

10. Молодило отпрысковое *Sempervivum soboliferum* Lims. // Флора БССР. Т.2 / Институт биологии Академии наук Белорусской ССР ; ред. : Н. А. Дорожкин. – Минск: Изд-во Академии наук Белорусской ССР, 1949. – С. 468–470.

11. Определитель высших растений Украины / [Д.Н.Доброчаева, М.И.Котов, Ю.Н.Прокудин и др.; отв. ред. Ю.Н.Прокудин]. – 1-е изд. – К.: Наук. думка, 1987. – 547 с.

12. Природа Волинської області / [за ред. К.І. Геренчука]. – Львів: Вид-во Львів. ун-ту, 1975. – 133 с.

13. Природно-заповідний фонд Волинської області (Огляд територій і об'єктів природно-заповідного фонду в розрізі районів) / [упор. М. Химин та ін.]. – Луцьк: Ініціал, 1999. – С. 33.

14. Работнов, Т. А. Жизненный цикл многолетних травянистых растений в луговых ценозах / Т. А. Работнов // Тр. Бот. ин-та АН СССР. Сер. 3. Геоботаника. – 1950. – Вып. 6. – 176 с.

15. Работнов, Т.А. Фитоценология: учебное пособие для биологических факультетов вузов. – М.: Изд-во МГУ, 1978. – 384 с

16. Смирнова, О.В. Ценопопуляции растений (основные понятия и структура) / О. В. Смирнова, Л. Б. Заугольнова, И. М. Ермакова и др. – М.: Наука, 1976. – 217 с.

17. Физико-географическое районирование Украинской ССР / [под ред. В.П. Попова, А.М. Маринича, А.И. Ланько]. – К.: Изд-во Киев. ун-та, 1968. – 684 с.

18. Matuszkiewicz, W. Przewodnik do oznaczania zbiorowisk roślinnych Polski / W. Matuszkiewicz. – Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN SA, 2001. – S. 121, 253.

19. Mosyakin, S. L. Vascular plants of Ukraine. A nomenclature checklist / S. L. Mosyakin, M. M. Fedoronchuk; ed. S. L. Mosyakin. – K. : M. G. Kholodny Institute of Botany, 1999. – S. 193–194.

УДК 661.89:622.363.2'17

## РЕСУРСЫ ОАО “БЕЛАРУСЬКАЛИЙ” ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ НОВЫХ ФОРМ КАЛИЙНЫХ УДОБРЕНИЙ ПРОЛОНГИРОВАННОГО ДЕЙСТВИЯ

**Лаевская Е.В., Воробьёва Е.В., Матрунчик Ю.В.**

Государственное научное учреждение «Институт общей и неорганической химии Национальной академии наук Беларуси», г. Минск, Республика Беларусь, [layeuskaya@gmail.com](mailto:layeuskaya@gmail.com)

*To evaluate the prolonged action of fertilizers on the basis of clay-salt residues of potassium production we studied the mobility and moisture resistance of mineral nutrients in comparison with standard potassium fertilizers. Results of the study are presented in the paper.*

### **Введение**

Калийная руда состоит из смеси хлоридов калия, натрия и глинистых минералов. Промышленный интерес представляет хлорид калия, используемый в качестве удобрения, но его концентрация в руде составляет около 25 %. Калийную соль выделяют из руды на обогатительных фабриках, остальные составляющие части руды (глинистые минералы и NaCl) становятся отходами калийного производства [1].

В Республике Беларусь проблема захоронения и использования отходов производства калийных удобрений является одной из наиболее сложных из-за нарастающих темпов развития данной отрасли промышленности, больших

объемов производства и отсутствия эффективного способа их утилизации. По объему накопленных и годовому объему складированных на поверхности отходов, по занимаемым ими площадям, наша страна опередила все крупнейшие страны-производители калийных удобрений [2].

Опасным источником засоления почв и водоемов являются шламохранилища, содержащие жидкие глиносодержащие отходы. Шламохранилища при воздействии на них атмосферных осадков, ветровой и водной эрозии служат источниками загрязнения на значительной территории земельных угодий, поверхностных и подземных водных ресурсов. Несмотря на защитные экраны, накапливающиеся концентрированные солевые рассолы фильтруются в подстилающие грунты и водоносные горизонты, что подтверждается многолетними геофизическими наблюдениями. Из оборота выводятся значительные площади сельскохозяйственных земель, существует опасность разрушения дамб, прорыва рассолов и засоления территорий. В странах СНГ и мира имеется ряд негативных примеров разрушения дамб-накопителей и поступления больших объемов солевых отходов калийного производства в поверхностные водоемы.

В результате многолетней эксплуатации на территории Старобинского месторождения калийных солей под шламохранилищами занято свыше 1115 га земель. Объемы жидких глиносодержащих отходов ежегодно увеличиваются: за более чем пятидесятилетний период добычи и обогащения калийных солей в шламохранилищах накопилось почти 95 млн. т глинисто-солевых шламов [2-3].

В течение нескольких десятилетий предпринимались попытки найти решение проблемы переработки и использования глиносодержащих отходов калийного производства, в которых содержится около 15 % KCl и другие ценные компоненты – натрий, бор, магний, кальций, железо. В связи с тем, что глинистую часть отделяют на начальных стадиях процесса обогащения руды, до обработки флотационными, гидрофобизирующими и антислеживающими реагентами (аминами, парафинами, ферроцианидами и др.), в глиносодержащих отходах отсутствуют токсичные химические вещества [4]. Этот продукт, сформированный из осадочных пород донных отложений древних морей, правильнее отнести не к отходам производства, а к природным ресурсам, пригодным для использования. Однако, несмотря на содержание ценных компонентов, непосредственное использование отходов практически невозможно в связи с их полужидкой формой (суспензия) и высокой концентраций солей в жидкой фазе.

Известные способы переработки глиносодержащих отходов калийного производства основаны на их сушке, что требует значительных энергозатрат [5]. Кроме того, после удаления влаги водорастворимые соли (KCl, NaCl) остаются в высушенном остатке и высокое солесодержание препятствует использованию высушенных продуктов для агрохимических целей, гражданского и дорожного строительства.

В Институте общей и неорганической химии НАН Беларуси разработана комплексная технология переработки глиносодержащих отходов калийного производства, позволяющая полностью использовать ценный природный ресурс – калий. Основой технологии является отделение солевого раствора и возврат его в технологический процесс обогащения [6].

После отделения жидкой солевой фазы образуется продукт, зарегистрированный как «Продукт глинистый минерализованный, ПГМ», ТУ ВУ 600122610.003-2015. ПГМ содержит (масс. % по сухому веществу): глина 76–80, хлорид калия

8–10, хлорид натрия 12–14. Содержание микроэлементов (мг/кг): бор 380–420; марганец 150–170; цинк 24–28; медь 3–4,5. Благодаря особенностям природного формирования, ПГМ содержит естественным образом интегрированные в структуру глинистого материала микроэлементы (бор, марганец, цинк и др.), оказывающие положительное влияние на продуктивность сельскохозяйственных культур. Дисперсный состав отходов содержит большое количество тонкодисперсных глинистых частиц, что улучшает микроструктуру почвы.

Разработана и апробирована в лабораторных и опытно-промышленных условиях технология гранулирования ПГМ. Установлено, что ПГМ хорошо совмещается в процессе гранулирования с минеральными солями (калийные, азотные, фосфорные) и органическими веществами (торф, сапропель, гуматы). На одной технологической линии могут быть получены гранулированные удобрения широкого состава. Это позволяет не только использовать ценный состав ПГМ (калий, натрий, микроэлементы), но и усилить его компонентами, необходимыми для питания растений.

Применение удобрений на основе ПГМ перспективно для решения актуальной проблемы повышения эффективности использования минеральных удобрений. Низкая степень использования туков (для азота и калия 30–60 %, для фосфора 20 %) связана с их высокой растворимостью в воде и, как следствие этого, значительным вымыванием питательных компонентов грунтовыми и дождевыми водами. Вымывание удобрений приводит к загрязнению природных водоемов и нарушению в них экологического равновесия. Одним из путей повышения эффективности использования минеральных удобрений является производство удобрений пролонгированного действия.

В данной работе с целью оценки пролонгирующего действия представлены результаты исследования подвижности и влагостойкости элементов минерального питания в новых удобрениях на основе ПГМ в сравнении со стандартными калийными удобрениями, а также данные по степени выноса калия ( $K_2O$ ) как элемента минерального питания растений из почвы в реальных почвенных системах при выращивании картофеля.

### **Основная часть**

В работе использовали гранулы, полученные в опытно-промышленных условиях, следующего состава (по сухому в-ву): 90 % ПГМ и 10 %  $KCl$  (состав 1) и 60 % ПГМ и 40 %  $KCl$  (состав 2). Учитывая, что содержание  $KCl$  в ПГМ 10 %, общее содержание  $KCl$  составило 20 и 50 % для составов 1 и 2, соответственно.

Рассчитан объем годовой нормы осадков (средние для Беларуси) с учетом площади емкости исследуемых образцов и разработаны почвенные модельные системы, в которые внесены образцы новых удобрений на основе ПГМ (составы 1 и 2) и стандартного калийного удобрения. На лабораторном лизиметрическом стенде через почву с удобрением пропускали воду, собирали жидкую фазу и проводили в ней количественное определение ионов калия, натрия и хлор-ионов.

В таблице представлены результаты исследования кинетики процесса вымывания элементов из почвы в отсутствие растений при пропускании  $1/5$  ( $V_1$ );  $1/2$  ( $V_2$ ); и  $2/3$  ( $V_3$ ) объема воды от годовой нормы осадков. Результаты исследования показали, что при пропускании через образцы объема воды  $V_1$  из почвы со стандартным калийным удобрением вымывается на 15–17 % калия больше, чем из удобрений на основе ПГМ. При пропускании через образ-

цы объема воды  $V_2$  и  $V_3$  концентрация калия в промывной воде ниже на 20-25 % и на 13–15 %, соответственно, в образцах удобрений на основе ПГМ, чем стандартного калийного удобрения.

**Таблица – Содержание катионов калия, натрия и аниона хлора в жидкой фазе**

Состав удобрений	Содержание катионов калия, натрия и ионов хлора в жидкой фазе после пропускания воды, % от исходного количества								
	$K^+$			$Na^+$			$Cl^-$		
	$V_1$	$V_2$	$V_3$	$V_1$	$V_2$	$V_3$	$V_1$	$V_2$	$V_3$
Состав 1	16,8	58,5	77,0	22,7	63,1	86,4	73,2	23,6	2,9
Состав 2	19,2	63,4	79,4	23,0	70,2	93,8	72,8	25,1	2,0
KCl станд.	34,0	83,2	92,5	–	–	–	72,0	24,9	2,6

Полученные результаты можно объяснить более медленным выделением калия из состава гранул удобрения, содержащего ПГМ, вследствие того, что ионы калия связаны в обменном комплексе с глинистыми минералами. Калий обменный находится на поверхности органоминеральных коллоидов и доступен для растений. Кроме того, гранулы удобрения на основе ПГМ медленно набухают в почве и из-за присутствия глинистых минералов влагоустойчивость новых удобрений выше по сравнению с хорошо растворимой солью хлорида калия (стандартное калийное удобрение). Это подтверждается тем, что с увеличением содержания глины в образце (состав 1) скорость вымывания калия замедляется при одинаковом содержании калия в исследуемых образцах.

Присутствие натрия в удобрениях на основе ПГМ, важно для питания растений. Необходимость данного элемента питания практически для всех видов растений обусловлено его участием в транспорте веществ через мембраны растений. Хорошая обеспеченность растений натрием повышает их зимостойкость. При его недостатке замедляется образование хлорофилла [7]. При наличии в почве натрия одновременно с калием при выращивании свеклы в клетках растений ограничивается экстракция кристаллизованного сахара, за счет чего увеличивается его содержание в мелассе, что повышает сахаристость продукта. В удобрениях для выращивания свеклы оптимальные пределы соотношения калия и натрия (3–5):1. В питании сахарной свеклы значительную роль играют магний, кальций, сера и микроэлементы, особенно, бор и марганец, которые необходимы для накопления сахара в корнеплоде [8]. Кроме свеклы, много натрия использует капуста (белокочанная, цветная и кормовая), а также другие растения из семейства крестоцветных – брюква, турнепс, редис и горчица. К этой группе растений, но с несколько меньшим поглощением натрия, относятся: ячмень, овес, люпин, лен, люцерна и др. культуры.

Как следует из таблицы, для образцов с составами 1 и 2 скорость вымывания катионов натрия выше по сравнению с вымыванием катиона калия. Это связано с большей подвижностью ионов натрия в почвенном рассоле и меньшей энергией связи этих, относительно небольших ионов, с функциональными группами минеральных частиц и гуминовых компонентов почвы.

Зависимость содержания хлор-иона в жидкой фазе от объема пропускаемой через почву воды приблизительно одинакова для составов на основе ПГМ и калийного удобрения (таблица). После пропускания объемов воды  $V_1$  и  $V_2$ , соответствующих 20 и 50 % от годовой нормы осадков, что приблизительно соответствует осадкам в весенне-паводковый период времени, хлориды вымываются из почвы почти полностью. Хлор в растении незаменим для поступления и реутилизации катионов, поддержания водного режима, энергетических

процессов, ограничения высокого содержания нитратов, повышения устойчивости к болезням. Следует отметить, что больше ежегодно вносится хлора с навозом (30-50 кг/га) и поступает с осадками (20-50 кг/га). Сахарная свекла отзывчива на хлор [8]: при урожае, к примеру, 300 ц/га свекла выносит из почвы до 375 кг хлора.

Пролонгирующее действие гранулированных удобрений в реальных почвенных системах при выращивании картофеля оценивали по степени выноса калия ( $K_2O$ ) как элемента минерального питания растений из почвы. Гранулы удобрений на основе ПГМ и стандартного калийного удобрения, упакованные в капроновые мешочки и внесенные локально в лунку, по окончании опыта (через 105 дней) были извлечены из почвы и проанализированы на содержание калия. Также по окончании опыта была проанализирована почва на содержание калия ( $K_2O$ ) в слое на глубине внесения удобрений (5–10 см) и корнеобитания (20-25 см).

Испытания показали, что после окончания опыта в составе гранул удобрения на основе ПГМ обнаружены неизрасходованные элементы питания растений в количестве 19 % (состав 1) и 16,5 % (состав 2)  $K_2O$  от исходного содержания против 12,5 % для стандартного калийного удобрения.

Агрохимический анализ слоев почвы (5–10 и 20–25 см) показал, что скорость миграции калия из зоны внесения в случае удобрений на основе ПГМ ниже по сравнению с калийным удобрением. К концу вегетации большее количество калия было обнаружено в нижних слоях почвы (20–25 см) в вариантах со стандартным калийным удобрением.

Урожайность картофеля при использовании новых удобрений на основе ПГМ на 10-13 % выше, чем при внесении стандартного калийного удобрения при одинаковом содержании  $K_2O$ . В вариантах с внесением гранулированных удобрений обоих составов по сравнению с контрольным наблюдается увеличение содержания крахмала в клубнях. Количество нитратов незначительно для всех исследованных вариантов.

Медленное вымывание калия из почвы при использовании удобрений на основе ПГМ означает, что калий продолжительное время удерживается в почве и питание растений более эффективно. Причиной пролонгированного действия удобрений на основе ПГМ является то, что калий связан в обменный комплекс с глинистыми минералами и прочнее удерживается в гранулах. Кроме того, в гранулы, содержащие глину, медленнее проникает вода, что замедляет растворение и вымывание калия.

### **Заключение**

Ввиду того, что глиносодержащие отходы, накопленные в шламохранилищах, занимают огромную полезную площадь и создают постоянную опасность загрязнения почвы, атмосферы, водоемов, их переработка и использование в качестве новых форм калийных удобрений, помимо экономического эффекта экономии калия, обеспечивает решение актуальной экологической проблемы в плане как утилизации отходов калийного производства, так и получения новых форм калийных удобрений пролонгированного действия.

Показано, что степень вымывания калия уменьшается на 13-25 %, степень удержания калия в почве в опытах по выращиванию картофеля увеличивается на 4,0-6,5 %, урожайность картофеля возрастает на 10-13 % по сравнению со стандартными калийными удобрениями.

Применение удобрений на основе ПГМ, кроме повышения агрохимической эффективности за счет обогащения состава калийного удобрения пита-

тельными элементами, позволяет существенно снизить загрязнение поверхностных и подземных вод сельскохозяйственных районов выносимыми компонентами минеральных удобрений.

### **Список литературы**

1. Экологические проблемы применения удобрений / В.Н. Кудеяров [и др.] ; под ред. В.А. Ковды. – Москва : Наука, 1984. – 211 с.
2. Лысухо, Н.А. Воздействие объектов размещения отходов на окружающую среду / Н.А. Лысухо, Д.М. Ерошина // Отходы производства и потребления, их влияние на природную среду: монография / Н.А. Лысухо, Д.М. Ерошина. – Минск.: МГЭУ им. А.Д. Сахарова, 2011. – Гл. 3. – С. 37–142.
3. Состояние природной среды Беларуси: экологический бюллетень, 2001 год / НАН Беларуси, Ин-т природопользования ; под общ. ред. В.Ф. Логинова. – Минск : Минсктиппроект, 2002. – 232 с.
4. Печковский, В.В. Технология калийных удобрений / В.В. Печковский, Х.М. Александрович, Г.Ф. Пинаев ; под ред. В.В. Печковского . – Минск : Вышэйш. школа, 1968. – 264 с.
5. Смычник, А.Д. Основные направления утилизации шламовых отходов перерабатывающих производств / А.Д. Смычник, С.Ф. Шемет, В.В. Сапешко // Горный журнал. – 2010. – № 8. – С.89-91.
6. Воробьева, Е.В. Полимерные комплексы в водных и солевых средах / Е.В. Воробьева, Н.П. Крутько. – Минск: Беларус. навука, 2010. – 175 с.
7. Палладина, Т.А. Функционирование ионов натрия, калия АТФазы у сахарной свеклы / Т.А. Палладина // Современные проблемы физиологии и биохимии сахарной свеклы : сб. науч. трудов / Ин-т физиологии растений АН УССР ; под общ. ред. Д.М. Гродинского. – Киев : «Наукова думка», 1981. – С.100-103.
8. Вострухин, Н.П. Сахарная свекла / Н.П. Вострухин. – Минск : Минская фабрика цветной печати, 2011. – 384 с.

УДК 551.509.313

## **ОПЕРАТИВНЫЙ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС МЕЗОМАСШТАБНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ WRF-ARW. РЕАЛИЗАЦИИ СЧЕТА В ГИДРОМЕТЕ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Лаппо П.О.**

ГУ «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды», г.Минск, Республика Беларусь, [laporo@bsu.by](mailto:laporo@bsu.by)

*This article presents the general information about WRF-ARW model in Hydromet of the Republic of Belarus and the results of verification output data in model WRF in 2015. Also article is supported to give information about techniques of adjustment of additional characteristics in objective analysis - OBSGRID. This system is now being implemented for the operational work of the Hydromete Center of the Republic of Belarus.*

### **Введение**

Широкое применение численных моделей для составления прогноза погоды, обусловлено способностью современных моделей отражать как глобальные, так и локальные особенности атмосферных процессов. Кроме того, увеличение временного и пространственного разрешений моделей позволяет специалисту идентифицировать развитие локального атмосферного процесса.