, маггемит и содержанием гумуса в почвах [24—27]. Наиболее обстоятельные исследования проведены Ле Борнем [24—26] и Наймайстером [27], которые кроме указанных закономерностей установили, что из всех фракций механического состава автоморфных почв наибольшей восприимчивостью обладает ил. В почвах, подвергавшихся обжигу, наблюдалось резкое увеличение магнитной восприимчивости. На этом основании все почвы, имеющие высокое значение  $\chi$  в верхних горизонтах по Ле Борню испытывали влияние пожара. В последующих работах это подтвердилось только в отношении некоторых почв.

Отечественные публикации по магнитной восприимчивости появились в 1960—1961 гг. [3, 22]. Систематическое изучение магнитной восприимчивости почв проведены Лукшиным и Румянцевой [15, 16, 20], которые определили величины  $\chi$  для основных типов почв Удмуртии по генетическом горизонтам и изучали влияние механического состава, рН почвы и обжига на величину  $\chi$ .

Как следует из литературных данных; железистые минералы в почве — гематит, лепидопротит, гетит (парамагнетики) могут при определенных условиях переходить в сильномагнитные маггемит или магнетит [24, 25, 27].

По данным Ле Борня и др. [15, 16, 20, 24], прокаливание гумусовых почв приводит к резкому возрастанию  $\chi$ , в безгумусовых образцах  $\chi$  увеличивается незначительно.

Известно, что активное разложение органического вещества при слабой аэрации способствует восстановлению железистых минералов — снижает величину  $\chi$ , активная аэрация почв повышает ее. При этом органическое вещество служит, по-видимому, катализатором и источником энергии биохимических окислительных и восстановительных реакций, протекающих в минеральной части почвы. При фульватном составе гумуса магнитная восприимчивость в гумусовом горизонте ниже, чем при гуматном.

По-видимому, новообразованные ферромагнетики автоморфных почв принадлежат к группе вторичных минералов, так как наибольшая восприимчивость наблюдается в мелких фракциях почвы — ил, мелкая пыль. В кварцевых песках и известковых породах она низкая. Таким образом, качественный и количественный состав железных минералов и гумуса, их совместная трансформация в ходе почвообразования привели к формированию определенных магнитных свойств почвы. Роль реакций взаимодействия железистых минералов (дающих основной вклад в магнетизм почв) с органическим веществом и их продуктов в почвообразовании, диагностике, образовании структуры широко освещена в ряде работ [8—11, 13]. Магнитная восприимчивость верхних горизонтов автоморфных почв  $\chi_{\text{ил}}$  всегда выше магнитной восприимчивости материнских пород  $\chi_{\text{мл}}$ , в гидроморфных может быть наоборот. Отношение  $K = \chi_{\text{ил}}/\chi_{\text{мл}}$  может служить количественным показателем роли почвообразования в изменении магнитных свойств почвы.

В настоящей статье приведены материалы по изучению магнитной восприимчивости, как физической характеристики для некоторых почв СССР в связи с их генезисом.

## Магнитная восприимчивость почв зоны тундры и тайги

К этой группе относятся постоянно или периодически переувлажненные почвы, характеризующиеся слабой аэрацией и восстановительными процессами. В летнее время при подсушивании верхней части почвенной толщи усиливается аэрация почв, и восстановительные процессы сменяются окислительными. Смена процессов оказывает большое влияние на состав гумусовых веществ и трансформацию железистых минералов в почвах.

Почвы тундры [14]. Многочисленные определения  $\chi$  показали, что эти почвы имеют низкую восприимчивость, почти не изменяющуюся по профилю. Величина ее в разных почвах колеблется в пределах  $(2-40) \cdot 10^{-6}$  CGSM. Для примера на рис. 1, I приведена тундровая глеевая почва (разр. 109) Таймыра. Восприимчивость по профилю изменяется в пределах  $(6-9) \cdot 10^{-6}$  CGSM. Вследствие криогенного перемешивания дифференцирована почва на горизонты слабо, что и отражает профильная кривая магнитной восприимчивости.

Мерзлотно-таежные почвы [23]. Измерение магнитной восприимчивости производили на дерновых, потечно-гумусовых и торфянисто-глеевых почвах Колымского р-на Магаданской обл. Наибольшая величина  $\chi$  установлена в дерновых почвах (табл. 2), распространенных на

Таблица 2

*Магнитная восприимчивость мерзлотно-таежных и болотных почв ( $\chi \cdot 10^6$ )*

Подтип почвы	Номера разрезов	Горизонты			$K_{\text{средн.}}$
		$A_1A_T$	$B_1$	$B_2$	
<b>Мерзлотно-таежные почвы</b>					
Дерновая	213, 523, 426, 532	35	22	6	$6,6 \pm 0,9$
»	440+	740	11	8	92,5
Потечно-гумусовая	122, 274, 70	23	16	6	$3,8 \pm 0,9$
Торфянисто-глеевая	452, 254, 65, 40	14	10	9	$1,7-0,4$
	104+	260	15	7	37,0
<b>Болотные почвы</b>					
Торфянисто-глеевая	188, 105, 62	8	6	6	$1,2 \pm 0,2$
»	61+	6	55	6	1,0
»	316+	100	6	6	16,7
»	295+	59	4	4	14,7
Торфяная	1	3	3	2	1,5
»	328+	11	750	10	1,1
»	407+	340	—	—	—

хорошо дренированных элементах рельефа — обычно на второй террасе рек. В них больше гумуса и гуминовых веществ по сравнению с другими почвами этого типа. За дерновыми по величине  $\chi$  следуют потечно-гумусовые, и самую низкую восприимчивость имеют торфянисто-глеевые почвы. Величина  $\chi$  в гор.  $A_1$  или  $A_T$  в исследованных почвах равна 35, 23 и 14 единиц соответственно. В гор.  $B_1$  она меньше, но последовательность изменений по подтипам такая же, как в гор.  $A$ , гор.  $B_2$ , залегающий над верхней границей многолетнемерзлого грунта, обычно переувлажнен и оглеен. Восприимчивость его низкая  $(6-9) \cdot 10^{-6}$  единиц.

Порядок изменения магнитной восприимчивости соответствует порядку расположения почв по уровню естественного плодородия. В таком же порядке уменьшается аэрация почв и возрастает количество фульвокислот в гумусе.

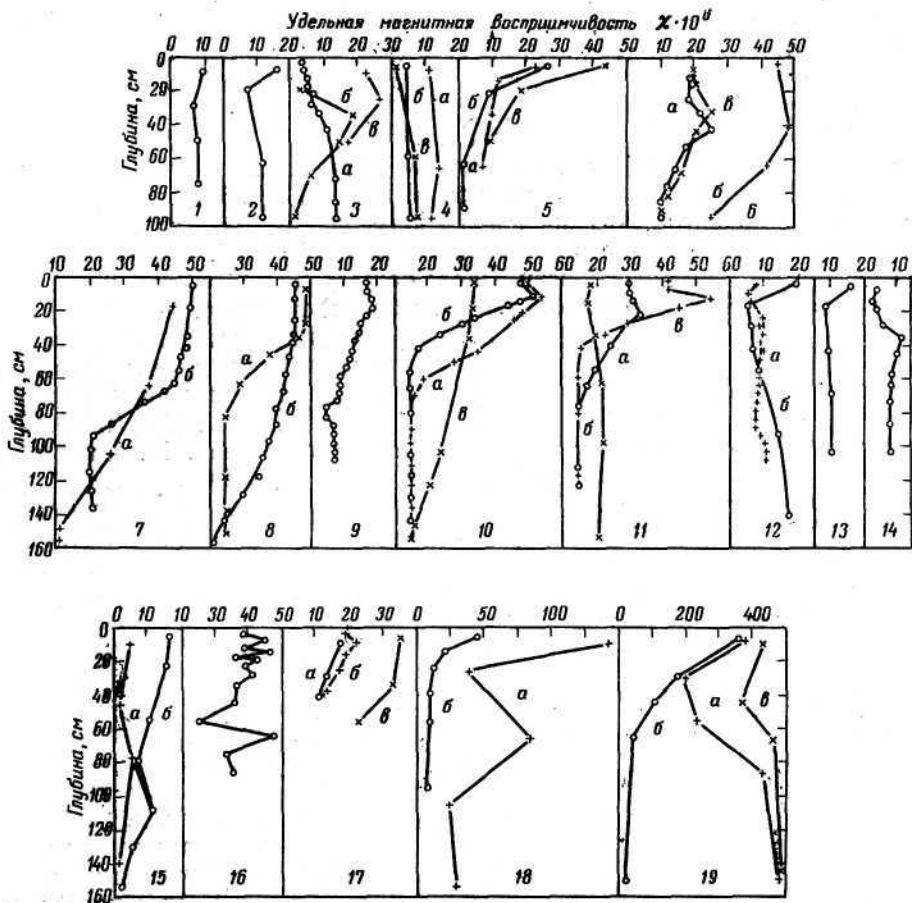


Рис. 1. Изменение удельной магнитной восприимчивости по профилю почв

1 — тундровая глеевая (разр. 109, п-ов Таймыр); 2 — дерновая слабоподзолистая на силикатно-известковой морене (разр. 130, Ленинград. обл.); 3 — дерново-сильноподзолистая (разр. 46, Моск. обл.); а; подзол рыхлосесный (разр. 136, Подкаменная Тунгуска), б; скрытоподзолистая на сланцах (разр. 143, там же); а; 4 — дерново-подзолистая незаболоченная (разр. 149, Моск. обл.), а; дерново-сильноподзолистая глееватая, (разр. 150, там же), б; дерново-подзолистая глеевая (разр. 151, там же), в; 5 — дерново-карбонатная выщелоченная на красной глине (разр. 146, Подкаменная Тунгуска), а; дерново-карбонатная типичная (разр. 147, Кировск. обл.), б; дерновая мерзлотно-таежная (разр. 213, Магаданск. обл.), а; б — серая лесная (разр. 101, Моск. обл.), а; темно-серая лесная (разр. 45, Шипов лес), б; серая лесная (разр. 91, Ленкорань), а; 7 — мощный чернозем (разр. 159), а; обыкновенный чернозем (разр. 15, поляна Высоцкого), б; 8 — южный чернозем (разр. 17, Ждановск. обл.), а; предкавказский чернозем (разр. 113, Ставропольск. край), б; 9 — черноземно-луговая (разр. 119), Тамбовск. обл.); 10 — темно-каштановая слабоосушительная (разр. 19, Аскания-Нова), а; светло-каштановая солонцеватая (разр. 29, Волгоградск. обл.), б; лугово-каштановая (разр. 28, Волгоградск. обл.), в; 11 — солончак приморский (разр. 23, побережье Сивашей), а; солончак сероземно-луговой (разр. 95, Сырдарьинская обл.), б; солонец высокостолбчатый (разр. 31, Волгоградск. обл.), в; 12 — солонец черноземно-луговой (разр. 118, Тамбовск. обл.), а; солонец сильноосоледелый (разр. 157, Шипов лес), б; 13 — лиманная солодь (разр. 39, Джаныбек); 14 — солодь под сильнооглеенной (разр. 20, Аскания-Нова); 15 — двухъярусная песчаная под лесным колком (разр. 75, пойма Дона), а; многоярусная черноземовидная супесчаная (разр. 33, пойма Арчеды-Дона), б; 16 — пойменная (разр. 114, остров на р. Кубань у г. Армавир); 17 — горнолуговая на сланцах (разр. 160, Кавказ), а; горнолуговая (разр. 24, Крым), б; горно-буровая лесная (разр. 160 а, Кавказ), в; 18 — желтоземно-подзолистая слабоглубокооглеенная (разр. 40, район Сочи), а; желтозем маломощный (разр. 90, Ленкорань), б; 19 — краснозем на базальте (разр. 50, Анасеули), а; краснозем на зерновидной глине (разр. 51, там же), б; краснозем на галенике (разр. 52, там же), в

**Болотные почвы.** Торфяно-глеевые и торфяные почвы распространены как в континентальных, так и в приморских районах Магаданской обл. Они обладают низкой магнитной восприимчивостью ( $2-6 \cdot 10^{-6}$  CGSM (табл. 2)). Все исследованные мерзлотно-таежные почвы, кроме торфяных, имеют суглинистый механический состав.

При исследовании  $\chi$  почв Магаданской обл. в некоторых из них были отмечены anomalно высокие значения  $\chi$  в гор. А или В (номера разрезов в табл. 2 отмечены крестиком) от 55 до  $750 \cdot 10^{-6}$  CGSM, что в несколько десятков раз превышает  $\chi$  обычных почв. Это увеличение  $\chi$  свя-

зано с пожарами, довольно распространенными в северо-восточной редколесной тайге. Так, в дерновой почве (разр. 440<sup>+</sup>) в гор. А<sub>1</sub>  $\chi = 740 \cdot 10^{-6}$  CGSM, а в торфянисто-глеевой почве (разр. 104<sup>+</sup>), восприимчивость в гор. А<sub>7</sub> достигает величины  $260 \cdot 10^{-6}$  CGSM. Величина  $K$  в первой почве составляет 92,5, во второй — 37 (табл. 2).

В болотных почвах (разр. 516<sup>+</sup> и 407<sup>+</sup>) также наблюдаются высокие значения  $\chi$  в гор. А<sub>7</sub>. В торфяно-глеевой почве (разр. 61<sup>+</sup>) и торфянистой (разр. 328<sup>+</sup>) максимальные значения  $\chi$  наблюдаются не в гор. А, а в гор. В<sub>1</sub>, что свидетельствует о давнем действии пожара на почву, когда этот горизонт залегал на поверхности. После пожара на почве разр. 61<sup>+</sup> сформировался гор. А<sub>7</sub> мощностью 6 см, а на болотной (разр. 328<sup>+</sup>) — 20 см.

Таблица 3

Влияние прокалывания на магнитную восприимчивость почв

Номер разреза	Горизонты, глубина, см	$\chi \cdot 10^6$ ед		Увеличение восприимчивости $\frac{\chi_2}{\chi_1} = K$
		до прокалывания I	после прокалывания 350° II	
1	А <sub>т1</sub> 0—8	3	300	100
	А <sub>т2</sub> 8—34	3	300	100
216	А <sub>1</sub> 0—14	6	430	71,6
	В <sub>1</sub> 14—28	6	70	11,6
	В <sub>2</sub> 28—52	7	12	1,7

Примечание.  $\chi_2$  — магнитная восприимчивость почв;  $\chi_1$  — магнитная восприимчивость нижнего горизонта.

Для подтверждения роли огня в увеличении  $\chi$  было произведено прокалывание дерново-мерзлотно-таежной почвы (разр. 216 и торфяной (разр. 1). Опыт подтверждает (табл. 3) резкое увеличение  $\chi$  после прокалывания в гумусовых горизонтах значительно меньшее в гор. В<sub>1</sub> и наименьшее в гор. В<sub>2</sub>.

Зависимость  $\chi = f(T^\circ C)$  изучали Ле Борнь [25], на кафедре физики Ижевского СХИ [15, 16] и на кафедре физики и мелиорации почв МГУ. При этом нами установлено, что прокалывание в присутствии органического вещества (гумус, крахмал и т. д.), которое при сгорании создает восстановительную среду [24] и приводит к восстановлению окисных соединений и росту  $\chi$ . Увеличение обычно начинается с 250—300 и продолжается до 500—600°, после чего начинается резкое снижение (при этом увеличение восприимчивости различно для различных типов почв и изменяется от 20 до 100 раз). Эти данные находят в хорошо согласии с результатами Ле Борня, проводившем прокалывание в нейтральной, восстановительной и окислительной средах. По данным Румянцевой [20], интенсивный рост  $\chi$  начинается лишь при 800—850°, в природе, при пожарах, по-видимому, такие температуры не достижимы.

Разные максимальные значения  $\chi$  почв с аномальной восприимчивостью, по-видимому, указывают на различие почв, подвергавшихся пожару, а различия  $\chi$  в одной и той же почве — на разную интенсивность пожара или разную давность, так как в анаэробных условиях торфяных почв сильномагнитные соединения постепенно переходят в слабомагнитные.

Дерново-подзолистые почвы [6, 19]. В дерново-слабоподзолистой почве (рис. 1, 2) наибольшее значение удельной восприимчивости отмечено в гор. А<sub>1</sub>, ниже по профилю  $\chi$  меньше и мало изменяется с глубиной.

По данным ряда исследователей [15, 16, 20] и нашим данным, для подзолистых почв в ряде районов Европейской и Азиатской частей СССР изменения  $\chi$  почв с ясно выраженным подзолистым горизонтом: дерново-средне- и сильноподзолистые, подзолы имеют определенную закономерность: максимальное значение  $\chi$  — в гор. В и минимальное — в гор. А<sub>2</sub> (рис. 1, 3). Восприимчивость верхней части почвенного профиля (почв под лесом, 0,5—1,0 см) достигает значений  $\sim 65 \cdot 10^{-6}$  CGSM. Возможно, частое чередование переувлажнения и иссушения богатого органическим веществом слоя ведут к образованию сильномагнитных соединений. В гумусо-аккумулятивном горизонте  $\chi$  всегда выше, чем в элювиальном, откуда в процессе подзолообразования вынесено железо.

Слабое возрастание  $\chi$  в гор. В вызывается перемещением высокодисперсных частиц, а с ними и железа в виде слабомагнитных соединений. Нами установлено, что величина частиц новообразованных железистых соединений в большинстве не превышает 200 Å. Увеличение валового железа в виде гидроокислов на 1% может дать прирост  $\chi$  до  $0,5 \cdot 10^{-6}$  CGSM. Значительное возрастание  $\chi$  в гор. В вызывается сильномагнитными соединениями, которые либо образуются в гор. В (in situ) или, что наиболее вероятно, перемещаются из слоя на границе  $A_d$  и  $A_1$  и, возможно из гор.  $A_2$ .

Из приведенных данных следует, что наибольшая величина  $\chi$  в скрытоподзолистой почве (разр. 143) Подкаменной Тунгуски (рис. 1, 3), наименьшая — в гор.  $A_1$  дерново-сильноподзолистой. В скрытоподзолистой почве гор.  $A_2$  морфологически почти не выражен, по  $\chi$  все горизонты, в том числе и гор.  $A_2$ , выделяются довольно четко, и особенно гор.  $B_1$ .

Оглеенные почвы дерново-подзолистой подзоны (разр. 150, 151), взятые в Московской обл. (рис. 1, 4) суглинистые по механическому составу обладают низкой магнитной восприимчивостью  $\sim (2-6) \cdot 10^{-6}$  CGSM. При этом оглеение четко проявляется в величине  $\chi$ . Неоглеенная почва (разр. 149) имеет в 2 раза большую  $\chi$  в почвенных горизонтах, чем глееватая, и в 10 раз большую, чем глеевая. Оглеение сказывается на восприимчивости материнской породы, но в меньшей степени. Оглеение нижних горизонтов снизило  $\chi$  лишь на 30%.

Дерново-карбонатные почвы [6, 22] формируются на карбонатной материнской породе и в отличие от зональных почв, среди которых они распространены, имеют более высокое содержание гумуса и гуминовых кислот, лучше оструктурены, хорошо аэрируются. В гумусированных горизонтах в процессе почвообразования, переменных анаэробных и аэробных процессов, переувлажнение и высушивание способствовало формированию сильномагнитных магнетита или маггемита, магнитная восприимчивость в гор.  $A_1$  достигает  $(20-45) \cdot 10^{-6}$  CGSM (рис. 1, 5).

Серые лесные почвы [19] в генетическом отношении представляют собой тип, переходный от таежных дерново-подзолистых к степным черноземам (рис. 1, 6).

Значение  $K$  в серой лесной (Московская обл.) и темно-серой лесной (Шипов лес) почвах выше этого отношения для дерново-подзолистых (рис. 1, 2 и 3), но ниже  $K$  черноземов (рис. 1, 8) и имеет значение, близкое к 2. Закономерность изменения  $\chi$  по профилю серых лесных такая же, как и в дерново-подзолистых. Для серых лесных  $\chi$  в гор.  $A_1 \sim 20-25 \cdot 10^{-6}$  CGSM и в материнской породе  $\sim 10$ . По характеру изменения  $\chi$  серые лесные (особенно светло-серые) стоят ближе к дерново-подзолистым, чем к черноземам.

Серая лесная (серо-коричневая) из Ленкорани имеет такую же восприимчивость, и характер ее изменяется по профилю как и в серой лесной из Московской обл. (рис. 1, 6).

### Степные почвы

Черноземы [5, 19]. Измерение  $\chi$  проведено в мощном тяжелосуглинистом выщелоченном черноземе (рис. 1, 7) из Курского центрально-черноземного заповедника, предкавказском карбонатном черноземе (рис. 1, 8) Ставропольского края, обыкновенном черноземе из Велико-Анадольского лесничества (рис. 1, 7), южном черноземе (рис. 1, 8) Ждановской области и черноземно-луговой почве из Тамбовской обл. (рис. 1, 9). Из всех зональных почв европейской части СССР наибольшая  $\chi$  в гор.  $A_1$  черноземов  $(40-50) \cdot 10^{-6}$  CGSM, в гор. В она составляет  $(25-40) \cdot 10^{-6}$  CGSM, в гор. С или материнской породе колеблется в пределах  $(10-20) \cdot 10^{-6}$  CGSM (рис. 1, 7, 8, 9).

По характеру изменения величины  $\chi$  по профилю черноземы различаются между собой. В мощном выщелоченном черноземе и в предкавказском восприимчивость с глубиной уменьшается постепенно, почти прямолинейно. В обыкновенном и южном черноземах ясно выражена дифференциация величины  $\chi$  по генетическим горизонтам. При этом в гор.  $A_1$  она выше, чем в соответствующем горизонте мощных и предкавказских (мицеллярных) черноземов в связи с большей величиной ее в материнской породе. Магнитная восприимчивость лугово-черноземной почвы в 2 раза меньше, чем в автоморфных черноземах и изменяется в пределах  $(8-18) \cdot 10^{-6}$  CGSM. Некоторое увеличение  $\chi$  в гор.  $A_1$  связано с оглинением почвы на этой глубине, а снижение  $\chi$  на верхней границе капиллярной каймы — с оглеением. Гидроморфизм почв в степной зоне так же, как избыточное увлажнение в тундровой и таежной зонах, снижает магнитную восприимчивость, тем сильнее, чем длительнее почва находится в восстановительных условиях.

Каштановые почвы [2, 19]. Отмеченная дифференциация  $\chi$  по генетическим горизонтам в обыкновенном и южном черноземах, в каштановых почвах более резко выражена. В верхней части гумусового горизонта  $\chi = 48 \cdot 10^{-6}$  CGSM. В гор.  $B_1$  возрастает до  $(52-55) \cdot 10^{-6}$  CGSM, в гор.  $B_2$  несмотря на большее оглинение, уменьшается до 35 единиц. Изменение  $\chi$  по глубине профиля в светло-, темно- и лугово-каштановых почвах происходит в соответствии с глубиной залегания генетических горизонтов. В гор. C и материнской породе значение  $\chi$  наименьшее — до  $15 \cdot 10^{-6}$  CGSM и почти не меняется с глубиной. В лугово-каштановой почве магнитная восприимчивость с поверхности и вглубь по профилю уменьшается с 34 до 10 единиц. Она значительно меньше, чем в темно- и в светло-каштановых почвах (рис. 1, 10).

#### Засоленные почвы и солоды (рис. 1, 11).

Солончаки [2, 19]. Для измерения магнитной восприимчивости взяты: мокрый солончак, побережья Сивашей (разр. 23) с большим количеством морских ракушек, сильно влажный в момент взятия пробы; солончак сероземно-луговой (Голодная степь) Сырдарьинской обл. (разр. 25). Солончак (разр. 23), несмотря на высокую влажность профиля, слабо оглеен. Содержание гумуса в нем невысокое. Сильное засоление почвы тормозит биохимические восстановительные процессы. Восприимчивость в верхнем слое порядка  $(30-35) \cdot 10^{-6}$  CGSM и постепенно убывает с глубиной.

Солончак сероземно-луговой часто находится в переувлажненном состоянии в связи с орошением и близким залеганием в верхней части капиллярной каймы. Величина  $\chi \sim 20 \cdot 10^{-6}$  CGSM слабо изменяется по профилю вплоть до 4 м.

Солонцы. Магнитная восприимчивость остепняющихся солонцов близка к величине  $\chi$  зональной почвы, однако дифференциация по генетическим горизонтам более выражена. В степном солонце Ергеней (рис. 1, 11) в гор. A восприимчивость ( $\sim 40 \cdot 10^{-6}$  CGSM) меньше  $\chi$  в гор. A, расположены рядом светло-каштановой почвы (рис. 1, 10), и резко возрастает в гор.  $B_1$  вследствие более высокого содержания в нем илстой фракции и затем на глубине 45 см уменьшается до  $15 \cdot 10^{-6}$  CGSM, как и в светло-каштановой почве, не изменяясь до глубины 7 м.

Солонцы черноземно-луговые (рис. 1, 12) с поверхности  $\chi \sim 10 \cdot 10^{-6}$  CGSM, которая изменяется в верхней части профиля по генетическим горизонтам и, как в черноземно-луговой почве, заметно снижается у верхней границы капиллярной каймы.

Солоды. Солонец сильноосолоделый (рис. 1, 12) (Шипов лес) имеет восприимчивость по всему профилю ( $\sim 10 \cdot 10^{-6}$  CGSM). Наименьшее значение  $\chi$  в гор.  $A_2$ . Восприимчивость солодей близка к  $\chi$  подзолистых и оглеенных почв.



Осолодение в условиях избыточного поверхностного и грунтового увлажнения сопровождается оглеением. Чем сильнее проявляются эти процессы, тем больше снижается  $\chi$ .

Так, солоды Чапельского пода (рис. 1, 14 — Аскания-Нова), где наряду с грунтовым увлажнением западина заливается в период весеннего снеготаяния за счет притока поверхностных вод, почва оглеена по всему профилю, имеет многочисленные конкреции, образующие прослойки мощностью в несколько сантиметров. Восприимчивость в поверхностном слое равна  $3-5 \cdot 10^{-6}$  CGSM и  $8 \cdot 10^{-6}$  CGSM с глубины 35 до 100 см. Восприимчивость материнской породы этой солоды в 2 раза ниже  $\chi$  породы, залегающей поблизости темно-каштановой почвы.

Солодь Джаныбенского стационара (рис. 1, 13) имеет слабые признаки оглеения в профиле, значительно меньше мелких конкреций. Верхний горизонт азрируется лучше соответствующего горизонта солоды из Аскания-Нова,  $\chi$  в нем превышает  $\chi$  материнской породы, но из-за переувлажнения, хотя и кратковременного,  $\chi$  в гор.  $A_2$  ниже материнской породы.

### Почвы влажных субтропиков

Красноземы [18]. В качестве объектов исследования взяты: красноземы на базальте, на галечнике и зевровидной глине из Анасеули Грузинской ССР (рис. 1, 19). Почвообразующие породы представляют обычно продукты выветривания изверженных горных пород — андезиты, базальты (разр. 50, 5) и осадочных третичных отложений. Андезиты, базальты относятся к группе ферромагнетиков с высокой магнитной восприимчивостью (табл. 1). Магнитная восприимчивость этих пород  $\sim 4000 \cdot 10^{-6}$  CGSM. Зевровидная глина (разр. 51) представляет собой продукт более глубокого их выветривания, кроме того, профиль разр. 51 внизу оглеен,  $\chi$  здесь низкая ( $\sim 17 \cdot 10^{-6}$  CGSM). В ходе красноземного почвообразования  $\chi$  гор. А (несмотря на интенсивное выщелачивание) высокая  $\sim (350-400) \cdot 10^{-6}$  CGSM. Сохранению форм железа с высокой восприимчивостью способствует гумус (5—6% в гор. А), который по-видимому, образует малоподвижные железогумусовые соединения, переходящие в ферромагнетики в процессе почвообразования. Однако в почвах (раз. 50 52), сформированных на элювии базальтов, она ниже, чем в породах на глубине 150 см (рис. 1, 19), и, следовательно,  $K < 1$ . В этих же почвах наблюдается резкое снижение  $\chi$  в гор. В (на глубине до 50 см), что может быть объяснено усилением процесса оподзоливания на этой глубине и трансформацией ферромагнетиков в парамагнетики. В красноземах на зевровидной глине (раз. 51)  $\chi$  довольно резко снижается от гор. А к гор. В и породе 390, 200 и  $20 \cdot 10^{-6}$  CGSM соответственно.

Желтоземо-подзолистые почвы [1, 18] сформировались на желтоземной коре выветривания. Для исследований взяты: желтоземоподзолистая слабо-глубокооглеенная почва (разр. 40) — район Сочи, желтозем маломощный (разр. 90) из Ленкорани (рис. 1, 18).

Желтоземная кора выветривания в отличие от красноземной содержит значительно меньше железа и алюминия и больше кремния. Образовалась она в результате выветривания глинистых сланцев и песчаников. Маломощный желтозем имеет легкоглинистый механический состав (почва хорошо агрегирована и азрирована) и довольно высокое содержание гумуса в гор. А (А—10 см) 3,85% [1]. Магнитная восприимчивость в верхнем гумусовом горизонте высокая ( $48 \cdot 10^{-6}$  CGSM), постепенно падает до глубины 30 см и глубже остается постоянной ( $6-7 \cdot 10^{-6}$  CGSM).

В желтоземо-подзолистой, слабо-глубокооглеенной почве профиль резко дифференцирован в соответствии с генетическими горизонтами. В гор.  $A_1$  величина  $\chi \sim 180$ , в гор.  $A_2$  она резко снижается до  $(35-40) \cdot 10^{-6}$  CGSM, в гор. В возрастает до 80 и в нижнем оглеенном горизонте уменьшается. В породе с глубины 100 см  $\chi$  равна  $(25-30) \cdot 10^{-6}$  CGSM.

По-видимому, материнская порода желтоземо-подзолистой почвы более обогащена ферромагнетиками, несмотря на слабое оглеение в нижней части профиля восприимчивость в ней в 3—4 раза выше, чем в материнской породе желтозема.

Горные почвы [18]. Горно-луговые почвы Кавказа на сланцах (разр. 160) и Крыма на известняках (раз. 24) имеют низкую  $\chi$  ( $20 \cdot 10^{-6}$  -  $\cdot 10^{-6}$  CGSM (рис. 1, 17). При малой мощности их выявляется общая тенденция, свойственная почти всем почвам — возрастание величины  $\chi$  от породы к верхнему аккумулятивному горизонту.

Горная бурая лесная почва (разр. 160) Кавказа, формирующаяся под широколиственным лесом, имеет магнитную восприимчивость в 2 раза

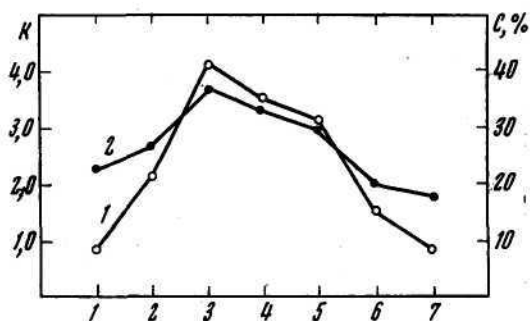


Рис. 2. Связь отношения  $K = \chi_{горА} : \chi_{горС}$  с содержанием углерода (%), входящего в состав гуминовых кислот почв.

Почвы (по оси абсцисс): 1 — дерново-подзолистые, 2 — темно-серые лесные, 3 — мощный чернозем, 4 — темно-каштановые, 5 — светло-каштановые, 6 — серозем, 7 — красноезем на базальте, 1—K, 2—C, %

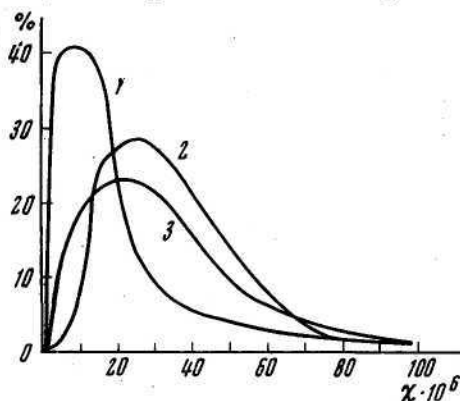


Рис. 3. Вариационные кривые удельной магнитной восприимчивости почв и материнских пород, на которых они развиваются.

1 — кривая восприимчивости материнских пород, 2 — кривая  $\chi$  только автоморфных почв, 3 — кривая  $\chi$  всех почв

выше, чем горные луговые. Причем в гор. А и В величина  $\chi$  почти одинаковая, по-видимому, перемещение ила или  $R_2O_3$  в гор. В<sub>1</sub> здесь отсутствует или очень слабо выражено.

#### Магнитная восприимчивость слоистых песчаных и аллювиальных почв

Песчаные почвы имеют низкую восприимчивость. Вследствие попеременного перевевания и закрепления песков, в их профиле часто выделяется несколько погребенных почв. Гумусовые горизонты погребенных почв хорошо выявляются по величине  $\chi$ . Так, в песчаной двухъярусной почве под лесным колком поймы Дона (разр. 75, рис. 1, 15) второй (погребенный) гумусовый горизонт, судя по величине  $\chi$ , залегает на глубине 80 см, что подтверждают визуальные наблюдения и аналитические данные. В многоярусной супесчаной черноземовидной почве (раз. 33) первый погребенный гумусовый горизонт находится на глубине 110 см. По магнитной восприимчивости хорошо выявляется слоистость в пойменных почвах (рис. 1, 16).

Анализ полученного экспериментального материала приводит к выводу, что магнитная восприимчивость, обусловленная наличием ферромагнитных веществ, тесно связана с почвообразовательными, в том числе окислительно-восстановительными условиями. Кратковременность восстановительных и длительных окислительных условий способствуют трансформации слабомагнитных соединений в сильномагнитные. Эти же условия, по-видимому, способствуют накоплению гуминовых кислот в составе гумуса. Используя данные М. М. Кононовой (1953—1964 г.) по

содержанию углерода гуминовых кислот в составе гумуса различных почвенных типов (рис. 2, 1) и значения  $K$  (рис. 2, 2), можно построить график, иллюстрирующий связь этих величин. Возможно, гуминовые кислоты являются катализатором ферромагнетизации слабомагнитных железистых соединений (магнетизм сильных магнетиков обусловлен взаимодействием спинов (электронов незаполненных оболочек соседних атомов железа в железистых соединениях).

Новообразование сильных магнетиков наиболее активно происходит в хорошо аэрируемых гумусированных горизонтах автоморфных почв. Иллюстрацией может служить рис. 3. По кривой распределения  $\chi$  для пород видно, что основная часть пород имеет  $\chi$ , близкую к  $10 \cdot 10^{-6}$  CGSM (рис. 3, 1), для всех исследованных почв— $20 \cdot 10^{-6}$  CGSM (рис. 2, 3) и для автоморфных  $25-30 \cdot 10^{-6}$  CGSM.

### Выводы

1. Магнитная восприимчивость почв увеличивается в процессе формирования автоморфных и уменьшается при формировании избыточно длительно увлажненных почв по сравнению с материнской породой, особенно в верхнем гумусовом горизонте.

2. Мерой изменения магнитной восприимчивости в ходе почвообразования служит коэффициент  $K$ , величина которого падает на юг, юго-восток и на север от зоны черноземов и графически повторяет ход кривой изменения содержания углерода гуминовых кислот гумуса по типам почв.

3. Максимальная величина  $\chi$  в гор. А наблюдается в черноземах ( $40-50 \cdot 10^{-6}$  CGSM) в серых лесных почвах, дерново-подзолистых,  $\chi$  последовательно уменьшается, достигая минимума в оглеенных дерново-подзолистых и тундровых почвах. В меньшей степени изменяется величина  $\chi$  почв при движении на юг от черноземов к темно-светло-каштановым, бурым и сероземам.

Аномально высокая величина  $\chi$ , на порядок выше  $\chi$  черноземов, отмечена в красноземах и некоторых желтоземах, развитых на андезитах, базальтах, сланцах.

4. Магнитная восприимчивость по профилю почв изменяется по генетическим горизонтам, минимальное значение ее обычно характерно для пород. По кривой магнитной восприимчивости можно судить о степени дифференциации профиля почвы и его мощности.

5. Величина магнитной восприимчивости (и значение  $K$ ) может служить хорошим индикатором ряда элементарных почвенных процессов: оглеения, осолодения, дернового процесса и др.

В одном и том же типе и подтипе автоморфных почв, при прочих равных условиях, она характеризует механический состав почв. Аномально высокие значения  $\chi$  в профиле таежных и болотных почв свидетельствуют о пожарах в прошлом.

6. Увеличение  $\chi$  в ходе почвообразования обусловлено новообразованными железистыми минералами (магнетита или маггемита) в илистой фракции. Накопление гуминовых соединений в хорошо аэрируемых почвах с кратковременным анаэробнозисом стимулирует этот процесс.

Однократная обработка почв реактивом Мера и Джексона снижает величину  $\chi$  до уровня  $\chi$  материнской породы. Растворимость новообразованных сильномагнитных соединений, по-видимому, указывает на их высокую дисперсность или низкую степень упорядоченности (наличие дефектов) кристаллов.

7. Величину  $\chi$  можно использовать для изучения железистых минералов, их миграции и трансформации в почве.

## Литература

1. Агромелиоративная характеристика почв Ленкоранской зоны Азербайджана. Изд. АН СССР, 1960.
2. Вадюнина А. Ф. Агрофизическая и мелиоративная характеристика каштановых почв юго-востока Европейской части СССР. Изд. МГУ, 1970.
3. Васильев А. В., Семенов А. С. Магнитная восприимчивость почв. Уч. зап. ЛГУ. Серия физ. и геол. наук, № 286, 1970.
4. Винокуров В. М. К магнитным свойствам минералов. Зап. Всес. минералог. о-ва, ч. 90, вып. 5 (вторая серия), 1961.
5. Гаврилюк Ф. Я. Черноземы Западного Предкавказья. Изд. Харьковск. ун-та, 1955.
6. Градусов Б. П., Фоминых Л. А. Глинистые минералы в почвах средней тайги бассейна Подкаменной Тунгуски. Вест. МГУ, биол. и почвоведение, № 6, 1971.
7. Ефимов Ф. Н. Каппаметрическое и магнитно-фракционно-минералогическое изучение осадочных образований. «Недра», 1969.
8. Зонн С. В. О роли глинистых Al- и Fe-минералов в диагностике современных процессов коро- и почвообразования. Почвоведение, 1971, № 12.
9. Зонн С. В. Вопросы диагностики и генезиса почв на третьей национальной конференции по изучению горных почв Румынии. Почвоведение, 1970, № 1.
10. Качинский Н. А., Структура почвы. Изд. МГУ, 1963.
11. Келлерман В. В., Цюрупа И. Г. О роли железа и органических веществ в оструктурировании глинистых компонентов почвы. Почвоведение, 1966, № 8.
12. Ковалев Р. В. Почвы Ленкоранской области. Изд. АН АзербССР, Баку, 1966.
13. Ковда В. А., Зимовец Б. А., Амчиславская А. Г. О гидrogenной аккумуляции соединений кремнезема и полуторных окислов в почвах Приамурья. Почвоведение, 1958, № 5.
14. Ливеровский Ю. А. Почвы Крайнего Севера и задачи их дальнейшего изучения. Проблемы Севера, вып. 8, «Наука», 1964.
15. Лукшин А. А., Румянцева Т. И. Изменение удельной магнитной восприимчивости по почвенному разрезу. Тр. Ижевск. СХИ, материалы научн. конф. агрономич. фак-та, вып. 10, 1964.
16. Лукшин А. А., Румянцева Т. И., Ковриго В. П. Магнитная восприимчивость основных типов почв Удмуртской АССР. Почвоведение, 1968, № 1.
17. Поваренных А. С. О магнитных свойствах минералов. Минералогический сборник Львовск. геолог. о-ва, 1957, № 11.
18. Польшов Б. Б. Избр. труды. Изд. АН СССР, 1956.
19. Путеводитель почвенной экскурсии по маршруту Москва — Херсон, «Колос», 1964.
20. Румянцева Т. И. Магнитная восприимчивость почв Удмуртской АССР. Автореф. дис. М., 1971.
21. Свешников Г. Б. О ферромагнитных свойствах минералов. Вестн. ЛГУ, 1950, № 7.
22. Семенов В. С., Пахотнова В. И. Магнитные свойства некоторых почв Сибири. Изв. высш. уч. завед., физика, 1961, № 1.
23. Худяков А. И. Агрофизическая и мелиоративная характеристика основных типов почв Магаданской области. Автореф. дис. Москва, 1972.
24. Le Borgne E. Susceptibilite magnetique anormale du sol super ficiel. Ann. geophys., v. 11, № 4, 1955.
25. Le Borgne E. The influence of iron on the magnetic properties of the soil and on those of schists and granite. Ann. geophys., v. 16, № 1960.
26. Le Borgne E. The relationship between the magnetic susceptibility and history of soils. Problem in Palaeoclimatology, London — New York — Sydney, 1963.
27. Neumeister H., Peshel G. Die magnetische Suszeptibilitat von Boden und pleistozanen sedimenten in der Umgebung Leipzigs. Albrecht — Thaer — Arch., Bd. 12, H., № 12, 1968.
28. Vernon R. H. Magnetic susceptibility as a measure of total Fe plus Mn in ferromagnesian silicates. Amer. Mineralogist., v. 46, 1961.

Кафедра физики и мелиорации  
почв Биолого-почвенного  
факультета МГУ

Дата поступления  
22.III.1972 г.

A. F. VADYUNINA, V. F. BABANIN

### MAGNETIC SUSCEPTIBILITY OF SOME USSR SOILS

The magnetic susceptibility ( $\chi$ ) of the main soil types of the USSR has been studied. It has been shown that in automorphic soils  $\chi$  grows and becomes K times larger than that of the parent material during soil formation. K values change from 2 to 5—20 and are  $\approx 1$  in hydromorphic soils.  $\chi$  has definite a value for each soil type and may serve as an indicator for several elementary soil processes.