

ative soil bacteria / J. P. Quinn, J. M. Peden, R. E. Dick // Appl. Microbiol. Biotechnol. – 1989. – Vol. 31(3). – P. 283–287.

## **SCREENING THE CAPABILITY OF POTASSIUM MOBILIZING RHIZOBACTERIA TO METABOLISE HERBICIDE GLYPHOSATE**

**N. A. Mikhailouskaya, T. B. Barashenko, T. V. Pogirnikskaya, S. V. Dyusova**

### **Summary**

Screening of zonal isolates *Bacillus* sp. By cultivation on solid and liquid nutrient media with different sources of carbon and phosphorus at background of increasing concentrations of glyphosate resulted in the determination of perspective target objects, which are capable of metabolization herbicide glyphosate as a sole P-source. Screening showed that potassium mobilizing rhizobacteria *Bacillus* sp. Virtually not capable of glyphosate utilization as sole carbon source for metabolism.

*Поступила 10.05.2022*

УДК 631.333

[https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1\(68\)-212-218](https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1(68)-212-218)

## **ПРОЦЕССЫ ХИМИЧЕСКОГО ВЫВЕТРИВАНИЯ НОВЫХ ВИДОВ АГРОМЕЛИОРАНТОВ**

**В. Н. Босак, Т. В. Сачивко**

*Белорусская государственная сельскохозяйственная академия,  
г. Горки, Беларусь*

### **ВВЕДЕНИЕ**

В Республике Беларусь в настоящее время планируется добыча и переработка нового силикатного сырья – базальтов вендской трапповой формации, промышленные залежи которых разведаны в юго-западной части Республики Беларусь. В геологическом разрезе им сопутствуют сапонитсодержащие вендские базальтовые туфы и туффиты, а также глауконитсодержащие породы палеогенового возраста, которые также будут извлекаться и накапливаться при добыче базальтового сырья. Глауконитсодержащие породы также широко распространены среди вскрышных пород в карьерах, где добывается мергельно-меловое сырье [1–3].

Учитывая минеральный и химический состав, существует несколько направлений использования сапонитсодержащих и глауконитсодержащих пород: производство портландцемента, керамических изделий, стекла и стеклокристаллических материалов, приготовление буровых промывочных жидкостей, в качестве природных сорбентов тяжелых металлов и радионуклидов и т. д. [4–8].

В сельском хозяйстве сапонитсодержащие базальтовые туфы и глауконитсодержащие породы могут использоваться в качестве магнийсодержащих (сапонит-

содержащий базальтовый туф) или калийсодержащих агромелиорантов (глауконитсодержащие породы) [1, 2, 9–20].

Значение магния в питании растений определяется главным образом тем, что он входит в состав зеленого пигмента листьев хлорофилла и непосредственно участвует в фотосинтезе. В хлорофилле содержится 2,7 % (по весу) магния, что составляет около 10 % общего его содержания в зеленых частях растений. Остальное количество магния необходимо для регулирования нормального протекания биологических процессов в протоплазме, а также построения самой протоплазмы и клеток [21–23].

Магний выполняет структурообразующую роль, входя в состав органелл, клеток, мембран, клеточных стенок, а также важную функциональную роль в составе около 300 ферментов. Устранение недостатка магния в питании растений улучшает азотный обмен в растениях, увеличивая содержание общего и белкового азота. Магний участвует в процессах трансформации фосфорных соединений.

Взрослому человеку рекомендуется потреблять 320–420 мг Mg в день. Рекомендованное диетологами содержание магния составляет от 6 мг Mg/kg массы тела/день.

Дозы внесения магния под различные сельскохозяйственные культуры зависят от биологических особенностей растений и их отзывчивости на магниевые удобрения, содержания магния в почве, а также от периодичности внесения других магнийсодержащих удобрений (в первую очередь доломитовой муки, которая содержит 18–20 % MgO).

Кроме доломитовой муки, магний содержится в органических удобрениях (подстильный навоз – 1,0–1,1 кг/т, компост – 0,6–1,0 кг/т, помет птичий – 5,0 кг/т, солома и зеленое удобрение – 1,0 кг/т MgO) и золе [24].

В качестве магнийсодержащих удобрений в Республике Беларусь применяют также сульфат магния (эпсомит,  $MgSO_4 \times 7H_2O$ ), который содержит 16,2 % MgO и комплексные минеральные удобрения, в состав которых входит магний; в мировом земледелии – кизерит (25–30 % MgO), калимагнезию (8–10 % MgO, 28–30 %  $K_2O$ ), каинит (6–7 % MgO, 10–12 %  $K_2O$ ) и др. [21, 23].

Калий в растениях содержится в основном в цитоплазме и вакуолях в ионной форме и не входит в состав органических соединений, однако оказывает существенное влияние на обмен веществ в клетках, усиливает синтез органических соединений (крахмала, сахарозы, витаминов), позитивно влияет на интенсивность фотосинтеза и т. д. [22, 23].

Следует отметить, что питательные элементы, содержащиеся в сапонитсодержащих базальтовых туфах и глауконитсодержащих породах, доступными для растений могут быть только после выветривания порообразующих минералов, что делает весьма актуальным его изучение.

Цель исследований – изучить процессы выветривания новых видов агромелиорантов: сапонитсодержащих базальтовых туфов и глауконитсодержащей породы.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучение процессов выветривания сапонитсодержащих базальтовых туфов и глауконитсодержащей породы проводили в модельном лабораторном эксперименте в ходе совместных исследований УО «Белорусская государственная сель-

скохозяйственная академия» (г. Горки, Республика Беларусь) и Института общего и зонального почвоведения Университете Хоэнхайм (г. Штутгарт, Германия).

Изучаемый материал (10 г измельченных сапонитсодержащих базальтовых туфов и глауконитсодержащей породы согласно ТУ [25, 26]) помещали в раствор серной кислоты объемом 100 мл с различными показателями pH (pH 4, pH 5) на 10 дней при периодическом помешивании раствора. В качестве контроля аналогичное количество изучаемого материала сапонитсодержащих базальтовых туфов и глауконитсодержащей породы помещали в раствор  $H_2O$ . По окончании эксперимента в растворе измеряли концентрацию K, Ca (пламенный фотометр Elex 6361), Mg, Fe, Al, Si (атомный адсорбционный спектрометр AAS 3100). Модельный эксперимент проводили в 5-кратной повторности.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Основу сапонитсодержащих базальтовых туфов составляет сапонит  $(Ca_{0,5}, Na)_{0,3}[(Mg, Fe)_3(Si, Al)_4O_{10}](OH)_2 \cdot 4H_2O$ , глинистый минерал, слоистый силикат из группы монтмориллонита (сметкитов) [2, 7, 26].

В составе сапонитсодержащих базальтовых туфов юга-запада Республики Беларусь присутствуют также такие минералы, как полевые шпаты (плагноклаз: альбит  $Na[AlSi_3O_8]$  – анортит  $Ca[Al_2Si_2O_8]$ ; ортоклаз  $K[AlSi_3O_8]$ ), гидрослюда  $K_x(Al, Mg, Fe)_{2-3}(Si_{4-x}Al_xO_{10}) \cdot (OH)_2 \cdot nH_2O$ , каолинит  $Al_4[Si_4O_{10}](OH)_8$ , гематит  $\alpha-Fe_2O_3$ , анальцим  $Na[AlSi_2O_6] \cdot H_2O$  и другие цеолиты, кварц  $SiO_2$  и др. [1, 2].

В усредненных пробах, отобранных в Пинском, Ивановском и Малоритском районах Брестской области, содержание MgO составило 6,53–9,87 %,  $K_2O$  – 0,79–3,46 %,  $N_{общ}$  – 0,14–0,18 %,  $P_2O_5$  – 0,22–0,24 %,  $Na_2O$  – 2,31–3,29 %, CaO – 0,04–1,94 %, FeO – 17,06–24,20 %,  $Al_2O_3$  – 11,50–14,49 %,  $SiO_2$  – 41,82–57,12 %.

Наряду с макроэлементами, в туфе обнаружены микроэлементы: содержание подвижных соединений марганца в среднем составило 162,39 мг/кг, кобальта – 4,45 мг/кг, цинка – 35,37 мг/кг, меди – 51,69 мг/кг.

Глауконитсодержащие породы представляют собой глауконит-кварцевые слюдястые алевриты, алевролиты и тонко-мелкозернистые пески. Минерал глауконит  $K(Fe^{3+}, Al, Fe^{2+}, Mg)_2[AlSi_3O_{10}](OH)_2 \cdot nH_2O$  – водный алюмосиликат калия и железа непостоянного состава из группы гидрослюд, в котором дефицит калия может компенсироваться присутствием катионов  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$  или  $H_3O^+$ .

Содержание глауконита в породах варьирует в пределах 10–25 масс. %; присутствуют также: кварц  $SiO_2$ , полевые шпаты (плагноклаз: альбит  $Na[AlSi_3O_8]$  – анортит  $Ca[Al_2Si_2O_8]$ ; ортоклаз  $K[AlSi_3O_8]$ ), монтмориллонит  $(Na, Ca)_{0,33}(Al, Mg)_2(Si_4O_{10})(OH)_2 \cdot nH_2O$ , гидрослюда  $K_x(Al, Mg, Fe)_{2-3}(Si_{4-x}Al_xO_{10}) \cdot (OH)_2 \cdot nH_2O$ , мусковит  $KAl_2[AlSi_3O_{10}](OH)_2$ , сидерит  $FeCO_3$ , каолинит  $Al_4[Si_4O_{10}](OH)_8$ , фосфаты  $(CH_3O)_nP(O)(OH)_{3-n}$  и др.

В усредненной пробе глауконитсодержащей породы месторождения Новодворское содержание  $K_2O$  в среднем составило 1,33–3,10 %, MgO – 0,26–0,28 %,  $N_{общ}$  – 0,06–0,07 %,  $P_2O_5$  – 0,12–0,14 %, CaO – 0,91–0,97 %, подвижных соединений марганца – 12,4 мг/кг, кобальта – 4,5 мг/кг, цинка – 13,8 мг/кг, меди – 10,7 мг/кг [1, 9, 25].

В результате исследований в модельном эксперименте установлено, что уровень pH оказал существенное влияние на процессы выветривания сапонитсодержащих базальтовых туфов и глауконитсодержащей породы (табл. 1, 2).

Таблица 1

**Процессы выветривания сапонитсодержащих базальтовых туфов**

Раствор (начало)	K	Mg	Ca	Al	Fe	Si	Раствор (окончание)
	мг/кг						
pH 4	60,5	54,4	188,3	1,7	2,0	39,2	pH 7,23
pH 5	35,1	42,5	85,0	1,2	1,5	39,4	pH 7,28
H <sub>2</sub> O	34,4	29,5	72,8	0,9	0,9	38,4	pH 7,30

Таблица 2

**Процессы выветривания глауконитсодержащей породы**

Раствор (начало)	K	Mg	Ca	Al	Fe	Si	Раствор (окончание)
	мг/кг						
pH 4	234,5	9,7	2146,5	93,9	304,8	84,3	pH 2,79
pH 5	223,0	7,1	1893,8	81,3	270,5	85,5	pH 2,80
H <sub>2</sub> O	202,7	8,3	1686,3	74,7	211,0	80,7	pH 2,81

Исследования по выветриванию сапонитсодержащих базальтовых туфов показали, что в почвенный раствор активно переходили катионы калия, магния и кальция, а катионы алюминия и железа практически не вымывались. При этом более высокие показатели выветривания калия, магния и кальция получены в растворах серной кислоты с pH 4 (соответственно 60,5, 54,4 и 188,3 мг/кг), наименьшие – при использовании H<sub>2</sub>O (34,4 – K, 29,5 – Mg и 72,8 мг/кг – Ca).

Как показали результаты аналогичных исследований с гранитом по выветриванию почвообразующих минералов, при pH > 4 вымывание катионов алюминия и кремния, которые находятся в плотной решетке Al-O-Si-O, а также железа практически не происходило. В данных условиях с протонами H<sup>+</sup> в первую очередь реагировали менее связанные щелочные и щелочноземельные катионы K, Ca, Na, Mg [27–30].

В процессе выветривания сапонитсодержащих базальтовых туфов происходило некоторое подщелачивание раствора, что позволяет рекомендовать внесение сапонитсодержащих туфов в первую очередь на почвах с повышенной кислотностью; на почвах, с учетом высокого содержания в сапонитсодержащих базальтовых туфах магния, где известкование проводится дефекатом или карбонатным сапропелем, а также на почвах легкого гранулометрического состава с низким и средним содержанием магния.

В Республике Беларусь средневзвешенная величина pH<sub>KCl</sub> пахотных почв составляет 5,84, улучшенных луговых угодий – 5,87 [31], что позволяет применять сапонитсодержащие базальтовые туфы в качестве магнийсодержащих мелиорантов практически повсеместно. При этом, однако, следует учитывать не только агрономическую, но и экономическую эффективность их применения [1, 2, 11–14].

Наиболее отзывчивы на внесение сапонитсодержащих базальтовых туфов бобовые и зернобобовые культуры [1, 2, 13], а также культуры-кальциефилы, которые требуют для своего роста и развития нейтральные или близкие к нейтральным почвы [32].

В исследованиях по изучению процессов выветривания глауконитсодержащей породы в раствор активно переходили как щелочные и щелочноземельные

катионы К, Са и Mg, так и кислотные катионы Al и Fe, что связано, в первую очередь, с достаточно «рыхлым» строением глауконитсодержащих пород. Активное вымывание кислотных катионов приводило также к существенному подкислению изучаемых растворов с pH 4–5 до pH 2,79–2,80.

Поэтому внесение глауконитсодержащих пород более целесообразно на нейтральных и слабощелочных почвах, а также под культуры-кальциефобы, которые требуют для своего роста и развития более кислую реакцию почвенного раствора [32].

Рекомендуется также ограничить дозы внесения глауконитсодержащих пород, что связано как с их агрохимической, так и экономической эффективностью [1, 9].

## ВЫВОДЫ

В исследованиях по изучению процессов химического выветривания сапонитсодержащих базальтовых туфов установлено, что в раствор переходили в основном щелочные и щелочноземельные катионы К, Са и Mg с более высокими показателями при pH 4, а также происходило некоторое подщелачивание раствора. Кислотные катионы Al и Fe при pH > 4 практически не вымывались.

При выветривании глауконитсодержащих пород на всех уровнях pH в раствор активно переходили как щелочные и щелочноземельные катионы К, Са и Mg, так и кислотные катионы Al и Fe, что приводило к подкислению раствора.

При использовании сапонитсодержащих базальтовых туфов и глауконитсодержащих пород в качестве мелиорантов в агробиоценозах следует учитывать отличия в процессах их выветривания.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Применение агроmeliорантов при возделывании сельскохозяйственных культур / В. Н. Босак [и др.]. – Горки: БГСХА, 2020. – 18 с.
2. Применение сапонитсодержащих базальтовых туфов в земледелии / В. Н. Босак [и др.]. – Минск: БГТУ, 2016. – 14 с.
3. Hydrothermal alteration of the Ediacaran Volyn-Brest volcanics on the western margin of the East European Craton / J. Środoń [et al.] // *Precambrian Research*. – 2019. – № 325. – P. 217–235.
4. Кольненков, В. П. Сорбционные свойства сапонитсодержащих туфов Беларуси / В. П. Кольненков, Г. Д. Стрельцова, О. В. Мурашко // *Природные ресурсы*. – 2015. – № 2. – С. 5–12.
5. Левченко, Е. Н. Глауконит России: состояние, перспективы освоения и развития минерально-сырьевой базы / Е. Н. Левченко, Л. П. Тигунов. – М.: ВИМС, 2011. – 65 с.
6. Ecological sorbent which is mainly consist of saponite mineral from Ukrainian clay-field / V. Spivak [et al.] // *Chemistry & Chemical Technology*. – 2012. – Vol. 6, № 4 – P. 451–457.
7. *Numitor*, G. Saponite / G. Numitor. – Fly Press, 2012. – 60 p.
8. Poznyak, A. I. Basaltic and granitic rocks as components of ceramic mixes for interior wall tiles / A. I. Poznyak, I. A. Levitskii, S. E. Barantseva // *Glass and Ceramics*. – 2012. – Nr. 7–8. – P. 262–266.
9. Агрономическая эффективность применения глауконита при возделывании

сельскохозяйственных культур / В. Н. Босак [и др.] // Вестник БГСХА. – 2021. – № 1. – С. 63–66.

10. Акулич, М. П. Урожайность и качество укропа пахучего в зависимости от применения минеральных удобрений, агроmeliорантов и биопрепаратов / М. П. Акулич, В. Н. Босак // Овощеводство. – 2019. – Т. 27. – С. 6–11.

11. Босак, В. Н. Агроэкономическая эффективность применения агроmeliорантов и биопрепаратов при возделывании укропа пахучего / В. Н. Босак, М. П. Акулич // Овощеводство. – 2020. – Т. 28. – С. 6–12.

12. Босак, В. Н. Применение сапонитсодержащего базальтового туфа при возделывании овощных культур / В. Н. Босак, Т. В. Сачивко // Вестник БарГУ. Серия: Биологические науки. Сельскохозяйственные науки. – 2017. – № 5. – С. 83–88.

13. Босак, В. Н. Применение сапонитсодержащих базальтовых туфов при возделывании зерновых и зернобобовых культур / В. Н. Босак, Т. В. Сачивко // Агрохимия. – 2017. – № 9. – С. 58–62.

14. Влияние сапонитсодержащих базальтовых туфов на продуктивность сельскохозяйственных культур / В. Н. Босак [и др.] // Земледелие и защита растений. – 2016. – № 5. – С. 6–9.

15. Влияние сапонитсодержащих материалов на плодородие почв и урожайность однолетних полевых трав после первого года внесения / Е. М. Романов [и др.] // Агрохимический вестник. – 2019. – № 6. – С. 42–46.

16. Государственный реестр средств защиты растений и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь / А. В. Пискун [и др.]. – Минск: Промкомплекс, 2020. – 742 с.

17. О возможностях использования в сельском хозяйстве глауконита из пород Бакчарского месторождения (Западная Сибирь) / М. А. Рудмин [и др.] // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2016. – Т. 327, № 11. – С. 6–16.

18. Применение сапонитсодержащих материалов в качестве минерального удобрения при выращивании картофеля в Архангельской области / Е. Н. Наквасина [и др.] // Вестник КрасГАУ. – 2019. – № 1. – С. 60–68.

19. Романов, Е. М. Применение водной суспензии сапонита на дерново-слабоподзолистой супесчаной окультуренной почве в качестве мелиоранта / Е. М. Романов, Е. Н. Наквасина, Е. Н. Косарева // Вестник КрасГАУ. – 2020. – № 8. – С. 9–17.

20. Franzosi, C. Technical Evaluation of Glauconies as Alternative Potassium Fertilizer from the Salamanca Formation, Patagonia, Southwest Argentina / C. Franzosi, L. N. Castro, A. M. Celeda // Natural Resources Research – 2014. – Vol. 23 (3). – P. 311–320.

21. Богдевич, И. М. Магниевые удобрения на дерново-подзолистых почвах / И. М. Богдевич, О. В. Ломонос; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2009. – 39 с.

22. Лапа, В. В. Применение удобрений и качество урожая / В. В. Лапа, В. Н. Босак; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2006. – 120 с.

23. Справочник агрохимика / В. В. Лапа [и др.]. – Минск: Белорусская наука, 2007. – 390 с.

24. Босак, В. Н. Органические удобрения / В. Н. Босак. – Пинск: ПолесГУ, 2009. – 256 с.

25. Порода глауконитсодержащая: технические условия ТУ ВУ 192018546.017-

2020 / О. Ф. Кузьменкова [и др.]. – Минск: БелГИСС, 2020. – 11 с.

26. Туф базальтовый сапонитсодержащий измельченный: технические условия ТУ ВУ 192018546.015-2017 / Г. Д. Стрельцова [и др.]. – Минск: Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь, 2017. – 12 с.

27. *Босак, В. М.* Выветриванне пародаўтваральных мінералаў праз антрапагеннаўносімыя кіслоты / В. М. Босак, М. Царай, К. Штар // Весці ААН Рэспублікі Беларусь. – 1996. – № 2. – С. 37–40.

28. *Босак, В. Н.* Влияние антропогенноносимых кислот на процессы выветривания гранита / В. Н. Босак, К. Штар // Труды БГТУ: Лесное хозяйство. – 2012. – № 1. – С. 218–220.

29. *Босак, В. Н.* Воздействие антропогенного подкисления почв на процессы выветривания породообразующих минералов / В. Н. Босак, М. Царай, К. Штар // Почвоведение и агрохимия. – 1996. – Вып. 29. – С. 46–51.

30. *Bosak, V.* Einfluß verschiedener Säurestärken und Anionen auf die Verwitterungswerte von Granit im Modellexperiment / V. Bosak, K. Stahr, M. Zarei // Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft. – 2007. – № 110/2. – S. 639–640.

31. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (2013–2016) / И. М. Богдевич [и др.]; под общ. ред. И. М. Богдевича; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: ИВЦ Минфина, 2017. – 275 с.

32. Известкование почв в севооборотах с кальциефобными культурами / В. В. Лапа [и др.]. – Минск: БелНИВНФХ в АПК, 2006. – 24 с.

## PROCESSES OF CHEMICAL WEATHERING OF NEW TYPES OF AGROMELIORANTS

V. M. Bosak, T. U. Sachyuka

### Summary

In studies in a model experiment, it was found that in the process of weathering saponite-containing basaltic tuffs, mainly cations K, Ca and Mg are washed out and some alkalization of the solution occurs.

In the process of weathering of glauconite, both alkaline and alkaline earth cations K, Ca and Mg, and acid cations Al and Fe actively pass into the solution, which leads to acidification of the solution.

Differences in the weathering processes of saponite-containing basalt tuffs and glauconite should be taken into account when they are used as agromeliorants in biocenoses.

*Поступила 23.02.2022*