

МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ СОСТАВ И МИКРОСТРОЕНИЕ ПОЧВ АККУМУЛЯТИВНО-ДЕНУДАЦИОННОГО ЛАНДШАФТА СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЛЕСОСТЕПИ И СНОСИМОГО ПРИ ЭРОЗИИ МАТЕРИАЛА

Н.П. Чижикова, М.П. Лебедева (Верба), М.А. Лебедев

Почвенный институт им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии

Распределение глинистых минералов фракции менее 1 мкм, выделенных из агрочерноземов типичных, выщелоченных, оподзоленных, зависит от типовой принадлежности почв, литологии почвообразующих пород и от рельефа. Илистая фракция агрочерноземов, развитых на четвертичном лёссовидном тяжелом суглинке, состоит из смектитовой фазы, представленной сложными неупорядоченными слюда-смектитовыми образованиями, гидрослюды ди-триоктаэдрического типа, каолинита, хлорита. Агрочерноземы, формирующиеся на отложениях, в составе которых участвует элювий пород неогенового возраста, содержат смектитовую фазу, представленную собственно монтмориллонитом и бейделитом с примесью клиноптиллолитом. Сносимый при эрозии материал представлен агрегатами округлой формы, строение которых установлено при помощи микроморфологического анализа. В составе илестой фракции, выделенной из этого материала, доминирует слюда-смектитовое образование. Сделан вывод о сносе наиболее ценного для плодородия агрегированного материала – продукта взаимодействия смектитовой фазы с органическим веществом.

Ключевые слова: эрозия, агрочернозем, минералогический состав, микростроение почв, смектитовая фаза, агрегаты.

К настоящему времени собран обширный материал о различных видах эрозионных процессов, их негативном влиянии на почвы и плодородие (Соболев, 1948; Каштанов, Заславский, 1984; Кузнецов, Глазунов, 1996; Путилин, 1998; 1999). Установлено, что наиболее тесные корреляционные связи существуют между эрозионной стойкостью, содержанием гумуса, глинистых частиц и структурностью почв (Мирицхулава, 1970). Ведущим фактором пространственного и временного развития овражной эрозии является деятельность человека, прежде всего земледельческая (Рысин, 1999).

Ежегодный смыв почвы в Центрально-Черноземной области в результате нерегулированного склонового стока достигал 4,5 м³/га по данным И.Д. Брауде (1965) и от 1 до 4,5 м³/га по данным И.П. Сухарева (1976).

В Курской обл., где расположены объекты наших исследований, смыв почв и потери питательных веществ при эрозии изучались многими исследова-

вателями (Грин, 1963; Чернышев, 1968; Явтушенко, 1967; Черемисинов, 1968; Сухарев, 1976; Гусаров, 1981; 1987). По данным В.Е. Явтушенко (1967), на среднеэродированном типичном черноземе Курской обл. при смыве 4,6 т/га почвы под действием водной эрозии теряется 295 кг/га гумуса, 0,54 кг/га подвижного фосфора и 0,98 кг/га калия. Е.Н. Чернышевым (1968) установлено, что на зяби, вспаханной поперек склона, при смыве почвы 4 т/га из мощного чернозема теряется 255 кг/га гумуса, 63,3 кг/га кальция, 13,2 кг/га магния, 75,6 кг/га калия и 12,0 кг/га фосфора.

Как установлено В.Г. Гусаровым (1987), значительные потери гумуса, количество которого колебалось от 57 до 108 кг/га и 63 – 135 кг/га, зависят от интенсивности эрозии и вида противозащитной обработки зяби. Наибольший смыв почв наблюдался на средних и нижних частях склона и по всей его длине. Последнее объясняется более высокими скоростями стекания воды и меньшей противозащитной устойчивостью смытых почв по сравнению с несмытыми.

По данным Г.А. Черемисинова (1968), плоскостной смыв значительно ухудшает плодородие почвы за счет уменьшения мощности пахотного горизонта и выноса из него илестой фракции.

При всей комплексности и разносторонности подходов изучения эрозионных процессов в литературе отсутствуют материалы исследований минералогического состава тонкодисперсной части сносимого материала и его микростроения. Чтобы восполнить этот пробел, нами проведены исследования минералогического состава фракции менее 1 мкм сносимого материала, его микростроения, а также минералогического состава почв, сформированных в пределах территории, на которой поставлены опыты по сбору сносимого материала.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектами наших исследований являются образцы почв и сносимого при эрозии материала, собранные на территории аккумулятивно-денудационного ландшафта на севере Курской обл. в Фатежском р-не (междуречье правых притоков р. Сейм, рек Большая Курица и Тускарь).

Почвенный покров исследуемой территории представлен сложной эрозионно-денудационной структурой, состоящей из почвенных комбинаций-сочетаний, в составе которых диагностированы агрочерноземы глинисто-иллювиальные, типичные и оподзоленные (Классификация и диагностика почв России, 2004). По Классификации и диагностике почв СССР (1977) это – черноземы пахотные, типичные тяжелосуглинистые, среднемощные, среднегумусовые на лёссовидных суглинках, а также черноземы пахотные, выщелоченные и оподзоленные. На склонах крутизной от 2°–3° до 5° юго-западной экспозиции диагностированы черноземы разной степени смывости.

На таком сложном, но типичном для лесостепи России почвенном покрове был заложен опытный участок. Опыты проводили на склоне юго-западной экспозиции крутизной от 0° до 6° и длиной до 350–370 м в апреле. Сносимый материал собирался с двух стоковых площадок. Одна из них площадью до 1 га располагалась по всей длине склона от водораздела до подножья. Сток талых вод и смыв почвы учитывался со всей делянки. Рядом с ней находилась аналогичная площадка, но разделенная на две части по крутизне склона: верхняя с почвами несмытыми или слабосмытыми, нижняя с почвами средне- и сильносмытыми. Несмытые или слабосмытые почвы занимают приводораздельную и верхнюю часть склона с уклоном от 2,5° до 3°. Средне- и сильносмытые почвы расположены в срединной и нижней частях склона с уклоном от 3° до 6°. Анализировались фракции менее 1 мкм, выделенные из генетических горизонтов перечисленных выше почв, а также сносимый с них материал. Фракции выделены по методике Н.И. Горбунова (1963).

Минералогический состав фракций этой размерности определялся рентген-дифрактометрически на универсальном рентген-дифрактометре фирмы Карл Цейсс, Йена (Германия).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Анализ проведенных исследований минералогического состава фракции менее 1 мкм почв, расположение которых представлено на схеме (рис. 1), позволяет разделить его на две резко различающиеся ассоциации, обусловленные генезисом отложений, на которых сформировались почвы. Итак, агрочерноземы, профили которых сформировались в пределах лёссовидных отложений, характеризуются преобладанием двух фаз: смектитовой и гидрослюдистой, соотношение которых меняется в пределах профилей. Смектитовая фаза представлена сложными, неупорядоченными смешанослойными слюда-смектитовыми образованиями двух типов и хлорит-смектитами. Гидрослюдистая фаза представлена ди-триоктаэдрическими типами. Количество таких глинистых минералов, как хлорит и каолинит в сумме не превышает 20%, и вклад каждого из этих минералов также меняется в зависимости от генетического горизонта. Сопровождает слоистые силикаты тонкодисперсный кварц.

Анализ минералов фракций менее 1 мкм, выделенных из отложений мелового периода и его элювии, свидетельствует о резком преобладании смектитовой фазы, в данном случае представленной индивидуальным смектитом и минералом группы цеолитов – клиноптиллолитом.

Просмотрим изменение минералогического состава фракций менее 1 мкм, выделенных из основных генетических горизонтов исследуемых почв, почвообразующих пород и сносимого при эрозии материала.

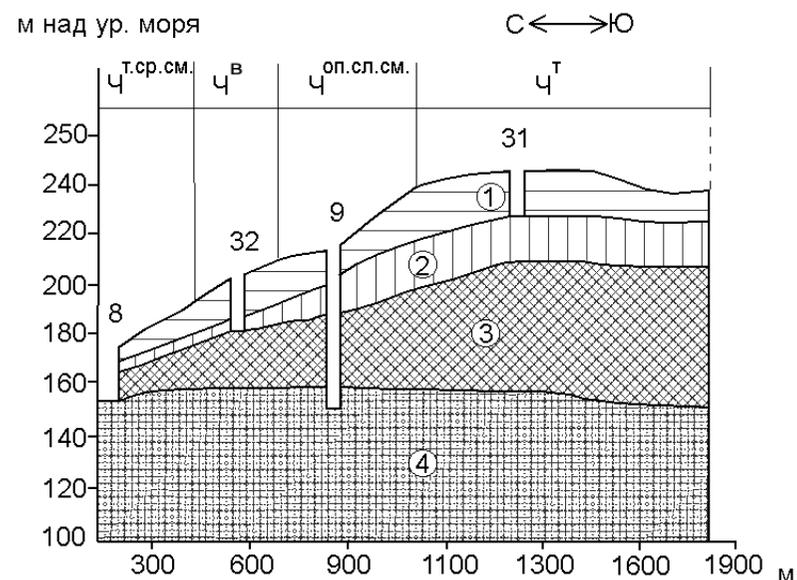


Рис. 1. Схема геолого-геоморфологического строения склона в северной лесостепи (Курская обл.): 1 – лёссовидный тяжелый суглинок; 2 – лёссовидный средний суглинок; 3 – элювий отложений мелового периода; 4 – отложения мелового периода; 8, 9, 31, 32 – номера почвенных профилей.

Профиль глинистого материала *агрочернозема типичного* тяжелосуглинистого на лёссовидном суглинке (разр. 31), заложенный на водоразделе характеризуется относительно равномерным распределением минеральных фаз в пределах верхней двухметровой толщи (табл. 1). Содержание смектитовой фазы, представленной сложными неупорядоченными слюда-смектитами с низким содержанием (менее 50%) и высоким (более 50%) смектитовых пакетов, а также хлорит-смектитов, колеблется от 47 до 49%. Ниже при подстиляции тяжелого суглинка средним, количество смектита увеличивается до 57%. Содержание гидрослюды минимальное – 31%.

Профиль *агрочернозема выщелоченного* (разр. 32) характеризуется более существенной дифференциацией минеральных компонентов. Верхний горизонт содержит всего 25% смектитовой фазы, в которой большую часть составляют слюда-смектиты с низким содержанием смектитовых пакетов. Количество гидрослюды возрастает до 57%. Вниз по профилю отмечается постепенное увеличение смектитовой фазы и снижение до 24% гидрослюдистой.

Таблица 1. Соотношение основных минеральных фаз фракций менее 1 мкм черноземов северной части лесостепи Средне-Русской возвышенности

Горизонт	Глубина, см	Основные минеральные формы		
		каолинит	гидрослюды	сметтит
Агрочернозем типичный тяжелосуглинистый на лёссовидном суглинке (разр. 31)				
A1	0–10	12	41	47
A`1	50–60	12	41	47
AB	80–90	14	37	49
B/C	130–140	10	41	49
C	250–260	12	31	57
Агрочернозем выщелоченный тяжелосуглинистый на лёссовидном суглинке (разр. 32)				
A1	0–10	18	57	25
A`1	50–60	17	42	41
AB	90–100	10	36	54
C	250–260	9	24	67
Агрочернозем оподзоленный тяжелосуглинистый на лёссовидном суглинке слабосмытый (разр. 9)				
A пах	0–10	12	51	37
A2	35–45	18	63	19
A/B	60–70	18	46	36
B	90–100	19	39	42
BC	150–160	12	27	61
C	200	18	238	44
D1	300	22	33	45
D2	400	17	41	42
	540	14	26	60
D3	640	13	22	65
	800	11	24	65
	900	Нет	29	71
Агрочернозем типичный тяжелосуглинистый на лёссовидном суглинке, подстилаемый мелом (разр. 8)				
A пах	0–20	11	35	54
A/B	35–45	13	29	58
B	60–75	20	26	54
B/C–Д	100–110	12	13	75
Д извест	140–150	Нет	8	92

Профиль глинистого материала *агрочернозема оподзоленного* слабосмытого (разр. 32) сформировался в пределах тяжелого лёссовидного суглинка, который на глубине более 2 м подстилается средним суглинком. Для минералогического состава профиля оподзоленного агрочернозема характерны существенные колебания содержания смектитовой фазы, представленной слюда-смектитами (19–61%). Количество ди-триоктаэдрических гидрослюд изменяется от 27 до 63% с максимумом в верхней части профиля. Сумма каолинита и хлорита составляет 13–19%. Отмечается резкое снижение до 19% содержания смектитовой фазы в оподзоленном горизонте. Этот горизонт морфологически четко выделяется по наличию кремнеземистой присыпки. В илистой фракции, выделенной из этого горизонта, резко увеличивается содержание гидрослюд диоктаэдрического типа и отмечено повышенное содержание тонкодисперсного кварца. В данном случае мы наблюдаем картину, типичную для горизонтов с элементами оподзоливания, а именно – снижение количества смектитовой фазы, увеличение содержания гидрослюд с доминированием слабывветривающихся диоктаэдрических структур, увеличение доли каолинита в сумме каолинит+хлорит, относительное накопление тонкодисперсного кварца. В той части профиля агрочернозема, которая расположена в пределах среднего суглинка, увеличено количество смектитовой фазы (42–61%), а также – хлорита.

Минералогический состав элювия отложений мелового возраста (мергельно-меловая толща) представлен ассоциацией, в которой преобладает смектитовая фаза, состоящая из индивидуального смектита. Анализ кристаллохимии подобного минерала, доминирующего в отложениях данного возраста, неоднократно освещен в литературе (Градусов и др., 1971; Дриц, Градусов, 1972; Чижикова, Дайнеко, 1978). Установлено, что смектитовая фаза представляет собой тонкую механическую смесь из собственно монтмориллонита и бейделлита при преобладании последнего.

Анализ илистой фракции, выделенной из мергеля, отобранного при бурении до глубины 9 м, свидетельствует о резком преобладании бейделлита (71%) и примеси удлиненно пластинчатых гидрослюд (29%), наблюдаемых при исследовании подобных отложений при помощи электронного микроскопа (Чижикова, Дайнеко, 1978). Диагностирован также минерал группы цеолитов – клиноптиллолит.

Профиль глинистого материала *агрочернозема типичного среднесмытого* тяжелосуглинистого существенно отличается от рассмотренных выше профилей высоким (54%) содержанием смектитовой фазы в пахотном горизонте (в агрочерноземе типичном водораздела 47%, агрочерноземе выщелоченном 25% и агрочерноземе оподзоленном 37%). Наблюдаемое явление обусловлено сносом верхней части профиля агрочернозема и вовлечением в пахотный слой более смектитовых нижележащих горизонтов.

Далее по профилю наблюдаем смену отложений: лёссовидный суглинок, в котором преобладают смешанослойные образования, сменяется отложениями мелового периода, в котором наблюдается резкое увеличение количества смектита, изменение его кристаллохимических параметров и зафиксирована небольшая примесь гидрослюды и клиноптиллолита.

В приведенном выше материале выявлена четкая зависимость соотношения основных минеральных фаз, их кристаллохимии от типовых различий агрочерноземов, положения почв в рельефе и от глубины залегания отложений разного генезиса.

Далее перейдем к анализу материала, снесенного при весеннем снеготаении и собранного со стоковых площадок в апреле.

Минералогический состав фракций менее 1 мкм, выделенной из наилка, представлен следующими компонентами: преобладают сложные неупорядоченные слюда-смектитовые образования с высоким содержанием смектитовых пакетов (50–59%), далее следуют гидрослюды (31–42%), каолинит в сумме с хлоритом (8–13%) (табл. 2), т.е. фиксируется ассоциация минералов, аналогичная таковой в агрочерноземах, развитых на лёссовидных отложениях.

Если состав минералов сносимого материала, взятого в разное время и с разных площадок, объединить в одну выборку, то согласно критерию Уилко-Шапиро, полученное статистическое распределение каждого из анализируемых компонентов (смектита, гидрослюды, каолинита с хлоритом) допустимо считать нормальным. Время и место отбора не повлияли на состав глинистых минералов сносимого со склонов материала.

В илистой фракции всех образцов смытого материала фиксируется более высокое количество смектитовой фазы, чем в пахотных горизонтах любого из анализируемых агрочерноземов. Среднее статистическое значение составляет 55%. Только в пахотном горизонте агрочернозема среднесмытого содержание смектитовой фазы достигает среднего арифметического значения этого показателя в снесенном материале. Последнее обусловлено более высоким содержанием этого минерала в пахотном горизонте, что, в свою очередь, связано с резким доминированием смектитовой фазы по всему профилю, в том числе и в поверхностном горизонте, за счет близкого положения отложений, в которых доминирует смектит (71%).

Необходимо отметить еще одну особенность сносимого материала. Несмотря на существенные различия содержание минералов фракций менее 1 мкм, в верхних горизонтах генетически различных черноземов (типичного, выщелоченного, оподзоленного) в илистом веществе сносимого материала наблюдается высокие значения содержания смектитовой фазы. Последнее свидетельствует об избирательной способности минералов к взаимодействию с органической частью почв. В наибольшей ме-

ре агрегации способствует смектитовый компонент илистой фракции, как самый дисперсный и обладающий наибольшей способностью к сорбции.

Сравнительный анализ содержания основных минеральных фаз фракций менее 1 мкм сносимого вещества с разных стоковых площадок показал отсутствие существенных различий в их составе. Наибольший смыв почв, наблюдаемый на средних и нижних частях склона, В.Г. Гусаров (1987) объяснял более высокими скоростями стекания воды и меньшей противоэрозийной устойчивостью смытых почв по сравнению с несмытыми. Это относится к общей массе сносимого материала, а не к его качественному составу, который довольно близок для всех вариантов опыта.

Таблица 2. Соотношение основных минеральных фаз фракции менее 1 мкм сносимого со склонов вещества

Время забора сносимого вещества		Основные минеральные фазы		
число, месяц	час	каолинит+хлорит	гидрослюда	смектит
I стоковая площадка				
8/IV	14:00	8	41	51
	16:00	8	37	55
	18:00	9	42	49
9/IV	10:00	7	30	63
	11:00	8	40	52
	12:00	7	40	53
	14:00	8	40	52
II стоковая площадка				
Верхняя часть склона				
8/IV	13:00	8	42	50
9/IV	11:00	13	31	56
	14:00	10	31	59
Средняя часть склона				
8/IV	18:00	5	42	53
9/IV	11:00	8	38	54
	16:00	7	38	55
	17:00	7	34	59
	14:00	10	34	56
Статистические показатели				
Число определений, (<i>n</i>)		15	15	15
Среднее арифметическое (μ)		8	38	55
Среднее квадратичное отклонение (<i>S</i>)		2	4	4
Коэффициент вариации (<i>V</i>), %		27	12	7

Раскрыть причину такой однотипности минералогии илистого вещества позволит анализ микростроения сносимого материала, который впервые в литературе отображает форму частиц, сносимых водотоками.

Микроморфологический анализ агрегатов, сносимых со стоковых площадок, показывает, что они имеют в основном округлую и овальную формы с размерами от 0,2 до 1,6 мм в диаметре (рис. 2). Агрегаты представляют собой экскременты почвенной мезофауны, главным образом дождевых червей, которые в целинных типичных черноземах Курской обл. образуют губчатое микростроение верхнего гумусового горизонта (Ярилова, 1969). Более мелкие комковатые глинисто-гумусовые агрегаты (0,05–0,1 мм), которые создают порошистость гумусового горизонта черноземов, представлены разрушенными копролитами. В смытых копролитах частицы мелкопылеватой размерности имеют в основном кварц-полевошпатовый состав. Они довольно равномерно распределены в плазме, которая представлена в основном изотропными черновато-бурыми глинисто-гумусовыми хлопьями и сгустками. Анализ микростроения 40 штук копролитов в поле зрения шлифа, показал, что только в четырех из них плазма имеет глинистый состав, остальные обогащены органическим веществом,

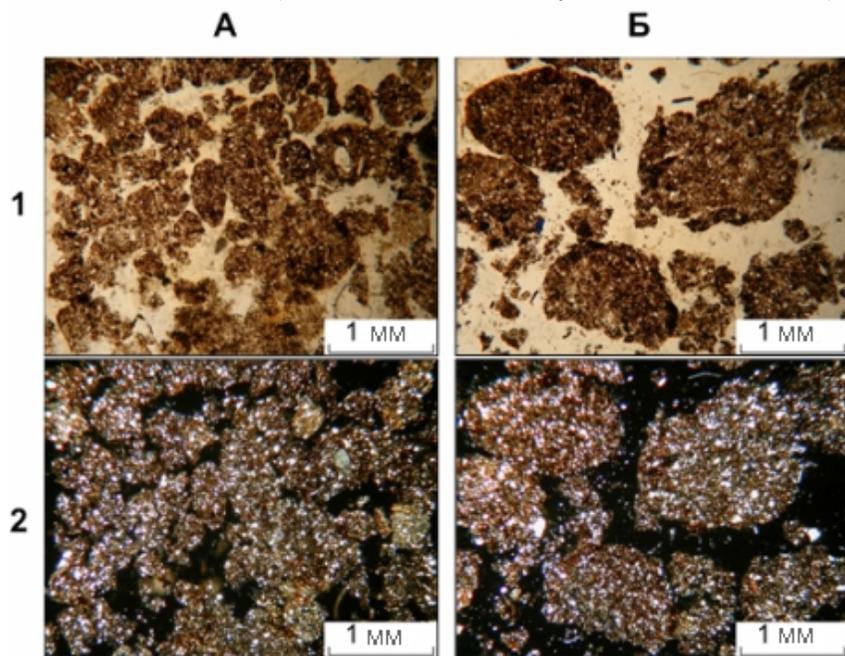


Рис. 2. Микростроение материала, сносимого со стоковых площадок (Фатежский р-н Курской обл.). А – мелкие агрегаты, Б – крупные агрегаты. 1 – N II; 2 – N ×.

которое образует тесные комплексы с глинистыми минералами. Практически все агрегаты имеют внутриведную тонкую пористость. Итак, особенности микростроения материала, сносимого со стоковых площадок, позволяют заключить, что смываются наиболее легкие агрегаты – копролиты, обогащенные глинисто-органическим веществом.

Весенний паводок привел к выносу из пахотных слоев почв материала, минералогический состав которого предопределяет наиболее ценные агрофизические свойства почв и их плодородие, поскольку сносится сильно-агрегированная почвенная масса – продукт взаимодействия наиболее реакционноспособной смектитовой фазы с гуматами кальция. Таким образом, водная эрозия приводит к дифференциации глинистых минералов в пространстве, обедняя пахотные слои лесостепных почв смектитовой фазой и обогащая ею днища ложбин и балок. Часть материала выносится за пределы территории, попадая в речные воды, затем откладывается в виде плодородного аллювиального наилка в поймах рек.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Минералогический состав фракции менее 1 мкм агрочерноземов северной части лесостепи зависит от типа отложений, служащих почвообразующим материалом, и от положения почв в рельефе. Соотношение основных минеральных фаз и кристаллохимия минералов в пределах профилей почв обусловлены типовыми и подтиповыми различиями агрочерноземов.

Минералогический состав фракций менее 1 мкм материала, сносимого при эрозии, представлен сложными неупорядоченными смешанослойными образованиями слюда-смектитового типа с высоким содержанием смектитовых пакетов, а также гидрослюдами ди-триоктаэдрического типа, каолинитом, хлоритом. Такой состав аналогичен составу илистой фракции агрочерноземов, подвергнутых эрозионным процессам. Однако количество набухающей фазы в сносимом материале превышает таковое в современных пахотных горизонтах почв, что свидетельствует об избирательном взаимодействии минеральных и органических частей почв: смешанослойные образования слюда-смектитового типа с высоким содержанием смектитовых пакетов наиболее активно реагируют с органической частью почв. Микроморфологический анализ показал, что сносимый материал состоит из наиболее легких гумусированных агрегатов биогенного генезиса.

Таким образом, в период весеннего стока выносятся агрономически и агрохимически ценный материал, представленный продуктами взаимодействия гуматов кальция со смектитовым компонентом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Брауде И.Д. Эрозия почв, засуха и борьба с ней в ЦЧО. М.: Наука, 1965. С. 140.

Градусов Б.П., Чижикова Н.П., Дайнеко Е.К. Глинистые минералы и целлит фракции менее 1 мкм почв Центрально-Черноземного заповедника // Тр. Центрально-Черноземного заповедника им. В.В. Алехина. М., 1971. С. 138–146.

Гусаров В.Г. Смыв почвы на разных частях склона и влияние на него напорельефа // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. Вып. XXV. 1981. С. 47–53.

Гусаров В.Г. Потери питательных веществ при различных почвозащитных обработках зяби // Бюл. ВИУА им. Д.М. Прянишникова. № 81. 1987. С. 49–51.

Грин А.М. Весенний сток и смыв почвы с различных угодий Курской области // Вопросы гидрологии Успенского водохранилища и его водосбора. М.–Л., 1963. С. 275–283.

Горбунов Н.И. Высокодисперсные минералы и методы их изучения. М.: Изд-во АН СССР, 1963.

Дриц В.А., Градусов Б.П. Изучение монтмориллонитовых минералов (смектитов) с помощью дифракции рентгеновских лучей // Сырьевая база бентонитов СССР и их использование в народном хозяйстве. М.: Недра, 1972.

Каштанов А.Н., Заславский Н.Н. Почвоохранное земледелие. М.: Россельхозиздат, 1984. С. 462.

Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. С. 223.

Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. С. 342.

Кузнецов М.С., Глазунов Г.П. Эрозия и охрана почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1996. С. 335.

Мирихулава Ц.Е. Инженерные методы расчета и прогноза водной эрозии. М.: Колос, 1970. С. 240.

Путилин А.Ф. Склоновый сток талых вод на пахотных почвах лесостепи Западной Сибири // Почвоведение. 1998. №6. С. 719–726.

Путилин А.Ф. Водная эрозия почв в лесостепной зоне юго-востока Западной Сибири. Автореф. дис. ... д. б. н. М., 1999. С. 56.

Рысин И.И. Пространственные и временные закономерности развития овражной эрозии на востоке Русской равнины. Автореф. дис. ... д. геогр. н. М., 1999. С. 53.

Соболев С.С. Развитие эрозионных процессов на территории европейской части СССР и борьба с ними. М.–Л., 1948. Т.1 С. 307. М., 1949. Т.2. С. 248.

Сухарев И.П. Регулирование и использование местного стока. М.: Колос, 1976. С. 272.

Черемисинов Г.А. Эродированные почвы и их продуктивное использование. М.: Колос, 1968. С. 215.

Чернышев Е.П. Особенности эрозии и выноса питательных веществ Центральной лесостепи // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1968. №1. С. 118–125.

Чижикова Н.П., Дайнеко Е.К. Распределение глинистых минералов в фракции менее 1 мкм по профилю черноземов Ямской степи // Почвоведение. 1978. № 2. С. 78–88.

Явтушенко В.Е. Запасы питательных веществ и потери их из черноземных почв под влиянием водной эрозии // Науч. тр. Курской с.-х. опытной станции. 1967. Т. 1. С. 137–147.

Ярилова Е.А. основные черты микростроения черноземов и лугово-черноземных почв Курской и Орловской областей. Науч. тр. Курск, 1969. Т. 3. С. 246–262.