

УДК 631.

А. Ф. ВАДЮНИНА, Ю. А. СМИРНОВ, А. С. КЕРЖЕНЦЕВ

**МАГНИТНАЯ ВОСПРИИМЧИВОСТЬ НЕКОТОРЫХ ПОЧВ  
ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ**

Приводится описание измерений объемной и удельной магнитной восприимчивости основных почв Восточного Забайкалья. Доказано, что показатели объемной магнитной восприимчивости можно использовать для диагностики и картирования почв в полевых условиях, а глубокопрофильные кривые магнитной восприимчивости — как дополнительную информацию по истории формирования почвогрунтов в условиях многолетней мерзлоты.

В почвоведении за последние годы появились работы, посвященные изучению магнитных свойств почв [1, 12, 13]. Было установлено, что магнитная восприимчивость почв изменяется по генетическим горизонтам: в дерновых и иллювиальных горизонтах ее значения максимальные, в элювиальных оглеенных и почвообразующих породах — минимальные. Факторами, определяющими магнитную восприимчивость, являются окислительно-восстановительные и щелочно-кислотные условия, состав вторичных минералов и органического вещества. В автоморфных почвах (в широких пределах изменения рН) происходит образование сильномагнитных соединений [1].

Лабораторные исследования почв различных типов выявили изменение значений  $\kappa$  при почвообразовании; по ее величине легко выделяются типы, подтипы почв, а также осолодение, оглеение почв, усиление дернового и иллювиального процессов. Отношение  $\kappa_d$  гумусового горизонта к  $\kappa_0$  материнской породы ( $K$ ) можно использовать для количественной оценки изменения почвообразующей породы в ходе формирования почв. Изменение введенного коэффициента по почвенным зонам подобно отношению содержания гуминовых и фульвокислот в составе гумуса. Описанные результаты были получены в лаборатории для воздушно-сухой почвы, растертой и просеянной через сито с диаметром отверстий 1 мм. Полевые измерения магнитной восприимчивости почв проведены не были. Все это дало основание для измерения  $\kappa$  в полевых условиях для диагностики почв и их пространственного распределения.

Полевые измерения магнитной восприимчивости для выделения почвенных типов и подтипов мы проводили в Ундино-Калгинском среднегорном округе Забайкальской провинции на Забайкальском мерзлотном стационаре Института агрохимии и почвоведения АН СССР (Читинская обл., Шелопугинский район).

Климат Забайкалья резко континентальный, с теплым летом и очень морозной, преимущественно безветренной зимой, большими годовыми амплитудами колебания температур воздуха (40—60°) и поверхности почвы (70—90°). Среднегодовое количество осадков изменяется в пределах 300—360 мм. Основная масса осадков выпадает в теплые месяцы. Неравномерность распределения атмосферных осадков по сезонам года с максимумом во второй половине июля-августа, свойственная Забайкалью, ведет к значительному переувлажнению почв во второй половине лета. При малоснежной зиме (мощность снежного покрова 10—20 см) и низкой температуре в холодные месяцы —24, —31° (до —50°) характерная для региона быстрая смена летнего периода зимним приводит к

глубокому промерзанию почв и грунтов — до 3,0—3,5 м. Это создает большие запасы холода в почвенной толще [9].

Важнейшей чертой природы Забайкалья является распространение сплошной или островной вечной мерзлоты. Ее действие на генезис почв проявляется в повышении влажности и понижении температуры среды, в образовании морозобойных трещин, явлении криотурбации. Глубина залегания многолетнемерзлых пород зависит от рельефа, растительности, почвообразующих пород. При интенсивном промерзании грунты растрескиваются, образуя полигоны. Ширина и глубина трещин, величина полигонов зависят от амплитуды колебаний годовых температур, степени увлажнения, литологического состава пород.

На большей части исследуемой территории Забайкалья почвообразующие породы представлены маломощными элюво-делювиальными отложениями алевритов и алевролитов, реже биотитовых гранитов, содержащих их обломки и слабовыветрелый щебень. В межгорных котловинах и на участках речных долин почвообразование происходит на мощных рыхлых наносах. Мощность рыхлой толщи колеблется от 30—50 до 100—120 см, в Ундинской котловине наносы представлены делювиальными суглинками и глинами.

Для эксперимента был выбран сопряженный ряд почв, типичных для данного региона, расположенных на одном геоморфологическом профиле. На верхней покатой части склона располагаются мерзлотные дерново-таежные почвы под разнотравным березовым лесом, ниже идут мерзлотные лугово-лесные почвы под злаково-разнотравной луговой растительностью, затем они же под пашней; нижнюю часть склона занимают мерзлотные лугово-лесные ожелезненные почвы. Замыкают профиль аллювиально-луговые карбонатные почвы под луговой растительностью. Характеристика почв исследуемого региона детально освещена в работах [3, 5—7, 9, 11].

Изменение соединений железа в изученных почвах идет либо в направлении преимущественного образования окисных, окристаллизованных форм — магнетита или какого-либо окисла железа с высокой магнитной восприимчивостью, либо в направлении лимонитизации — образования гидроокисей в условиях избыточного увлажнения и высокой кислотности, что снижает магнитную восприимчивость. Кроме того, величина  $\kappa$  может определяться первичными минералами — магнетитом, титано-магнетитом и другими в исходных породах (андезитах, базальтах, трапах и др.).

Сильное и длительное переохлаждение почв зимой вызывает коагуляцию коллоидных форм железа, дегидратацию железистых минералов — переход гидроокисей в окиси. Низкие температуры, по-видимому, способствуют криогенной кристаллизации аморфных железистых веществ [10]. Железистые пленки на минеральных частицах защищают почвы от подзолообразования [9]. Таким образом, трансформация железа зимой идет в направлении перехода гидроокисей железа в окиси и кристаллизации их под влиянием низких температур, что повышает величину  $\kappa$ . В почвах Европейской части СССР магнитная восприимчивость обычно повышается с увеличением отношения углерода гуминовых кислот (Сгк) к углероду фульвокислот (Сфк). В почвах Забайкалья эта закономерность прослеживается не всегда. По данным Панковой [11], при высоком содержании гумуса в почвах Забайкалья в его составе преобладают фульвокислоты, гуминовые кислоты обладают высокой растворимостью и подвижностью. Как будет показано ниже, величина  $\kappa$  определяется в основном дренированностью, гидроморфизмом почв и криогенными процессами.

Магнитную восприимчивость почв измеряли с помощью прибора ИМВ-2 с точностью до  $-1 \cdot 10^{-6}$  CGSM в полевых и лабораторных условиях. В поле магнитную восприимчивость измеряли по стенкам разре-

зов, в 5—6 точках для каждой глубины. Чтобы выяснить степень изменения  $\kappa$  в пространстве и по почвенным горизонтам, была принята следующая схема: в центре квадрата со стороной, равной 10 м, находился почвенный разрез, а в вершинах — приколки глубиной 30 см. Измерения проводили как на стенках разреза, так и на четырех стенках каждой приколки. Между разрезами и квадратами были также заложены приколки глубиной 30 см, что обеспечивало более полную информацию о вариабельности значений  $\kappa$ .

В лабораторных исследованиях использовали образцы, отобранные из скважин глубиной 5—10 м. Образцы почвы, доведенной до воздушно-сухого состояния, растирали и просеивали через сито (1 мм). Затем измеряли объемную магнитную восприимчивость 100 мм<sup>3</sup> образца —  $\kappa_v$ , вычисляли удельный вес почвы и удельную магнитную восприимчивость  $\kappa$ .

Полевые измерения объемной магнитной восприимчивости  $\kappa_v$  (табл. 1, рис. 1) выявили максимальную  $\kappa_v$  мерзлотных дерново-таеж-

Таблица 1

Магнитная восприимчивость мерзлотных почв по данным полевых измерений  $\kappa_v \cdot 10^{-8}$  CGSM

Глубина, см	Мерзлотная дерново-таежная				Мерзлотная лугово-лесная									Адлювиальная лугово-карбованная, разр. II
					типичная, целина				типичная, пашня			ожелезнен-ная, целина		
	разр. 1	разр. 2	разр. 6	прикопка I	разр. 3	разр. 7	прикопка 2	прикопка 9	разр. 4	разр. 8	прикопка 10	разр. 5	прикопка II	
0—5	89	74	65	90	40	41	50	50	35	34	40	25	26	18
5—10	115	140	120	150	42	45	55	57	35	34	40	41	42	20
10—15	160	170	150	160	46	50	62	59	35	34	40	45	46	20
15—20	120	160	130	160	46	50	62	59	35	34	40	40	40	23
20—25	100	140	120	140	32	35	—	—	32	33	39	40	39	25
25—30	90	130	110	120	30	32	—	—	34	33	38	36	35	24
30—35	80	90	80	—	—	32	—	—	30	32	32	36	36	29
35—40	70	90	80	—	29	32	—	—	32	30	30	28	30	28
40—45	60	72	75	—	30	29	—	—	32	32	—	23	22	30
45—50	40	32	38	—	30	30	—	—	34	35	—	20	20	30
50—60	30	32	32	—	32	31	—	—	30	31	—	15	14	30
60—70	30	30	34	—	35	32	—	—	32	32	—	14	14	33
70—80	28	27	29	—	36	32	—	—	33	33	—	12	—	25
80—90	25	25	24	—	30	30	—	—	34	33	—	15	—	24
90—100	26	24	24	—	32	30	—	—	35	32	—	10	—	24
100—110	24	25	26	—	39	33	—	—	38	38	—	10	—	24
110—120	25	26	25	—	38	34	—	—	32	33	—	10	—	24
120—130	23	25	24	—	30	32	—	—	32	33	—	—	—	—
$A = \frac{\kappa_{10-15}}{\kappa_{0-5}}$	1,8	2,3	2,3	1,8	1,2	1,2	1,2	1,2	1,0	1,0	1,0	1,8	1,8	1,8

ных почв в гор. А на глубине 10—20 см (160—170 · 10<sup>-8</sup> CGSM). В мерзлотной лугово-лесной почве на этой же глубине  $\kappa_v$  равнялась только 45—60 ед. Следует отметить, что содержание гумуса в названных почвах колеблется в пределах 7—10% отношение Сгк : Сфк близко к 1. Реакция среды обычно нейтральная. Многолетнемерзлые грунты под мерзлотными дерново-таежными почвами залегают значительно глубже по сравнению с мерзлотными лугово-лесными почвами. Мерзлотные дерново-таежные почвы залегают на водораздельных участках и в верхней части склонов в условиях хорошего дренажа. Дренажу способствует и густая сеть морозобойных трещин. Высокую магнитную восприимчивость этих почв мы относим за счет их хорошей дренированности, реакции

среды и более низких температур зимой на высоких элементах рельефа [3] по сравнению с почвами межгорных падин.

Мерзлотные лугово-лесные почвы, по данным Ногиной [10], сформировались под лесом, луговость их проявляется в высоком содержании гумуса (10—12%). При распашке за несколько лет содержание гумуса резко уменьшается (до 6—8%), соответственно снижается и отношение  $S_{гк} : S_{фк}$  — с 1,0—1,4 до 0,9—1,0. Поскольку многолетнемерзлый слой (170—200 см) залегает неглубоко, профиль лугово-лесных почв в теплый период года насыщается почвенной влагой. Весной почва увлажняется за счет таяния снега и оттаивания почвы с высокой льдистостью. Почвы характеризуются слабокислой или кислой реакцией среды. Величина рН водной вытяжки изменяется от 5,0 до 6,8, солевой вытяжки — от 3,9 до 5,4 [10].

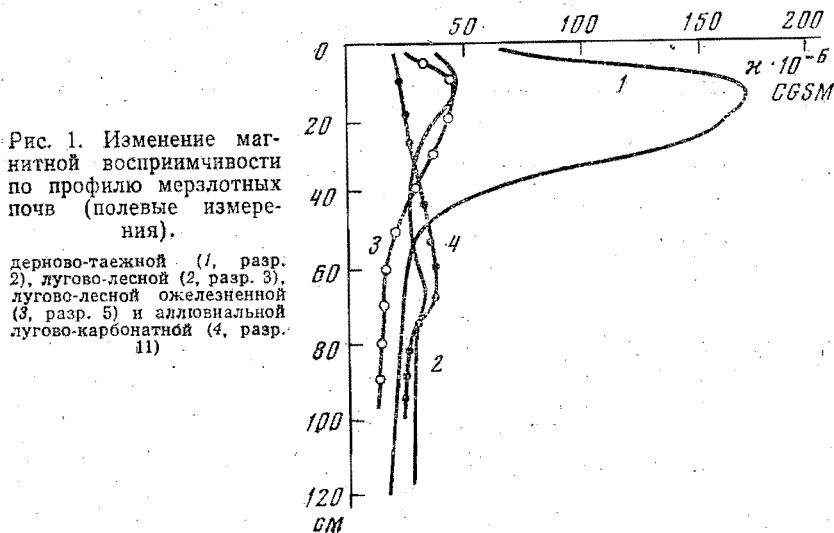


Рис. 1. Изменение магнитной восприимчивости по профилю мерзлотных почв (полевые измерения).

дерново-таежной (1, разр. 2), лугово-лесной (2, разр. 3), лугово-лесной ожелезненной (3, разр. 5) и аллювиальной лугово-карбонатной (4, разр. 11)

Кислая реакция и высокое увлажнение способствуют лимонитизации железистых соединений в почве, т. е. переходу окисных форм в гидроокисные, что влечет за собой снижение магнитной восприимчивости. В сухой период года процесс может идти в обратном направлении. Состав гумуса, а также гидроморфизм мерзлотных лугово-лесных почв обуславливают сравнительно невысокие значения  $\chi_v$  (табл. 1, рис. 1). Некоторое увеличение  $\chi_v$  на глубине 105 см, по-видимому, связано с иллювинованием высокодисперсного материала над многолетним мерзлым слоем по трещинам.

Мерзлотная лугово-лесная ожелезненная почва (разр. 5) занимает нижнюю часть профиля вдоль оврага. Появление бурой окраски связано с переходом закисных форм железа в окисные или гидроокисные. В поверхностном слое (0—5 см)  $\chi_v$  равна 25 ед., затем увеличивается до 45 ед. на глубине 10—15 см и уменьшается до 10 ед. в гор. С (115—150 см).

В аллювиальной лугово-карбонатной почве объемная магнитная восприимчивость увеличивается от 18—20 ед. в поверхностном слое (0—15 см) до максимальной величины 33 ед. на глубине 60—70 см, а затем остается постоянной (24 ед.) по профилю почвы (табл. 1, рис. 1).

Во всех почвах региона исследования  $\chi_v$  на глубине 10—20 см имеет максимальное значение  $\chi_m$  (за исключением аллювиальной лугово-карбонатной почвы), но для разных почв это различная величина, что дало нам основание использовать максимальное значение  $\chi_m$  в поверхностном слое для диагностики почв. Во всех измеренных точках профиля (табл. 1) по склону мерзлотных лугово-лесных почв величина  $\chi_m$  изменяется от

34 до 60 ед., закономерно уменьшаясь по мере уменьшения крутизны склона и, следовательно, увеличения степени увлажнения почвы. В распаханых мерзлотных лугово-лесных почвах не выделяется  $\kappa_m$ . По всему профилю пашни  $\kappa_v$  мало изменялось и составляло 34 ед., почти не меняясь с глубиной (табл. 1).

Сравнивая изменения  $\kappa_{0-5}$  в слое 0—5 см с экстремальными значениями  $\kappa_m$  в слое 10—20 см, мы установили, что эти величины тесно связаны между собой и изменяются в одном направлении. Поэтому был предложен коэффициент  $A = \frac{\kappa_{10-15}}{\kappa_{0-5}}$  (Ю. А. Смирнов), с помощью которого корректируется величина  $\kappa_m$  в зависимости от неоднородности по-

Таблица 2

Среднее арифметическое  $M$ , среднее квадратическое отклонение  $\sigma$ , доверительные границы  $V_{д.гр.} = M + \theta_p \sigma$  для полевых измерений магнитной восприимчивости  $\kappa_m \cdot 10^{-8}$  CGSM на глубине 10—15 см

Разрез, прикопка	$\kappa_m$	$\sigma$	$V_{д.гр.}$
Мерзлотная дерново-таежная			
Разр. 1	160	5	160±12
Разр. 2,8; кв. 1,2	168	5	168±12
Прикопка 1	160	6	162±14
Мерзлотная лугово-лесная			
Разр. 7; кв. 5	53	3	53±7
Разр. 3; кв. 3	45	4	45±10
Прикопка 2	60	4	60±10
Мерзлотная лугово-лесная (пашня)			
Разр. 4,8; кв. 4,6	35	1	35±2

верхностного слоя почвы. Величина  $A$  довольно стабильна для каждого типа почв (табл. 1). В мерзлотных дерново-таежных почвах  $A$  равно 1,8—2,3; в мерзлотных лугово-лесных почвах значение  $A$  постоянно по всей площади и равно 1,2 (для распаханного участка  $A$  равно 1; для мерзлотных лугово-лесных ожелезненных почв  $A$  равно 1,8).

Предложенный ранее коэффициент  $K = \kappa_A / \kappa_C$  равняется для мерзлотных дерново-таежных почв 5—6, для мерзлотных лугово-лесных — 1,2—1,4 (на пашне 1,08), для мерзлотных лугово-лесных ожелезненных — 4. Таким образом, наиболее интенсивная трансформация железистых минералов в направлении образования ферромагнитных форм протекает в мерзлотной дерново-таежной и мерзлотной лугово-лесной ожелезненной почвах.

Для максимальной магнитной восприимчивости  $\kappa_m$  на глубине 10—15 см всех изученных почв вычислены среднее арифметическое  $M$ , среднее квадратическое отклонение  $\sigma$ , доверительные границы  $V_{д.гр.} = M + \theta_p \sigma$ , которые вычислили при двусторонней гипотезе при  $v = n - 1$  ( $n = 10$ ) и вероятности  $P = 0,95$ ,  $\theta_p = 2,37$  [4]. Результаты представлены в табл. 2 и показывают вполне удовлетворительные значения  $\sigma$  и доверительных границ.

Лабораторные измерения удельной магнитной восприимчивости  $\kappa$  почвенных образцов из скважин также показали максимальные значения  $\kappa_m$  в гумусовом горизонте (150 ед.). В иллювиальном горизонте величина  $\kappa$  снижается до 45 ед. и в породе до глубины 5 м составляет 5—10 ед. (рис. 2, а),  $\kappa$  мерзлотной лугово-лесной почвы до глубины 5 м имеет невысокие значения — 15—50 ед. (рис. 2, б). В этой почве отмечено несколько максимумов значений  $\kappa$ : наибольшая величина зафиксирована в гор. А современной почвы на глубине 15 см (50 ед.), затем

(30—40 ед.) — на глубине до 1 м. Цвет образцов на глубинах, соответствующих максимумам, был темно-серым или черным. До глубины 2,8 м (кроме верхнего горизонта) максимальные значения  $\kappa$  тесно связаны с содержанием в почве ила (рис. 2, б) [3]. Следовательно, можно предположить, что изменение  $\kappa$  в профиле почвогрунта связано с вымыванием гумуса и ила по трещинам или с иллювиально-гумусовыми горизонтами, которые в этих почвах формируются над слоем многолетнемерзлых пород, глубина залегания которых изменяется со временем. На глубине 5,0—5,3 м наблюдаются экстремальные значения  $\kappa$  (200 ед.), грунт на

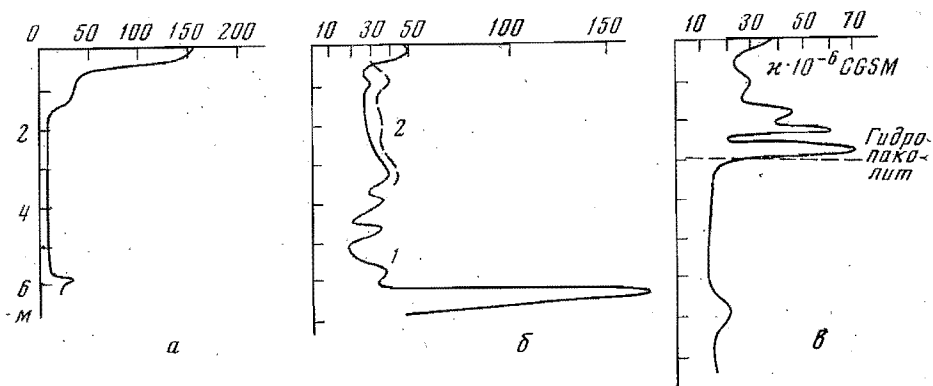


Рис. 2. Удельная магнитная восприимчивость (1) и содержание илистой фракции (2) в мерзлотных почвах. дерново-таежной (а, скв. 8), лугово-лесной (б, скв. 5) и лугово-лесной на гидролаколите (в, скв. 9)

этой глубине желтовато-розового цвета, что может свидетельствовать о наличии в нем ферромагнитного материала или о пожарах в прошлом [1].

Вблизи населенного пункта Дая на мерзлотной лугово-лесной почве сотрудниками стационара была заложена скв. 9 глубиной 10 м. Почва здесь сформирована на гидролаколите (рис. 2, в), который усиливает гидроморфизм современной почвы и ослабляет процесс образования ферромагнитных железистых соединений. В первом метре почвенного профиля, как показали измерения, величина  $\kappa$  колебалась в пределах 25—37 ед. Было также отмечено несколько максимумов значений  $\kappa$ , которые связаны, по-видимому, с криогенной трещиноватостью и заполнением трещин материалом из верхних горизонтов. Над лаколитом залегают два слоя с высокими значениями  $\kappa$  (65 и 70 ед.), которые соответствуют иллювиально-гумусовым горизонтам. Первый слой (65 ед.) сформировался в недалеком прошлом при более высоком залегании верхней границы гидролаколита. В настоящее время гидролаколит опустился вниз, близ его границы сформировался и продолжает формироваться современный иллювиальный горизонт, магнитная восприимчивость в котором достигает 70 ед.

Гидроморфные мерзлотные лугово-лесные и аллювиальные лугово-карбонатные почвы Забайкалья характеризуются более высокими значениями  $\kappa$  по сравнению с аналогичными почвами Дальнего Востока (Магаданская обл.) [1], что связано с различной степенью гумификации, качественным составом гумуса, характером превращения железистых соединений в этих почвах.

### Выводы

1. Измерения объемной магнитной восприимчивости почв Забайкалья показали, что разные почвы характеризуются различной величиной  $\kappa_v$ . Наибольшие ее значения в гор. А отмечены в мерзлотных дерново-таежных почвах (160—180 ед.). Магнитная восприимчивость мерзлотных

лугово-лесных почв значительно меньше, чем мерзлотных дерново-таежных, но максимальные ее значения обнаруживаются также в гор. А на глубине 10—15 см (46—62 ед.).

В аллювиальной лугово-карбонатной почве слой 0—15 см отличается минимальными значениями (18—20 ед.)  $\chi_v$  вследствие избыточного поверхностного увлажнения. Максимальные значения  $\chi_v$  на глубине 50—70 см связаны с увеличением глинистости почвы на этой глубине.

2. Наиболее резко различаются по величине  $\chi_v$  почвы средней части перегнойно-аккумулятивного гор. А, где установлены максимальные значения  $\chi_m$ . Изученные почвы хорошо диагностируются по величине  $\chi_m$ .

В целях диагностики предложен коэффициент  $A = \frac{\chi_{10-15}}{\chi_{0-5}}$ , который позволяет учесть влияние поверхностного фактора на значение  $\chi_m$ .

3. Магнитная восприимчивость изученных почв определяется характером почвообразования, дренированностью, степенью гидроморфизма территории и криогенными процессами.

4. Объемная магнитная восприимчивость почв Забайкалья может быть использована для диагностики и картирования почв в полевых условиях, а глубокопрофильные кривые  $\chi$  дают информацию об истории формирования почвогрунтов в условиях многолетней мерзлоты.

#### Литература

1. Вадюнина А. Ф., Бабанин В. Ф. Магнитная восприимчивость основных почвенных типов СССР. Почвоведение, 1972, № 10.
2. Вадюнина А. Ф., Худяков О. И. Агрофизическая и мелиоративная характеристика почв Магаданской области. В сб.: Почвенный криогенез. «Наука», 1974.
3. Димо В. Н. Физические свойства и элементы теплового режима мерзлотных лугово-лесных почв. В сб.: Мерзлотные почвы и их режим. «Наука», 1964.
4. Дмитриев Е. А. Математическая статистика в почвоведении. Изд. МГУ, 1972.
5. Керженцев А. С. Своеобразие криогенных процессов в криогенных почвах. Матер. Всесоюз. конф. «Почвенный криогенез и мелиорация мерзлотных и холодных почв». «Наука», 1975.
6. Киссис Т. Я. Водный режим пахотных мерзлотных лесостепных почв. «Наука», 1969.
7. Макеев О. В. Дерновые таежные почвы юга Средней Сибири. Улан-Удэ, 1959.
8. Макеев О. В., Керженцев А. С. Особенности режима тепла и влаги в мерзлотных и холодных почвах Ундино-Даинской депрессии. Матер. Всесоюз. конф. «Почвенный криогенез и мелиорация мерзлотных и холодных почв». «Наука», 1975.
9. Ногина Н. А. Почвы Забайкалья. «Наука», 1964.
10. Ногина Н. А., Лебедева И. И., Шурыгина Е. А. К вопросу о влиянии низких температур на растворимость и подвижность несаликатных форм железа. Почвоведение, 1968, № 12.
11. Панкова Н. А. Природа органического вещества некоторых почв Забайкалья. В сб.: Микроорганизмы и органическое вещество почв. Изд. АН СССР, 1961.
12. Румянцева Т. И. Магнитная восприимчивость почв Удмуртской АССР. Автореф. дис. Изд. МГУ, 1971.
13. Le Borgne E. Sur les proprietes magnetiques des soil et leurs interpretations pedologiques Intern. Congr. Soil. Sci., 5, v. z., 1954.

Московский государственный  
университет  
Институт агрохимии  
и почвоведения АН СССР

Дата поступления  
14.V.1975 г.

A. F. VADYUNINA, Yu. A. SMIRNOV, A. S. KERZHENTSEV

#### MAGNETIC SUSCEPTIBILITY OF SOME SOILS IN EASTERN TRANSBAIKAL AREA

A description of measuring the volume and psecivic magnetic susceptibility of the main soils in Eastern Transbaikal area is presented. It has been proved that the volume magnetic susceptibility may be used for diagnostic of soils under field conditions and the deep-profile curves of the magnetic susceptibility may serve as additional information of the history of soil formation under permafrost conditions.