



## GRANULAR COMPLEX NITROGEN-POTASSIUM-MAGNESIUM-CONTAINING FERTILIZERS BASED ON AMMONIUM NITRATE MELT AND VERMICULITE OF KARAKALPAKSTAN

**Jabbarbergenov M.Zh.**

Doctoral student of Berdakh Karakalpak State University

**Sh.S. Namazov**

Institute of General and Inorganic Chemistry of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Doctor of Technical Sciences, Academician

**Madenov B.D.**

Berdakh Karakalpak State University, Candidate of Technical Sciences Associate Professor PhD

**Mamataliev A.A.**

Institute of General and Inorganic Chemistry of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Doctor of Technical Sciences  
<https://doi.org/10.5281/zenodo.13382385>

### ARTICLE INFO

Received: 22<sup>th</sup> August 2024

Accepted: 27<sup>th</sup> August 2024

Online: 28<sup>th</sup> August 2024

### KEYWORDS

Ammonium nitrate, melt, vermiculite, nitrogen-potassium-magnesium fertilizer, composition and properties.

### ABSTRACT

To produce thermally stable ammonium nitrate (AN) and reduce its explosive properties, a process for obtaining nitrogen-potassium-magnesium-containing fertilizers based on AN was studied by introducing vermiculite (VK) from the Tebinbulak deposit into its melt. The composition and properties of the obtained fertilizers were determined. The main indicator of modification is the granule strength. While for magnesia-containing AN (N 34.5%; MgO 0.28%) it is 1.6 MPa, for the fertilizer with an AN:VK ratio of 100:45, it reaches 12.14 MPa.

## ГРАНУЛИРОВАННЫЕ КОМПЛЕКСНЫЕ АЗОТКАЛИЙМАГНИЙ-СОДЕРЖАЩИЕ УДОБРЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПЛАВА АММИАЧНОЙ СЕЛИТРЫ И ВЕРМИКУЛИТА КАРАКАЛПАКСТАНА

**Жаббарбергенов М.Ж.**

Докторант Каракалпакский государственный университет имени Бердаха

**Намазов Ш.С.**

Институт общей и неорганической химии Академии наук Республики Узбекистан д.т.н. академик

**Маденов Б.Д.**

Каракалпакский государственный университет имени Бердаха, кандидат технических наук доцент PhD

**Маматалиев А.А.**

Институт общей и неорганической химии Академии наук Республики Узбекистан д.т.н.  
<https://doi.org/10.5281/zenodo.13382385>

### ARTICLE INFO

Received: 22<sup>th</sup> August 2024

Accepted: 27<sup>th</sup> August 2024

### ABSTRACT

С целью термостабильной аммиачной селитры (АС),



Online: 28<sup>th</sup> August 2024

## KEYWORDS

Аммиачная селитра, расплав, вермикулит, азоткалиймагнийсодержащих удобрение, состав и свойства.

*уменьшения её взрывоопасных свойств изучен процесс получения на её основе азоткалиймагнийсодержащих удобрений путем введения в её расплав вермикулита (ВК) Тебинбулакского месторождения. Определены состав и свойства полученных удобрений. Основным показателем модифицирования – прочность гранул. Если для магнезиальной АС (N 34,5%; MgO 0,28%) он равен 1.6 МПа, то для удобрения с соотношением АС: ВК = 100 : 45 он составляет 12,14 МПа.*

Вермикулит является одним из распространенных в природе полезных ископаемых, и относится к третьей группе по характеру межслоевых комплексов со структурой типа 2:1 глинистых минералов [1].

Вермикулит – минерал из группы гидрослюд, образовавшийся под влиянием гидротермальных процессов в коре выветривания из магнезиально-железистых слюд (флогопит, биотит). Благодаря наличию в его структуре изоморфных замещений, химический состав вермикулитов непостоянен и колеблется в следующих пределах: SiO<sub>2</sub> 34-42%; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 6-17%; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 3-17%; FeO 1-3%; MgO 14-23%; H<sub>2</sub>O 8-20%. Состав природного вермикулита выражается общей формулой: (OH)<sub>4</sub>(Mg,Ca)/Si<sub>8-2x</sub>Al<sub>2x</sub>/(Mg,Fe)<sub>6</sub>O<sub>20</sub>·yH<sub>2</sub>O, где x имеет значение от 1 до 1,4, а y примерно равен 8, Mg<sup>2+</sup> и Ca<sup>2+</sup> – обменные катионы. Вермикулит обладает наибольшей ионообменной способностью среди глинистых минералов благодаря исключительному несовершенству кристаллической решетки в результате изоморфных замещений и неупорядоченности структуры в тетраэдрическом слое. В октаэдрическом слое вермикулита кроме Mg<sup>2+</sup> могут находиться еще и Al<sup>3+</sup>, Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>. В тетраэдрическом слое Si<sup>4+</sup> всегда замещен на Al<sup>3+</sup>. В результате в силикатном слое имеется избыток отрицательных зарядов, компенсируемых межслоевыми обменными катионами [2-4].

Основному свойству природного вермикулита, определяющего его промышленную ценность, является способность вспучиваться при обжиге в интервале температур 600-1200°C с увеличением его объема в 8-12 раз (иногда в 30 раз). Вспученный вермикулит является сыпучим, легким высокопористым материалом и представляет собой чешуйчатые частицы серебристого или золотистого цвета. Он обладает высокими тепло- и звукоизоляционными свойствами, нетоксичен, без запаха. Плотность вспученного вермикулита при крупности зерен 5-15 мм составляет 90-160 кг/м<sup>3</sup>, для более мелких зерен – до 200 кг/м<sup>3</sup> [5].

В мире в готовом виде производится 500-600 тыс. тонн вермикулита в год, из них 80% его добывается в США и ЮАР, а остальные 20% – в Бразилии, Аргентине, Китае, Индии, Египте, Кении, России и других странах [6, 7].

Сегодня развитые страны производят много готовой продукции (в металлургии, химии, энергетике, авиастроении, машиностроении и судостроении) на основе вермикулита. Например, поскольку плавка любого металла в производстве стали и литья из сплавов на основе железа всегда связана с высокими температурами, для



обеспечения работоспособности технологических процессов и защиты оборудования необходим надежный огнеупорный материал. Вермикулит выдерживает температуру выше 1300°C и имеет низкую теплопроводность. Отличные адсорбционные свойства вермикулита используются в случаях нарушения технологических процессов при производстве химических реагентов, щелочей и кислот. Что касается применения вермикулита в энергетике, то его преимущественно используют в атомной энергетике благодаря его способности отражать гамма-излучение и поглощать разрушительное излучение радиоактивных изотопов, в том числе стронция, цезия, кобальта и других. Также его применяют для создания огнестойкой защиты высоковольтных электрических кабелей и распределительных коробок, для организации противопожарных преград на объектах энергетического комплекса. Начался процесс применения вермикулита во многих отраслях машиностроения: в автомобильной промышленности он является одним из основных компонентов при производстве тормозных колодок и других фрикционных запчастей. Огнеупорные свойства вермикулита в авиастроении на основе быстрого отключения, снижения температуры при торможении специально для взлетно-посадочных полос, которые имеют возможность создаются наложения. В судостроении вермикулит включают в состав покрытий, применяемых для подводной части кораблей. Это предотвращает рост моллюсков на корпусе корабля. На основе вермикулита также производят огнестойкие детали и теплоизоляцию кораблей и автомобилей [8-10].

Кроме этого, вермикулит в стальном литье, при фильтрации воды, в адсорбции дыма и токсичных газов, как антирадиационный материал, при очистке сточных вод, при сборе нефтепродуктов при их разливе, в уменьшении количества азота в нитратной форме почвы широко используется [11-13].

А также, вермикулит находит широкое применение в сельском хозяйстве зарубежных стран: США, Англии, Канады, Германии, Бельгии, Италии, ЮАР и др. [14].

Наиболее изученным является применение вермикулита для целей физико-химической мелиорации почвы, как принято говорить в США, её «кондиционирования». Вермикулит как «кондиционер» почвы улучшает её строение, влияет на значение показателя pH почвы, способствует улучшению водно-воздушных свойств, выравниванию температурного режима. В результате применения вермикулита в Германии глинистые почвы и даже тяжелые «маршевые» глины становились пригодными для выращивания культурных растений. Британская исследовательская экспедиция в Кувейте установила, что для превращения пустынных песков в плодородную для садоводства почву требуется внести на каждый гектар по 22,5 т вспученного вермикулита [15].

Внесение вермикулита в почвенно-торфяные смеси предотвращает образование поверхностной корки, вредной для растений. К тому же результату приводит использование вермикулита в качестве мульчи, где он играет дополнительную роль теплоизолирующего и аккумулирующего влагу покрытия. Мульчирование вспученным вермикулитом применяется при выращивании салата, шпината, обеспечивает ускорение прорастания семян и повышает урожай многих овощей. Вспученный



вермикулит вносится в рядки под семена овощных культур, в лунки при посадке томатов и картофеля.

Вермикулит широко применяется в садоводстве, овощеводстве и цветоводстве как «кондиционер» почвы и в качестве магниевого удобрения, где сам вермикулит выделяет нужный растениям элемент, а также в качестве наполнителя – сорбента – жидких и порошкообразных органических и неорганических питательных веществ. Вермикулит широко используется в качестве среды для ускорения прорастивания семян и выращивания рассады. Широко применяется вермикулит при изготовлении инсектицидов для уничтожения вредителей кукурузы (*Diabrotica longicornis*), сахарной свеклы (*Tetanops myuraeformis*), земляного ореха. Вермикулит как наполнитель входит в состав многих видов инсектицидов: противомоскитного действия, против личинок стойловой мухи, против проволочника (*Melanotus communis*). Проводились исследования по сравнению эффективности различных инсектицидов для борьбы с нематодой, приготовленных из различных препаратов – ЕДВ (W-85), ДДТ, этилендибромида и других – с вермикулитом-наполнителем [16-18].

Изучение влияния вермикулита на урожайность различных культур проводилось Донецкой овощекартофельной опытной станцией, Крымской областной сельскохозяйственной станцией и Всесоюзным научно-исследовательским институтом сахарной свеклы. Результаты исследований Донецкой овощекартофельной станции показали, что внесение вермикулита в почву улучшает её водно-физические свойства (увеличивается пористость, капиллярная и полная влагоемкость). При внесении в рядки вермикулита наиболее оптимальной дозой является 1,4т/га. При таком количестве вермикулит повышает урожай раннего картофеля в середине июня на 47 ц/га (42%), в середине июля на 23 ц/га (11%), в первой декаде августа на 38 ц/га (16%) [19].

Освоение первого в Узбекистане месторождения вермикулита открывает новые перспективы промышленного развития и возможности их использования в различных отраслях промышленности. В нашей республике вермикулит пока не получил широкого распространения. Это связано с тем, что до недавнего времени сырьевая база изучалась недостаточно. Исследования последних лет показали, что в Узбекистане имеются большие запасы этого минерала, и они находятся в Тебинбулаке близ Нукуса, в 16 км к северо – западу от населенного пункта Каратау. Общие запасы вермикулитовой породы Тебинбулакского месторождения составляют 1332620 тонн [20].

Основными потребителями обожжённого вермикулита являются теплоцентрали, стекольные, фарфоровые, цементные заводы, сельскохозяйственные, лакокрасочные, строительные организации.

Как отмечается в обзоре литературы, ввиду высокой термостойкости и адсорбционных свойств вермикулита мы поставили перед собой задачу использовать его для улучшения физико-химических и товарных свойств аммиачной селитры (АС). Потому что это универсальное азотное удобрение, которое наиболее широко производится в мире и очень быстро усваивается растениями, имеет два основных



недостатка. Во-первых, это объясняется его высокой слеживаемостью вследствие быстрого поглощения паров воды, во-вторых, наличием детонационной способности при термических изменениях (особенно при высокой температуре), что весьма актуально [21].

Поскольку вермикулит (ВК) представляет большой интерес для получения термостабильных АС, первоначально был определен его химический состав. Выбрано полученные образцы ВК были спрессованы ручным прессом в форме таблетки диаметром 7 мм и толщиной 3 мм для исследования морфологии и элементного состава.

Морфологические исследования поверхности порошкового образца проводились с помощью сканирующего электронного микроскопа SEM - EVO MA 10 (Zeiss, Germany). Далее для проведения процесса пробоподготовки, на круглый держатель из металлического сплава, поверх которой приклеена углеродная пленка, с двухсторонней клейкой поверхностью, наносились образцы в форме таблеток. В ходе измерения подавалось ускоряющее напряжение (EHT - Extra High Tension) 15.00кВ, рабочее расстояние (WD-working distance) равнялось 8,5мм. Измерение проводилось в режиме детектирования вторичных электронов (SED- secondary electrons detector). Изображения были получены в различных масштабе с помощью программного обеспечения SmartSEM.

Определения элементного состава была проведена сканирующем электронном микроскопе SEM - EVO MA 10 (Zeiss, Germany) методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии на локальном участке (energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS)), в котором определялись с помощью энерго-дисперсионным элементным анализатором марки - Oxford Instrument – Aztec Energy Advanced X-act SDD. При получении данных об элементном составе были представлены электронные фотографии с выделенными локальными участками, таблица состава, а также графический спектр.

Полученные результаты представлены в табл. 1 и на рис. 1.

Из этих результатов было показано, что ВК Тебинбулакского месторождения Каракалпакстана в своём составе содержит 3,28% K<sub>2</sub>O; 2,26% Na<sub>2</sub>O; 4,70% CaO; 19,92% MgO; 5,74% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 8,03% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и 1,32% TiO<sub>2</sub> (табл. 1 и рис).

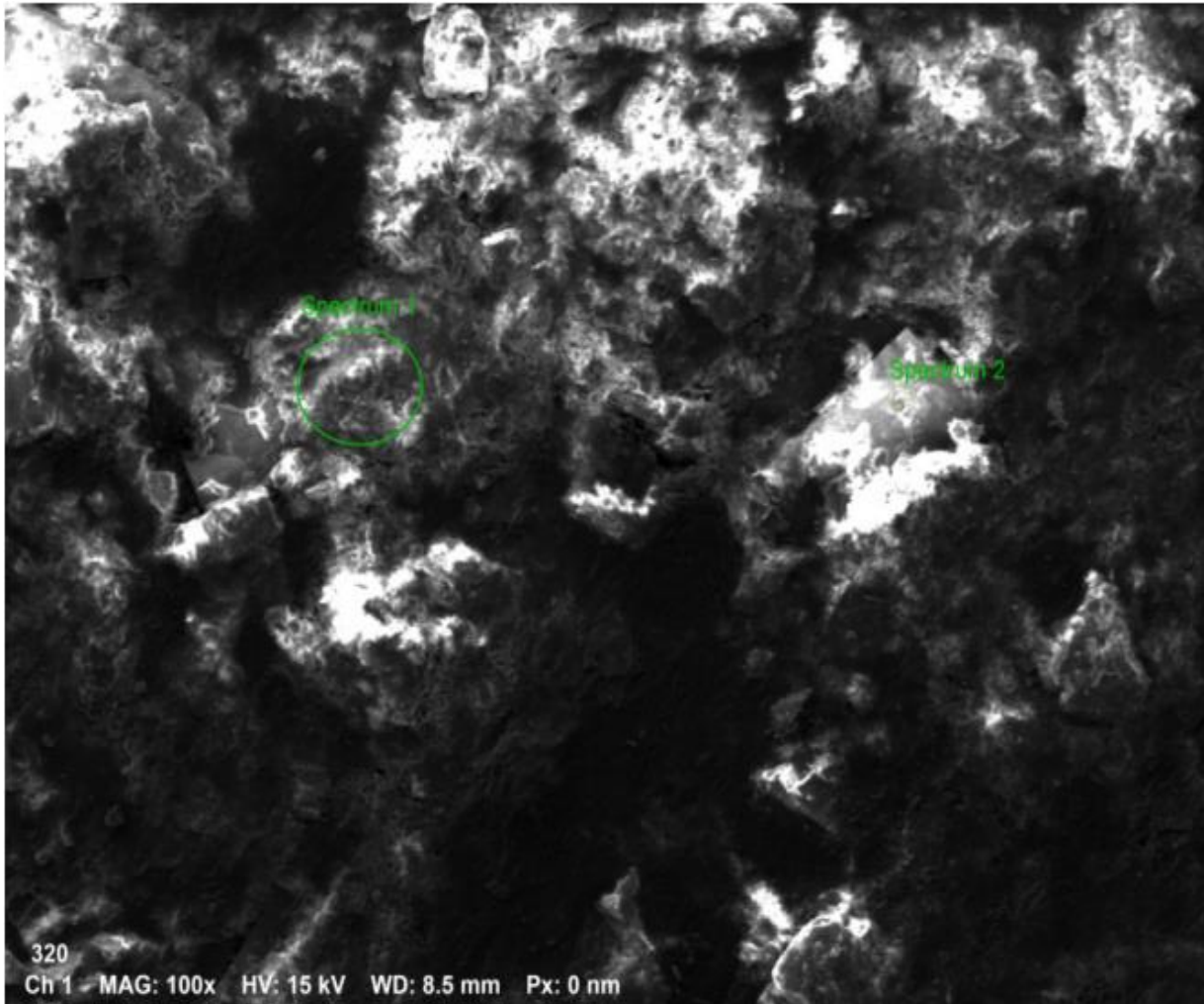
**Таблица 1**

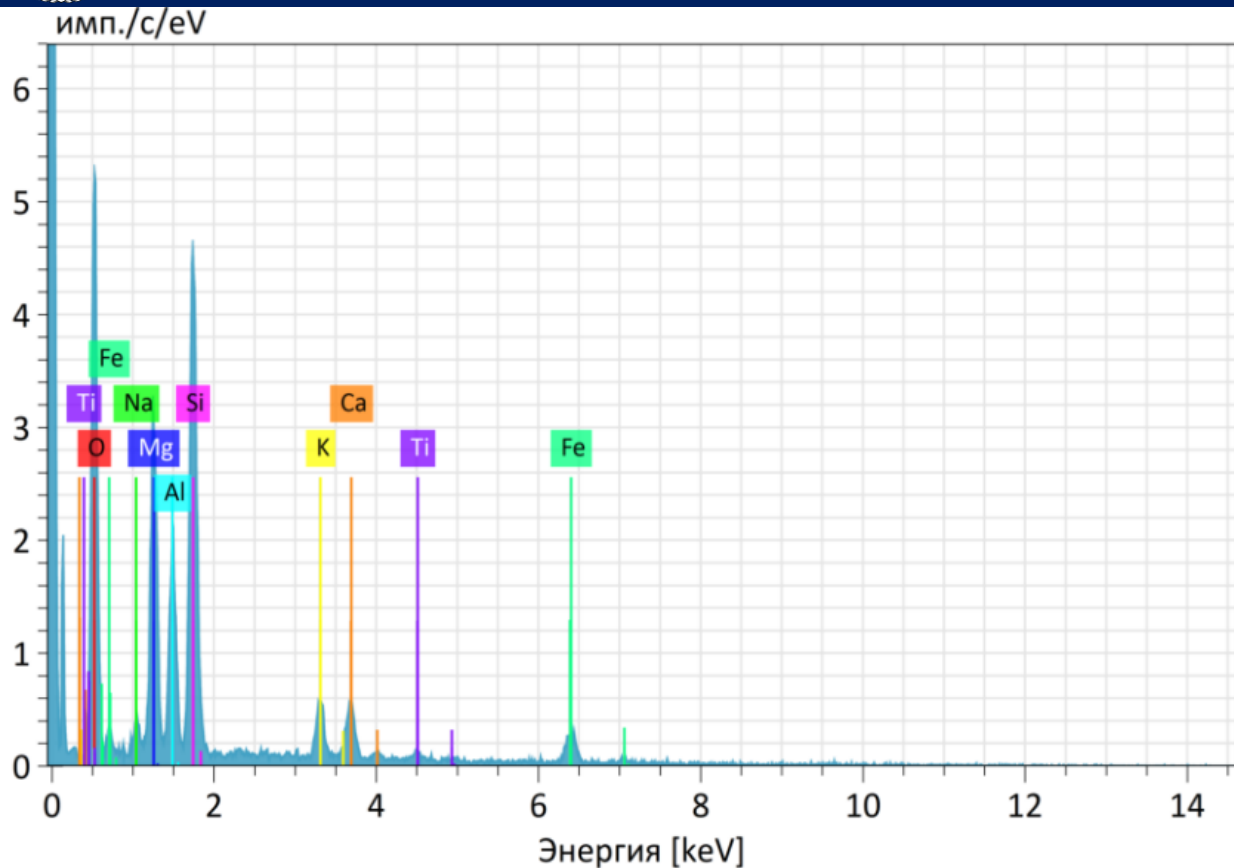
**Химический состав Тебинбулакского вермикулита, %**

Элементы		Экв. мас.	Масс.норм., %	Абс. погр., % 1 сигма
Кислород	Oxygen	8	52,24	2,46
Кремний	Silicon	14	18,60	1,39
Магний	Magnesium	12	11,95	1,06
Алюминий	Aluminum	13	3,04	0,64
Железа	Iron	26	5,62	0,55
Кальций	Calcium	20	3,36	0,26
Калий	Potassium	19	2,72	0,21
Натрий	Sodium	11	1,68	0,21



Титан	Titanium	22		0,79		0,11		
				<b>100</b>				
<b>Оксида элементы</b>								
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	
39,86	5,74	8,03	19,92	4,70	3,28	2,26	1,32	





**Рис. 1. Рентгенограммы вермикулита Тебинбулакского месторождения**

Мы решили использовать в качестве добавки к АС ВК Тебинбулакского месторождения путем введения их в плав селитры. Прежде чем ввести ВК в плав селитры, мы его размалывали до размера частиц 25 мк и высушивали. Лабораторные опыты проводили следующим образом. АС марки Б расплавляли в стакане, изготовленной из нержавеющей стали марки на электроплитке. В расплав при 170-175°C добавляли при перемешивании ВК. Весовое соотношение плав АС к добавке ВК было равным 100 : (5-45). Температура поддерживалась постоянной путем подогрева. Вермикулитно-нитратный плав выдерживали в течение 7-10 мин, после чего переливали в гранулятор, представляющий собой металлический стакан с перфорированным дном, диаметр отверстий в котором равнялся 1,2 мм. С помощью насоса в верхней части стакана создавалось давление и плав распылялся с десятого этажа здания на полиэтиленовую пленку, лежащую на земле. Получение гранулы измельчались и анализировались по известным методикам [22]. Прочность гранул размером 2-3 мм определялись на приборе МИП-10-1 по ГОСТу 21560.2-82. Для определения скорости растворения гранул изучаемых удобрений, гранулу продукта опускали в стакан со 100 мл дистиллированной воды, в котором визуально наблюдали и фиксировали полное её растворение. Температура комнатная, испытания пятикратные.

Данные опытов приведены в таблицах 2-4.

**Таблица 2****Состав удобрений, полученных введением в расплав АС ВК Тебинбулакского месторождения**

Массовое соотношение АС : ВК	Содержание компонентов, %						
	N	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
АС с 0,28% MgO	34,50	-	-	0,28	-	-	-
100 : 5,0	32,38	0,147	0,214	0,928	0,102	0,362	0,253
100 : 7,0	32,04	0,201	0,297	1,289	0,129	0,514	0,361
100 : 10	31,16	0,278	0,408	1,801	0,196	0,707	0,512
100 : 15	29,67	0,407	0,603	2,573	0,274	1,013	0,729
100 : 20	28,15	0,529	0,766	3,298	0,358	1,318	0,937
100 : 25	27,34	0,636	0,929	3,962	0,432	1,596	1,128
100 : 30	26,23	0,738	1,062	4,575	0,501	1,831	1,305
100 : 35	25,22	0,841	1,205	3,664	0,563	2,055	1,466
100 : 40	24,39	0,917	1,303	5,676	0,625	2,279	1,624
100 : 45	23,46	0,985	1,431	6,190	0,687	2,462	1,759

**Таблица 3****Прочность гранул ВК содержащей термостабильной АС**

Массовое соотношение АС : ВК	Прочность гранул		
	кг/гранулу	кгс/см <sup>2</sup>	МПа
АС с 0,28% MgO	0,81	16,32	1,60
100 : 5	3,20	51,21	5,02
100 : 7	3,48	55,69	5,46
100 : 10	3,97	63,65	6,24
100 : 15	4,82	77,11	7,56
100 : 20	5,41	86,49	8,48
100 : 25	5,84	93,43	9,16
100 : 30	6,33	101,29	9,93
100 : 35	6,80	108,83	10,67
100 : 40	7,26	116,18	11,39
100 : 45	7,74	123,83	12,14

**Таблица 4****Скорость растворения гранул ВК содержащей термостабильной АС**

Массовое соотношение АС : ВК	Скорость полного растворения гранул, сек.					Средние значения, сек.
	1	2	3	4	5	



АС с 0,28% MgO	51	42	47	51	43	46,80
100 : 5	73,32	78,61	82,54	91,52	98,18	84,83
100 : 7	75,23	80,72	85,64	92,19	99,19	86,59
100 : 10	81,10	85,35	88,91	93,57	100,20	89,82
100 : 15	86,97	89,98	92,18	94,95	101,22	93,06
100 : 20	92,85	93,61	94,47	95,86	102,31	96,31
100 : 25	93,46	94,57	95,56	96,74	102,67	96,63
100 : 30	94,38	95,76	96,34	97,90	103,25	97,52
100 : 35	95,92	96,90	97,20	99,45	106,03	99,10
100 : 40	98,35	103,93	109,02	112,57	115,06	107,78
100 : 45	100,78	110,36	120,85	125,70	130,10	117,55

Данные таблицы 2 показывают, что чем больше вводится в плав АС, тем меньше содержание азота в продуктах. При исследованных соотношениях АС : ВК получаются гранулированные вермикулитовые селитры с содержанием азота в пределах 23,46-32,38%, магния 0,928-6,19%, кальция 0,214-1,431%, калия 0,147-0,985% и натрия 0,102-0,687%. Таким образом, результаты проведенных исследований показывают, что в образцах ВК содержащей АС кроме азота обогащаются макроэлементами – калия, кальция и магния.

Из данных таблицы 3 показывают, что с увеличением добавки ВК от 5 до 45 г на 100 г плава АС прочность гранул возрастает от 5,02 до 12,14 МПа, что превышает прочность гранул традиционной магнезиальной АС (1,6 МПа) в 3-7,6 раза. Влияние ВК добавки на увеличение прочности гранул АС и снижение слеживаемости можно объяснить тем, что она уменьшает размеры кристаллов нитрата аммония, являясь центрами кристаллизации. ВК добавка оседает в поры и микротрещины, заполняя их, в результате чего образуется более совершенная поверхность и внутренняя структура гранул ВК содержащая АС. Кроме того, высокая гидрофильность вермикулита позволяет предположить, что его частицы интенсивно поглощают влагу, содержащуюся в селитре. При этом из гранул удаляется насыщенный маточный раствор, присутствие которого способствует разрушению и слеживанию гранул при хранении.

Как показывают данные таблицы 4, наличие ВК в составе АС влияет на скорость растворения гранул последней. Полное растворение гранул производственной АС в воде составляет в среднем 46,8 сек, а введение в её состав ВК в количестве от 5 до 45 г увеличивает скорость растворения от 84,83 до 117,55 сек. Значит, гранулы селитры, содержащие ВК растворяются медленнее, чем обычная магнезиальная АС. Следовательно, присутствие ВК в селитре способствует постепенному высвобождению азота в грануле.

На основании результатов лабораторных исследований показана принципиальная возможность получения стабилизированной аммиачной селитры путем введения в её расплав различных количеств вермикулита Тебинбулакского месторождения Республики Каракалпакстан. Полученные плавы при исследованных



весовых соотношениях АС : ВК обладают достаточно хорошей текучестью, которые создают возможность для их гранулирования в грануляционной башне методом приллирования без особых технологических трудностей.

## References:

1. Муртазаев К.М. Повышения степени огнестойкости и теплоизоляционных свойств строительных конструкций на основе местного сырья // Монография. Академия МЧС РУз, ТГТУ. – Ташкент, 2021. – С. 130.
2. Industrial Specialties News, 2000. Normiska to buy VIL Vermiculite: Industrial Specialties News, V. 14, No. 1, January 10, PP. 3.
3. Moeller, E.M., 2001. Vermiculite: Mining Engineering, v. 53, no. 6, June, PP. 65.
4. Russell, Alison, 2000. Vermiculite: Mining Journal, Mining Annual Review 2000 Supplement, 3 p.
5. Арипов А.Р., Холикулов Д.Б., Гусейнов Р.К., Ахтамов Ф.Э., Мамараимов Г.Ф. Обогащение вермикулитовых руд Караузьякского месторождения Республики Каракалпакстан // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. – 2021. – №3 (84). – С. 78-81.
6. Mizuno M., Fukaya A., Jimbo G. Funtai Kogaku Kaishi of the Soc. of Powder Technology. – Japan, 1989. – Vol. 26. – № 9, pp. 632-637. 3.
7. Vermikulit: ishlab chiqarish va bandlik. Vitcas Limited. Great Britain. Elektron resurs. kirish rejimi: <http://shop.vitcas.com//vermicu-lite-fire-board-fire-profinsulation-72-p.asp> (12. 04. 2010).
8. USA Vermiculite association. Elektron resurs, <http://www.vermiculite.Org>.
9. Vermiculite cleaning processes. Torfteh. – Canada, [http://www.torfteh.com//pdf//Application.Description-vermiculite-exfoliation, \(pdf\)](http://www.torfteh.com//pdf//Application.Description-vermiculite-exfoliation.pdf) 31. 08. 2011.
10. <http://vekha.ru/vermikulit-v-promyshlennosti>.
11. Рыбиев И.А. Строительные материалы. учебник для строительных специальностей вузов. - Москва: Виш. Шк., 2003. – 701 с.
12. Гончаревич И.Ф. Вибрационные машины в строительстве // И.Ф. Гончаревич, П.А. Сергеев. – Москва: Наука, 1981. – 319 с.
13. Иванова Ю.А. Физико-химическое превращение минерала вермикулита в субстрат для выращивания растений // Вестник МГТУ ГТУ. Т. 9. 2006. - № 5. С. 283-289.
14. Болотников Д.П. Применение вермикулита за рубежом // Ковдорский вермикулит. – М. – Л.: Наука, 1966. – С.107-148.
15. Дьяченко Н.С., Островская А.Б., Шаркина Э.В., Пластинина М.А., Куковский Е.Г. Исследование органо-вермикулитовых комплексов // Геология, свойства и применение вермикулита.-Л.: Наука, 1967.-С.78-83.
16. Gojmerac W.L. Effect of formulation and rates of insecticides on sugar beets // В-im Bull. N.Dacota Agricult.Exp.Sta. – 1957. – V.19. – № 3. – PP. 97-100.
17. Гоголь Л.П., Груба В.И., Бойчук М.Д., Дорофеев В.А., Зарицкий А.И., Липовский И.Е., Ребезо И.В. Опыт производства и использования вермикулитов Приазовья в народном хозяйстве // Исследование и применение вермикулита.-Л.:Наука, 1969.-С.189-194.



18. Болотников Д.П. Применение вермикулита за рубежом // Ковдорский вермикулит.-М.-Л.:Наука, 1966.-С.107-148.
19. Бобров Б.С., Жигун И.Г. Взаимодействие вермикулита с аммиаком // Ж.прикл.химии.-1979.-№ 11.-С.2409-2414.
20. Макбузов А. С., Тихонов Ю. М., Коломиец И. В. Производство вермикулита Каратас-Алтынтасского месторождения (Западный Казахстан) в легких бетонах /В сб. докл. 65-й науч. конф. СПб.: СПбГАСУ. – 2008. – С. 136-140.
21. Лавров В.В., Шведов К.К. О взрывоопасности АС и удобрений на её основе // Научно-технические новости: «ИНФОХИМ». Спецвыпуск, 2004. – № 2. – С. 44-49.
22. Винник М.М., Ербанова Л.Н., Зайцев П.М., Ионова Л.А., Кротова И.К., Кувшинников И.М., Левшина А.А., Макаревич В.М., Непомнящая Н.А. Ошерович Р.Х. Методы анализа фосфатного сырья, фосфорных и комплексных удобрений, кормовых фосфатов // М.: Химия, 1975.