

**МИНЕРАЛЫ РАЗНЫХ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИХ ФРАКЦИЙ  
КАК ИСТОЧНИКИ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ РАСТЕНИЙ  
(НА ПРИМЕРЕ АГРОСЕРЫХ ТЯЖЕЛОСУГЛИНИСТЫХ ПОЧВ  
ВЛАДИМИРСКОГО ОПОЛЯ)**

*Н. П. Чижикова<sup>1</sup>, Д. В. Карпова<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН

<sup>2</sup> Факультет почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова

Дана оценка резервов элементов питания растений агросерых тяжело-суглинистых почв Владимирского ополя на основе дифференцированного анализа содержания валовых количеств элементов, количества минералов и их кристаллохимии во фракциях ила, тонкой и средней пыли. Определено содержание элементов по гранулометрическим фракциям и диагностированы носители этих элементов, что дало основание заключить, что наибольшее количество элементов питания сосредоточено во фракциях ила и тонкой пыли. Агросерые тяжело-суглинистые почвы обладают высокими общими запасами калия, в том числе значительная его часть составляет ближний резерв. Непосредственный резерв свидетельствует о средней обеспеченности почв подвижным калием. Следовательно, культуры, требовательные к повышенному содержанию калия, испытывают потребность в калийных удобрениях.

Знание минералогического состава почв и кристаллохимии главных породообразующих минералов необходимо для изучения величины и природы потенциального и эффективного плодородия. Они характеризуют общие запасы элементов и указывают на возможность их мобилизации при потреблении растительными сообществами.

В настоящей работе предпринята попытка оценить резервы элементов питания растений агросерых тяжело-суглинистых почв Владимирского ополя на основе дифференцированного анализа содержания ряда элементов и кристаллохимии минералов во фракциях размером менее 1, 1–5, 5–10 мкм.

Объектом исследования являются агросерые тяжело-суглинистые почвы, сформированные на лёссовидных суглинках и отобранные в траншее 1, подготовленной к III съезду Докучаевского общества почвоведов (Путеводитель ..., 2000). Траншея располагается в плакорных, хорошо дренируемых условиях (недалеко от оврага под названием Мжара), она пролегает с юга на север в южной наиболее высокой части территории.

По данным Путеводителя ... (2000) почвы катены характеризуются средне-, тяжело-суглинистым иловато-пылеватым составом верхней части профиля и легкоглинистым иловато-крупнопылеватым – нижней. Полученные данные по гранулометрическому составу исследуемых почв, опре-

деленным методом Н.И. Горбунова (1971), соответствуют тем закономерностям, которые были отмечены для показателей, полученных методом И.А. Качинского.

Характерной особенностью валового химического состава изучаемых агросерых тяжелосуглинистых почв (табл. 1) является отчетливо выраженная дифференциация профиля по содержанию оксидов кремния и железа с алюминием как результат почвообразования. В пахотном горизонте отмечается наибольшее количество оксида кремния как результат вовлечения элювиальной части естественных почв, а также минимальное содержание алюминия и железа. Обращает на себя внимание факт наибольшего количества оксида кальция и фосфора в пахотном горизонте, что, по нашему мнению, является результатом внесения мелиорантов и удобрений, т.е. откликом на техногенное воздействие.

**Таблица 1.** Валовой химический состав агросерых почв Владимирского ополья и выделенных из них фракций, %

Горизонт	Глубина, см	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>
Почва в целом													
А пах	0-10	73,94	11,18	3,90	1,44	0,76	2,57	0,90	0,18	0,13	0,02	0,13	0,01
В1	40-50	66,98	13,88	5,57	1,19	0,98	2,66	0,92	0,03	0,10	0,02	0,04	0,02
Вса	80-90	66,52	13,67	5,37	1,26	1,14	2,57	0,91	0,04	0,09	0,02	0,06	0,02
Сса	200-210	66,04	14,57	5,54	1,07	1,37	2,53	0,91	0,06	0,09	0,02	0,07	0,01
Фракция менее 1 мкм													
А пах	0-10	49,51	18,65	10,10	0,33	2,14	2,75	1,02	0,26	0,18	0,03	0,12	0,14
В1	40-50	50,62	19,05	11,10	0,22	2,12	2,75	1,00	0,09	0,11	0,03	0,05	0,04
Сса	200-210	51,20	18,20	10,38	0,45	11,98	2,64	0,95	0,01	0,12	0,04	0,06	0,04
Фракция 1–5 мкм													
А пах	0-10	67,54	13,16	5,58	0,69	1,04	3,31	1,09	0,08	0,23	0,02	0,11	0,04
В1	40-50	71,93	13,80	4,65	0,57	1,24	3,35	1,07	0,04	0,12	0,02	0,06	0,06
Сса	200-210	62,26	15,21	7,17	1,00	1,40	3,06	1,12	0,02	0,13	0,03	0,03	0,05
Фракция 5–10 мкм													
А пах	0-10	80,72	10,05	2,94	0,87	0,92	2,65	0,88	0,02	0,14	0,013	0,04	0,02
Сса	200-210	73,62	12,56	3,95	1,50	1,32	2,76	0,94	0,01	0,11	0,015	0,05	0,03
Фракция > 10 мкм													
А пах	0-10	81,49	8,49	2,39	0,98	0,61	2,29	0,81	0,01	0,08	0,011	0,04	0,03
Сса	200-210	73,82	7,85	2,59	1,65	0,63	1,97	0,74	0,01	0,05	0,015	0,08	0,01

В распределении валового калия не отмечено какой-либо дифференциации, что также, вероятно, связано с техногенными нагрузками. Количество магния увеличивается вниз по профилю. Оксид титана распределен равномерно. Наибольшее количество оксида марганца наблюдается в верхней части профиля.

Полученные нами данные по содержанию и распределению оксидов элементов по профилю аналогичны таковым, отмеченным в литературе (Рубцова, 1974; Дубровина, Градусов, 1993; Путеводитель ..., 2000, Иванов и др., 2000).

Содержание оксидов элементов в илстой фракции (<1 мкм) существенно отличается от такового почвы в целом. Резко снижено количество оксида кремния. Характер его распределения по профилю равномерный (49,5–51,2%). В то же время отмечается значительное увеличение содержания оксидов железа и алюминия (10,1–11,1%), (18,2–19,1%) соответственно. Как видно из данных табл. 1, их распределение носит также равномерный характер. По сравнению с почвой илстая фракция обогащена валовым магнием, что объясняется локализацией магниесодержащих минералов именно в этой фракции. Количество оксида кальция незначительно, что свидетельствует о небольших примесях кальцийсодержащих минералов. Оксид калия в иле немного превышает его количество в почве в целом.

Необходимо отметить, что содержание фосфора в илстой фракции, выделенной из пахотного горизонта, в два раза превосходит его количество в почве. Последнее свидетельствует о том, что фосфор вносимых удобрений сорбируется компонентами илстых фракций.

Описанный валовой химический состав илстой фракции обусловлен минералогическим составом, представленным преимущественно глинистыми минералами, для которых характерны высокие количества алюминия, железа, магния и калия.

Основными компонентами фракции являются сложные неупорядоченные смешанослойные образования, среди которых доминирует слюда-сметиты с высоким содержанием сметитовых пакетов. В меньшем количестве присутствуют слюда-сметиты с низким содержанием сметитовых пакетов. Эти образования в дальнейшем изложении объединены под одним названием – сметитовая или набухающая фаза. Следующими компонентами являются гидрослюды, представляющие смесь диоктаэдрических и триоктаэдрических разностей, несовершенный каолинит и магниезально-железистый хлорит.

По распределению основных минеральных фаз фракции < 1 мкм профиль почвы дифференцирован. Верхняя часть профиля относительно обеднена сметитовой фазой, количество которой колеблется от 43,2 до 54,6 % (табл. 2). В нижней части профиля (образец с 80 см и ниже) количество сметитовой фазы увеличивается, и содержание ее изменяется с 57,2

**Таблица 2.** Соотношение основных минеральных фаз илистой фракции (< 1 мкм), выделенной из агросерой тяжелосуглинистой почвы, %

Горизонт	Глубина	Содержание ила	Во фракции < 1 мкм			В пересчете на почву в целом		
			каолинит + хлорит	гидрослюда	смешанослойные образования	каолинит + хлорит	гидрослюда	смешанослойные образования
А пах	0-10	16,5	8,9	36,1	54,8	1,5	5,9	9,0
	10-20	15,5	11,8	44,2	44,0	1,8	6,9	6,8
ELB	30-40	10,0	12,8	44,0	43,2	1,2	4,4	4,3
В1	40-50	31,0	7,2	38,2	54,6	2,4	11,8	16,9
	50-60	31,5	8,0	43,8	48,3	2,5	13,8	15,2
Вса	80-90	18,9	7,3	26,6	66,0	1,4	5,0	12,5
	100-110	27,8	8,8	33,9	57,2	2,4	9,1	16,1
Сса	200-210	23,1	8,1	19,8	72,1	1,8	3,0	16,7

до 72,1 %. Распределение гидрослюдов по профилю также дифференцировано. Наибольшее их количество отмечается в верхней части (44,2 %) и минимальное в нижней части (19,8 %). Перечисленные минералы являются источником калия, магния – важнейших элементов питания растений.

Во фракции тонкой пыли (1–5 мкм) фиксируется увеличение содержания оксида кремния, и его количество приближается к показателям содержания в почве (табл. 1). Существенно выделяется образец с глубины 40–50 см наибольшим значением оксида кремния (71,9%). Отмечается менее контрастная дифференциация по профилю оксидов алюминия и железа. По сравнению с илистой фракцией в этой фракции более высокое количество оксида калия. Последнее объясняется минералогическим составом, в котором основными компонентами становятся слюды и К-полевые шпаты.

Количество оксида фосфора резко снижено по сравнению с его содержанием в илистой фракции, однако наибольшие показатели по этому элементу отмечаются в пахотном горизонте. При анализе расчетов резервов калия в тонкой пыли мы отмечали уменьшение его содержания при расчете на почву в целом по сравнению с илом. Это происходит за счет более низкого количества этой фракции. Однако ее можно рассматривать как источник калия, поскольку при процессах выветривания и механической дезинтеграции зерен минералов эта фракция пополняет более дисперсную фракцию слюдами, гидрослюдами и К-полевыми шпатами.

В этой фракции состав минералов существенно отличен от такового илистой (табл. 3). Резко снижено (до 2,2%) количество смешанослойных обра-

зований, возросло содержание кварца (до 25,6%), К-полевых шпатов до 21,8%, плагиоклазов до 15,4%. Из слоистых силикатов помимо смектитов диагностирована слюда, количество которой достигает 29,7%, каолинит (4–10%), хлорит (3–6%). Источником калия здесь выступают слюды и К-полевые шпаты, которые в сумме и дают тот высокий процент валового калия, установленный во фракции. Хлорит является источником магния.

Зафиксировано относительное увеличение содержание пылеватого кварца, К-полевых шпатов и плагиоклазов в верхней части профиля. Это явление, вероятно, обусловлено более энергичным процессом механической дезинтеграции зерен выше перечисленных минералов.

Соотношение интенсивностей рефлексов слюды 1,0/0,5 нм свидетельствует об отсутствии каких-либо различий в соотношении ди- и триоктаэдрических разностей в пределах профиля. Фракция средней пыли (5–10 мкм) составляет всего 4,8–10,1 % от суммы гранулометрических фракций. Характер ее распределения по профилю равномерный (табл. 4). Отмечается лишь незначительное ее увеличение в верхней части пахотного горизонта.

Основными компонентами фракции являются кварц, К-полевые шпаты, плагиоклазы, слюды (табл. 4). Перечисленные компоненты в пределах профиля четко подразделяются на две части – верхнюю с наибольшим содержанием К-полевых шпатов, плагиоклазов и нижнюю, среди минералов которой доминирует кварц (30–40%). Такое распределение минералов средней пыли позволяет предположить наличие литогенной неоднородности тяжелого суглинка, смена отложений по этим показателям отмечается ниже 90 см.

**Таблица 3.** Состав минералов фракции тонкой пыли (1–5 мкм), выделенной из агросерой тяжелосуглинистой почвы

Горизонт	Глубина взятия образца, см	Содержание фракции 5–10 мкм	Содержание минералов во фракции 1–5 мкм / в почве в целом, %						
			смектит	слюда	каолинит	хлорит	полевые шпаты	плагиоклазы	кварц
А пах	0-20	7,7	2,2/0,2	27,9/2,2	4,1/0,3	2,9/0,2	21,8/1,7	15,4/1,2	25,6/2,0
	10-20	10,0	2,5/0,3	25/2,5	6,9/0,7	5,1/0,5	21,5/2,2	14,3/1,4	24,6/2,4
ELB	30-40	8,8	4,9/0,4	28,4/2,7	8,6/0,6	4,5/0,4	18,7/1,7	9,9/0,9	21,8/1,9
	В1	40-50	9,5	5,2/0,5	28,8/2,8	8,2/0,6	4,2/0,4	18,8/1,8	14,2/1,3
50-60		9,5	5,7/0,6	28,7/2,8	10,1/1	4,7/0,5	19,3/1,8	11,5/1,0	19,8/1,9
Вса	80-90	12,9	14,4/1,8	29,7/3,9	11,4/1,4	3,5/0,5	11,9/1,5	9,2/1,2	19,6/2,6
	100-110	11,2	14,4/1,6	26,9/3,0	10,1/1,4	5,1/0,6	11,7/1,3	10,8/1,2	20,9/2,4
Сса	200-210	16,0	18/2,9	25/4,0	10,8/1,6	6,2/1	11,9/1,9	9,6/1,6	18,5/2,9

**Таблица 4.** Минералогический состав фракции средней пыли (5–10 мкм) агросерой тяжелосуглинистой почвы, %

Горизонт	Глубина	Содержание фракции 5-10 мкм	Кварц	Полевые шпаты	Плагиоклазы	Слюды
А пах	0-20	10,1	25	26	19	21
	10-20	7,7	22	31	25	17
ELB	30-40	6,1	22	29	22	19
В1	40-50	7,1	21	27	18	25
	50-60	7,1	25	25	20	19
Вса	80-90	6,0	36	17	18	19
	100-110	6,8	40	15	18	19
Сса	200-210	6,4	30	23	21	18

По валовому составу оксидов эта фракция существенно отличается от рассмотренных выше. Содержание оксида кремния во фракции средней пыли достигает 80,7%. Количество оксидов алюминия и железа снижается до 10 и 2,9% соответственно. Такая же закономерность характерна для калия, фосфора, магния, кальция. Уменьшение количества валового оксида калия во фракции средней пыли подтверждается данными расчетов содержания минералов. Содержание слюд во фракции 5–10 мкм значительно снижено, однако количество К-полевых шпатов более высокое, т.е. калий минералов здесь имеет другой характер, он становится менее доступным.

Фракция > 10 мкм характеризуется самыми высокими значениями содержания кремния и более низким количеством всех оксидов. Количество оксида железа уменьшается до 2,4%, магния – до 0,6%, калия – до 2,3%.

Таким образом, проведенный анализ определения содержания элементов по гранулометрическим фракциям и диагностика носителей этих элементов дает основание заключить, что наибольшее количество элементов питания сосредотачивается во фракциях илистой и тонкопылевой.

Далее более дифференцировано рассмотрены запасы калия в агросерых тяжелосуглинистых почвах Владимирского ополья. Из табл. 5 видно, что в изучаемых агросерых тяжелосуглинистых почвах очень большой общий резерв калия, четвертую, а где-то и пятую, часть его составляет ближний резерв (рис. 1). Непосредственный резерв говорит о средней обеспеченности почв подвижным калием. Следовательно, культуры, более требовательные к калию, будут испытывать нужду в калийных удобрениях.

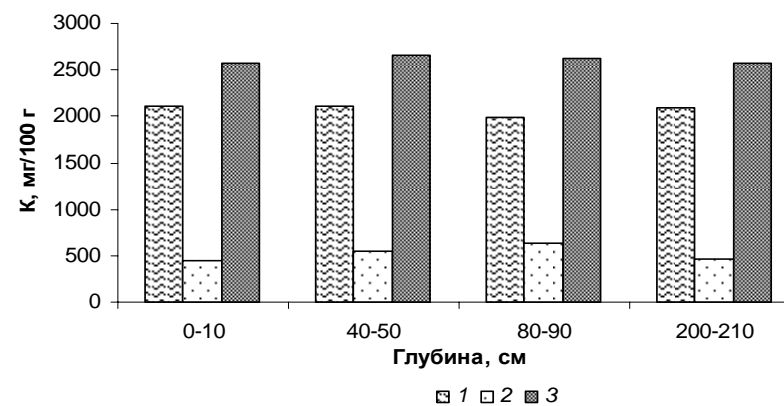
С помощью методики, предложенной Н.И. Горбуновым (1969, 1974), попытаемся отразить характер распределения валового калия по гранулометрическим фракциям (табл. 6).

**Таблица 5.** Запасы калия в агросерой почве Владимирского ополья

Глубина, см	Фракция, < 1 мкм, %	Содержание K <sub>2</sub> O, %		Резерв, мг / 100 г			
		почва в целом	фракция < 0,001 мм	потенциальный	ближний	непосредственный	общий
0-10	16,5	2,57	2,75	2100	454	16,0	2570
40-50	31,0	2,66	2,75	1796	852	12,4	2660
80-90	18,0	2,57	2,75	2075	495	8,2	2570
200-210	25,1	2,53	2,66	1916	614	8,8	2530

В табл. 6 показано, что резервы калия илистой фракции более высокие по сравнению с фракциями тонкой и средней пыли, поскольку основным носителем калия являются компоненты, составляющие > 80 % от всех минералов фракции.

Наиболее динамичным и активно функционирующим компонентом ила считаются смешанослойные образования, которые не только являются источником калия в результате мобилизации его из кристаллической решетки, но и играют главную роль в процессах поглощения калия, вносимых удобрений и калия естественного круговорота элементов при процессах почвообразования–выветривания. Необходимо отметить, что резерв калия илистой фракции также дифференцирован по профилю почвы за счет дифференциации количества самой фракции.

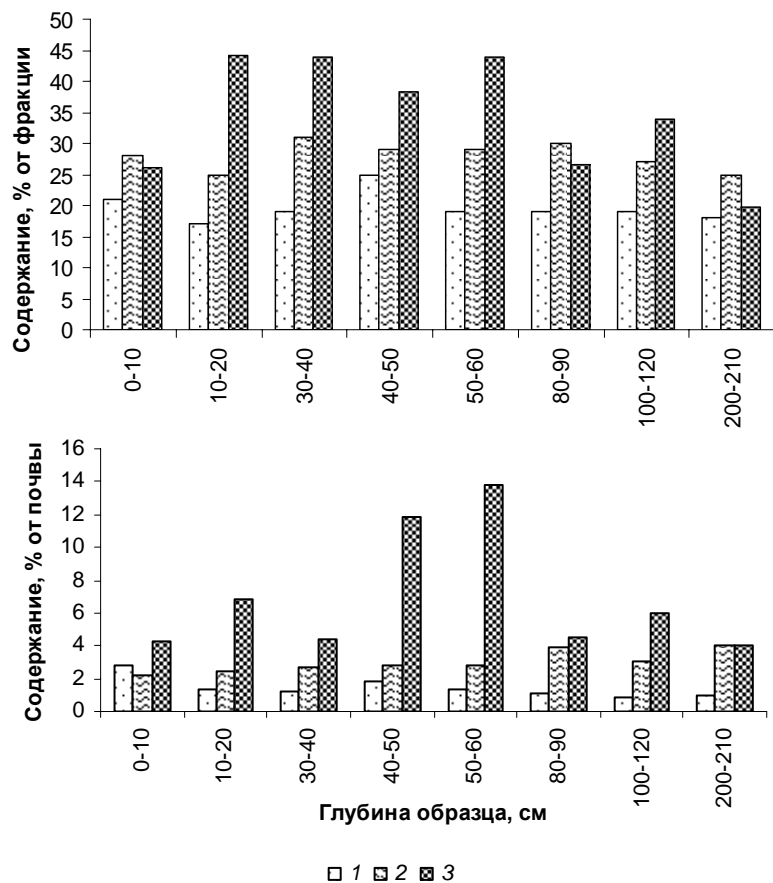


**Рис. 1.** Запасы калия (1 – потенциального; 2 – ближнего; 3 – общего) в агросерой почве Владимирского ополья.

**Таблица 6.** Характер распределения калия по гранулометрическим фракциям агросерых тяжелосуглинистых почв Владимирского ополья

Глубина, см	Илистая фракция			Тонкопылеватая фракция			Среднепылеватая фракция			Фракция > 10 мкм		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0-20	16,5	2,75	432	7,7	3,3	254	10,1	2,65	260	71,1	2,3	1633
30-40	31,0	2,75	837	9,5	3,3	313	7,1	2,68	182	52,5	2,1	1092
200-210	20,1	2,64	609	16,0	3,1	496	6,0	2,79	168	54,7	2,0	1273

Примечание. 1 – содержание фракции, %; 2 – содержание  $K_2O$ , %; 3 – ближний резерв  $K_2O$  в почве, мг/100 г.



**Рис. 2.** Характер распределения слюд-гидроslуд по профилю во фракциях разной размерности. 1 – слюда в средней пыли; 2 – слюда в тонкой пыли; 3 – гидрослюды в иле.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Расчеты распределения оксидов элементов по гранулометрическим фракциям позволяют сделать вывод о высоком потенциальном плодородии агросерых почв Владимирского ополья. Наибольшее количество таких элементов питания, как калий, фосфор, магний фиксируется в тонкодисперсных фракциях, в илистой – фосфор и магний, в илистой и тонкопылеватой – калий, магний. Илистая фракция наиболее функциональна не только как источник этих элементов, но также как регулятор поведения элементов, вносимых с удобрениями.

Агротехногенные воздействия, приводящие к подкислению почв, способствуют активизации разрушения минералов К-носителей, за счет чего его количество в почвенном растворе увеличивается, но одновременно снижаются природные запасы.

Для восполнения природных запасов элементов питания необходима периодическая припашка иллювиальных горизонтов. Последнее уменьшает текстурную дифференциацию профиля, способствует увеличению количества тонкодисперсных фракций в пахотных горизонтах, а с ними увеличение естественных запасов элементов питания растений. Будучи компонентами, активно реагирующими с веществами вносимых удобрений и мелиорантов, калий и аммоний необменно фиксируются решеткой смешанослойных минералов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Дубровина И.В., Градусов Б.П. Химико-минералогическая характеристика почв Владимирского Ополья // Почвоведение. 1993. №3. С. 64–73.
- Иванов А.Л., Чернов О.С., Карпова Д.В. Приемы окультуривания серых лесных почв Владимирского ополья. М.: Изд-во Моск ун-та, 2000. С. 121.
- Горбунов Н.И. Минералы как источник общих, непосредственных, ближних и потенциальных резервов зольных элементов // Агрохимия. 1969. № 9.
- Горбунов Н.И. Минералогия и коллоидная химия почв. М.: Наука, 1974.
- Путеводитель научных полевых экскурсий III Съезда почвоведов (11-18 июля 2000 г.) Суздаль–М., 2000.
- Рубцова Л.П. О генезисе почв Владимирского ополья // Почвоведение. 1974. № 6. С. 17–22.