

## МИНЕРАЛЬНОЕ ФОСФАТНОЕ СЫРЬЕ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА И ПРОБЛЕМЫ ЕГО ОСВОЕНИЯ

*С.М. Родионов\**, *Г.В. Розанов\*\**

*\*Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, г. Хабаровск*

*\*\*Федеральное государственное унитарное геологическое предприятие  
“Дальгеофизика” МПР РФ, г. Хабаровск*

Результатами изучения вещественного состава, обогатимости и агрохимической эффективности фосфат-содержащих пород различных генетических типов и их текстурно-структурных разновидностей установлено, что Дальневосточный федеральный округ обладает реальными перспективами создания собственной минерально-сырьевой базы фосфатных удобрений. При многолетних агрохимических испытаниях размолотых крупнообъемных проб этих типов сырья на слабо окультуренных кислых почвах они зарекомендовали себя как высокоэффективные экологически чистые фосфорные удобрения со свойствами химических и физических мелиорантов. Для фосфатно-карбонатного и фосфатно-силикатного типов сырья разработаны технические условия и рекомендации по применению. Для решения проблемы очередности дальнейшего изучения и освоения ресурсов апатитового и фосфоритового сырья ДВФО требуются дополнительные экономические изыскания оптимальных технологических схем его переработки, вариантов размещения горнодобывающих и перерабатывающих предприятий и их производственных мощностей в условиях рыночных отношений с использованием ныне формирующихся внутренних и мировых цен.

**Ключевые слова:** *фосфатное сырье, мелиоранты, окультуривание почв, Дальний Восток.*

### ВВЕДЕНИЕ

Главный земледельческий ареал Дальневосточного федерального округа (ДВФО) составляют южные равнины Амурской и Еврейской автономной областей, Хабаровского, Приморского краев и о-ва Сахалин, где сосредоточено свыше 90 % пашни. Здесь выращиваются различные зерновые (прежде всего пшеница, ячмень, овес, кукуруза), соя, теплолюбивые овощи, картофель, а в южных районах Приморья еще и рис.

Средняя по ДВФО выработка различных видов продукции сельского хозяйства на душу населения в 1,5–5,5 раза ниже средней по России. Обеспеченность региона пищевым зерном и овощами местного производства составляет соответственно 10–15 и 32 %.

Таким образом, достигнутый уровень продуктивности земледелия в ДВФО следует признать неудовлетворительным. Судя по результатам работ передовых опытных и фермерских хозяйств, агроклиматический потенциал региона используется не более чем на половину.

В решении проблемы повышения эффективности сельского хозяйства ДВФО одну из наиболее важных ролей следует отдать расширению и дальнейшему освоению сырьевой базы для производства удобрений и мелиорантов, используемых для повышения плодородия почв.

Известно, что развитые европейские страны вносят на 1 га посевов от 250–300 до 800 кг действующего вещества минеральных удобрений и получают урожаи зерновых культур 30–60 ц/га, тогда как в России и странах ближнего зарубежья, ранее входивших в состав СССР, даже в годы, предшествовавшие экономическому кризису 90-х годов, средняя доза вносимых удобрений была не более 90–95 кг на 1 га, а средняя урожайность зерновых была ниже европейской в 1,7–3,3 раза [5]. Чтобы поднять продуктивность наших сельскохозяйственных угодий до уровня наиболее развитых стран, требуется увеличить объемы потребления минеральных, в первую очередь фосфорных, удобрений в 3–8 раз.

По данным Государственной агрохимической службы РФ, более 70 % пашни ДВФО представлены

почвами с повышенной кислотностью и низкой (менее 100 мг/кг  $P_2O_5$ ) обеспеченностью подвижным фосфором. Высокая кислотность угнетает полезные для растений микроорганизмы почв, препятствует накоплению и сохранению в них органического вещества и улучшению структуры, затрудняет потребление растениями микроэлементов и питательных веществ минеральных удобрений. Недостаток фосфора в почвах ведет к нарушению баланса питательных веществ и снижает эффективность других – азотных и калийных – удобрений. Для окультуривания кислых почв целесообразно применять известкование (химическую мелиорацию) и внесение фосфоритной муки, которая при эквивалентных или больших  $P_2O_5$ -нормах потребления эффективнее водорастворимых фосфорных удобрений, так как имеет меньшую (в 2–5 раз) стоимость и многолетний эффект последствия. Повышение фосфатного уровня кислых почв за счет водорастворимых удобрений происходит медленнее в связи с ретроградацией подвижных форм фосфора в труднодоступные для растений алюмо- и железосоединения. При использовании существующих технологий известкования и фосфоритования оптимальные параметры кислотности почв могут быть достигнуты за 5–10 лет, а содержания подвижной фосфорной кислоты – за 15–20 и более лет. На буроподзолистых и лугово-бурых оподзоленных почвах исходные параметры кислотности восстанавливаются через 6–10 лет после внесения полной дозы карбонатной (известковой или доломитовой) муки. Оптимальная годовая потребность ДВФО в карбонатной муке составляет около 3,5 млн т, в фосфорных удобрениях – 255 тыс. т в пересчете на  $P_2O_5$ .

Карбонатная мука производится на действующих известковых и цементных заводах ДВФО. Разведанные запасы карбонатного сырья и производственный потенциал перерабатывающих предприятий в перспективе позволяют полностью удовлетворить потребность агропромышленного комплекса региона в этом виде химических мелиорантов.

Гораздо более сложной является проблема обеспечения ДВФО фосфорными удобрениями, предприятия по производству которых в регионе отсутствуют. В настоящее время потребность в них покрывается лишь на 8–10 % за счет поставок из европейской части страны, при этом затраты на транспортировку удобрений превышают себестоимость их производства. Возникает вопрос – позволяют ли ресурсы минерального сырья ДВФО планировать создание предприятий по производству местных фосфорных туков?

## СОСТОЯНИЕ МЕСТНОЙ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА УДОБРЕНИЙ

На территории Востока России систематические поиски фосфатных руд были начаты в 60-х годах [8]. За сравнительно короткий промежуток времени были определены наиболее перспективные для хозяйственного освоения виды сырья и районы их распространения. На весь регион и отдельные перспективные территории составлены прогнозные карты масштаба 1:2 500 000 и крупнее, открыты и разведаны несколько месторождений фосфатных руд, перспективных для освоения с целью производства фосфорных удобрений.

### Апатиты

Основная часть запасов и прогнозных ресурсов фосфатного сырья восточных районов России приходится на апатитовые руды, сконцентрированные в пределах Удзинской, Чаро-Олекминской, Западно-Алданской, Восточно-Алданской, Джугджуро-Становой и Приморской провинций. В Центральноалданском районе разведано крупнейшее в Сибири и на Дальнем Востоке Селигдарское месторождение карбонатных апатитовых руд, запасы  $P_2O_5$  которых в контурах карьера для открытой разработки оценены в 85,5 млн т. Существуют перспективы расширения сырьевой базы апатитовых руд за счет изучения Тунгустаахского, Муосталаахского и других проявлений Нимнырской апатитоносной зоны, представленных рудами селигдарского типа, а также Бирикэнского месторождения Мелемкенской площади, где развиты апатитоносные коры выветривания.

Карбонатные апатитовые руды Центральноалданского района характеризуются трудной обогатимостью. Проведенные Государственным институтом горно-химического сырья (ГИГХС) испытания укрупненной (30 т) технологической пробы, представленной всеми разновидностями этих руд в соотношении, отвечающем их развитию на месторождении, показали возможность получения по схеме прямой флотации с применением реагента таллактама апатитового концентрата, содержащего в среднем 36,8 %  $P_2O_5$  при извлечении от 68 до 73 %. Однако принятая технологическая схема не позволяет вовлекать в переработку апатит-силикат-карбонатные и апатит-сульфат-карбонатные руды. Разработанная в Дальневосточном институте минерального сырья (ДВИМС) более дешевая технология флотационного обогащения селигдарских руд с применением реагента флотол – 7,9 в сочетании с аспаролом позволяет вовлечь в переработку и эти руды, однако по достигнутым показателям обогаще-

ния эта схема не превосходит апробированную ГИГХ-Сом.

Низкое качество селигдарских руд определяет актуальность продолжения поисковых работ на другие минеральные типы апатитового сырья, характеризующиеся лучшей обогатимостью. Районами, перспективными на открытие месторождений таких руд, являются Ханинский и Удско-Джугджурский. В первом из названных районов апатитоносной является метагаббро-перидотит-пироксенитовая формация позднеархейского трогового комплекса, во втором – раннеархейская анортозитовая. Руды обеих формаций бедны содержанием  $P_2O_5$  (в среднем соответственно 2,7–3,0 и 4–8%), однако они легко обогащаются с получением высококачественных апатитовых концентратов при извлечении  $P_2O_5$  на уровне 90 % и выше. Вторая особенность руд – их комплексность. Из ханинских руд, кроме апатитового, могут извлекаться полевошпатовый, биотитовый и диопсидовый концентраты, пригодные для использования в различных отраслях народного хозяйства. Предварительные расчеты показали, что при реализации полевошпатового концентрата срок окупаемости капиталовложений на освоение месторождения апатитовых руд ханинского типа может быть сокращен в 4,6 раза. В рудах анортозитовой формации присутствуют титан, ванадий, железо и редкие земли. Некоторые их разновидности поддаются полной утилизации. Месторождения и проявления апатитов Ханинского и Удско-Джугджурского районов должны рассматриваться как первоочередные объекты для дальнейших геологоразведочных работ.

Очень крупные ресурсы апатитовых руд содержат массивы ультраосновных щелочных пород и карбонатитов (Уджинская и Восточно-Алданская провин-

ции) и сформированные на них коры выветривания, однако они размещаются в районах с неразвитой инфраструктурой, удалены от центров промышленного и сельскохозяйственного производства.

Основные запасы и ресурсы апатитовых руд ДВФО сконцентрированы на территории Республики Саха (Якутия), Амурской области, Хабаровского края и, в незначительной степени, Приморского края (табл. 1).

### Фосфориты и фосфатсодержащие осадочные породы

Находки фосфоритовых руд и фосфатсодержащих осадочных пород на территории ДВФО весьма многочисленны. Они приурочены к палеобассейнам различной тектонической принадлежности и размещаются в разнообразных по составу геологических формациях и на различных стратиграфических уровнях. Осадочные выполнения некоторых фосфоритоносных бассейнов к настоящему времени глубоко эродированы, что предопределило ограниченность содержащихся в них ресурсов  $P_2O_5$ . Наиболее крупные палеогеографические запасы фосфоритов были приурочены, по-видимому, к венд-кембрийским и мезозойским окраинным прогибам Сибирской и Северо-Китайской платформ (включая Буреинский и Ханкайский массивы), к конседиментационным поднятиям палеозойского Монголо-Охотского складчатого пояса и системе поднятий и прогибов внешней окраины обширной позднепалеозойской-раннемезозойской Верхояно-Чукотской складчатой области.

Фосфориты и фосфатсодержащие осадочные породы ДВФО представлены разнообразными литогенетическими типами [8]. Анализ палеогеографических условий формирования позволяет выделить среди них две группы – морскую и континентальную. Наиболее широко распространены морские фосфориты, накопление которых происходило на континентальных шельфах (Восточно-Сибирская, Ханкайско-Буреинская и Колымо-Омолонская фосфоритоносные провинции) и подводных горах пелагических зон межконтинентальных океанических рифтов (Монголо-Охотская провинция). Среди шельфовых фосфоритов преобладают желваковые, линзовидно-слойковые микросфритовые и интракластовые псефитовые разновидности с карбонатным и силикатным составом нефосфатных компонентов. Фосфориты подводных гор океанических зон представлены преимущественно брекчиевыми и прожилково-брекчиевыми разновидностями кремнистого, карбонатно-кремнистого и, реже, карбонатного состава.

**Таблица 1. Распределение ресурсов апатитовых руд ДВФО по административным единицам.**

Административные единицы	Запасы $P_2O_5$ по категориям (млн т)		Прогнозные ресурсы $P_2O_5$ по категориям (млн т)		Всего (млн т)
	B+C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	P <sub>1</sub> +P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	
Республика Саха (Якутия)	85,587	132,108	552,128	833	1385,128
Амурская область	12,64	21,23	88,8	40	128,8
Хабаровский край	-	57,9	598,5	577	1175,5
Приморский край	-	-	64	-	64
<b>Всего</b>	<b>98,227</b>	<b>211,238</b>	<b>1303,428</b>	<b>1450</b>	<b>2753,428</b>

Среди континентальных фосфоритов различают первичные (желваковые), распространенные в озерных отложениях (цагаанский тип), и вторичные, приуроченные к корам выветривания фосфатсодержащих карбонатных (хинганский тип) и вулканогенных (пашковский тип) пород.

Основная часть ресурсов фосфоритовых руд Дальнего Востока сосредоточена в Удско-Шантарском фосфоритоносном бассейне [8]. Многочисленные проявления бедных фосфоритовых руд и фосфатсодержащих пород известны также на Буреинском массиве. Выделяется несколько фосфоритоносных возрастных уровней, наиболее значимый из них – венд-кембрийский. Среди фосфоритов преобладают бедные карбонатные и кремнисто-карбонатные разновидности, трудно поддающиеся обогащению. Исключение составляют кремнистые фосфориты Удско-Шантарского бассейна, характеризующиеся легкой обогатимостью и высоким качеством получаемых из них концентратов. Месторождениям фосфоритов свойственны сложная морфология рудных залежей, фациальная невыдержанность разрезов фосфоритоносных пачек и сложное тектоническое строение.

Основные запасы и ресурсы фосфоритовых руд ДВФО сконцентрированы на территории Хабаровского и Приморского краев, Амурской и Сахалинской областей и Еврейской автономной области (табл. 2)

#### ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ФОСФАТНОГО СЫРЬЯ В ЕСТЕСТВЕННОЙ МИНЕРАЛЬНОЙ ФОРМЕ В КАЧЕСТВЕ УДОБРЕНИЙ

По данным агрохимического обследования почв Дальнего Востока, большая часть земель, как освоенных, так и перспективных для освоения, характеризуется очень низкой обеспеченностью фосфором (менее 25 мг  $P_2O_5$  на 1 кг почвы). Генетические особенности почв Дальнего Востока определяют значительную емкость поглощения фосфора. Установлено, что каждые 100 кг  $P_2O_5$ , внесенные на гектар пашни, повышают содержание подвижных фосфатов на 10 мг на 1 кг почвы. В зависимости от обеспеченности почв фосфором, т.е. создания фосфатного потенциала, находится рост урожайности сельскохозяйственных культур.

Эмпирически установлено, что поднять окультуренность дальневосточных почв в отношении обеспеченности их фосфором можно за счет фосфоритова-

**Таблица 2. Распределение ресурсов осадочных фосфатных и фосфатсодержащих руд ДВФО по административным единицам [8].**

Месторождение (проявление)	$P_2O_5$ , %, среднее	Запасы и прогнозные ресурсы по категориям (млн т)					
		В+С <sub>1</sub>	С <sub>2</sub>	Р <sub>1</sub>	Р <sub>2</sub>	Р <sub>3</sub>	Всего
<b>Фосфатные руды</b>							
Удско-Шантарский бассейн							
Джагдинское	12,0	-	-	-	12,0	-	24,0
Рифовое	6,0-9,1	-	-	-	58,0	18,0	76,0
Лаганское	8,6-14,5	-	231,0	-	-	35,0	266,0
Горелое	9,4-12,1	-	-	86,0	-	-	86,0
Нимийское	5,0-6,23	-	-	72,0	92,0	28,0	192,0
Нельканское	8,71	-	86,1	-	-	-	86,1
Северо-Шантарское	5,0-9,2	-	-	14,0	35,0	100,0	149,0
Спасско-Мельгинский бассейн							
Ромашка	15,0-20,0	-	-	-	-	9,0	9,0
Архаринское	7,0-10,0	-	-	-	-	2,0	2,0
Гремучинское	7,82	-	0,4	-	-	-	0,4
<b>Фосфатно-карбонатные руды</b>							
Удско-Шантарский бассейн							
Джагдинское	5,0	-	-	-	70,0	-	70,0
Спасско-Мельгинский бассейн							
Архаринское	3,1-3,5	3,0	-	4,0	1,0	4,0	12,0
Бурунбавское	3,88	-	0,74	0,84	0,04	-	1,62
Тигровая Падь	3,62-7,14	-	9,27	0,39	-	-	3,66
Гремучинское	3,89	-	7,79	-	-	-	7,79
Дитурское	3,1-5,0	-	-	-	4,0	-	4,0
Спасское	4,0	-	-	-	-	10,0	10,0
<b>Фосфатно-силикатные руды</b>							
Северо-Сахалинский бассейн							
Нутовское	2,6	-	0,14	0,11	-	-	0,25

ния. Специалистами ДВИМС исследована возможность создания фосфатного потенциала в почвах за счет применения вместо фосфоритной муки апатитовых концентратов, для чего были проведены вегетационные опыты. Целью последних явилось сравнительное изучение процессов превращения в почве сырых и механически активированных апатитовых концентратов и их влияния на урожайность сельскохозяйственных культур.

### Результаты вегетационных опытов с сырыми и активированными концентратами апатита

Вегетационные опыты были поставлены по методике З.И. Журбицкого [6] и сопровождались анализами почв и апатитовых концентратов по ГОСТу-20857 и методике определения минеральных фосфатов по К.Е. Гинзбург и Л.С. Лебедевой [4]. Определение подвижных фосфатов в почве проводилось по методу Кирсанова [1].

Апатитовые концентраты наработаны из технологических проб, отобранных на Укдусском, Гаюмском и Селигдарском месторождениях в отделе технологии минерального сырья и Новоникольской технологической партии ДВИМСа. Механоактивация их проведена в Красноярском политехническом институте на кафедре сопротивления материалов. Результаты анализа растворимых форм  $P_2O_5$  в сырых и механически активированных пробах представлены в табл. 3.

**Таблица 3** Содержания растворимых форм  $P_2O_5$  в сырых и механоактивированных апатитовых концентратах.

Месторождение, продукт	№№ пробы	$P_2O_5$ ; общ., % масс.	$P_2O_5$ , растворимое в 2% лимонной кислоте		$P_2O_5$ цитратно-растворимое	
			% масс.	% относ.	% масс.	% относ.
Укдуска, апатитовый концентрат	45	36,1	6,1	16,9	2,6	7,2
То же активированный	45-Та	35,9	20,1	56,0	8,6	24,0
Гаюмское, апатитовый концентрат	АА-1	36,9	7,7	20,9	3,2	8,7
То же, активированный	АА-1а	36,3	21,2	58,4	10,1	27,8
Селигдарское, апатитовый концентрат	33	37,9	5,7	15,0	2,5	6,6
То же, активированный	33а	36,0	20,9	58,0	21,1	58,6

Установлено, что цитратно-растворимые формы фосфата характеризуют степень разупорядочения структуры апатита. Лимоннорастворимость фосфата обусловлена как структурными, так и генетическими факторами, а также дисперсностью вещества [9].

В конкретном случае наибольшая разупорядоченность структуры наблюдается при механоактивации апатитового концентрата Селигдарского месторождения. Общая тенденция увеличения количества растворимых форм фосфата отмечается после механоактивации в апатитовых концентратах всех месторождений. Все виды механоактивированного сырья по критериям СО РАСХН [3], установленным на основании обобщения обширного материала агрохимических исследований, по удобрительной ценности становятся близкими или эквивалентными суперфосфату.

Изучение влияния сырых и активированных апатитовых концентратов из руд различных месторождений на распределение  $P_2O_5$  в кислой дерново-подзолистой почве по видам резерва позволяет отметить следующее. Непосредственный резерв представлен кислыми и разноосновными фосфатами кальция и магния, преимущественно вторично образованными. Ближайший резерв составляют алюмофосфаты (минералы типа варисцита, вашеллита) и железофосфаты (минералы типа штрэнгита, дюфренита), а потенциальный резерв – это высокоосновные фосфаты кальция (франколит, апатит). В почвах, удобренных гаюмским и селигдарским апатитовыми концентратами, около половины и более фосфатов представлены потенциальным резервом, при внесении укдусского апатитового концентрата этот резерв не превысил 19 %, а непосредственный резерв составил 63,7 %. Механоактивация за счет разупорядочения структуры в 7,2–10 раз увеличивает сумму всех групп фосфатов. При этом происходит значительное перераспределение фосфатов по видам резерва. Так, минимальное количество фосфатов непосредственного резерва увеличивается в 5,9–9,7 раза. Особенно возрастает содержание фосфатов ближайшего резерва и резко снижается доля фосфатов потенциального резерва.

Растения в первую очередь используют фосфаты непосредственного резерва, количество которого сокращается в процессе выращивания культур. Такая же тенденция прослеживается в отношении фосфатов ближайшего резерва. При этом следует отметить, что при внесении в почву апатитовых концентратов в запас большими дозами – 500 кг  $P_2O_5$  на гектар, создается стабильная повышенная обеспеченность подвижным фосфором на уровне 60–90 мг  $P_2O_5$  на 1 кг почвы, т.е. устанавливается ее сравнительно высокий фосфатный потенциал.

Наибольший стартовый эффект, т.е. первоначальное действие созданных фосфатных ионов, отмечается для апатитового концентрата укдусского типа. При этом, по эффективности варианты опыта с апатитовыми концентратами уступают лишь варианту с применением двойного суперфосфата, но превосходят вариант с запасным внесением фосфоритной муки Нижне-Камского месторождения.

Результаты вегетационных опытов позволяют обосновать рабочую концепцию о возможности применения концентратов апатитовых руд дальневосточных месторождений в качестве удобрений без химической переработки их в водорастворимые формы соединений. Эти концентраты могут служить основой для создания устойчивых фосфатных фонов дальневосточных почв.

Следующим этапом исследований следует считать наработку большой партии апатитовых концентратов и изучение их эффективности в полевых опытах с применением всего комплекса интенсивной технологии возделывания сельскохозяйственных культур. Первоочередным предметом исследований могут служить легкообогатимые руды месторождения Укдуска, расположенного в наиболее благоприятных географо-экономических условиях – у трассы БАМ.

### **Перспективы применения сыромолотых фосфоритов и фосфатсодержащих пород в качестве удобрений**

Эмпирически давно установлено, что сыромолотые фосфориты и их концентраты, содержащие не менее 25 % фосфата в лимоннорастворимой форме при общем содержании  $P_2O_5$  свыше 19 %, представляют собой наиболее дешевое, высокоэффективное и экологически чистое фосфорное удобрение для кислых слабо окультуренных почв, характерных для нечерноземной зоны. На Дальнем Востоке богатые фосфоритовые руды, которые могли бы быть использованы без обогащения для производства фосфоритной муки, удовлетворяющей соответствующим требованиям, не известны. Вместе с тем, результаты экспериментов, проведенных в ПримНИИСХе и ДВИМСе, свидетельствуют, что в качестве местных удобрений могут быть использованы в натуральной минеральной форме и более бедные фосфором кремнистые фосфориты месторождений Удско-Шантарского бассейна, а также проявлений Сельгон и Ромашка на юге Хабаровского края, характеризующиеся относительно высокой лимоннорастворимостью фосфата.

По данным А.А. Федорова и Г.М. Сидорова (ПримНИИСХ, 1981 г.), полученным в результате ве-

гетационных опытов, мука кремнистых фосфоритов Лагапского месторождения с содержанием  $P_2O_5$  12–14 %, внесенная в дозах 18 и 54 мг  $P_2O_5$  на 1 г почвы, увеличивает урожай сои в 1,6–2,5 раза, гороха с овсом – в 1,1–1,6 раза, кукурузы – в первый год в 1,1–1,5 раза. Внесение эквивалентных доз суперфосфата сопровождается повышением урожая сои в 6–7 раз, гороха с овсом – в 3–4 раза, кукурузы – в 3–3,5 раза. На четвертый год эффективность кремнистой фосфоритной муки резко понижается. При сравнении эффективности кремнистой фосфоритной муки из фосфоритов Верхнекамска и Лагапа установлено, что первая из них, как более растворимая, оказала большее влияние на урожай ячменя. Прибавка составила 10,3 ц/га. При внесении же лагапской кремнистой фосфоритной муки урожай не изменился. В полевом опыте с гречихой эффективность кремнистой фосфоритной муки и двойного гранулированного суперфосфата была одинаковой. При внесении удобрений по 120 кг  $P_2O_5$  на гектар прибавка урожая гречихи от суперфосфата составила 1,1 ц/га, при урожае на контроле 6,9 ц/га. Кроме того, проведенные исследования показали, что кремнистая фосфоритная мука Егорьевского, Лагапского и Верхнекамского месторождений по действию на кислотность почвы не уступает эквивалентным дозам известковой.

Кремнистая фосфоритная мука в дозе 120 кг/га  $P_2O_5$  повысила содержание подвижного фосфора в почве в 2,4 раза; внесение такого же количества суперфосфата по фону известки увеличило его содержание в 1,8 раза. Повышение нормы фосфорита и суперфосфата до 500 кг/га  $P_2O_5$  увеличило содержание подвижного фосфора соответственно в 12,4 и 3,8 раза.

Отмеченные закономерности сохраняются впоследствии, хотя абсолютные величины зависят от возделываемых культур. Прибавка урожая от кремнистой фосфоритной муки зависит от срока взаимодействия с почвой и от внесенной дозы. Чем выше доза, длительнее срок взаимодействия с почвой, тем выше урожай.

Кроме фосфоритов, характеризующихся относительно высоким содержанием  $P_2O_5$ , для производства фосфорных удобрений могут быть использованы и другие, более бедные фосфором породы, в частности, фосфатно-карбонатные и фосфатно-силикатные.

*Фосфатно-карбонатные породы* содержат 3–8 %  $P_2O_5$  в форме фосфатов кальция, и более 50 % карбонатов кальция и магния в форме кальцита или доломита. Эти образования получили распростра-

нение в верхнем докембрии и кембрии Ханкайско-Буреинской провинции (Буреинский и Ханкайский массивы), в Удско-Шантарском бассейне и ряде других мест. В период с 1976 по 1989 г. учеными ДальНИИСХ и Дальневосточного филиала ВНИПТИ-ХИМ в содружестве со специалистами отдела агрохимического сырья ДВИМСа [7, 8] исследовано в звене севооборота кукуруза–соя–яровая пшеница действие молотых фосфатно-карбонатных пород Бурунбавского проявления (Малый Хинган, ЕАО) на агрохимические свойства почв и урожайность сельскохозяйственных культур. Стационарные полевые опыты проводились в опытно-производственном хозяйстве ДальНИИСХ “Восточное” на лугово-бурых тяжело-суглинистых почвах. Фосфатно-карбонатную муку вносили в дозах 300 и 450 кг/га действующего вещества, на фоне которых применялись только азотно-калийные удобрения.

Агротехника возделываемых культур была обычной для условий Хабаровского края. Кукурузу и сою выращивали на гребнях, яровую пшеницу – при сплошном посеве на ровной поверхности.

В период действия фосфатно-карбонатной муки наблюдалось значительное улучшение агрохимических свойств почвы. По данным [7], средние многолетние значения рН ( $H_2O$ ) и рН (KCl) повышались соответственно с 6,2 до 6,6 и с 5,1 до 5,6, а гидролитическая кислотность уменьшалась в 1,6 раза. При этом действие фосфатно-карбонатной муки на кислотность почвы оказалось аналогичным действию промышленной известняковой муки и прослеживалось в течение всего вегетационного периода.

Концентрация обменного кальция на контроле составила 12,1–13,7 мг-экв на 100 г почвы. При внесении известняковой и фосфатно-карбонатной муки содержание обменного кальция возрастало до 15,5 и 16,0–16,1 мг-экв на 100 г почвы.

Среднее содержание обменного магния на удобренных делянках составляет 6,3 мг-экв на 100 г почвы. Известняковая мука практически не влияет на концентрацию этого элемента в почве. Фосфатно-карбонатная мука в дозах 300 и 450 кг/га действующего вещества повышает содержание обменного магния в среднем на 0,4–0,5 мг-экв на 100 г почвы по сравнению с контролем. Внесение известняковой, фосфоритной и фосфатно-карбонатной муки не оказывает заметного влияния на содержание в почве водорастворимых кальция и магния.

Концентрация полуторных окислов алюминия составляла на контроле 76,9–205,6 мг на 100 г почвы и на азотно-калийном фоне 79,5–191,4 мг на 100 г

почвы. При внесении известняковой и фосфатно-карбонатной муки в почву, количество подвижного алюминия снижается тем значительнее, чем выше доза мелиоранта.

При внесении фосфатно-карбонатной муки в почву содержание нитратного азота увеличивается в среднем на 2–3 мг/кг почвы. Почти в два раза по сравнению с азотно-калийным фоном возрастает содержание подвижного фосфора и на 7–12 мг/кг – обменного калия. Улучшение агрохимических свойств почвы оказало положительное влияние на урожайность сельскохозяйственных культур. Во все годы исследований от внесения фосфатно-карбонатной муки отмечены достоверные прибавки урожая сои, яровой пшеницы и кукурузы по отношению к контролю и азотно-калийному фону [7, 8]. Урожайность сои под действием фосфатно-карбонатной муки в дозах 300 и 450 кг/га действующего вещества  $P_2O_5$  увеличилась в среднем на 3,7 и 4,5 ц/га или на 30,1 и 36,6 % по сравнению с контролем и на 2,1–2,9 ц/га или на 15,1 20,9 % по сравнению с азотно-калийным фоном; урожайность пшеницы повысилась на 7,4–7,8 ц/га (36,6–38,6 %) по сравнению с контролем и на 4,3–4,7 ц/га (18,5–20,2 %) по сравнению с азотно-калийным фоном. Фосфатно-карбонатная мука значительно повлияла и на урожайность кукурузы, которая возросла до 304,5–308,4 ц/га, прибавка составила 99,3–103,2 ц/га (48,4–0,3 %) к контролю и 36,9–40,8 ц/га (13,8–15,2 %) – к азотно-калийному фону  $N_{60}K_{60}$ .

Близкие результаты получены В.П. Басистым [2] в опытах с фосфатно-карбонатными рудами Аянско-го, Хинганского и Средне-Илгинского (Архаринского) месторождений [2].

Установлено, что повышение эффективности фосфатно-карбонатной муки на слабо кислых и нейтральных почвах может быть достигнуто путем внесения органических добавок в виде навоза, птичьего помета, торфа или лигнина [7].

Длительное применение фосфатно-карбонатной муки практически не приводит к накоплению нитратного азота, фосфора и калия в растительной продукции (соя, пшеница, кукуруза). Их содержание за 6 лет исследований находилось на уровне нижней границы ПДК. В то же время, фосфатно-карбонатная мука приводит к увеличению содержания фосфора и протеина в зерне сои и яровой пшеницы.

Результаты проведенных опытов позволяют рассматривать фосфатно-карбонатную муку как высокоэффективное фосфорное удобрение со свойствами известкового мелиоранта. Нормы ее должны расчи-

тиваться по сумме карбонатов кальция и магния, т.е. исходя из требуемой дозы извести. На кислых почвах оптимальной является доза 9–14 т/га в физ. весе (300–450 кг/га  $P_2O_5$ ), позволяющая одновременно снизить кислотность почв и улучшить их фосфатный режим. Для сильно кислых и вновь осваиваемых земель она может быть повышена до 14–23 т/га.

К *фосфатно-силикатным породам* относятся бедные по содержанию  $P_2O_5$  (2,5–5,0 %) фосфатсодержащие песчаники верхнего миоцена–плиоцена Северо-Восточного Сахалина, примечательные тем, что большая часть находящегося в них фосфата находится в лимоннорастворимой форме. Результаты многолетних (1982–1989 гг) экспериментов, проведенных проектно-изыскательской станцией химизации “Сахалинская” по изучению эффективности применения в качестве удобрения молотых фосфатсодержащих песчаников Нутовского проявления, отвечающих по составу фосфатно-силикатной муке, позволяют рассматривать последнюю как комплексный физико-химический мелиорант для слабо окультуренных почв северных районов о-ва Сахалин [7]. Как при ежегодном (в течение 3 лет) внесении фосфатно-силикатной муки в дозах 180 и 360 кг  $P_2O_5$  на гектар, так и при запасном – в дозе 540 кг  $P_2O_5$  на гектар создается устойчивый, в пределах средней-высокой обеспеченности, эффект повышения урожайности.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты изучения вещественного состава, обогатимости и агрохимической эффективности и фосфатсодержащих пород различных генетических типов и их текстурно-структурных разновидностей позволили выделить среди них четыре основных геолого-промышленных типа, перспективных для использования в агропромышленном комплексе ДВФО: 1 – апатитовый (карбонатные апатитовые руды Селигдарского месторождения и серии близлежащих рудопоявлений, а также объекты Ханинского и Удско-Джугджурского районов) для получения высококачественных апатитовых концентратов; 2 – собственно фосфоритовый (кремнистые брекчиевые и прожилково-брекчиевые фосфориты Удско-Шантарского бассейна) для производства концентрированных минеральных удобрений и фосфоритной муки; 3 – фосфатно-карбонатный (фосфатно-доломитовые и фосфатно-известняковые породы Ханкайско-Буреинской и Амуро-Охотской провинций) для производства фосфатно-карбонатной муки; 4 – фосфатно-силикатный (фосфатсодержащие песчаники

верхнего миоцена–плиоцена Северо-Восточного Сахалина) для производства фосфатно-силикатной муки. При многолетних агрохимических испытаниях размолотых крупнообъемных проб этих типов сырья на слабо окультуренных кислых почвах они зарекомендовали себя как высокоэффективные, экологически чистые фосфорные удобрения со свойствами химических и физических мелиорантов. Для фосфатно-карбонатного и фосфатно-силикатного типов сырья разработаны технические условия и рекомендации по применению.

Для решения проблемы очередности дальнейшего изучения и освоения ресурсов апатитового и фосфоритового сырья ДВФО требуется продолжить экономические изыскания оптимальных технологических схем его переработки, вариантов размещения горнодобывающих и перерабатывающих предприятий и их производственных мощностей в условиях рыночных отношений с учетом ныне формирующихся внутренних и мировых цен.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: МГУ, 1970. 487 с.
2. Басистый В.П. Фосфорно-карбонатные руды – комплексное удобрение // Химия в сельском хозяйстве. 1986. № 2. С. 35–38.
3. Болдырев В.В., Колосов А.С., Чайкина Н.Е., Аввакумов Е.Г. Механическая активация апатита и его растворимость // Изв. СО АН СССР. Сер. хим. наук. Вып. 2. 1978. № 4. С. 52–59.
4. Гинзбург К.Е., Лебедева Л.С. Методика определения минеральных форм фосфатов почвы // Агрохимия. 1971. № 1. С. 125–135.
5. Евстрахин В.А., Филько А.С. Геологические основы реализации Продовольственной программы СССР // Сов. геология. 1990. № 1. С. 3–10.
6. Журбицкий З.И. Теория и практика вегетационного метода. М.: Наука, 1968, 226 с.
7. Погадаев Г.И., Роганов Г.В., Яковлев Е.Н. и др. Применение местных видов фосфатсодержащего сырья в южной зоне Дальневосточного экономического района РСФСР (рекомендации). Москва-Хабаровск: ВНИПТИХИМ-ДВИМС, 1990. 51 с.
8. Роганов Г.В., Варфоломеева Е.К., Воробьев О.Е. и др. Фосфатное сырье для агропромышленного комплекса Дальнего Востока России. Вып. 1. Хабаровск, ДВИМС, 1999. 118 с.
9. Чайкина М.В. Перспективы механохимического метода безотходной переработки фосфатных руд с целью получения удобрений // Геохимия техногенеза. 1 Всесоюз. совещ. Иркутск, 29-31 1985 г. Иркутск, ИркНЦ, 1985. Т. 1. С. 67–72.



*S.M. Rodionov, G.V. Roganov*

**Mineral phosphate raw material of the Far East, and the problems of its development**

The results of the study of material composition, dressability and agrochemical efficiency of phosphorites and different genetic type phosphate-bearing rocks and their structural and textural varieties show that the Far East federal district has real prospects for creation of its own mineral and raw material base of phosphate fertilizers. In the course of long-term agrochemical tests of ground lump-size samples of these types of raw material on the poorly cultivated acid soils they proved to be environmentally highly effective appropriate phosphate fertilizers having the properties of chemical and physical reclamation stuff. Technical specifications and recommended practices have been developed for the phosphate-carbonate and phosphate-silicate types of raw material. The solution of the problem of the order of propriety for further study and development of resources of apatite and phosphorite raw material in the Far East federal district requires economic examination of optimal technological patterns of its processing, and variants of distribution of mining and processing enterprises and their production capacities in conditions of market relations using the currently formed home and world prices.

**Key words:** phosphate raw material, reclamation stuff, soil cultivation, Far East.