

## КСЕРОФИТНО-ЛЕСНЫЕ ЧЕРНОЗЕМЫ: ПРИРОДНЫЕ РЕЗЕРВЫ КАЛИЯ

**В.Е. Алексеев, В.В. Чербарь, А.Н. Бургеля, Е.Б. Варламов**  
*Институт почвоведения, агрохимии и защиты почв им. Н.А. Димо  
г. Кишинев, Молдова*

### ВВЕДЕНИЕ

Калий (К) является одним из важнейших элементов для роста растений. Калийные удобрения широко используются в сельском хозяйстве во всем мире (около 28 млн т в 2006–2007 гг. в соответствии с ФАО [15]). В то же время известно, что запасы К в природных экосистемах ограничены [27].

В агрохимической практике при оценке обеспеченности почвы калием обычно руководствуются определением водорастворимого, обменного, необменного и реже валового калия [8]. Наряду с этим, существуют и другие подходы к оценке резервов калия в почве. Исследования в Западной Европе показали, что большой вклад в обеспечение сельскохозяйственных культур К принадлежит почвенным минералам [20]. Учет этого источника увеличивает возможность оптимизации использования питательных веществ.

Помимо решения теоретических вопросов, изучение ксерофитно-лесных черноземов предполагало оценку этих почв по резервам и доступности растениям заключенного в них калия на основании их минералогического состава.

### МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Изучены 3 разреза ксерофитно-лесных черноземов южной части Молдовы. Они описаны в предыдущих статьях.

Определен состав первичных и глинистых минералов. Первичные минералы исследованы во фракции >1мкм, глинистые – во фракции <1 мкм. Фракционное разделение образцов проведено по методике [4]. Органическое вещество и карбонаты перед фракционированием образцов удалялись. Состав первичных и глинистых минералов изучен методом рентгеновской дифрактометрии. Качественный состав первичных и глинистых минералов установлен по известным рекомендациям [9, 10]. Количественный анализ проведен по методикам [3, 5] с некоторой их детализацией по [1]. Коэффициент вариации результатов анализа, установленный по стандартным калибровочным смесям минералов, в зависимости от содержания минералов в смеси характеризуется следующими параметрами (в %): кварц – 2,9–3,3; полевые шпаты – 3,8–8,9; слюды – 5–20; хлорит – 15–26; группа смектита – 2,5–3,0; иллит – 2,2–2,6; хлорит (ил) – 12–25; каолинит (ил) – 15–25. Все расчеты произведены на минеральную и бескарбонатную части фракций и почвы.

На территории стран СНГ по минералогическим критериям, условно говоря, резервы почвенного калия было принято оценивать по Горбунову [6]. Согласно его концепции, к непосредственному резерву относится обменный калий

## 1. Почвенные ресурсы и их рациональное использование

(по Масловой). Во вторую категорию по доступности растениям, ближний резерв, входит калий, содержащийся в глинистых минералах. Этот калий, в применении к черноземам, заключен в таких минералах как иллит и смешаннослойный иллит-сметтит. Наименее доступный или потенциальный резерв калия принадлежит грубодисперсным минералам размерности более 0,001 мм. Сюда относятся слюды и калиевые полевые шпаты. Вместе с тем расчет резервов калия по методике Горбунова ведется по результатам не минералогического, а химического анализа, поскольку на тот период проблема количественного минералогического анализа не была достаточно разработана, поэтому определялось валовое содержание калия в почве, содержание калия в илистой фракции и обменный калий. Последний относился к непосредственному резерву, калий ила – к ближнему резерву. По разнице между суммой непосредственного и ближнего резервов и валовым калием устанавливался его потенциальный резерв.

Исследования за рубежом показали, что важная роль как источника природного К принадлежит 2:1 глинистым минералам, среди которых указывается иллит, почвенный вермикулит, смешаннослойный иллит-сметтит (13, 14, 17 и др.). Эти данные лежат в русле концепции Горбунова. Установлено также, что растения могут освобождать К из слоев иллита, что сопровождается расширением 1 нм иллитовых слоев до 1,4 нм вермикулитовых слоев (19, 21, 25 и др.). Напротив, иллитизация приводит к сокращению слоев вермикулита с 1,4 нм до 1 нм в результате поглощения ионов К (18, 23 и др.). Некоторые авторы отмечают смектизацию, проявляющуюся в увеличении количества смектитовых слоев в смешаннослойных иллит-сметтитах в результате потери К (26, 28), и иллитизацию в тех же смешаннослойных иллит-сметтитах при поглощении К (22, 24). Предпринимаются попытки количественной оценки участия различных К-содержащих минералов в питании растений [11, 12].

Таблица 1

Элементный состав ксерофитно-лесного чернозема (гор. Ад, глубина 0–10 см) по данным минералогического анализа (весовой процент)

Минералогический состав	H <sub>2</sub> O	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	Na <sub>2</sub> O	Содержание минерала/ оксидов
Глубина 0–10 см									
Кварц		39,2							39,2
Плагиоклаз (15 %An)		6,3	2,2		0,3			0,9	9,8
<b>Калиевый полевой шпат</b>		3,9	1,1				<b>0,783</b>	0,2	<b>6</b>
<b>Мусковит</b>	0,3	2,7	2,4				<b>0,678</b>		<b>6,1</b>
Хлорит (фр. >1 мкм)	0,3	0,6	0,5	0,6		0,5			2,4
Каолинит (фр. >1 мкм)	0,3	0,7	0,7						1,7
<b>Иллит-сметтит</b>	2,1	7,9	2,8	1,8	0,2	0,2	<b>0,103</b>		<b>15,0</b>
<b>Иллит</b>	1,0	6,8	3,5	0,8		0,4	<b>0,813</b>		<b>13,3</b>
Хлорит (фр. <1 мкм)	0,2	0,6	0,5	0,6		0,6			2,6
Каолинит (фр. <1 мкм)	0,5	1,8	1,6						3,9
Сумма	4,8	70,5	15,2	3,8	0,6	1,6	<b>2,377</b>	1,1	100,1

Расчет резервов калия осуществлен по результатам минералогического анализа. При этом мы руководствовались выводами в приведенных выше зарубежных исследованиях, согласно которым после обменного калия (непосредственный резерв) наиболее доступным растениям является калий, принадлежащий иллиту и иллит-смектиту (в нашем случае иллиту и иллит-смектиту с высокой нормой смектитовых пакетов, ближний резерв), наименее доступен калий калиевых полевых шпатов и мусковита (потенциальный резерв). В основе расчетов лежат данные по обменному калию (по Масловой), количеству в почвах соответствующих калийсодержащих минералов и содержанию калия в них согласно химическим формулам. Пример расчета приведен в таблице 1. В правой крайней графе представлены данные по содержанию в почве минералов и составляющих их оксидов. Жирным шрифтом выделены калийсодержащие минералы, содержание в них  $K_2O$  и их содержание в почве.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Общий резерв калия в форме  $K_2O$  в исследуемых ксерофитно-лесных черноземах по разрезам изменяется в узких пределах, что главным образом объясняется их близкими гранулометрическим и минералогическим составами. Общий резерв весьма высок: он находится в пределах 2215–2474 мг/100 г почвы, определенной закономерности изменения его содержания по профилю не обнаруживается. Иная ситуация складывается с другими резервами.

Таблица 2

**Резервы калия ( $K_2O$ ) в ксерофитно-лесных черноземах по данным минералогического анализа (мг/100 г)**

Горизонт	Глубина, см	Непосредственный	Ближний	Потенциальный	Общий
Разрез 1м. Верхние Андруши, увалообразный водораздел, абс. выс. 227 м					
Ад	0–10	33	916	1460	2409
А	25–47	16	822	1490	2328
Вк	70–85	н.о.	702	1653	2355
ВСк	97–110	н.о.	635	1657	2292
Ск	160–180	н.о.	685	1733	2418
Разрез 2м. Калфа-Гырбовец, увалообразный водораздел, абс. выс. 165 м					
Ад	0–10	46	1095	1311	2452
Ан	25–46	18	1024	1364	2406
В1	64–85	н.о.	884	1590	2474
В2к	100–115	н.о.	944	1521	2465
Ск	160–180	н.о.	825	1389	2214
Разрез 3м. Пугой, увалообразный водораздел, абс. выс. 222 м					
Ад	0–10	74	1233	1123	2430
А	25–50	19	1154	1189	2362
В1	65–85	н.о.	1062	1404	2466
В2	100–113	н.о.	877	1512	2389
Ск	160–180	н.о.	716	1693	2409

Примечание. Н.о. – не определялся.

## 1. Почвенные ресурсы и их рациональное использование

Непосредственный резерв составляет от общего 1–3 % и максимальных величин достигает в верхних дерновых горизонтах (46–74 мг/100 г). Это значительно выше, чем в пахотных обыкновенных черноземах (около 20–25 мг/100 г [2]). С глубиной содержание непосредственного резерва резко снижается.

Ближний резерв, заключенный в глинистых минералах (иллит, иллит-сметит), составляет 25–50 % от общего. Его содержание изменяется в широких пределах – 600–1200 мг/100 г. Вверх по профилю он увеличивается, что связано с увеличением в этом направлении содержания иллита, продукта главным образом физической диспергации обломочных слюд. Определенную роль в относительном накоплении в верхних горизонтах иллита играет фитоциклический калий, который необменно фиксируется высокозарядным смектитом с образованием иллитоподобных структур со слоями в 1 нм [2]. Это явление привлекает все большее внимание исследователей [16].

Потенциальный резерв калия в ксерофитно-лесных черноземах заключен в калиевых полевых шпатах и слюдах, преимущественно в мусковите. В отличие от ближнего резерва, потенциальный, напротив, вверх по профилю уменьшается: его размеры в полтора раза больше и составляют 1100–1700 мг/100 г. Калий этих минералов растениям малодоступен. Под влиянием процессов выветривания и почвообразования грубодисперсные калийсодержащие минералы верхних горизонтов подвергаются физической диспергации, пополняют собою глинистую часть почвы, и доступность из них калия возрастает. Большой общий резерв, а также повышенное содержание непосредственного и ближнего резервов калия в верхних горизонтах ксерофитно-лесных черноземов создают исключительно благоприятный фон в обеспечении растений этим важным элементом.

### ВЫВОДЫ

Ксерофитно-лесные черноземы обладают большим общим резервом калия, достигающим 2500 мг/100 г почвы в форме  $K_2O$ . В сравнении с пахотными черноземами для них характерен высокий непосредственный резерв обменного калия в дерновых горизонтах (до 3 % от общего). Ближний резерв калия, заключенный в глинистых минералах, в этих почвах также увеличивается к верхним горизонтам. Его содержание измеряется в 600–1200 мг/100 г. Потенциальный резерв, связанный с первичными минералами, напротив, возрастает в направлении породы и по своему размеру существенно превышает ближний резерв калия, составляя до 1100–1700 мг/100 г.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев, В.Е. Способ оценки минералогического состояния силикатной части черноземов / В.Е. Алексеев // Почвоведение. – 2012. – № 2. – С. 189–199.
2. Алексеев, В.Е. Минералогия почвообразования в степной и лесостепной зонах Молдовы: диагностика, параметры, факторы, процессы / В.Е. Алексеев. – Кишинев, 1999. – 241 с.

3. Алексеев, В.Е. Способ количественного определения первичных минералов в почвах и породах методом рентгеновской дифрактометрии / В.Е. Алексеев // Почвоведение. – 1994. – № 1. – С. 104–109.
4. Алексеев, В.Е. Методика супердисперсного фракционирования почв и пород при их минералогическом анализе / В.Е. Алексеев, К.Г. Арапу, А.Н. Бургеля // Почвоведение. – 1996. – № 7. – С. 873–878.
5. Глинистые минералы в лесных почвах Молдавии / В.Е. Алексеев [и др.] // Генезис и рациональное использование почв Молдавии. – Кишинев: Штиинца, 1977. – С. 23–41.
6. Горбунов, Н.И. Минералогия и физическая химия почв / Н.И. Горбунов. – М.: Наука, 1978. – 294 с.
7. Дурынина, Е.П. Агрохимический анализ почв, растений, удобрений / Е.П. Дурынина, В.С. Егоров. – М.: Изд-во МГУ, 1998. – 113 с.
8. Практикум по агрохимии / под ред. В.Г. Минеева. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – 689 с.
9. Рентгеновские методы изучения и структура глинистых минералов / под ред. Г. Брауна. – М.: Мир. – 1965. – 599 с.
10. Рентгенография основных типов породообразующих минералов / редкол.: В.С. Власов [и др.]. – Л.: Недра, 1983. – 359 с.
11. Assessing potassium reserves in northern temperate grassland soils: a perspective based on quantitative mineralogical analysis and aqua-regia extractable potassium / Y. Andrist-Rangel [et al.] // Geoderma. – 2010. – № 158. – P. 303–314.
12. Mineralogical budgeting of potassium in soil: a basis for understanding standard measures of reserve potassium / Y. Andrist-Rangel [et al.] // Journal of Plant Nutrition and Soil Science. – 2006. – № 169. – P. 605–615.
13. Arkcoll, D.B. Traces of 2:1 layer silicate clays in oxisols from Brazil and their significance for potassium nutrition / D.B. Arkcoll, K.B.T. Goulding, J.C. Hughes // Journal of Soil Science. – 1985. – № 36. – P. 123–128.
14. Arnold, P.W. Nature and mode of weathering of soil-potassium reserves / P.W. Arnold // J. Sci. Food Agric. – 1960. – № 11. – P. 285–292.
15. Which 2:1 clay minerals are involved in the potassium reservoirs? Insights from potassium addition or removal experiments on three temperate grassland clay assemblages / P. Barre [et al.]. – Geoderma. – 2008. – № 146. – P. 216–223.
16. Barre, P. Dynamic role of “illite-like” clay minerals in temperate soils: facts and hypothesis / P. Barre, B. Velde, L. Abbadie // Biogeochemistry. – 2007. – № 82. – P. 77–88.
17. Hinsinger, P. Potassium // Encyclopedia of Soil Science. – New-York: Marcel Dekker, 2002.
18. Hinsinger, P. Root-induced release of interlayer K and vermiculitization of phlogopite as related to K depletion in the rhizosphere of ryegrass / P. Hinsinger, B. Jaillard // Journal of Soil Science. – 1993. – № 44. – P. 525–534.
19. Hinsinger, P. Rapid weathering of a trioctahedral mica by the roots of ryegrass / P. Hinsinger, B. Jaillard, E.D. Dufey // Soil Science Society of America Journal. – 1992. – № 56. – P. 977–982.
20. Application of the PROFILE model to estimate potassium release from mineral weathering in Northern European agricultural soils / J. Holmqvist [et al.] // European Journal of Agronomy. – 2003. – № 20. – P. 149–163.

## 1. Почвенные ресурсы и их рациональное использование

---

21. Mojallali, M. Weathering of micas by mycorrhizal soybean plants / M. Mojallali, S.B. Weed // Soil Science Society of America Journal. – 1978. – № 42. – P. 367–372.
22. Soil mineralogy evolution in the INRA 42 plots experiment (Versailles, France) / A. Pernes-Debuyser [et al.] // Clays and Clay Minerals. – 2003. – № 51. – P. 577–584.
23. Ross, G.J. Transformation of vermiculite to pedogenic mica by fixation of potassium and ammonium in a 6-year field manure application experiment / G.J. Ross, P.A. Phillips, J.L.R. Culley // Canadian Journal of Soil Science. – 1985. – № 65. – P. 599–603.
24. Potassium release and fixation as a function of fertilizer application rate and soil parent material / M. Simonsson [et al.] // Geoderma. – 2007. – № 140. – P. 188–198.
25. The mineralogy and potassium supplying power of some loessial and related soils of New Zealand / A. Surapaneni [et al.] // Geoderma. – 2002. – № 110. – P. 191–204.
26. Effect of potassium removal by crops on transformation of illitic clay minerals / H. Tributh [et al.] // Soil Science. – 1987. – № 143. – P. 404–409.
27. Patterns in K dynamics in forest ecosystems / C.E. Tripler [et al.] // Ecology Letters. – 2006. – № 9. – P. 451–466.
28. Velde, B. Clay mineral changes in the Morrow Experimental Plots / B. Velde, T. Peck // Clays and Clay Minerals. – 2002. – № 50. – P. 364–370.

## XEROPHYTIC-FOREST CHERNOZEMS: NATURAL POTASSIUM RESERVES

V.E. Alekseyev, V.V. Cherbari, A.N. Burghelya, E.B. Varlamov

### Summary

Xerophytic forest chernozems have a large total reserve of potassium, composing in the form of  $K_2O$  up to 2500 mg per 100 g of soil. High available reserve of exchange potassium in the turf horizons up to 3 % from the total. The middle reserve of potassium enclosed in clay minerals in these soils also increases to the upper horizons and constitutes 600–1200 mg per 100 g. Potential reserve associated with the primary minerals, however, increases in the direction of rock and by its size substantially exceeds the middle reserve of potassium constituting 1100–1700 mg per 100 g.

*Поступила 06.02.13*