

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования «Бурятская государственная сельскохозяйственная академия
имени В.Р. Филиппова»

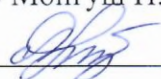
Агрономический факультет
Кафедра «Почвоведение и агрохимия»

КУРСОВАЯ РАБОТА

по дисциплине «Агрохимия»

Тема: «Агрохимические основы применения природных фосфатов в сельском хозяйстве»

Выполнил (а): обучающийся
группы Б1302-АЭ Монгуш Н.С.

Руководитель: 
к.б.н., доцент Сыренжапова А.С.

Дата сдачи работы « 5 » мая 2021 г.

Защита состоялась « 11 » мая 2021 г.

Оценка 5 (отлично)

г. Улан-Удэ, 2021 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ГЛАВА 1. ПРИРОДНЫЕ ФОСФАТЫ.....	5
1.1 Фосфор в природе и его физиологическая роль	5
1.2. Агрохимическая эффективность применения фосфоритной муки	9
1.3 Термические фосфаты.....	11
ГЛАВА 2 ЗАПАСЫ ФОСФОРА В ПРИРОДЕ	14
2.1 Содержание фосфора.....	14
2.2 Фосфатное сырье и их распространение	22
в Республике Бурятия.....	22
2.3 Месторождения фосфатного сырья	26
ГЛАВА 3 УДОБРЕНИЯ НА ОСНОВЕ ФОСФАТНОГО СЫРЬЯ	30
3.1 Взаимодействие фосфорных удобрений с почвой	30
3.2 Влияние фосфоритной муки на с/х культур	42
3.3 Новые удобрения на основе природных фосфоритов	46
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	49
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	51

ВВЕДЕНИЕ

Почвы сельскохозяйственных угодий Республики Бурятия остро нуждаются в применении минеральных и органических удобрений. Нарастающая угроза мирового продуктового кризиса, который связывают с увеличением народонаселения и истощением земель сельскохозяйственного назначения, прогнозируемый экологический кризис и ожидаемые глобальные изменения климата, а также высокие требования, которые сейчас устанавливаются к сельскохозяйственной и другим видам продукции, выводят проблему поиска и освоения нетрадиционных ресурсов для производства на их основе новых экологически чистых удобрений и мелиорантов в число наиболее актуальных на сегодняшний день.

С целью повышения экологичности агротехнических и мелиоративных приемов и способов ведения сельского хозяйства необходимо оценивать их влияние на круговорот вещества и энергии в агроэкосистеме, и в биосфере в целом. Следует добиваться максимальной замкнутости малых и больших как производственных, так и природных циклов. Антропогенное воздействие должно быть направлено не столько на улучшение одного из параметров агроэкосистемы, сколько на увеличение продукционной способности всего агроландшафта.

Удобрения и мелиоранты являются регуляторами продукционного процесса в системе почва – растение. Они должны обладать не только высокой доступностью для растений, но и слабым возмущающим воздействием на почвы и пролонгирующим эффектом. В настоящее время этим требованиям соответствуют природные цеолиты, удобрительные композиции и мелиоранты на их основе.

Обеспеченность почвы подвижными фосфатами является одним из важнейших показателей ее плодородия и характеризует степень окультуренности пахотных земель. Низкое содержание фосфора в почве нарушает сбалансированность минерального питания растений, сильно ограничивает эффективность азотного удобрения, увеличивает

непроизводительные потери влаги на эвакотранспирацию и тем самым сдерживает рост продуктивности культур. В результате ослабляется устойчивость растений к воздействию стрессовых ситуаций, связанных с гидротермическими условиями вегетационного периода. Из основных питательных для растений компонентов минеральных удобрений (N, P, K) для почв повышение их плодородия обусловлено прежде всего улучшением фосфорного питания.

ГЛАВА 1. ПРИРОДНЫЕ ФОСФАТЫ

1.1 Фосфор в природе и его физиологическая роль

Фосфор, являясь важнейшим биогенным элементом и основой энергетической деятельности растений, влияет на:

- ускорение распада веществ семени и передвижение продуктов распада в растущие части;
- лучшее развитие корневой системы, особенно в первые периоды жизни растений;
- водный режим растений, способствуя более экономному расходованию воды;
- структуру урожая в сторону повышения доли репродуктивной части сельскохозяйственных культур: у зерновых повышается процент зерна в общем урожае, у корнеплодов непосредственно самих корнеплодов и т.д;
- ускорение созревания растений, т.к. под его влиянием в листьях активизируются процессы распада белков и переход продуктов распада в репродуктивные органы (в зерно);
- лучшую перезимовку озимых культур и плодово – ягодных растений.

В различные периоды жизни растения потребляют неодинаковое количество фосфора. Он крайне необходим в начальный период, хотя и в небольшом количестве. При этом недостаток элемента в этот период нельзя компенсировать его внесением в последующем. Фосфор легко передвигается внутри растения и имеет способность перемещаться из старых тканей в более молодые, т.е. утилизируется. Поэтому в фазе образования и особенно созревания репродуктивных органов отмечается энергичное передвижение к ним фосфатов из вегетативных частей растения и к концу вегетации большая часть данного питательного вещества сосредотачивается в генеративной части (семена, плоды).

Фосфор содержится в минеральных и органических веществах. В минеральной форме он находится в виде солей ортофосфорной кислоты с кальцием, магнием, калием, аммонием. В растениях данные соли содержатся в небольшом количестве, но участвуют в образовании многих фосфорсодержащих органических соединений: нуклеиновых кислот, нуклеопротеидов, фосфопротеидов, фосфатидов, фитина, сахарофосфатов, макроэргических и других соединениях.

Для синтеза многих органических веществ – белков, жиров, углеводов, сахарозы необходима затрата значительного количества энергии, которая доставляется так называемыми макроэргическими соединениями, содержащими фосфор. Основная роль принадлежит аденозинтрифосфорной кислоте (АТФ), который является своеобразным аккумулятором энергии, освобождающимся при расщеплении органических соединений и, в дальнейшем основным ее переносчиком и поставщиком для многих биосинтетических процессов.

Главным источником фосфора для растений в природе являются соли ортофосфорной кислоты (H_3PO_4). Также после гидролиза в почве и перевода с помощью ферментов в соли ортофосфорной кислоты могут усваиваться и соли метафосфорной, пирофосфорной кислот и вообще полифосфаты.

Доступность солей фосфорной кислоты зависит от степени их растворимости. Наиболее растворимы (в воде) соли фосфорной кислоты с одновалентными катионами калия, натрия, аммония. Они хорошо усваиваются растениями. Хорошо растворимы и усваиваются растениями однозамещенные соли кальция и магния – $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ и $\text{Mg}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$. Двухзамещенные соли (CaHPO_4 , MgHPO_4) нерастворимы в воде, но растворимы в слабых кислотах, в том числе органических. Труднорастворимыми или нерастворимыми в воде и слабых кислотах являются трехзамещенные фосфаты $(\text{CaHPO}_4)_2$, составляющие основу такого удобрения, как фосфоритная мука. Это соединение может частично растворяться и усваиваться растениями только в кислых почвах, в

нейтральных же почвах действие его если и будет проявляться, то постепенно.

Запасы фосфора в почвах зависят от его содержания в материнской породе, т.к. других источников поступления фосфора в природе не существует. Общее (или валовое) содержание элемента в почвах зависит от гранулометрического состава и содержания гумуса: чем тяжелее почва и чем выше в ней содержание органического вещества, тем больше запасы фосфора. В почвах он содержится как в органической, так и в минеральной формах. Обычно преобладает минеральная форма, но в органогенных почвах (болотные почвы, торфяники) доминируют органические фосфаты.

Фосфор, входящий в состав органических веществ (сложные белки, фосфатиды, фитин и др.) недоступен для растений. Он может использоваться только после минерализации и разложения органических веществ с помощью микроорганизмов до простых растворимых солей фосфорной кислоты. Минеральные соединения фосфора представлены труднорастворимыми солями – фосфатами алюминия, железа, кальция, магния. В дерново-подзолистых и других кислых почвах преобладают фосфаты железа и алюминия, а в черноземах и, особенно, в карбонатных почвах наряду с фосфатами железа и алюминия содержится большое количество фосфатов кальция и магния.

Доступных для растений фосфатов в большинстве почв мало. Мировой урожай ежегодно выносит с полей больше 3 млн. тонн фосфора. Для получения устойчивых урожаев фосфор должен быть возвращен в почву. Единственным путем его возврата в наземные экосистемы является добыча фосфатных руд и химическая переработка их на водорастворимые фосфорные удобрения или непосредственное использование в размолотом виде в качестве фосфоритной муки [9].

Мировые запасы фосфатных руд выявлены более чем в 60 странах. Самое крупное месторождение апатитов находится на Кольском полуострове

в Хибинских горах. В зависимости от преобладания фтора или хлора различают фторапатит и хлорапатит.

Основные мировые запасы фосфора сосредоточены в виде зернистых и микрозернистых фосфоритов. Крупные месторождения фосфоритов формируются в США, Северной Африке, Монголии, Казахстане. В России относительно крупные залежи фосфоритов встречаются в Ленинградской и Московской областях, в Кировской области есть Вятско-Камское месторождение.

Более мелкие месторождения есть в других регионах, и они имеют в основном местное значение для добычи и применения фосфоритной муки. Такие месторождения имеются и в Бурятии (Ухагольское, Харанурское, Бурлинская группа и др.).

Состав фосфоритов зависит от их происхождения и условий образования. Они представляют собой фосфатные вещества, в которых фосфорная кислота связана по типу апатита в виде соединений: фторапатита, гидроксилапатита, карбонатапатита. Помимо этих веществ в фосфоритах имеются примеси: углекислая известь, песок, глина, полуторные оксиды железа и алюминия и др.

Содержание фосфорной кислоты в фосфоритах может колебаться в зависимости от количества примесей в широком интервале от 15 до 35 %. После добычи фосфориты подвергают тонкому помолу и получают фосфоритную муку. Из высококонцентрированной муки производят более растворимые фосфорные удобрения, а низкопроцентную используют для непосредственного внесения в виде удобрений на кислых почвах.

Большая часть фосфатного сырья (80%) используется для производства минеральных удобрений. Фосфатная сырьевая база была и остается важнейшей государственной проблемой для России. Для удовлетворения потребности сельского хозяйства России в фосфорных удобрениях необходимо изыскивать резервы как фосфатного сырья, так и фосфорных

удобрений. Важное народнохозяйственное значение приобретает освоение малых месторождений.

1.2. Агрохимическая эффективность применения фосфоритной муки

Фосфоритная мука и ее аналоги (фосмелиоранты, фосфатизированные карбонатные породы) – ценные фосфорные удобрения, обладающие многими полезными свойствами. Они повышают урожай сельскохозяйственных культур, улучшают фосфатный режим почвы, способствуют увеличению содержания в них гумуса, снижают кислотность, улучшают почти весь комплекс их агрохимических показателей, повышают эффективность минеральных (калийных и особенно азотных) удобрений и обладают длительным последействием. Последний показатель обеспечивает существенное повышение урожая в течение 7-10 лет при дозе 45 кг/га P_2O_5 ; 15-30 лет при дозе 130 и более; 40 лет при дозах 270 и 540 кг/га P_2O_5 . Характерно, что одноразовое внесение больших доз (1 раз в 4 года 240 кг/га P_2O_5) эффективнее ежегодного (по 60 кг/га P_2O_5) внесения той же дозы. Кроме того, при одноразовом периодическом внесении удобрений затраты на их подготовку и внесение снижаются в 2,9-3,7 раза [9].

Из опытов агрономического использования карстовых фосфотитов Белкинского месторождения (Кемеровская обл.) В.В. Матыченков (1965) обосновывается, что, кроме применения фосфоритовой муки в качестве непосредственного удобрения под зяблевую вспашку, ее следует широко использовать для приготовления с суперфосфатом и компостов с навозом или торфом. Добавление фосфоритной муки к суперфосфату улучшает рассеиваемость последнего, а смесь по своему действию равноценна суперфосфату. При удобрении одним суперфосфатом растения обеспечиваются фосфором в основном лишь в начальный период их развития. При внесении же в почву смеси фосфоритной муки с суперфосфатом питание растений фосфором идет равномерно в течение всего вегетационного периода. Добавка фосфоритной муки должно

составлять при этом примерно 15% от веса суперфосфата в зависимости от свойств почвы.

Использование фосфоритной муки в компостах с навозом или торфом усиливает действие фосфорной кислоты и уменьшает потери азота при хранении навоза. При компостировании фосфоритная мука добавляется в количестве 2-3% к весу навоза или торфа. Компостирование фосфорита с торфом представляет хороший прием для перевода фосфорной кислоты фосфорита в растворимое состояние.

В почвы Бурятии на протяжении многих лет не вносятся фосфорные удобрения, в связи с чем дефицит питательных веществ составляет около 80%, использование относительно дешевой фосфоритовой муки имеет большое практическое значение по изучению агрохимической эффективности. Исследования карповых фосфоритов Харанурского месторождения проводились в 1987-1989 годах на опытных полях Бурятского СХИ в учхозе «Байкал» Иволгинского района (сухостепная зона), в совхозе «Прибайкальский» Прибайкальского района (лесостепная зона), в совхозе «Харбятский» Тункинского района (лесостепная зона), в совхозе «Буйский» Бичурского района (степная зона) и в Баунтовском районе (таежно-лесная зона) В.А.Фоминим. Агротехника в исследованиях общепринятая для хозяйств сухостепной, степной, лесостепной и таежно-лесной зон возделывания овса. Установлено, что фосфоритная мука, внесенная в почву, оказывает положительное влияние на накопление почвенных запасов, ускоряет созревание зерновых культур в условиях короткого теплого периода и повышает урожайность. В условиях сухостепной зоны на каштановых почвах внесение повышенной дозы фосфоритной муки (до 180 кг P_2O_5 на гектар) повышает урожай зеленой массы овса на 54% и зерна на 7,2%.

Оптимальные результаты по влиянию фосмуки на продуктивность сельскохозяйственных культур наблюдались в опытах, проведенных на серых лесных почвах в хозяйствах Тункинского и Прибайкальского районов.

Прибавка зеленой массы овса по вариантам колебалась в пределах 25,4-29,0 ц/га, тогда как по варианту с внесением только азотных удобрений она составила всего лишь 12,7 ц/га. Эффективность фосмуки в этих опытах была идентична действию двойного суперфосфата в дозе 180 кг д.в. на 1 га.

В 2000 г. проведены полевые агрохимические опыты с картофелем Волжанин [14]. Цель данного исследования – установить влияние фосфоритной муки (на фоне НК) на величину урожая. Результаты опытов показали, что в контрольном варианте урожай картофеля составил 193,6 ц/га. Применение средней дозы суперфосфата и фосфоритной муки (60 кг P_2O_5) способствовало дополнительному выходу клубней на 34-39 ц/га относительно контрольного варианта и 14-19 ц/га по сравнению с фоном НК.

Агрохимические исследования в качестве мелиоранта (доломитовой фосфатсодержащей муки) показали хорошие результаты, как в лабораторных, так и в полевых опытах.

1.3 Термические фосфаты

К группе термических фосфатов относятся плавленные фосфаты, которые получают путем прокаливания и плавления при температуре 1400-1500°C смеси апатита или фосфорита с небольшим количеством двуокси кремния (песка) в присутствии водяных паров. В результате происходит разрушение кристаллической решетки и фторапатита, удаление фтора и образование усвояемых форм фосфора (Дербунович, 2003). Термические фосфаты, полученные природным путем спекания, относятся к обесфторенным фосфатам, а путем плавления – к обесфторенным плавленным фосфатам.

С агрохимической точки зрения, большой интерес представляют и плавленные кальциево-магниевые фосфаты (ПКМФ), являющиеся важными плавленными фосфорно-магниевыми удобрениями.

На территории Бурятии существуют благоприятные почвенно-климатические условия для применения плавленых кальциево-магниевых фосфатов. Агрохимические испытания показали их высокую эффективность, так как наряду с действием фосфора и кальция отмечается действие магния. Последний является одним из необходимых растениям элементов питания. Магниевое голодание растений более всего проявляется на песчаных и супесчаных почвах, и нередко при высоких темпах интенсификации растениеводства на Ночках более тяжелого механического состава. Это связано с большим выносом магния (до 30 кг с гектара). Магниевое голодание растений приводит к снижению уровня содержания магния в кормах, необходимого для обеспечения здоровья и высокой продуктивности животных. Недостаток в кормах магния приводит к нарушению нормального функционирования организма и тяжелым заболеваниям животных. Внесение магнийсодержащих удобрений рассматривается как способ получения кормов соответствующего биологического достоинства.

Многочисленными исследованиями в европейской части России в большинстве случаев установлено, что содержание легко подвижного магния в почвах – считать ниже критического уровня при 10-12 мг MgO на 100 г почвы. Недостаток его существенно лимитирует продуктивность сельскохозяйственных культур, а внесение дает высокий положительный эффект на урожай. Так, в опытах различных научно-исследовательских учреждений в европейской части России (от Урала до Прибалтики) на легких почвах дерново-подзолистой зоны урожай клубней картофеля при внесении магния повышался на 26-75 ц/га при урожае по контролю 160-238 ц/га, урожай зерновых увеличивался на 4-5 ц/га при контроле 25 п/га. Сбор сахарной свеклы возрастал с внесением этого питательного элемента на 8 ц/га при уровне его по фону 67,8 п/га.

В Бурятии эффективность плавленых кальциево-магниевых фосфатов изучалась постановкой инкубационных полевых мелкоделяночных опытов на каштановой легкосуглинистой почве Иволгинской впадины с

содержанием гумуса 2,4 %. В опыте использовался плавный фосфат, полученный на опытной обогатительной фабрике путем сплавления Ошурковского апатитового концентрата с магнезитом (Ca , MgCO_3). Превосходящее влияние плавного фосфата связано с тем, что постепенное освобождение фосфора обеспечивает пролонгированное действие нового удобрения (ПКМФ). При этом не происходит значительного связывания подвижного фосфора почвой, в результате чего элемент длительное время остается в подножной форме. Как следует из приведенных опытов, по мере увеличения дозы ПКМФ с 90 до 360 кг лимонно-растворимого P_2O_5 повышается урожай зерна, достигая максимального уровня в варианте ПКМФ (360). В то же время прибавки урожая зерна овса в зависимости от дозы удобрения отличались между собой незначительно.

Судя по выносу фосфора, способность растений усваивать фосфор из плавных фосфатов и двойного суперфосфата была Мечниковой. Количество протеина в зерне овса, основного показателя питательной ценности, оставалось на одном уровне независимо от формы фосфорных удобрений. Приведенные исследования показали, что полученные из апатитового концентрата Ошурковского месторождения плавные кальциево-магниевые фосфаты, обладающие потенциальными и эффективными удобрительными свойствами, соизмеримы с промышленными аналогами фосфорных удобрений, пригодны для применения на сельскохозяйственных землях в условиях сухостепной и степной зон Забайкалья, составляющих около 100 % сельскохозяйственных угодий Республики Бурятия.

Аналогичные исследования проведены агрохимиками Бурятской НИИСХ СО РАСХН в Иволгинском районе на площади 60 га. В результате производственных испытаний получена прибавка овса – 5,8 ц/га, пшеницы – на 3,9 ц/га, сена – на 3,2 ц.

ГЛАВА 2 ЗАПАСЫ ФОСФОРА В ПРИРОДЕ

2.1 Содержание фосфора

Породы. Кларк фосфора в земной коре составляет 0,093 %, в ультраосновных породах – 0,017, в основных – 0,14, в кислых – 0,07 и в осадочных – 0,077 %. Среднее содержание фосфора в главных группах осадочных пород равно (в %): песчаники – 0,099, глинистые сланцы – 0,155, карбонатные породы – 0,060, глубоководные морские карбонаты – 0,153, глубоководные глины – 0,207, глубоководные кремнистые илы – 0,186. Обогащенность горных пород фосфором в зависимости от их генезиса существенно различается (табл. 1).

Таблица 1 – Содержание фосфора в горных породах [19]

Порода	P ₂ O ₅ , %	Порода	P ₂ O ₅ , %
Граниты всех периодов	0,27	Диорит кварцевый	0,27
Аляскит	0,01	Диорит бескварцевый	0,25
Щелочноземельный гранит	0,30	Габбро (все)	0,28
Сиениты (включая пять щелочных типов)	0,28	Диабаз	0,25
Нордмаркит	0,09	Долерит	0,37
Монценит	0,47	Нориты (безоливиновые)	0,20
Щелочноземельные сиениты всех типов	0,31	Базальты (все)	0,45
Гранодиорит	0,20	Дунит	0,05

Суммарная масса элемента в гранитном слое литосферы составляет $6,33 \cdot 10^{15}$ т, в осадочной оболочке – $1,311 \cdot 10^{15}$ т. В настоящее время известно свыше 200 фосфорсодержащих минералов, но в связи с низкой концентрацией в них фосфора они не являются породообразующими. Фосфор участвует в магматических процессах и энергично мигрирует в биосфере. С этими процессами связано его накопление, образующее промышленные месторождения апатитов и фосфоритов с различными примесями. Наиболее распространенным минералом является апатит, который содержит более 95 % всего фосфора в коре Земли. Ученные минеральные запасы фосфора, доступные для промышленности (на суше), равны $n \cdot 10^{10}$ т [12].

В Мировом океане содержание фосфора в виде растворенного неорганического вещества составляет $15 \cdot 10^9$ т, в биомассе фотосинтетиков $0,4 \cdot 10^9$ т.

Почвы. Соединения фосфора в почвах необычайно разнообразны; их геохимическая подвижность и агрохимическое значение сильно варьируют. Однако в этом разнообразии почвенных соединений фосфора Д. Л. Аскинази (1949) выделил следующие группы.

1. Фосфаты кальция типа гидроксил-фторапатита малорастворимы в слабощелочной и нейтральной среде, но делаются подвижными по мере подкисления.

2. Фосфаты полуторных окислов, преимущественно основного типа, тем менее растворимы, чем больше в них отношение металлов к фосфору и чем ниже рН (3-3,5); при повышении рН эти соединения начинают переходить в раствор.

3. Фосфаты щелочей, моно- и дикальциевые (магниевые) фосфаты растворимы, геохимически подвижны, доступны растениям.

Фосфаты тяжелых металлов сравнительно легко подвергаются гидролизу, вследствие чего соединения фосфора могут перейти в раствор и мигрировать в той или иной форме, а гидроокислы металлов могут оставаться в осадке.

По современным данным к соединениям фосфора в почве добавляются полифосфаты, содержание которых в гумусированных и удобренных почвах может достигать 1,1-15 мг/100 г почвы. Присутствие полифосфатов активизирует деятельность микроорганизмов, повышает растворимость органических веществ и соединений ряда элементов в почвах (Ca, Mn, Zn, Al, Fe).

Геохимическая мобилизация фосфора из минералов горных пород осуществляется грибами, актиномицетами, бактериями, простейшими, особенно грибами рода *Penicilium*, *Aspergillus*, *Sclerotium* и др. Непосредственными факторами разрушения минералов и образования

растворенных соединений фосфора являются сами клетки микроорганизмов, продукты их жизнедеятельности, а также посмертные органические и минеральные соединения фосфора (различные органические кислоты, слизи, полисахара, органические соединения типа белков, алкалоидов, нуклеиновых кислот). Одновременно образуются растворимые и геохимически подвижные неорганические полифосфаты. С полифосфорными кислотами возникают разнообразные комплексные соединения металлов, этим и следует объяснять растворяющую роль органических остатков, почвенного гумуса, навоза.

Благодаря повышенной растворимости полифосфаты являются активными агентами эвтрофикации вод суши. Эти процессы проявляются при элювиальном выветривании и промывном эрозионном режиме почвообразования, когда соединения фосфора поступают в геохимический поток транзитных ландшафтов, а затем уходят в низменности, озера и Мировой океан. Значительные массы фосфора удерживаются в биологическом круговороте, в почвах транзитных и аккумулятивных ландшафтов суши.

В разных почвах содержится неодинаковое количество фосфора – от 0,01 % P_2O_5 в бедных песчаных до 0,20 % в мощных высокогумусных почвах (табл. 2). Верхние слои почвы обычно содержат значительно больше P_2O_5 , что связано с накоплением его в зоне отмирания основной массы корней. Вниз по профилю почвы количество P_2O_5 уменьшается.

Общие запасы фосфора в почвах представлены обычно только на 10-20 % соединениями, относительно доступными для растений; на 50-60 % соединениями малодоступными и на 20-40 % соединениями, практически недоступными для растений.

Таблица 2 – Содержание фосфора в слое почвы 0-20 см [7]

Почва	Содержание P_2O_5 , т/га			Содержание соединений, % к общему	
	общее	органические	минеральные	органические	минеральные
Сильноподзолен-ная	2,6	0,7	1,9	26,9	73,1
Среднеподзолен-ная	2,3	0,7	1,6	30,4	69,6
Лесостепная	2,5	1,1	1,4	44,0	56,0
Мощный чернозем	4,4	1,6	2,8	34,9	65,1
Каштановая	3,6	0,9	2,7	25,0	75,0
Серозем	4,2	0,6	3,6	14,2	85,8

Основная часть фосфатов почвы находится в составе труднодоступных для растений органических и минеральных соединений. Перевод их в усвояемое состояние осуществляется медленно, как в процессе физических и физико-химических воздействий (промораживание, пересушивание, уплотнение, воздействие орудий обработки и др.), так и под влиянием возделываемых растений и биологической деятельности почвенных микроорганизмов. Роль биологических факторов является преобладающей в преобразовании соединений почвенных фосфатов в доступные формы, среди которых можно выделить три типа биологической мобилизации [7].

Биолого-химическая мобилизация осуществляется в основном растениями за счет корневых выделений, содержащих минеральные и органические кислоты, под влиянием которых происходит как перевод из труднодоступных фосфатов в усвояемые, так и переход адсорбированных анионов фосфора твердой фазой почвы в почвенный раствор. Наибольшая способность извлекать фосфаты из почвы свойственна люцерне, гороху, люпину, гречихе, картофелю, клеверу и горчице. Эти культуры не только обеспечивают себя фосфатами, но и могут служить хорошими предшественниками в севообороте для злаковых, которые такой способностью практически не обладают.

При микробиологическом разложении органического вещества (опад, корни, биомасса микроорганизмов и т. п.) фосфаты высвобождаются в виде минеральных соединений. Процессы минерализации в почве проходят

постоянно в течение теплого периода, и наряду с накоплением азота, калия и других макро- и микроэлементов в доступное состояние переходят соли ортофосфорной кислоты. Наиболее благоприятные условия для минерализации создаются в паровом поле, после ранней зяби, после пласта трав летней распашки.

В почве также происходит биологическая мобилизация и накопление подвижного фосфора за счет деятельности фосфатмобилизирующих бактерий, способных с помощью фосфатаз расщеплять и усваивать труднодоступные органические (фитин, фосфатиды, нуклеопротеиды и др.) и минеральные (апатиты, оксиапатиты, фторапатиты, фосфориты и др.) соединения.

Органические фосфаты находятся главным образом в составе гумуса. Содержание P_2O_5 в гумусовом веществе лесостепных почв составляет 1,78-2,46 %, мощных черноземов – 0,81-1,25, обыкновенных черноземов – 0,90-1,27, выщелоченных черноземов – 1,10-1,43, а темно-каштановых почв – 0,97-1,30 %. Органический фосфор входит в состав фитина, нуклеиновых кислот, фосфатидов, сахарофосфатов и других органических соединений почвы. Часть органофосфатов представлена соединениями, входящими в состав клеток почвенных микроорганизмов (P_{MB}) и в значительной степени контролирующими потоки P в системе «почва – микроорганизмы – растения» в сезонном цикле элемента. Количество P_{MB} , его доли в $P_{орг.}$ или $P_{общ.}$ в почве и отношение $C:P$ в микробной биомассе свидетельствуют о широком варьировании этих показателей, что обусловлено различным влиянием экологических условий на поглощение фосфора микроорганизмами. Среди важнейших факторов может быть разное соотношение доступности C и P , неодинаковое доленое участие в составе микробиоценоза бактерий и грибов. Содержание P_{MB} в почвах составляет 0,2-24 г/м² (в среднем 8 г/м²). Эта оценка близка к запасам P_{MB} в почвах лугов и степей России, которые равны 4-6 г/м² и превышают содержание P в растениях этих фитоценозов [21].

В почвах сенокосов и пастбищ Забайкалья (Меркушева и др., 2008), количество P_{MB} варьирует от 2,1 г/м² в солончаке луговом до 10,8 г/м² в

аллювиальной болотной почве. В автоморфных почвах содержание P_{MB} составляет: в серой лесной – 5,8, в черноземе – 6,5, в каштановой – 3,8-4,5 г/м². Развитие процессов деградации, соленакопления и осолонцеватости вызывают уменьшение запасов микробной биомассы и снижение в ней количества биогенных элементов, в том числе и Р.

После отмирания микроорганизмов фосфор становится доступным растениям. В гумусе масса сухого вещества микробов достигает 1 %, в окультуренных длительным унавоживанием дерново-подзолистых почвах вес органических веществ микробов составляет 2-3 % от массы гумуса. При разложении гумуса и других органических фосфорсодержащих веществ водорастворимый фосфор обычно не накапливается в почве, а связывается в результате химического, физико-химического и биологического поглощения.

Минеральные фосфаты в почве представлены солями кальция, железа и алюминия, т. е. состав их в значительной мере определяется составом катионов в поглощенном комплексе почвы. Фосфаты кальция преобладают в нейтральных и щелочных почвах, а фосфаты полуторных окислов алюминия и железа распространены в кислых почвах. Кальциевые соли фосфорной кислоты характеризуются более высокой растворимостью, чем соли алюминия и железа), которые менее доступны растениям. При длительном применении удобрений с изменением агрохимических свойств почв может несколько изменяться и состав фосфорных соединений.

Фосфор ослабляет вредное действие подвижных форм алюминия на кислых дерново-подзолистых почвах, которые отрицательно влияют на обмен веществ у растений, тормозят процессы превращения моносахаридов в сахарозу и более сложные органические соединения, задерживают процесс образования белков, в связи с чем накопление небелковых форм азота в растениях заметно возрастает. Подвижные формы алюминия подавляют образование фосфатидов и нуклепротеидов. Фосфор же связывает алюминий почвы, фиксирует его в корневой системе, благодаря чему улучшается углеводный, азотистый и фосфорный обмен в растениях.

Запасы валового фосфора в слое 0-100 см разных типов почв изменяются от 8 до 30 т/га.

Значительная доля фосфора накапливается в органическом веществе почв, в котором содержание элемента составляет 0,15 %, а его масса соответственно равна $4,65 \cdot 10^9$ т. В почвах мира сконцентрировано ориентировочно $n \cdot 10^{11}$ т фосфора. С минеральными фосфорными удобрениями в почвы поступает $16 \cdot 10^6$ т.

Растения. Влияние фосфора на жизнь растений весьма многосторонне. При нормальном фосфорном питании значительно повышается урожай и улучшается его качество. У хлебных культур возрастает доля зерна в общем урожае, улучшается его выполненность. В овощах, плодах, корнеплодах увеличивается содержание сахаров, а в клубнях картофеля – крахмала, у льна и конопли повышается качество волокна: увеличивается его длина и прочность, волокно становится более тонким, с прекрасным жирным блеском. Фосфор повышает зимостойкость растений, ускоряет их развитие и созревание. Созревание зерновых культур ускоряется на 5-6 дней, что особенно важно для районов, где они не вызревают до наступления низких температур.

Оптимальное фосфорное питание способствует развитию корневой системы растений – она сильнее ветвится и глубже проникает в почву. Это улучшает снабжение растений питательными веществами и влагой, что особенно важно для засушливых условий. Фосфор входит в состав различных органоидов и ядра клеток. В растениях фосфор находится в нуклеопротеидах, нуклеиновых кислотах, которые наряду с белками играют важную роль в самом проявлении сущности жизни – синтезе белка, росте и размножении, передаче наследственных свойств. Фосфор содержится также в фосфатидах, сахарофосфатах, фитине, липоидах и в минеральных соединениях, входит в состав ферментов и витаминов.

Фосфопротеиды – соединения белковых веществ с фосфорной кислотой, которые катализируют течение биохимических реакций.

Фосфатиды (или фосфолипиды) – сложные эфиры глицерина, высокомолекулярных жирных кислот и фосфорной кислоты. Они образуют белково-липидные мембраны, которые регулируют проницаемость клеточных органелл и плазмолеммы для различных веществ. Следовательно, они играют очень важную биологическую роль в жизни растений.

Фитин – производное циклического соединения шестиатомного спирта инозита, является кальциево-магниевой солью инозитфосфорной кислоты. Это запасное вещество. Фосфор фитина используется при прорастании развивающихся зародышей.

Сахарофосфаты – фосфорные эфиры сахаров. Они играют важную роль в процессах фотосинтеза, дыхания, биосинтеза сложных углеводов и т. д. Благодаря фосфорной кислоте сахарофосфаты обладают высокой лабильностью и большой реакционной способностью.

Кроме этого фосфор является носителем энергии благодаря образованию макроэргических связей. Основная роль среди макроэргических соединений принадлежит аденозинтрифосфорной кислоте (АТФ). АТФ принимает участие в процессах фотосинтеза, дыхания, в биосинтезе белков, жиров, крахмала, сахарозы, аминокислот и многих других соединений.

Процессы фотосинтеза, связанные с образованием первичных органических веществ и запасной энергией, процессы дыхания и синтез сложных азотсодержащих органических веществ, играющих важнейшую роль в жизнедеятельности растений, а также образование запасных органических веществ вторичного происхождения протекают при непосредственном участии фосфорных соединений.

Значительная часть фосфора содержится в растениях в минеральной форме. Обычно эти фосфаты находятся в различных частях растений: в корнях, стеблях и листьях их больше, в семенах – меньше. Минеральный фосфор растений является запасным веществом, резервом для синтеза фосфорсодержащих органических соединений; он повышает буферность

клеточного сока, поддерживает тургор клетки и другие важные процессы в растениях.

Распределение фосфора в различных органах растения аналогично распределению азота. В репродуктивных органах (семенах) фосфора содержится в 3-6 раз больше, чем в вегетативных.

Нормальная концентрация фосфора в растениях равна 0,2-0,35 % Р. В природной растительности суши масса фосфора составляет $5,0 \cdot 10^9$ т.

2.2 Фосфатное сырье и их распространение в Республике Бурятия

Общее число известных минералов фосфора превышает 200, но свыше 95 % его в земной коре связано в виде апатита $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$, встречающегося в большинстве изверженных горных пород в качестве акцессорного минерала. Относительно широко распространены также монацит, ксенотим, амблигоит, вивианит, вавеллит и другие минералы.

Господствующей разновидностью апатита в большинстве горных пород являются фторапатит и фторгидроксилапатит; для кор выветривания и нелигитифицированных осадков более характерен фторкарбонатапатит (франколит или штафеллит) и карбонатгидроксилапатит (даллит). Теоретическое содержание P_2O_5 во фторапатите 42,3 %, а Р – 3,8 %; в незначительном количестве присутствуют и другие добавочные анионы (C^- , OH^- , CO_3^{-2}), а также изоморфные примеси (Na, REE, Mg, Fe, AL, Sr, В и др.). Важной особенностью большинства разновидностей апатита является нерастворимость в воде, но легкая растворимость в кислотах.

В осадочных горных породах широко распространены, разнообразные скрыто и микрокристаллические скопления фосфатного вещества из группы апатита, содержащего включения многих других минералов (кварца, глауконита, кальцита, глинистых минералов и др.) и называемого фосфоритами. У фосфоритов часть фосфора обычно изоморфно замещена углеродом, в зависимости от содержания которого закономерно меняются

свойства фосфатных минералов. Состав фосфатной части в фосфоритах приближается к фторапатиту, франколиту, курскиту, гидроксилапатиту, карбонатапатиту; характерно присутствие изоморфного урана. Содержание оксида фосфора P_2O_5 в фосфоритах не превышает 35-40 %.

Фосфатное сырье представлено двумя главнейшими типами руд: апатитовыми и фосфоритовыми; в первых апатит образует янокристаллический агрегат, во-вторых – фосфаты кальция из группы апатита представлены скрыто- или микрокристаллическими образованиями. Месторождения апатитов связаны с изверженными и метаморфическими породами, образуясь в результате эндогенных процессов, в то время как месторождения фосфоритов – с осадочными породами, формируясь в результате экзогенных процессов. Кроме этого, резко подчиненную роль в общем балансе фосфатного сырья имеют крупные скопления. Свежие экскременты содержат около 22 % N и 4 % P_2O_5 . В результате их быстрого разложения доля фосфата возрастает, а азота уменьшается. Современное гуано содержит 10-12 % P_2O_5 , а выщелоченное – 20-32 %. Минералогия гуано сложна: в слаборазложившееся входят растворимый аммоний, щелочные оксалаты, сульфаты, нитраты, магниезиальные и аммоний – магниезиальные фосфаты; сильно разложившееся гуано состоит, главным образом, из фосфатов кальция-монетита H_4CaPO_4 , витлокита $Ca_3(PO_4)_2$ и др. Крупнейшие месторождения гуано имели первоначальные запасы в несколько сотен тысяч тонн; большинство их в настоящее время уже выработано.

В последние годы на западных побережьях Северной Америки и Африки выявлен новый, потенциально перспективный источник фосфатного сырья – прибрежно-морские илы, обогащенные фосфором.

Вследствие значительно легкой обогатимости апатитовые руды являются более ценным сырьем, чем фосфоритовые. Однако в мировом балансе добываемого фосфатного сырья основная роль принадлежит фосфоритовым рудам (90,6 %) в России, наоборот, благодаря наличию уникальных месторождений Хибинского массива доля апатитовых руд в

составе фосфатного сырья является доминирующей. Большая часть общих мировых запасов апатитовых руд сосредоточена в России; в значительном количестве они имеются также в ЮАР, Бразилии, Финляндии, Канаде, Уганде, Габоне, Замбии, Испании, Индии, Вьетнаме. Наиболее крупные общие запасы фосфоритовых руд сосредоточены в Марокко, США, Перу, Казахстане, Монголии, Китае, Египте, Мексике, Ираке, Иордании, Сирии, Тунисе и Алжире.

Области использования апатитовых и фосфоритовых руд одинаковы. Подавляющая масса фосфатного сырья (более 95 %) используется для получения фосфатных и комбинированных минеральных удобрений: суперфосфата, двойного суперфосфата, преципитата, аммофоса, нитрофоса, нитрофоски, термофосфатов, фосмуки; с этой целью труднорастворимые и плохо усваиваемые растениями природные фосфаты обрабатываются различными кислотами, спекаются со щелочными и другими соединениями либо просто размалываются до тонкой муки. Остальное фосфатное сырье идет на производство фосфора и фосфорной кислоты.

Апатиты. Наибольшей известностью и промышленной значимостью пользуется Ошурковский апатитоносный массив, находящийся на левом берегу р. Селенги, в 15 км к северо-западу от г. Улан-Удэ. Размер массива 3×4 км. Площадь промышленного оруденения в нем составляет 4,6 км². По химическим особенностям состава породы массива относятся к габбродиорит-сиенитовой формации.

Руды относятся к категории легкообогатимых. Возможно получение апатитового концентрата с содержанием 36 % P_2O_5 при извлечении 81-87 %, пригодного для производства концентрированных удобрений. Общие запасы Ошурковского месторождения, числящиеся на Государственном балансе по состоянию на 01.01.2004 г., составляют: руды – 2856566 тыс. т, P_2O_5 – 108564 тыс. т, среднее содержание P_2O_5 – 3,9 %.

Данные показатели сырьевой базы апатита свидетельствуют о высоком потенциале Республики Бурятия в создании предприятий по производству минеральных удобрений как на местном, так и на федеральном уровне.

Геологическими работами (Андреев, Гордиенко, 1971) в Центральной Бурятии, в районах, примыкающих к Ошурковскому месторождению, выявлен целый ряд рудопроявлений, связанных с апатитоносными диоритами Ошурковского типа. Это Телегинское, Матюшкинское, Еловское, Краснояровское, Большеиркиликское, Дабанское, Покровское, Зырянское и другие проявления апатита. На всех проявлениях установлено повышенное содержание пятиоксида фосфора, от 1,5-2 % и более.

Фосфориты. На территории Бурятии широко распространены породы карбонатной и кремнисто-карбонатной формаций рифейско-вендско-кембрийского возраста, содержащие месторождения, проявления пелитоморфных и микрозернистых фосфоритов (Окинский и Китойский фосфоритоносные районы Восточного Саяна, проявления Морского хребта в восточном Прибайкалье, Акумакит, Алдунда, Итыкит в северном Прибайкалье). Окинский и Китойский фосфоритоносные районы являются северной частью обширного Окино-Хубсугульского фосфоритоносного бассейна.

Общая площадь Хоре-Урикской фосфоритоносной зоны составляет около 2000 км² (200 км в длину и 5-27 км в ширину). В ее пределах широко распространены породы фосфоритоносных и потенциально фосфоритоносных формаций среднего рифея, венда и кембрия, включающих 3 крупных месторождения фосфоритов (Ухагольское, Боксонское и Харанурское) и около 20 проявлений. Хоре-Урикская зона является продолжением восточной фосфоритоносной полосы Хубсугульского фосфоритоносного бассейна.

Оцененные в предыдущие годы запасы фосфоритовых руд по категории С₂ и частично С₁ только по 3 вышеназванным месторождениям составляют 145 млн. т Р₂О₅, а с учетом прогнозных – вдвое больше.

2.3 Месторождения фосфатного сырья

Ниже приводится характеристика наиболее перспективных участков, результаты агрохимических исследований и рекомендации по их освоению.

Участок Попереченский расположен в 17 км к северо-западу от районного центра Турунтаево, занимая пространство от пади Семенкина до р.Захотай. Протяженность его 7 км, ширина 0,5 км. Фосфориты и фосфатсодержащие породы слагают фосфоритоносный горизонт мощностью от 100 до 300 м, общая протяженность горизонта на участке 2,8 км. Интерпретация материалов, полученных по большому количеству горных выработок, позволяет рассматривать структурное положение продуктивного горизонта как синклинальную структуру, усложненную рядом складок высокого порядка и разбитых дизъюнктивными нарушениями.

Участок Билютинский. Данный участок находится на северо-восточном продолжении участка Поперечного, в 10 км северо-западнее с. Карымское, протягиваясь полосой шириной 1,0-1,5 км на расстояние 4 км. Фосфориты и фосфатсодержащие породы установлены по обоим бортам долины Б. Билюты.

Агрохимическая характеристика руд. Положительное действие и последствие фосфоритной муки Черемшанского рудного поля на повышение урожая картофеля, зеленой массы овса и гороха установлено в опытах Л.Л.Убугунова и Ц.Д. Мангатаева (2000) и рекомендовано дальнейшее изучение фосфатсодержащих карбонатных пород, широко встречающихся в Бурятии, в качестве эффективного мелиоранта. В 2001 году под руководством зав.отделом земледелия Бурятского НИИСХ СО РАСХН доктора сельскохозяйственных наук Т.П. Лапухина начаты исследования по изучению удобрительных свойств фосфоритной муки с целью определения возможности использования ее в качестве удобрения. Укрупненная лабораторная проба весом около 200 кг (Билютинский участок) была отобрана и подготовлена для полевых опытов главным геологом ЗАО «Черемшанский кварцит» канд. геолого-минералогических

наук В.И. Гальченко. Химический и минеральный состав фосфоритной муки по пробе, представленной для проведения опыта, следующий: P_2O_5 – 5%, в т.ч. водорастворимой 0,5 – 1,5% абс. или 35- 50% отн.: $CaCO_3 + MgCO_3$ – более 80%; цинк – 320 мг/кг, медь – 140 мг/кг, кобальт – 30 мг/кг. В целом же в рудах Билютинского и Попереченского проявлений (месторождений) установлено следующее содержание микроэлементов: марганца – 300-700, цинка – 500-800, меди – 300-900, молибдена – 50-100, кобальт – 250-270 мг/кг. По этим показателям исследователи руд относят фосфоритную муку к многокомпонентному минеральному сырью, простая механическая переработка которого дроблением до фракции 1,0 мм переводит его в разряд эффективного комплексного минерального удобрения.

Агрохимические испытания фосфоритной муки были проведены в Прибайкальском районе на типичных для земледельцев этого района (СПК «Нестеровский») торфяно-перегнойных болотных (сенокосы) и луговых (пашня) почвах, площадь которых в хозяйствах составляет соответственно 1113 и 1435 га. В результате исследований первого года на обоих типах почв отмечается положительная эффективность фосфоритной муки на повышение урожая ячменя и сена. Так, прибавка урожая зерна ячменя от фосфоритной муки, вносимой в дозе 500 кг/га в физическом весе, составила 3,4 ц/га (45%), сена 30 ц/га (214%). Отмечается более высокая эффективность фосфоритной муки на повышение урожая сена, что связано с лучшими условиями увлажнения на естественном сенокосе в период вегетации трав. Кроме повышения урожайности применение фосфоритной муки улучшает качество опытных культур. Так, на исследуемом варианте сбор белка ячменя увеличился на 71 кг и составил 139 кг/га. Применение фосфоритной муки увеличило количество переваримого протеина, повысило питательность и энергетическую ценность сена.

Ранее проведенными агрохимическими исследованиями почв (Мангатаев, 1985; Гамзиков и др., 1991), направленными на выявление эффективных доз, видов и сочетаний минеральных удобрений на почвах

Еравнинской котловины, установлено, что они исключительно отзывчивы на внесение минеральных удобрений. Так, например, прибавка урожая ячменя от внесения азотно-фосфорных удобрений в дозах по 40 кг действующего вещества на гектар и большинстве случаев составляла 7-10 ц/га (в 1,5-1,7 раза выше контроля). При этом фосфорные удобрения ускоряют созревание черна на 8-12 дней, что особенно важно в условиях Еравны с коротким вегетационным периодом.

Ошурковское месторождение апатитов. Наибольшей известностью и промышленной значимостью пользуется Ошурковский апатитоносный массив, находящийся на левом берегу р.Селенги, в 15 км к северо-западу от г.Улан-Удэ. Размер массива 3х4 км. Площадь промышленного оруденения в нем составляет 4,6 км².

Апатит в породах Ошурковского массива является одним из породообразующих минералов. Содержание его колеблется от 3 до 20%. Повышенной апатитоносностью характеризуются главным образом мезократовые и меланократовые разновидности, составляющие соответственно 50 и 40,7% объема руды и несущие равномерную вкрапленность полезного минерала. Кроме основных разновидностей имеются зоны трещиноватых и метасоматически измененных пород, характеризующихся повышенной апатитоносностью. Они связаны с разрывной тектоникой, морфологически представляют собой линейно-вытянутые зоны протяженностью в несколько десятков и мощностью до 5 метров. Центральная часть зон сложена мономинеральным апатитом, местами, превращенным в апатитовую дресву и постепенно переходящим к периферии через хлоритизированные, эпидотизированные, каолированные породы к сиенитдиоритам. Апатитовое ядро может отсутствовать, и тогда содержание апатита в этих зонах колеблется и в широких пределах от 15 до 60%. Развитие таких пород весьма ограничено и не превышает 1%. В процессе отработки месторождения этим образованиям должно быть

уделено особое внимание как в практическом, так и научно-исследовательском плане.

Руды относятся к категории легкообогатимых. Методом флотации возможно получение апатитового концентрата с содержанием 36% P_2O_5 при извлечении 81-87%, пригодного для производства концентрированных удобрений.

Агрохимические испытания полученного двойного суперфосфата показали высокую агрохимическую эффективность.

В условиях опытной фабрики ЗАЗа из ошурковского концентрата путем сплавления с магнийсодержащими породами получены плавленные кальциево-магниево-фосфаты (ПКМФ) с содержанием P_2O_5 общ. 22,6 %, P_2O_5 лимонно-растворимого 20 % и MgO общ. 17,3 %, в том числе лимонно-растворимого 17,3 %, Полученные ПКМФ испытывались НИИУИФ в полевых условиях. По своему действию на урожай они не уступают двойному суперфосфату. Применение их дает прибавку урожая 15 % [14].

ГЛАВА 3 УДОБРЕНИЯ НА ОСНОВЕ ФОСФАТНОГО СЫРЬЯ

3.1 Взаимодействие фосфорных удобрений с почвой

Фосфорные удобрения различаются по химическому составу, содержанию в них P_2O_5 , растворимости и доступности растениям. Эффективность их зависит от свойств удобрений, зональных особенностей почв, а также от агрохимических методов оптимизации применения фосфорных удобрений.

Особенности применения фосфорных удобрений с учетом растворимости фосфорного соединения заключаются в следующем: 1) фосфаты, растворимые в воде, можно применять на всех почвах, под все культуры и в разных приемах; 2) эффективность фосфатов, растворимых в слабых кислотах, зависит от почв – на кислых почвах действие их может быть сильнее, чем суперфосфатов; 3) труднорастворимые удобрения эффективны на кислых почвах и на северных черноземах (выщелоченных, деградированных). Однако на всех почвах более устойчивое положительное действие на урожай растений оказывают суперфосфат и преципитат.

Эффективность разных фосфорных удобрений зависит от свойств почвы. В одних почвах фосфаты поглощаются и закрепляются, в других – растворяются и переходят в доступное для растений состояние. В связи с этим труднорастворимые фосфаты лучше вносить под зябь, чтобы удобрения смешивались с большим объемом почвы, а легкорастворимые должны иметь меньший контакт с почвенными частицами в целях меньшего поглощения и закрепления фосфора удобрения почвой (т. е. последнее лучше вносить в рядки, лунки, борозды). Эффект действия фосфорных удобрений обуславливается способностью отдельных растений усваивать фосфаты труднорастворимых соединений.

При внесении удобрений в основном приеме важна достаточная глубина их заделки, именно в тот слой почвы, где будет размещаться основная масса корней культуры, под которую вносятся удобрения. Это

объясняется тем, что фосфор слабо мигрирует по профилю почвы (на 3-5 см). Верхние же слои почвы быстро пересыхают, и при мелкой заделке удобрения фосфор будет недостаточно использоваться корнями растений. Поэтому до посева фосфорные удобрения вносятся на глубину основной обработки почвы (вспашки) под данную культуру.

С учетом свойств удобрения и почвы эффективность формы фосфорных удобрений будет неодинаковой. Так, суперфосфаты могут применяться во всех зонах и под все культуры. Фосфор суперфосфата при взаимодействии с почвой может переходить в труднодоступную форму. На черноземных почвах с нейтральной и щелочной реакцией с содержанием карбоната кальция или кальция в поглощенном состоянии монокальций фосфат может переходить в дикальций и трикальций фосфат. В почвах же кислых, не насыщенных основаниями, фосфор растворимых фосфатов осаждается преимущественно в виде малорастворимых в слабокислой среде и труднодоступных для растений фосфатов железа и алюминия.

Кроме этого, в кислых почвах интенсивно протекают процессы фиксации растворимых фосфатов на поверхности почвенных коллоидов, богатых полуторными окислами. Интенсивность химического и коллоидно-химического поглощения почвой фосфора удобрения находится в прямой зависимости от содержания в почве подвижных форм полуторных оксидов. Фосфорные соединения в результате биологического поглощения могут также закрепляться в почве в клетках организмов, населяющих почву. По энергии поглощения фосфора растворимых удобрений почвы располагаются в такой последовательности: красноземы – подзолистые почвы – черноземы – сероземы.

Фосфорные удобрения в прямом действии используются лишь на 10-15 %. Столь низкий коэффициент использования связан не с переходом внесенных фосфатов в неусвояемые для растений формы, а с ограниченной позиционной доступностью для корневых систем продуктов реакций удобрения и почвы, обладающих слабой способностью к диффузии.

Значительные количества остаточных фосфатов обнаруживаются во фракциях почвенного фосфора, наиболее доступных растениям, что обуславливает последствие фосфатов.

Разложение фосфорита в кислых подзолистых почвах и северных черноземах определяется общей кислотностью почвы, т.е. при прочих равных условиях фосфоритная мука лучше будет действовать там, где кислотность больше. Однако такая простая зависимость между общей кислотностью почв и эффективностью фосфоритной муки наблюдается для почв с близкой по величине емкостью поглощения. В других случаях взаимосвязь оказывается более сложной. Почвы с гидролитической кислотностью 2,5 ммоль/100 г почвы способны разлагать фосфорит, но весьма слабо. Если же кислотность выше 2,5, то действие фосфоритной муки повышается и приближается к действию растворимых фосфатов. Растворение же фосфорита в сильной степени зависит от емкости поглощения и степени насыщенности почв основаниями.

Почвы с малой емкостью поглощения при гидролитической кислотности 3-3,5 ммоль/100 г почвы и насыщенности основаниями 50-60 % имеют обычно кислую реакцию (5,0-5,5). Кислотность таких почв в значительной мере обусловлена обменной кислотностью. При большой емкости поглощения, гидролитической кислотности 6-7 ммоль/100 г почвы и степени насыщенности 75-85 % реакция почвы близка к нейтральной (6,0-6,5). Высокое положительное действие фосфоритной муки наблюдается при высокой кислотности почвы и меньшей степени насыщенности почв основаниями.

Действие фосфоритной муки усиливается при наибольшем контакте удобрения с почвой, что зависит от тонины помола, которая наибольшее значение имеет на слабокислых почвах. Эффективность фосфоритной муки зависит также от геологического возраста и минералогического состава фосфорита. Фосфориты древнего происхождения с кристаллическим строением фосфатного вещества отличаются слабой доступностью для

растений, особенно труднодоступен апатит. Более молодые фосфориты, в которых фосфатное вещество не имеет явно выраженного кристаллического строения, более усвояемы растениями.

Помимо гидролитической кислотности, суммы обменных оснований, гранулометрического состава и других свойств почв, на которых базируется теория и практика применения фосфоритной муки, немаловажен тип фосфатного режима почв. Под этим понятием подразумевается поведение элемента в системе почва – растение.

На черноземах лесостепной зоны Сибири обнаружено несколько типов фосфатного режима почв, из них наиболее контрастные – два. Первый присущ почвам с высокими общими запасами элемента и относительно слабой его интенсивностью, значительной буферностью по отношению к фосфору и высокой емкостью его поглощения. Такой тип фосфатного режима характерен для черноземов Канской впадины, Кузнецкой котловины, новосибирского Приобья [3].

Для второго контрастного типа фосфатного режима почв характерны невысокие запасы валового фосфора ($< 0,15\%$), повышенная интенсивность, малая буферность и слабовыраженные поглотительные свойства. Максимальная емкость поглощения в черноземах северного Зауралья составляет $1,23 \text{ мг } P_2O_5/\text{г}$ почвы, т. е. ниже, чем в черноземе Канской впадины, в 3 раза. Почвы слабо обеспечены валовым фосфором и его подвижными формами на $69,1\%$ площади. Однако благодаря высокой интенсивности запасов при содержании $5-7 \text{ мг } P_2O_5$ почвы обеспечивают урожай зерновых при благоприятных условиях увлажнения на уровне 20 ц/га и более.

В северной и южной лесостепи Зауралья преобладают почвы гидроморфного, полугидроморфного, осолоделого и засоленного рядов. Присутствие Mg и Na в поглощающем комплексе почв способствует высокой подвижности минерального фосфора. Кроме того, в почвах этого региона наблюдается значительная дифференциация валового химического состава

по профилю. Например, молекулярные отношения SiO_2 к R_2O_3 в горизонтах А, В, С выщелоченного чернозема составляют 8,3; 7,1; 7,4, лугово-черноземной – 8,1; 6,8; 8,5 соответственно. При элювиировании вместе с илистой фракцией, полуторными оксидами движется вниз по профилю и фосфор. Глубина миграции P_2O_5 зависит от интенсивности этого процесса. Она увеличивается от чернозема выщелоченного к осолоделым, солонцеватым, полугидроморфным почвам.

Фосфатный фонд почв отличается широким отношением фосфатов кальция к фосфатам полуторных окислов. Таким образом, основная часть минеральных фосфатов почв при фракционировании по Гинзбург-Лебедевой представлена фосфатами кальция.

Серые лесные осолоделые почвы северной лесостепи обладают довольно высокой гидролитической кислотностью, значительной насыщенностью поглощающего комплекса основаниями. Обеспеченность фосфором слабая, интенсивность запасов 0,09 мг/л. Процесс элювиирования охватил здесь горизонты AB_1 и B_1 , в которых за счет миграции кальция резко повышается насыщенность основаниями. Максимальное содержание фосфатов кальция обнаружено в иллювиальном горизонте B_1 .

В серой лесной оподзоленной почве южной лесостепи, обладающей невысокой суммой поглощенных оснований и значительно меньшей насыщенностью, процесс элювиирования проявляется слабее. Здесь не наблюдается резкого увеличения насыщенности основаниями в иллювиальном и переходном горизонтах. Высокую чувствительность к перераспределению фосфатов обнаружил метод Францессона.

Черноземы по содержанию валового фосфора богаче серых лесных почв (0,11-0,18 %). Обеспеченность кислотнорастворимыми фосфатами средняя и слабая, а легкоподвижными – высокая, особенно в гумусовом горизонте почв. В старопахотных черноземах высока и интенсивность запасов (0,11-0,17 мг/л), в целинных – резко снижена.

В выщелоченных черноземах процесс элювиирования охватывает переходный горизонт A_1B , в осолоделых и солонцеватых разностях – горизонт BC .

На характер распределения фосфора по профилю влияет обеспеченность этим элементом гумусового слоя почв. Как правило, чем больше P_2O_5 в пахотном горизонте, тем сильнее выражено его перераспределение. Отмеченные особенности не столь резко проявляются на целине, хотя и у них скопление фосфора отмечено на глубине 67-85 см.

Растворимость фосфатов кальция по горизонтам по мере введения почв в культуру значительно повышается. Обработка почв усиливает минерализацию фосфора, повышает его растворимость и доступность растениям.

Таким образом, при значительном проявлении элювиального процесса в осолоделых и солонцеватых почвах Зауралья могут наблюдаться потери природного и внесенного водорастворимого фосфора из корнеобитаемого слоя. В связи с перечисленными особенностями фосфатного режима этих почв пополнение запасов фосфора должно проводиться внесением фосфоритной муки на почвах северного Зауралья, особенно серых лесных оподзоленных, фосфоритная мука по эффективности мало уступает суперфосфату; за счет постепенного растворения фосфоритная мука сдерживает поступление ионов фосфора в раствор и тем самым сокращает его передвижение по профилю; фосфоритная мука обладает более длительным последствием по сравнению с суперфосфатом.

Фосфоритование почв. На большей части территории Нечерноземной зоны РФ наиболее распространены дерново-подзолистые почвы. Это основные пахотные почвы. Встречаются также дерновые, подзолисто-болотные, болотные, пойменные, светло-серые, темно-серые, серые и, наконец, оподзоленные и выщелоченные черноземы (табл. 3).

Таблица 3 – Распределение преобладающих почв по экономическим районам Нечерноземной зоны (по данным Почвенного института им. В. В. Докучаева) [10]

Экономический район	Преобладающие почвы	%
Северо-Западный	Дерново-подзолистые	76,0
	Пойменные	1,3
	Заболоченные	5,9
	Дерново-карбонатные	16,8
Северо-Западный	Дерново-подзолистые	56,0
	Серые лесные	23,7
	Заболоченные	1,7
	Черноземные	18,4
	Пойменные	0,2
Волго-Вятский	Дерново-подзолистые	51,8
	Серые лесные	23,2
	Черноземные	24,6
	Дерново-карбонатные	0,4
Уральский	Дерново-подзолистые	61,7
	Серые лесные	24,0
	Черноземные	6,3
	Дерново-карбонатные	8,0

Дерново-подзолистые почвы характеризуются сравнительно низким содержанием гумуса (1-2%), высокой обменной и гидролитической кислотностью и, соответственно, низкой степенью насыщенности основаниями, часто небольшой мощностью гумусового горизонта, имеют широкое распространение (табл.4).

Таблица 4 – Распределение дерново-подзолистых почв по гранулометрическому составу Нечерноземной зоны РФ (по данным Почвенного института им. В. В. Докучаева), тыс. га [10]

Экономический район	Глинистые, тяжелосуглинистые	Суглинк	Супесчаные	Песчаные
Северо-Западный	85,6	1603,3	953,3	161,6
Северо-Западный	2525,4	9197,3	2030,0	278,1
Волго-Вятский	2883,8	3287,9	741,8	146,7
Уральский	2481,5	1800,8	187,0	42,8

Эти почвы бедны валовыми запасами и подвижными формами азота и фосфора. Азот содержится преимущественно в органическом веществе, при минерализации которого образуются нитратные и аммиачные формы, доступные растениям. Общее содержание N составляет от сотых до десятых долей процента.

Известно, что фосфор в почвах содержится в основном в минеральных соединениях и меньше – в органических. Общее содержание фосфора в пахотном слое дерново-подзолистых почв колеблется в пределах 0,05-0,07 % на песчаных и супесчаных и 0,10-0,16 % – на суглинистых. Значительная часть фосфатов прочно связана с несиликатными аморфными полуторными окислами и глинистыми минералами, вследствие чего доступность их растениям ограничена. Содержание подвижных форм фосфатов, определяемых по Кирсанову, составляет обычно 0-5, реже 5-10 мг P_2O_5 на 100 г почвы и лишь в окультуренных почвах доходит до 15-20 мг и более.

Слабоокультуренные дерново-подзолистые почвы имеют низкое содержание подвижного фосфора (меньше 5 мг P_2O_5 на 100 г почвы по Кирсанову) и низкую степень его подвижности (не превышающую обычно 0,01-0,02 мг/л в 0,02 н. $CaCl_2$ вытяжке и 0,02-0,03 мг/л в 0,03 н. K_2O_4 вытяжке). Эти почвы характеризуются плохой обеспеченностью растений фосфором и высокой эффективностью фосфорных удобрений.

Серые лесные почвы подразделяются на светло-серые, серые и темно-серые. Светло-серые лесные почвы выделяются наибольшей оподзоленностью и наименьшей мощностью гумусового горизонта. По своим морфологическим признакам и свойствам почвы этого подтипа близки к дерново-подзолистым. Серые лесные почвы характеризуются более интенсивным развитием дернового процесса и ослаблением подзолистого. Вследствие этого гумусовый горизонт у них более мощный – до 25-30 см.

Темно-серые лесные почвы по своим признакам и свойствам близки к черноземам. По мощности гумусового горизонта они превосходят серые лесные почвы и имеют более темную окраску. Содержание гумуса в пахотном слое серых лесных почв колеблется в пределах 3-3,5 %, гидролитическая кислотность достигает 3-5 мг-экв. на 100 г почвы. Степень насыщенности основаниями в пахотном слое составляет 70-80 %. Содержание подвижного фосфора и обменного калия в пахотном слое низкое и среднее, в зависимости от окультуренности почв. Емкость поглощения в

гумусовом горизонте суглинистых разновидностей светло-серых лесных почв составляет в среднем 14-18 мг-экв., в серых и темно-серых – 18-45 мг-экв.

Черноземы оподзоленные и выщелоченные расположены в северной части лесостепной зоны. Важнейшими особенностями химического состава черноземов являются богатство их гумусом, биогенная аккумуляция в гумусовом профиле элементов питания растений (N, P, K, микроэлементы), относительная однородность валового состава минеральной части по профилю, иллювиальный характер распределения карбонатов и выщелоченность профиля от легкорастворимых солей. В распределении гумуса наблюдается постепенное уменьшение его содержания с глубиной, что подчеркивает теснейшую связь гумусообразования с расположением корневых систем травянистой растительности. Богатство черноземов гумусом интенсивная миграция биогенного кальция определяют благоприятные их физико-химические свойства: черноземы характеризуются высокой емкостью поглощения (30-70 мг-экв.), насыщенностью поглощающего комплекса основаниями, близкой к нейтральной реакции верхних горизонтов и высокой буферностью. В составе обменных катионов главная роль принадлежит кальцию. Магний составляет 15-20 % от суммы. В поглощающем комплексе присутствует водород, и гидролитическая кислотность может достигать заметной величины (5-7 мг-экв.).

Выщелоченные и оподзоленные черноземы в целом характеризуются благоприятными физическими и водно-физическими свойствами: рыхлым сложением гумусового слоя, невысокой плотностью, значительной влагоемкостью и хорошей водопроницаемостью.

Внесение фосфорных удобрений на всех почвах способствует повышению содержания подвижного фосфора и степени его подвижности. Однако чтобы получить заметные изменения фосфатного режима почв, их требуется внести в большом количестве.

Фосфаты, внесенные в почву в предшествующие годы и не использованные растениями (остаточные фосфаты), оказывают последствие на следующие культуры, играя большую роль в фосфорном режиме окультуренных почв, в обеспеченности растений фосфором.

Обеспеченность почв подвижным фосфором – один из основных показателей ее плодородия. С увеличением содержания подвижных фосфатов до известных пределов повышается урожайность сельскохозяйственных культур. Эффективность же фосфорных удобрений с этим показателем связана обратной зависимостью.

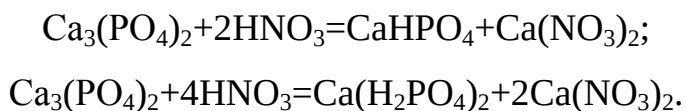
В Западной Сибири насчитывается 52,2 %, в Восточной – 71,2 % площадей пашни с низким и средним содержанием P_2O_5 .

В западном Забайкалье (Республика Бурятия) 43 % почв имеют низкое и очень низкое количество фосфора, в Забайкальском крае площадь малообеспеченных P_2O_5 почв достигает 80 %.

Фосфоритование – один из важнейших приемов улучшения плодородия почв, повышения эффективности применения минеральных удобрений и увеличения урожайности сельскохозяйственных культур.

По содержанию фосфора фосфоритная мука подразделяется: сорт I – 29 % P_2O_5 , сорт II – 23 %, сорт III – 20 % P_2O_5 ; остаток на сите с отверстиями 0,18 мм не более 20 %. Для местного потребления различают: сорт А – содержанием P_2O_5 не менее 17 % и сорт Б – 14 %. Содержание влаги допускается не более 3 %. Большую роль в повышении эффективности фосфоритной муки имеет тонина размола: 90 % всех частиц должны проходить через сито с ячейками 0,18 мм, частиц крупнее 0,18 мм должно быть не более 10 %.

Фосфоритную муку следует вносить в кислые почвы. Она постепенно под влиянием кислотности почвы разлагается сначала до двухзамещенного, а затем до однозамещенного фосфата кальция:



Основным фактором эффективности фосфоритной муки является величина гидролитической кислотности. Действие фосфоритной муки начинает заметно проявляться при величине гидролитической кислотности не ниже 2,5 мг-экв. на 100 г почвы, начиная с величины, равной $3+0,1$ Т (емкости поглощения) и выше, действие фосфоритной муки было не ниже, чем суперфосфата.

Также установлена взаимозависимость действия фосфоритной муки от емкости поглощения почвы: с увеличением емкости поглощения почвы при одной и той же гидролитической кислотности действие фосфоритной муки ослабляется. Наилучшее действие проявляется на почвах, имеющих одновременно высокую гидролитическую кислотность и небольшую емкость поглощения.

Фосфоритная мука при основном внесении проявляет высокое удобрительное действие не только на дерново-подзолистых, но также на серых лесных почвах, выщелоченных и оподзоленных черноземах. По многолетним данным географической сети опытов ВИУА, фосфоритная мука на всех типах почв при внесении в равной по P_2O_5 дозе практически мало уступает по эффективности суперфосфату, а по окупаемости затрат превосходит его (табл. 5).

Фосфориты различных месторождений оказывают неодинаковое действие на растения, что связано с их различными природными особенностями и растворимостью.

На центральной опытной станции ВИУА из испытанных фосфоритов наиболее положительный эффект проявили фосфориты Егорьевского и Вятско-Камского месторождений. Фосфоритная мука из фосфоритов месторождений Маарду и Кингисеппского значительно уступала им по эффективности.

Таблица 5 – Эффективность применения суперфосфата и фосфоритной муки на различных типах почв [3]

Культура	Урожай по фону, ц/га	Прибавка урожая, ц/га	
		Рс	Рф
Дерново-подзолистые суглинистые почвы			
Озимая рожь	21,3	2,1	1,6
Озимая пшеница	17,5	3,9	2,9
Яровая пшеница	18,5	5,3	4,1
Ячмень	22,7	3,0	2,6
Картофель	204	22,3	16,8
Лен-долгунец (соломка)	3,45	3,2	3,0
Серые лесные почвы			
Озимая рожь	20,8	2,3	2,3
Озимая пшеница	19,4	3,1	2,2
Яровая пшеница	18,0	2,0	0,8
Картофель	117	23,5	16,0
Черноземы оподзоленные			
Озимая пшеница	29,0	4,5	4,2
Черноземы выщелоченные			
Озимая рожь	23,2	2,6	2,0
Яровая пшеница	15,8	1,6	1,2

Опыты на разных почвах и культурах показали, что слабое действие проявляла фосфоритная мука из фосфоритов Каратау, Подольского и Сейбинского месторождений. Белкинские, кингисеппские, маарду и ашинские фосфориты были средними по эффективности, более высокими щигровские, егорьевские, вятско-камские и кинешемские.

Большое влияние на эффективность фосфоритов, особенно аморфных, оказывает тонина помола. Так, фосфоритная мука тонкого помола из егорьевских фосфоритов значительно превосходила по эффективности фосфориты грубого помола. Прибавки урожая зерна озимой пшеницы от их внесения составляли соответственно 5,9 и 2,1 ц/га, овса – 2,7 и 0,5 ц/га.

Фосфоритная мука обладает отрицательным физическим свойством – в тонкоизмельченном виде она сильно пылит при перевозке в открытых транспортных средствах, а также при внесении. В этой связи в странах Западной Европы, в частности во Франции и Германии, выпускают фосфоритную муку в гранулированном виде – «гиперфос», изготавливаемую из фосфоритов Марокко тонкого помола. Вместе с тем известно, что грануляция уменьшает площадь соприкосновения фосфоритной муки с

почвой, а, следовательно, снижает ее растворимость и доступность P_2O_5 для растений.

3.2 Влияние фосфоритной муки на с/х культур

Отрицательное влияние грануляции можно сократить, если в качестве «связывающего» материала употреблять гигроскопические соли, такие как хлористый калий, аммиачная селитра, сульфат калия, поташ и др. Эти соли не только проявляют удобрительное действие, обеспечивая растения азотом и калием, но и способствуют быстрому разрушению гранул при соприкосновении с почвенной влагой, а последующая обработка почвы обеспечивает хорошее перемешивание фосфоритной муки с почвой.

Полевые опыты, проведенные на дерново-подзолистых легкосуглинистых слабокультуренных почвах, показали, что грануляция фосфоритной муки с хлористым калием не снижает ее эффективности (табл. 6).

Таблица 6 – Влияние гранулированной фосфоритной муки на урожайность сельскохозяйственных культур (звено севооборота – горохоовсяная смесь – овес – лен – травы первого и второго года пользования) [5]

Удобрение	Урожай в сумме за севооборот, ц/га зерновых единиц	Прибавка урожая, %
НК – фон	64,5	–
Фон – P_{60}	73,2	29,0
Фон + (P_{60})	77,8	20,6
Фон + ($P_{60}+KCl$) гранулы	80,2	24,3
Фон + ($P_{60}+KCl+Na$) гранулы	707	9,6

Грануляция фосфоритной муки с аммиачной селитрой и хлористым калием не дала увеличения урожая, а, наоборот, по сравнению с порошковидной фосмукой несколько снизила его. Это можно объяснить наличием в звене севооборота трех культур, использующих азот воздуха, а также нарушением соотношения N:P:K на бобовых культурах. При грануляции фосфоритной муки с хлористым калием полностью избавляются от пыления. Ее можно вносить обычными дозами и туковысевающими аппаратами по обычной технологии.

К гранулированной фосфоритной муке предъявляют следующие требования: гранулы должны обладать достаточной прочностью, предотвращающей возможность их разрушения при погрузке, перевозке, разгрузке и внесении в почву; после внесения легко распадаться и при заделке почвообрабатывающими орудиями хорошо перемешиваться с почвой.

Рациональный способ применения фосфоритной муки – внесение ее в смеси с простым порошковидным суперфосфатом. Этот прием получил широкое распространение в Прибалтике для удобрения лугов, пастбищ и многолетних трав. Установлено, что по эффективности такая смесь не уступает суперфосфату. Смесь фосфорита с суперфосфатом обладает низкой кислотностью, хорошей сыпучестью, не слеживается, не пылит и хорошо гранулируется.

Находящийся в составе гранул суперфосфат в водорастворимой форме является стартовой дозой для молодых растений. Это предположение подтверждается данными полевого опыта, проведенного на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве. Смесь из фосфоритной муки и суперфосфата при соотношении 1:1 при внесении один раз в 4 года превосходила по действию фосфоритную муку на 10,7-12,4 ц/га зерновых единиц.

Более эффективный прием применения различных по растворимости форм фосфорных удобрений – внесение их послойно. В этом случае молодые растения обеспечиваются фосфором за счет P_2O_5 суперфосфата. При развитии корневой системы растения в качестве источника фосфора используют уже фосфоритную муку.

Установлено, что фосфоритная мука оказывает положительное действие в течение длительного времени.

Опыты по изучению разового и ежегодного внесения фосфоритной муки показали, что при внесении фосфоритной муки в дозе 120 и 240 кг/га

P_2O_5 ее эффективность как при ежегодном, так и при периодическом внесении практически одинакова (табл. 7)

Таблица 7 – Эффективность суперфосфата и фосфоритной муки при ежегодном и периодическом внесении [11]

Удоб рение	Доза P_2O_5 , кг/га	Получено за 4 года, ц/га						Окупаемость 1 кг д. в. P_2O_5 , кг		
		сена	зерна озимо й ржи	Карто -феля	зерна ячме- ня	Кормо -вых едини ц	При - бавк а	сен о	Зер -но	Кар то- фел ь
НК – фон	–	40,9	10,5	200	27,6	128,2	–	–	–	–
	60 – ежегодно	50,6	33,2	244	34,7	182,3	54,1	20,7	25,8	73,3
	240 – раз в 4 года	63,5	33,0	225	33,5	186,2	58,0	42,3	24,4	41,7
	120 – ежегодно	61,2	39,8	252	36,0	199,8	76,6	19,1	16,8	43,3
	480 – раз в 4 года	66,8	41,5	243	34,8	200,7	72,5	23,8	16,6	33,3
Рф егорь евска я	60 – ежегодно	48,4	20,1	222	360,0	153,2	25,0	17,0	9,1	36,7
	240 – раз в 4 года	54,0	26,2	228	30,6	166,0	37,8	26,3	14,7	46,7
	480 – раз в 4 года	56,6	28,3	224	32,0	170,4	42,2	15,6	9,0	23,3

Отмечен положительный эффект периодического внесения фосфорных удобрений на серых лесных почвах.

Эффективность действия фосфоритной муки значительно зависит от кислотности почвы и обеспеченности ее подвижным фосфором. Первоочередное фосфоритование необходимо проводить при повышенной кислотности (рН ниже 5,5, Нг выше 2,5 мг-экв./100 г почвы) и низком содержании (до 5 мг/100 г почвы) подвижного фосфора. Положительное действие фосфоритования проявляется на известкованных почвах с рН 6 и содержанием подвижного фосфора до 15 мг/100 г почвы. Поэтому на таких почвах оно осуществляется во вторую очередь.

Фосфоритную муку используют в качестве основного удобрения. Наиболее эффективно внесение ее в пар под озимые культуры, при этом высокие дозы фосфоритной муки окупаются в первые 3 года.

Еще выше эффект от фосфоритования под зерновые культуры с подсевом бобовых трав, которые хорошо используют фосфор фосфоритной муки, лучше развиваются, больше накапливают азота в почве, способствуя росту урожайности последующих культур севооборота.

Хорошие результаты получают при использовании фосфоритной муки под культуры, корневая система которых легко усваивает фосфор из труднодоступных соединений. К таким культурам относятся гречиха, горчица, горох, люпин. Положительно отзываются на фосфоритование конопля, ячмень, кукуруза, просо, зерновые бобовые культуры, донник, эспарцет, лен, соя.

Значительный эффект наблюдается от внесения высоких доз фосфоритной муки при взмете пласта многолетних трав. В этом случае образующиеся в результате разложения корневых остатков кислоты повышают растворимость фосфорита и переводят его фосфорную кислоту в доступное для растений состояние.

Применение фосфоритной муки при коренном улучшении лугов и пастбищ позволяет существенно улучшить условия произрастания культур, а также сэкономить более дорогостоящие водорастворимые формы фосфорных удобрений. Фосфоритование при этом необходимо проводить в едином комплексе с известкованием кислых почв. Фосфоритную муку и известь вносят отдельно – перед вспашкой и после нее – в разные слои почвы.

Примерную дозу фосфоритной муки можно определить по таблице, исходя из фактического содержания подвижного фосфора в почве (табл. 8).

Таблица 8 – Примерные дозы фосфоритной муки для почв Нечерноземной зоны, кг/га P_2O_5 [13]

Эффективность фосфоритной муки	Содержание подвижного фосфора в почве	Почвы			
		торфянистые	тяжелосуглинистые	средне- и легкосуглинистые	супесчаные и песчаные
Очень высокая	Очень низкое	240–300	300–400	300–360	240–300
	Низкое	200–240	260–320	240–300	200–240
Высокая	Очень низкое	200–240	240–300	200–240	200–240
Средняя	Низкое	200	200–240	200	200

3.3 Новые удобрения на основе природных фосфоритов

Как известно, фосфоритная мука нерастворима в воде и проявляет положительное действие при определенных условиях – повышенной кислотности, наличии микрофлоры, нитрификации и др. Поэтому разработаны научные и практические приемы повышения ее эффективности, где используются различные компоненты и добавки.

а) Органические компоненты:

1. один из приемов – компостирование и совместное внесение фосфоритной муки с органическими удобрениями. Нередко прибавки урожая сельскохозяйственной продукции от компоста составляют 8-10 ц/га зерновых единиц и превосходят сумму прибавок от отдельного внесения фосфоритной муки и навоза. Фосфоритная мука при приготовлении компоста используется в количестве, равном 2-4 % массы органического удобрения;
2. гумат натрия в комплексе с минеральными удобрениями способен улучшать их физико-химические свойства. Отмечено увеличение подвижности фосфатов при внесении в почву гуматов. В целях рационального использования природных ресурсов предложен способ получения дешевого и эффективного органоминерального удобрения. Он заключается в совместном измельчении бурого окисленного угля и фосфатного сырья в планетарных мельницах, где происходит механохимическая активация компонентов смеси. Разработана технологическая схема переработки окисленного бурого угля на фосфорсодержащие органоминеральные удобрения [4].

Определено, что концентрация ГК в бурых окисленных углях составляет 70–75 %. Неокисленные угли содержат 3,6-7,7 % ГК. По данным элементного анализа и методами ИК – спектроскопии спекроскопии ЯМР¹³C выявлено структурное сходство ГК окисленных углей Забайкалья с ГК каштановых и черноземных почв. Это указывает на достаточно высокий почвеннообразовательный потенциал окисленных углей, целесообразность их переработки на органоминеральные и углегуминовые удобрения в

промышленных масштабах. Установлено влияние ГК окисленных углей на растворимость фосфора в апатитовом концентрате при применении механохимической активации. Растворимость фосфора в смеси уголь: апатитовый концентрат возрастает от соотношения 2:1 до 1:2, при котором процентное содержание растворимого фосфора достигает 5 %. По мере дальнейшего увеличения доли апатитового концентрата в смесях процентное содержание растворимого фосфора понижается. Наибольшее увеличение ростовых показателей овощных культур отмечено при использовании механоактивированной смеси уголь: апатитовый концентрат (1:2).

3. На основе компостирования природного фосфорита с окисленным бурым углем в соотношении 1:5-1:10 получено комплексное удобрение пролонгирующего действия, которое увеличивает урожайность культур и улучшает их качество [1].

4. Изучено использование лигноцеллюлозных отходов промышленности как добавки к природным фосфатам в процессе механической активации с целью получения органо-фосфорного удобрения. При применении лигносульфонатов в процессе механической активации фосфатов увеличивается в 1,5-2 раза содержание доступного для растений фосфора по сравнению с активированными фосфоритами, при этом наблюдается уменьшение водорастворимых фосфатов, что является признаком пролонгирующего действия полученных фосфатов и позволит уменьшить количество вымываемых грунтовыми водами источников питания растений [10].

Фосфор содержится в почвах в виде малодоступных для растений минеральных (ортофосфаты Ca, Fe и Al) и органических (фитин, нуклеиновые кислоты, лецитин, гумус) соединений. Его количество (в расчете на P_2O_5) колеблется в пределах 0,05-0,20 %. Если запасы азота на Земле практически безграничны, то рудные запасы фосфора весьма ограничены. Дефицит этого элемента для растений усугубляется его быстрой

и прочной фиксацией в почве при внесении удобрений, в связи с чем степень усвоения фосфора из туков не превышает 25 %.

б) Одним из путей решения проблемы является использование почвенных микроорганизмов для повышения усвояемости растениями фосфора из почвы и удобрений. В минерализации органических фосфатов участвуют бактерии родов *Pseudomonas*, *Bacillus*; семейства *Actinomycetaceal* и грибы рода *Penicillium*.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Фосфорная кислота является активным участником процесса построения фосфатаз – ферментов, которые «отвечают» за нормальное течение химических реакций в клетках. Эта самая кислота активно участвует в жировом обмене, производстве и распаде крахмала и гликогена, является одним из компонентов скелетной ткани, а особенно большое ее количество расположено в тканях нервных клеток и головного мозга.

Большое количество органических фосфатов накапливается при внесении в почву фосфорных удобрений или при достаточном обеспечении почвы подвижными формами фосфора. При этом происходит так называемая биологическая иммобилизация фосфора: усвояемый фосфор используется микроорганизмами и включается в органические соединения микробной клетки. Установлено, что 8–10 % фосфора, внесенного с удобрениями, подвергается иммобилизации.

Значительная часть фосфора входит в состав почвенных минералов и недоступна (или слабодоступна) для растений. Многие микроорганизмы способны переводить такие соединения в растворимые формы. К ним относятся бактерии рода *Bacillus* (*B. Megatherium*), грибы родов *Penicillium*, *Aspergillus*. Некоторые микроорганизмы косвенно влияют на этот процесс, выделяя кислоты, которые превращают фосфаты в растворимые формы. В процессе жизнедеятельности нитрифицирующих бактерий выделяется азотная кислота, а серобактерий – серная. Эти кислоты способствуют растворению нерастворимых фосфорных соединений в почве.

Фосфор удобрений оказывает различное воздействие на численность и активность отдельных групп микроорганизмов. После внесения фосфорных удобрений в почву существенно увеличивается биологическая активность, значительно больше на легких почвах, чем на тяжелых. Активизируется развитие бактерий, минерализующих азотсодержащие соединения. С возрастанием дозы фосфорных удобрений в почве снижается численность фосфатмобилизирующих бактерий.

Под влиянием фосфорных удобрений увеличивается численность аммонифицирующих бактерий и актиномицетов, минерализующих органические вещества в почве. Аммонифицирующие бактерии участвуют в минерализации легкорастворимых, а актиномицеты – труднорастворимых органических соединений почвы, т. е. пополнение подвижного фосфора происходит за счет его высвобождения из органических соединений.

Фосфорные бактерии обладают широким спектром гидролитической активности, что предопределяет их перспективы использования в качестве агента, повышающего биологическую активность почвы. Они продуцируют ряд физиологически активных веществ – витамины, метаболиты, обладающие антагонистическим действием к фитопатогенной микрофлоре. Эффект применения фосфатмобилизующих микроорганизмов в большей степени зависит от активности, чем от численности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Абашеева Н. Е., Кожевникова Н. М., Меркушева М. Г. и др. Повышение нитрификационной способности каштановой почвы под влиянием лантансодержащих микроудобрений // Химия в интересах устойчивого развития. – 2003. – № 11. – С. 701-712.
2. Ангелов А. И. и др. Вовлечение низкосортного фосфатного сырья в производство фосфорных удобрений // Проблемы фосфатного сырья России, 1999. – С. 27-36.
3. Ангелов А. И., Левин Б. В., Черненко Ю. Д. Фосфатное сырье. – М.: Недра, 2000. – С. 106-116.
4. Андроникашвили Т. Г., Уротадзе С. Л., Квернадзе Т. К., Осипова Н. А., Буркиашвили Н. О. Ломонтит – минерал, способствующий росту, развитию и повышению урожайности пшеницы // Изв. агр. науки. – 2005. – Т. 3. – № 1. – С. 15-23.
5. Антипина Л. П. Факторы, повышающие эффективность фосфоритной муки // Возможности сельскохозяйственного использования фосфоритов Сибири. Научно-технический бюллетень. – Новосибирск, 1982. Вып. 6,7 – С. 45-55.
6. Аскинази Д. Л. Фосфатный режим и известкование почв с кислой реакцией. – М.–Л., 1949. – 216 с.
7. Виноградская, Мария Мембранные липиды зеленых водорослей в условиях дефицита фосфора / Мария Виноградская. - М.: LAP Lambert Academic Publishing, 2012. - 132 с.
8. Гладкова К. Ф. Роль кремния в фосфатном питании растений // Агрохимия. – 1982. – № 2. – С. 133.
9. Государственный баланс запасов полезных ископаемых Российской Федерации на 01.01.2007. Вып. 43. Фосфоритовые руды / Сост. Г. А. Ермилова. МПР РФ; Росгеолфонд. – М., 2007.

10. Доржиева С. Г. Физико–химические основы регулирования свойств природных фосфатов при механической активации с добавками: Автореф. дис. ... канд. хим. наук. – Иркутск, 2005. – 22 с.
11. Лечение радиоактивным фосфором больных эритремией и лейкозами. - М.: Государственное издательство медицинской литературы, 2015. - 130 с.
12. Макарикова Р. П. Агрохимическая оценка фосфоритов сибирских месторождений // Агрохимия. – 1996. – № 4. – С. 39-49.
13. Меркушева М. Г., Мангатаев Ц. Д., Инешина Е. Г., Болонева Л. Н., Убугунов Л. Л., Абашеева Н. Е., Кожевникова Н. М., Дорошкевич С. Г. Способ получения биологически активного фосфор-цеолитового удобрения пролонгирующего действия / Пат. РФ № 2255922, 2005.
14. Мормышка вольфрамовая Dixon-Rus "Капля" с ушком и фосфором, 4,0 мм, цвет: медь (10 штук): моногр. . - Москва: Наука, 2019. - 463 с.
15. Осокин П. В. О вещественном составе и типе фосфоритов хребта Морского / Рудоносность и структуры рудных месторождений Бурятской АССР. – Улан-Удэ: БФ СО АН СССР, 1970. – С. 110-116 с.
16. Половняк, В. К. Комплексы 4d-платиновых металлов с фосфор(III)- и мышьяк(III)- органическими лигандами / В.К. Половняк, О.В. Михайлов, А.М. Кузнецов. - М.: Ленанд, 2016. - 280 с.
17. Семененко, Н. Н. Агрохимические методы исследования состава соединений азота, фосфора и калия в торфяных почвах / Н.Н. Семененко. - Москва: РГГУ, 2013. - 177 с.
18. Титлянова А.А. Круговорот фосфора в травяных экосистемах и агроценозах // Почвоведение. – 1992. – № 4. – С. 31-41.
19. Убугунов Л. Л., Болонева Л. Н., Меркушева М. Г., Абашеева Н. Е. Эколого-агрохимические основы повышения плодородия аллювиальных луговых почв. – Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2001а. – 117 с.
20. Убугунов Л. Л., Меркушева М. Г., Убугунова В. И., Мангатаев Ц. Д. Содержание, запасы и фракционный состав соединений азота и фосфора в

неорошаемых и орошаемых каштановых почвах Забайкалья // Агрохимия. – 1999. – № 10. – С. 24-32.

21. Юсупов Т. С., Шумская Л. Г. О новых возможностях цеолитов в регулировании агрохимических свойств фосфатов // Природные минералы на службе человека. – Новосибирск, 1999. – С. 200-202.

22. Якутина О. В. Эколого–агрохимический аспект применения фосфоритной муки сибирских месторождений // Сибирский экологический журнал. – 1998. – № 6. – С. 531-535.

23. Янишевский В. Ф., Боронин М. К., Буланцев Ю. В. Эффективность молотых фосфоритов различных месторождений на дерновоподзолистой почве // Агрохимия. – 1998. – № 9. – С. 58-64.