

МИНЕРАЛЫ И ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ЧЕРНОЗЕМАХ ЦЕНТРАЛЬНО-ЧЕРНОЗЕМНОЙ ЗОНЫ

© 2000 г. А.Б. Беляев, Н.А. Протасова

Воронежский государственный университет

Представлены данные о минералогическом и химическом составе почвообразующих пород и почв Центрально-Черноземной Зоны. Химический состав черноземов отражает их гранулометрическую и минералогическую структуру. Резюмируются результаты исследований, относящиеся к распределению и содержанию минеральных и химических элементов в черноземах.

Почва является полифункциональной природной системой, уникальной средой обитания живых организмов и воспроизводства жизни на Земле. По выражению Г.В.Добровольского (1988), почва в биогеохимических процессах выступает как “зеркало” и “память” происходивших и происходящих природных и антропогенных явлений на земной поверхности [6]. Интенсивность и направленность этих процессов определяется прежде всего химическим составом почв, который неразрывно связан с их минералогическим составом.

Цель наших исследований – изучение минералогического и химического состава зональных почв Центрального Черноземья (ЦЧЗ). Объектом исследования являются оподзоленные, выщелоченные, типичные, обыкновенные и южные черноземы. Была создана база данных о содержании типоморфных (Si, Al, Fe, Ca, Mg, K, Na, S, P), редких и рассеянных элементов (Ti, Mn, Cr, V, Ni, Zn, Cu, Co, Mo, Be, Ba, Sr, Zr, B, I) в генетических горизонтах всех подтипов черноземов. Вариационно-статистическая обработка этих данных проведена по Дмитриеву [4].

Для изучения минералогического состава и сопряженного с ним валового химического состава по методике Н.И.Горбунова (1963) были выделены следующие фракции: 1-0.25; 0.25-0.1; 0.1-0.01; 0.01-0.05; 0.005-0.001 и <0.001 мм. Минералогический состав фракций 1-0.25 и 0.25-0.1 мм определялся под бинокулярной лупой. Фракция 0.1-0.01 мм разделялась в бромформе (уд.в. 2.9) на легкие и тяжелые минералы, которые исследовались под микроскопом. Илистая фракция изучалась комплексным термическим, рентгенографическим и электронномикроскопическим методами.

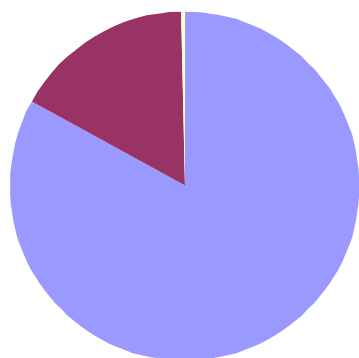
Валовой химический состав почв и отдельных гранулометрических фракций определен по общепринятой методике [1], редкие и рассеянные элементы (микроэлементы) – спектральным эмиссионным атомным анализом [8].

Преобладающими фракциями в черноземах ЦЧЗ являются крупнопылеватая и илистая. Эти две фракции в совокупности составляют 55-72 % от веса черноземных почв, и они в основном определяют минералогический и химический состав этих почв.

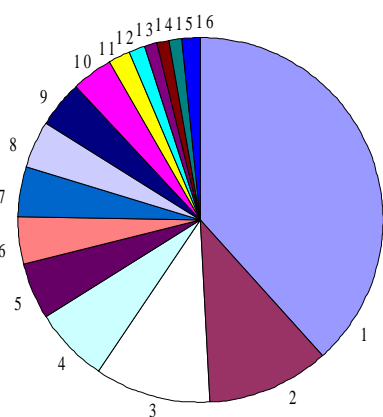
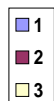
Первичные минералы. В черноземах ЦЧЗ нами [2] выделено 35 видов минералов, из которых кварц, полевые шпаты, хлориты, часть слюд считаются легкими минералами (плотность <2.9 г/см³). Все остальные минералы являются тяжелыми (плотность > 2.9). Степень устойчивости минералов обуславливает их относительное содержание и распределение в различных гранулометрических фракциях, определяя их химический состав.

Кварц, как один из самых консервативных к выветриванию минералов, доминирует в песчаных фракциях черноземных почв, составляя 95-100 % всех частиц. Оставшаяся незначительная доля приходится на полевые шпаты, единичные зерна мусковита, глауконита и опала. В крупной пыли количество кварца несколько снижается, хотя и остается еще достаточно высоким (70-88 %), что и свидетельствует о его большой устойчивости к выветриванию. В процессе выветривания и почвообразования он может измельчаться и в небольших количествах (2-3 %) встречаться даже в предколлоидной и коллоидной фракциях.

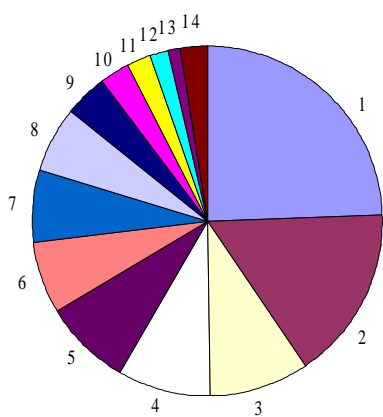
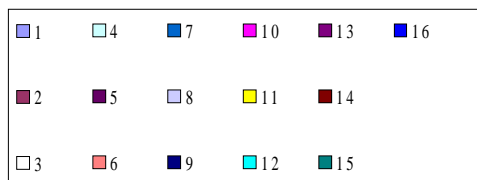
Полевые шпаты являются менее прочными минералами, они легче, чем кварц, подвергаются механическому, физическому и химическому выветриванию



а



б



в

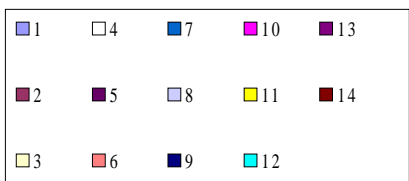


Рис. а, б, в

Циклограмма распределения легких минералов во фракции крупной пыли черноземов ЦЧЗ (а):

1 – кварц (83.0 %); 2 – полевые шпаты (16.7 %); 3 – минералы тяжелой фракции (0.3 %)

Циклограмма распределения тяжелых минералов во фракции среднего песка (б):

1 – гидроксиды железа; 2 – ильменит + магнетит; 3 – группа дистена; 4 – турмалин; 5 – ставролит; 6 – амфиболы; 7 – гранат; 8 – эпидот + цоизит; 9 – пиролюзит; 10 – лейкоксен; 11 – пироксены; 12 – сидерит; 13 – глауконит; 14 – группа рутила; 15 – корунд; 16 – апатит + циркон + пирит.

Циклограмма распределения тяжелых минералов во фракции крупной пыли (в):

1 – ильменит + магнетит; 2 – эпидот и цоизит; 3 – гидроксиды железа; 4 – группа рутила; 5 – амфиболы; 6 – циркон; 7 – лейкоксен; 8 – гранат; 9 – сфен; 10 – группа дистена; 11 – турмалин; 12 – ставролит; 13 – глауконит; 14 – апатит + брукит + корунд + ксенотим + пикотит + монацит + пироксены + сидерит + пирит + пиролюзит + биотит + мусковит + хромит.

и сосредоточены в основном в крупной пыли. Процентное соотношение этих минералов показано на циклограмме (рис. а). Среди полевых шпатов наиболее широко представлены калиево-натриевые (ортоклаз, микроклин), реже встречаются натриево-кальциевые или плагиоклазы (альбит, анортит).

Тяжелые минералы присутствуют, в основном, среди частиц среднего песка (рис. б) и крупной пыли (рис. в). Несмотря на малое содержание, они характеризуют минералогическое богатство и разнообразие химического состава черноземных почв.

Амфиболы представлены актинолитом и в небольших количествах тремолитом. Апатит встречается редко и в малых количествах. Биотит и мусковит присутствуют в виде единичных чешуек. Глауконит встречается редко.

В группу граната входят минералы, содержащие Са, Mg, Fe, Mn, Al, Cr. Среди минералов группы дистена встречаются: дистен, андалузит и силлиманит. Группа рутила (TiO₂) представлена рутилом и двумя его полиморфными модификациями - анатазом и брукитом. Корунд обнаруживается редко и в незначительных количествах. Ксенотим, минерал класса фосфатов, содержит Th, иногда Y, U, Zr, встречается редко и в небольших количествах. Монацит, минерал класса фосфатов, имеет примеси Th, Y, Si, U, Ca. Пикотит, разновидность шпинели, встречается редко и в незначительных количествах. Пироксены, сидерит (железный шпат), ставролит, титанит (имеет примеси Fe, Al, Mn, Nb, Sn и др.), турмалин, циркон (имеет примеси Hf, Nb, Th, U, Fe и др.) обнаруживаются в небольших количествах. Группа эпидота име-

ет примеси Fe^{2+} , Mn, Pb. Гидрооксиды железа (собирательное название лимониты) во многих случаях составляют большую часть тяжелой фракции. В группе ильменита и магнетита первый преобладает. Лейкоксен – минерал смеси оксидов титана (рутила, анатаза, брукита и сфена) с кварцем, ильменитом и гидроксидами Fe, Mn и др. Пирит (серный колчедан, железный колчедан) имеет примеси Cu, Au, Fe, Ni, Co и др. Пирролюзит в значительных количествах (до 96 % от веса тяжелых минералов) встречается в почвообразующих породах, в гумусовых горизонтах его содержание невелико.

Таким образом, состав и соотношение перечисленных минералов в крупных фракциях черноземов неоднозначны. Неодинаковы должны быть содержание и соотношение химических элементов. Подсчет показывает наличие более тридцати элементов, но их количество может быть значительно шире, поскольку в качестве примесей они содержат многие редкие и рассеянные элементы.

Вторичные минералы. Вторичные минералы в черноземах представлены глинистыми минералами, оксидами гидроксидами и минералами простых солей.

Глинистые минералы составляют преимущественную долю вторичных минералов в илистой фракции почв. Наиболее широко распространенными среди них являются минералы группы гидрослюдов, смешанно-слоистые минералы, монтмориллонит, каолинит. В такой последовательности по степени встречаемости они находятся в илистой фракции черноземных почв ЦЧЗ [2]. Всем им присущи такие общие свойства как высокая дисперсность, поглотительная способность, слоистое кристаллическое строение.

Гидрослюды, группа минералов, представляющих собой трехслойные алюмосиликаты с нерасширяющейся решеткой, содержат значительное количество калия (6-8 %), усвояемого растениями. Среди гидрослюдов наиболее распространены иллит, глауконит и вермикулит, имеющий расширяющуюся кристаллическую решетку и обладающий большой емкостью поглощения.

Занимающие вторую позицию смешанно-слоистые минералы состоят из слоев различных индивидуальных минералов, например, гидрослюдов и монтмориллонита, вермикулита и хлорита и т.д. Монтмориллонит, обладая очень высокой дисперсностью (более 50% коллоидных частиц в составе илистой фракции), расширяющейся кристаллической решеткой, характеризуется очень высокой емкостью поглощения катионов. Каолинит в черноземах ЦЧЗ встречается в

незначительных количествах. Среди вторичных минералов в этих почвах в небольших количествах присутствуют гидрооксиды железа: гематит и гётит.

Химические элементы в почвах. Наиболее часто встречаемыми химическими элементами в первичных и вторичных минералах являются кислород, кремний, алюминий, а также железо, магний, калий, кальций, натрий, фосфор, водород. Эти десять элементов (макроэлементы) составляют 99-99.9% химического состава минеральной части почвообразующих пород ЦЧЗ и сформированных на них почв. На долю микроэлементов приходится 0.2-0.25%.

В почве, как и в литосфере, преобладает кислород, кремний занимает второе место, но в почве его доля увеличивается в связи с высокой устойчивостью по сравнению с другими элементами в процессе выветривания и почвообразования. Третье и четвертое место занимают соответственно алюминий и железо, доля которых в почвах уменьшается. Среди других элементов наблюдаются более выраженные отличия. Они проявляются в уменьшении в 2-4 раза содержания в почве щелочноземельных (Ca, Mg) и щелочных (K, Na) элементов. Но к наиболее существенным отличиям в химическом составе почвы следует отнести резкое возрастание в ней углерода (в 20 раз) и азота (в 10 раз), фосфора и серы (в 2 раза) за счет биогенного их поступления. В черноземах наблюдается биогенная аккумуляция и многих микроэлементов – Ti, Cr, V, Ni, Cu, Zn, Co, Mo, Be, Ba, I [7].

Химический состав почвообразующих пород в значительной степени определяется миграционной способностью элементов в условиях гипергенеза, а также характером и интенсивностью биологических процессов, происходящих в момент образования этих пород. Характер распределения большинства элементов в почвообразующих породах ЦЧЗ подтверждает мысль В.В.Добровольского о том, что общая геохимическая особенность покровных отложений внетропической территории – пониженное содержание преобладающей части химических элементов вследствие их выщелачивания и удаления продуктов выветривания [5].

Среднее содержание исследуемых элементов в почвообразующих породах ЦЧЗ в основном меньше, чем в литосфере, за исключением C ($K_k^* = 3.7$), N ($K_k = 3.2$), S ($K_k = 1.7$), Si ($K_k = 1.1$), I ($K_k = 7$), Zn ($K_k = 2$), В ($K_k = 2.5$), Мо ($K_k = 1.4$). Для остальных элементов характерно рассеяние ($K_k = 0.6-1.0$).

* K_k – отношение содержания химического элемента в породе к содержанию в литосфере.

Таблица 1.

Среднее содержание макроэлементов в горизонте Ар черноземов ЦЧЗ (вся совокупность n=90), %

	Элементы								
	Si	Al	Fe	Ca	Mg	K	Na	P	S
Почва	34.1	7.0	3.54	1.50	0.85	1.92	0.59	0.09	0.12
Кларк	33.0	7.13	3.80	1.37	0.63	1.36	0.63	0.08	0.08

Таблица 2

Среднее содержание микроэлементов в горизонте Ар черноземов ЦЧЗ (вся совокупность n=100), мг/кг

	Элементы				
	Ti	Mn	Cr	V	Ni
Почва	5200	700	87	92	38
Кларк	4600	850	200	100	40
	Cu	Zn	Co	Mo	Be
Почва	24	66	12	2	1,7
Кларк	20	50	8	2.6	6
	Ba	Zr	Sr	B	I
Почва	570	360	105	50	5.8
Кларк	500	300	300	10	5

Преобладание углерода и особенно азота в почвообразующих породах ЦЧЗ свидетельствует о “загрязненности” их почвообразовательным процессом.

По сравнению с кларком (средним содержанием в почвах) по Виноградову [3], в черноземах ЦЧЗ происходит более интенсивная аккумуляция Mg, P, K, S, Ti, Co, Zr, B, Zn. Одновременно отмечается обедненность исследуемых почв Al, Fe, Na, Mn, Cr, V, Mo, Be, Sr (табл. 1, 2). Элементы, менее склонные к биогенному накоплению, способны выноситься из гумусового горизонта и концентрироваться в иллювиальном. Самая высокая миграционная способность свойственна Sr и Ca, которые осаждаются на щелочном геохимическом барьере, каковым являются карбонатные почвообразующие породы.

Содержание химических элементов в гранулометрических фракциях находится в зависимости от степени дисперсности почвенных частиц. Так, с уменьшением их дисперсности увеличивается содержание Si и уменьшается количество Fe, Al, Mg, K, P. Ca сосредоточен во фракциях пыли, богатой первичными минералами (амфиболами, гранатом, эпидотом). Mg преобладает в илистой фракции, так как он входит в состав глинистых минералов. K приурочен к или-

стой и пылевой фракциям. Максимальное содержание Na обнаружено во фракции средней пыли. Максимум концентрации P приходится на илистую и тонкопылеватую фракции. Zn, Cu, Mn накапливаются в илистой фракции, Ti – в тонкопылевой [2].

Химический состав почв оказывает чрезвычайно большое влияние на их плодородие, как непосредственно, так и определяя те или иные свойства почвы, имеющие решающее значение в жизни растений. С одной стороны, это может быть дефицит тех или иных элементов питания растений, с другой – токсичный для растений избыток, как в случае техногенного загрязнения почв.

Необходимо отметить, что в процессе почвообразования происходят весьма существенные преобразования химического состава вследствие перехода химических элементов из одних соединений в другие, поступления элементов из атмосферы с осадками и импальверизацией, выноса элементов нисходящим движением воды в грунтовые воды, приноса элементов с грунтовыми водами, циклического вовлечения элементов в биологический круговорот веществ.

Фоновое содержание химических элементов в зональных почвах ЦЧЗ предлагается использовать как критерий при оценке техногенно загрязненных почв.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука. 1975. 656 с.

2. П.Г. Адрихин, А.Б. Беляев. // Почвоведение и проблемы сельского хозяйства. Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та. 1973. С. 5-36.

3. А.П. Виноградов. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М.: Изд-во АН СССР. 1957. 238 с.

4. Е.А. Дмитриев. Математическая статистика в почвоведении. М.: Изд-во Москов. ун-та. 1972. 292 с.

5. В.В. Добровольский. География микроэлементов. Глобальное рассеяние. М.: Мысль. 1983. 272 с.

6. Г.В. Добровольский. // Доклады на VIII съезде почвоведов. Новосибирск. 1989. Вып. 6. С. 3-19.

7. Н.А. Протасова, А.П. Щербаков, М.Т. Копаева. Редкие и рассеянные элементы в почвах Центрального Черноземья. Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та. 1992. 168 с.

8. Физико-химические методы исследования почв / Под ред. Н.Г. Зырина, Д.С. Орлова. М.: Изд-во Москов. ун-та. 1980. 382 с.