

О.А. Назын-оол



ИЗМЕНЕНИЕ ФОСФОРА В ПОЧВЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

667000, г. Кызыл, ул. Ленина, 36
Тувинский государственный университет
Издательство ТувГУ

Кызыл
2017

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Тувинский государственный университет»

О.А. НАЗЫН-ООЛ

**ИЗМЕНЕНИЕ ФОСФОРА В ПОЧВЕ В ЗАВИСИМОСТИ
ОТ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ**

Монография

КЫЗЫЛ
2017

УДК 634.1:631.524.82(470.6)
ББК 42.35
Н19

Печатается по решению Научно-технического совета
Тувинского государственного университета

Рецензенты:

О.А. Ульянова, доктор биологических наук,
профессор кафедры почвоведения и агрохимии
Красноярского государственного аграрного университета;
Н.Г. Дубровский, доктор биологических наук,
профессор кафедры биологии и экологии
Тувинского государственного университета

Ответственный редактор д-р биол. наук **В.Н. Жуланова**

Назын-оол О.А.

Изменение фосфора в почве в зависимости от экологических условий:
монография / О.А. Назын-оол. – Кызыл: Изд-во ТувГУ, 2017. – 242 с.

ISBN 978-5-91178-141-5

Изложены исследования автора по изменению содержания форм фосфора в почве при увлажнении, при переувлажнении и отсутствии влаги, как изменяется внесенный фосфор в почву в качестве удобрения в Средне-Амурской равнине (1971-1974 гг.). Показаны исследования, проведенные на территории Республики Тува (1965-2005 гг.) по повышению содержания подвижного фосфора, который находится в регионе в минимуме. Исследования в Туве проведены на деградированном южном черноземе в шестипольном парозернопропашном севообороте.

Монография рассчитана на широкий круг читателей: студентов вузов и техникумов сельскохозяйственного профиля, магистров, аспирантов, научных сотрудников, а также специалистов-почвоведов, занимающихся изучением фосфора в почве.

УДК 634.1:631.524.82(470.6)
ББК 42.35

ISBN 978-5-91178-141-5

© О.А. Назын-оол, 2017
© Тувинский государственный университет, 2017

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
1. ФОСФОР В ПИТАНИИ РАСТЕНИЙ	7
1.1. Поглощение P_2O_5 растениями в зависимости от воздуха и внешних условий	7
1.2. Последствие фосфатного голодания растений	7
1.3. Связь поглощения и использования фосфора с направлением азотного обмена в растительном организме	8
1.4. Использование фосфора растениями	10
1.5. Фосфорный обмен и дыхание в листьях и корнях пшеницы при недостаточном увлажнении	14
1.6. Динамика прироста сухого вещества и использование ФАР	16
2. ФОСФОР В ПОЧВЕ	19
3. ФОРМЫ ФОСФОРА В ОСНОВНЫХ ТИПАХ ПОЧВ СРЕДНЕ- АМУРСКОЙ РАВНИНЫ	22
3.1. Характеристика форм фосфора основных типов почв	22
3.1.1. Валовой фосфор	22
3.1.2. Органический фосфор	25
3.1.3. Неорганический фосфор	29
3.1.4. Фракционный состав фосфатов	32
3.1.5. Подвижный фосфор	35
3.2. Степень подвижности фосфора	37
3.3. Превращение фосфатов в почвах Средне-Амурской равнины	41
4. ПОГЛОТИТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ ПОЧВ В ОТНОШЕНИИ ВОДНОРАСТВОРИМЫХ ФОСФАТОВ	42
4.1. Поглощение P_2O_5 генетическими горизонтами основных типов почв	44
4.2. Влияние временного режима увлажнения на превращение фракций фосфатов в почвах	48
4.3. Влияние длительного переменного увлажнения почв на содержание подвижного фосфора и степень его подвижности	52
4.4. Превращение фракции фосфатов в зависимости от известкования и внесения KH_2PO_4	54
4.5. Изменение содержания подвижной фосфорной кислоты в почвах при известковании и внесении KH_2PO_4	57
4.6. Влияние известкования и применения KH_2PO_4 на степень подвижности фосфатов	59
4.7. Сравнительная оценка различных методов определения подвижного фосфора в почвах Средне-Амурской равнины	62
4.8. Оценка методов определения подвижности фосфора в почвах Средне- Амурской равнины	64
4.9. Оценка различных методов определения подвижных фосфатов при разных уровнях их содержания в буро-подзолистой почве	71

5. ЗАВИСИМОСТЬ УРОЖАЯ СОИ АМУРСКАЯ 310 ОТ СОДЕРЖАНИЯ ПОДВИЖНЫХ ФОСФАТОВ В ПОЧВЕННЫХ ФОНАХ	74
6. СОЕДИНЕНИЕ ФОСФОРА В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ ..	84
6.1. Валовой фосфор.....	84
6.2. Органический фосфор.....	85
6.3. Неорганический фосфор	86
6.4. Подвижность фосфора дерново-подзолистых почв	88
6.5. Действие фосфорных удобрений на дерново-подзолистых почвах	90
7. СОЕДИНЕНИЕ ФОСФОРА В СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВАХ	95
7.1. Валовой фосфор.....	95
7.2. Органический фосфор.....	96
7.3. Минеральный фосфор	98
7.4. Подвижность фосфора серых лесных почв.....	100
8. ФОСФАТНЫЙ РЕЖИМ И ИЗВЕСТКОВАНИЕ ПОЧВ С КИСЛОЙ РЕАКЦИЕЙ	105
8.1. Доступность растениям минеральных соединений фосфора.....	105
8.2. Доступность растениям органических соединений фосфора.....	106
9. ФОРМЫ ФОСФОРА В ПОЧВАХ ТУВЫ.....	109
9.1. Условия почвообразования Республики Тува	109
9.2. Характеристика дефлированных почв.....	129
9.3. Влияние минеральных удобрений на формы фосфора в южных черноземах Тувы	146
9.4. Применение минеральных удобрений на дефлированных каштановых почвах степной зоны Центрально-Тувинской котловины.....	151
9.5. Изменение питательных элементов в слабдефлированной каштановой почве в связи с внесением минеральных удобрений под посев яровой пшеницы	160
9.6. Влияние фосфорных удобрений на плодородие почвы	196
9.7. Изменение содержания обменного калия	199
9.8. Влияние органических удобрений на содержание питательных элементов каштановых почв	200
9.9. Экономическая эффективность и энергоемкость культур, возделываемых на сильнодефлированных каштановых почвах с применением органических удобрений.....	212
9.10. Воспроизводство плодородия каштановых дефлированных почв Центрально-Тувинской котловины.....	215
ЛИТЕРАТУРА	222
Приложения.....	233

ВВЕДЕНИЕ

Одно из эффективных средств развития и повышения урожайности сельскохозяйственных культур является применение удобрений. Одной из главных задач в земледелии является управление круговоротом и балансом химических элементов в системе «почва – растение» и выявление их воздействия на химические процессы, которые могут повышать урожай или изменять его состав. Важную роль играют фосфорные удобрения, эффективность которых зависит от химических свойств почв.

Фосфорные удобрения вносимые в почву претерпевают различные изменения. В одних почвах фосфор удобрений длительное время находится в доступном для растений состоянии, а в других быстро поглощается и становится труднодоступным. Поэтому изучение форм почвенных фосфатов и их количественных соотношений в тех или иных почвах, а также поглощения и выявления характера превращения, вносимых удобрений представляют не только теоретический, но и практический интерес.

Формы фосфора и его количество в той или иной степени зависят от материнских пород, на которых развилась почва. Почвы, образованные на породах богатых фосфором, содержат больше фосфора, хотя доступность его для растений может быть различной. Часть фосфора связана с органическим веществом почвы и представляет собой долговременные и мало подвергаемые изменениям фракции, которые являются резервом минерального фосфора. Его соединения зависят от реакции почвенной среды. В нейтральных и карбонатных почвах преобладающей формой будут фосфаты кальция – дикальций фосфат, октакальций фосфат и апатиты.

В зависимости от минералогического состава почвообразующих пород возможны соединения в почве фосфора в форме солей щелочно-земельных металлов (Аскинази, 1949; Barber, 1961).

Малое количество новых сведений о свойствах почв регионов Тувы и Хабаровского края, форм почвенных фосфатов и экологического состояния определили постановку выполненных исследований. Этой актуальной и малоизученной проблеме посвящена настоящая работа.

Целью исследований, результаты которых представлены в монографии, было рассмотрение форм фосфора, их изменение в зависимости от экологических условий, а также установление закономерностей динамики изменения химических и физико-химических свойств почв сельскохозяйственного использования за период 1965-2005 гг.

В основу монографии положены результаты исследований О.А. Назын-оол по Средне-Амурской равнине, во время учебы в аспирантуре ДальНИИСХ в 1971-1974 гг., полевые исследования региона Тувы во время работы в Тувинской государственной сельскохозяйственной опытной станции (1965-1980 гг.) и Тувинском государственном университете (1984-2005 гг.).

Монография была задумана и начата доктором сельскохозяйственных наук Ольгой Александровной Назын-оол (1932-2015). По инициативе и настоянию дочери М.В. Назын-оол отредактирована доктором биологических наук В.Н. Жулановой. Основная часть материала в монографии содержит редакцию автора, которую изменять ответственный редактор считала не корректно. Ответственный редактор, рецензенты не со всеми выводами и рекомендациями согласны с автором. Благодарим за содействие в публикации монографии ректора ТувГУ, д.филос.н. О.М. Хомушку, проректора по науке, к.х.н. У.В. Ондар.

Издание этой книги – дань светлой памяти ученого почвоведа, доктора сельскохозяйственных наук Ольги Александровны Назын-оол, которая стояла у истоков организации высшего образования и аграрной науки в Туве. Книга выходит в год 85-летия со дня рождения проф. О.А. Назын-оол.

1. ФОСФОР В ПИТАНИИ РАСТЕНИЙ

1.1. Поглощение P_2O_5 растениями в зависимости от воздуха и внешних условий

Листья растений интенсивно поглощают фосфор. Он превращается в органические соединения. Интенсивность синтеза органических соединений с участием поглощенного фосфора существенно изменяется в процессе развития. Она уменьшается при переходе растений в репродуктивную фазу и при старении. Одновременно уменьшается способность листьев поглощать фосфор. Эта зависимость установлена для отделенных и неотделенных листьев. Способность молодых листьев стареющих растений поглощать фосфор обусловлена не только собственным, сколько общим возрастом.

Интенсивность поглощения фосфора листьями, существенно меняющаяся в зависимости от возраста и состояния растения, практически не зависит от обеспеченности его этим элементом. Листья растений богатых фосфором, поглощают его в такой же мере, как и листья растений, испытывающих недостаток элемента.

В опытах с применением P^{32} установлен круговорот фосфора, нанесенного на листья. Фосфор, поглощаемый листьями, не только оттекает в корни, но и вновь поднимается в надземные органы.

Интенсивность нисходящего тока фосфора обусловлена эндогенными причинами и очень мало изменяется в зависимости от повышения содержания фосфора в листьях. Ведущая роль в этом процессе принадлежит корням растений.

Передвижение фосфора в восходящем направлении регулируют корневые системы. Характер деятельности корней существенно изменяется в зависимости от состояния организма. По мере старения растения корни меньше поглощают фосфора, но больше транспортируют его в надземные органы. В нормальных условиях корни задерживают избыток поглощаемого ими фосфора, в результате чего содержания фосфора в листьях всегда ниже, чем при непосредственном поглощении ими этого элемента. Необычно высокое содержание фосфора через корни, обнаружено при потере этим органом способности регулировать с одновременным повышением поглощающей способности.

Факторы, управляющие восходящим и нисходящим током фосфора, определяют количество этого элемента в органах при снабжении растения через корни или надземные органы.

1.2. Последствие фосфатного голодания растений

Листья после перенесения растений на полные питательные смеси реагируют по-разному. В нижних листьях в результате последствия фосфорного голодания быстро обнаруживается глубокая интоксикация, затем они засыхают. Более молодые, но уже развернувшиеся листья постепенно

обесцвечиваются. Высокая интенсивность поглощения P_2O_5 голодавшими ранее растениями обусловлена изменениями метаболизма в процессе реутилизации имевшегося в них фосфора.

Корни определяют высокое содержание фосфора в листьях ранее голодавших растений. Об этом свидетельствуют результаты опытов с подкормкой фосфором срезанных листьев, где поглощение фосфора листьями голодавших растений происходит не более интенсивно, чем листьями нормально питавшихся растений.

Интоксикация листьев растений после фосфорного голодания протекает при одновременном избыточно высоком содержании фосфора. Результаты опытов позволяют утверждать, что разрушение хлорофилла и повреждение паренхимных тканей листьев обусловлены не избытком в них фосфора, а изменением нормальной деятельности корней растений, ранее лишенных фосфора.

Фосфорное голодание растений изменяет нормальных круговорот веществ. Одним из показателей «застоя» круговорота является обогащение корней соединениями, обеспечивающими «проактивное» состояние этих органов.

Отсутствие фосфора в питательной среде является столь существенным фактором, что вызывает нарушение метаболизма в корнях даже у растений, хорошо обеспеченных фосфором через надземные органы.

1.3. Связь поглощения и использования фосфора с направлением азотного обмена в растительном организме

Обеспеченность растений фосфором оказывает влияние на все составляющее азотного питания. Способность поглощать азот резко снижена у корней растений, лишенных фосфора сравнительно с нормально питающимися растениями. Вместе с этим в еще большей степени в голодающих растениях снижается способность к восстановлению нитратного азота, в результате чего листья и корни переполняются нитратами. Недостаточная обеспеченность растений фосфором изменяет и другие звенья усвоения азота. Это подтверждается снижением синтеза белков в отсутствие фосфора при любом источнике азота и скоплением в тканях различных органов продуктов неполного синтеза. О глубоком нарушении азотного метаболизма в растениях, лишенных фосфора, свидетельствует изменение градиента соединений азота в листьях.

Нарушение нормальной физиологической деятельности растений, в результате последствия фосфорного голодания, обусловлено азотным режимом питания растений в период их развития на растворах не содержащих фосфора. Об этом свидетельствуют результаты опытов с внесением азота и фосфора, когда растения в период фосфорного голодания выращивали на питательных смесях, содержащих только соли азота. Значение других питательных элементов в своеобразных процессах последствия фосфорного голодания незначительно (они необходимы только

для сохранения тканей растений, лишенных фосфора, в живом состоянии, что невозможно при отсутствии кальция в наружной среде).

Роль азота как фактора, определяющего нарушение нормальной физиологической деятельности растений после фосфорного голодания, является результатом изменения метаболизма в организме. На это указывают результаты опытов с «собственным азотом», когда азот совершенно не вносили в питательные смеси и растения использовали только N семян. В этом случае, как и у растений, получающих в период фосфорного голодания азот в аммиачной форме, обнаруживаются особенно глубокие нарушения норм физиологической деятельности и повреждения паренхимы листьев после включения фосфора в наружную среду. Решающее значение изменения азотного обмена веществ в тканях растений лишенных фосфора, подтверждают и результаты опытов со всеми элементами питания в наружной среде, кроме азота. Перенесение таких растений на полные питательные смеси не вызывает специфических процессов в корнях и состав быстро улучшается.

Последствие фосфорного голодания – глубоко специфичная реакция растения, обусловленная взаимодействием азотно-фосфорного метаболизма в процессе синтеза органического вещества. Специфичность реакции установлена проверкой последствия азотного и калийного голодания. Растения, длительно лишенные азота, имеют мелкие и бледные листья. Общая черта изменения состояния растений в результате последствия фосфорного и азотного голодания – резкое повышение способности корней поглощать отсутствовавший элемент. При этом для растений, лишенных фосфора, обязательным условием является обогащение тканей органическим азотом в растворимой форме при одновременном снижении синтеза белков.

Содержание протоплазматической фракции фосфора в тканях растений быстро снижается при отсутствии фосфора в наружной среде. Включение фосфора в питательные смеси голодавших растений вызывает «омоложение» обмена веществ даже в очень старых листьях. Значительно повышая содержание нуклеопротеидов. Хорошая обеспеченность растений азотом не имеющих фосфор в наружной среде, вызывая более интенсивное использование этого элемента в тканях растений, приводит к значительным изменениям самого фосфорного обмена. Результатом этих изменений является значительное снижение содержания нуклеопротеидов в тканях корней и листьев. Включение фосфора в питательные смеси таких растений вызывает быстрое повышение содержания нуклеопротеидов в тканях всех органов, в том числе и листьев, обнаруживающих глубокое повреждение в результате интоксикации. Одновременно с этим содержание фосфатидов в тканях пострадавших листьев существенно снижается сравнительно с предшествующим периодом. Определение фосфатидов в листьях растений этого же варианта после введения в наружную среду меченного фосфора позволяет заключить, что одновременно с распадом фосфатидов происходит новообразование.

Интенсивность обмена нуклеопротеидов и фосфатидов в поглощающих и ассимилирующих органах существенно изменяется в процессе онтогенеза, понижаясь по мере старения. Особенно значительно снижение наблюдается в листьях нижних ярусов. Временное исключение фосфора из наружной среды резко повышает интенсивность обмена фосфатидов и нуклеопротеидов. Чем более глубоким является фосфорное голодание растений, тем в большей степени повышается интенсивность обмена обоих плазматических фракций фосфора, в результате этого с возрастом растений увеличивается различия для организмов, получивших фосфор после временного исключения, сравнительно с растениями, все время развивавшимися на полных питательных смесях. При этом у растений, развивавшихся на растворах без фосфора, нивелируются различия в интенсивности обмена между корнями и листьями разных ярусов.

В листьях растений, все время развивающихся на полных питательных смесях, синтез нуклеопротеидов и фосфатидов, судя по содержанию P^{32} в этих фракциях, происходит в одинаковой степени при поглощении фосфора через корни и при поглощении через собственную поверхность. Синтез этих же соединений в листьях растений, лишенных ранее фосфора в 15-20 раз выше при поглощении этого элемента через корни сравнительно с синтезом плавающих листьев.

Решение вопроса о роли корней и листьев для синтеза нуклеопротеидов и фосфатидов в растениях представляется сложной задачей, требующей разносторонних исследований. Результаты, полученные нами, свидетельствуют о том, что обеспечивающие более высокое содержание фосфатидов в растениях, хотя новообразование этих соединений может происходить и в отрезанных корнях. Повышение общего количества нуклеопротеидов в растениях значительной мере обусловлено синтетической деятельностью корней. Однако удаление части листьев с растений также снижает общее количество этой фракции в растении.

1.4. Использование фосфора растениями

Значительные количества азота в окружающей среде в период прорастания семян отрицательно действуют не только на интенсивность появления всходов и размеры проростков, но и задерживает переход растений в репродуктивную фазу (тормозит дифференцировку цветочных почек). Внесение таких же количеств азотных удобрений, но уже после появления всходов оказывает только положительное влияние на темпы роста и развития растений.

Наличие фосфора в окружающей среде избыточных количеств азота снимает отрицательное действие азота на рост вегетативных органов и ускоряется развитие растений.

Наличие фосфора в окружающей среде в период прорастания семян положительно действует на интенсивность появления всходов и ускоряют развитие растений (дифференцировку цветочных почек). Особенно хорошее

положительное действие фосфора проявляется при наличии в окружающей среде избыточного количества азота. При этом снимается отрицательное действие азота на рост вегетативных органов и ускоряется развитие растений.

Поглощение фосфора в процессе онтогенеза определяется характером развития растений, стареющее растение резко снижает или прекращает поглощение фосфора, хотя имеет большую корневую систему и хорошо развитую испаряющую поверхность.

Интенсивность поглощения и использования растением фосфора, вносимого в любой момент развития, можно сильно изменить условиями азотно-фосфорного питания в предшествующий период.

Способность растений поглощать фосфор из наружной среды и использовать для формирования организма в высокой степени определяется направлением азотного обмена в корневой системе. Избыточное накопление продуктов распада или неполного синтеза белков в корнях снижает способность растения использовать поглощенный фосфор. При этом значительно повышается способность корней поглощать фосфор, но падает способность удерживать его в своих тканях.

В растениях, утративших способность корней регулировать транспорт фосфора благодаря одностороннему азотному питанию, листья выполняют роль буфера, задерживая избыток фосфора в своих тканях.

Постоянный обмен фосфора между корнями и надземными органами – важный фактор интенсивности использования этого элемента растениями. При избытке фосфора в наружной среде использование его растениями ухудшается в результате перестройки деятельности корней, задерживающих значительную часть фосфора в своих тканях. В растениях, развивающихся на растворах без фосфора, интенсивность обмена быстро сокращается за счет выключения из общего процесса относительно более старых листьев. Условия интенсивного обмена фосфором между корнями и надземными органами создаются постоянным присутствием (но без существенного избытка) фосфора в окружающей среде. Причиной высокого использования поглощаемого в этих условиях фосфора является, очевидно, более интенсивное обновление нуклеопротеидов при постоянном передвижении фосфора между различными органами. Роль корней в этом процессе очень высокая благодаря богатству этих органов меристематическими тканями.

Современная агротехника, обеспечивая широкие возможности для применения удобрений под возделываемые культуры, ставит ряд новых задач перед физиологами растений, работавшими над проблемой питания. Решение практических проблем, казалось бы, достаточно ясных, показывает ограниченность знаний о физиологических процессах, обуславливающих эффективность разных систем питания растений.

Такое состояние проблемы питания растений делает необходимым углубленные исследования формирования растительного организма в зависимости от условий питания. К числу старых и давно изучаемых, но совершенно по-новому поставленных задач относится выяснение режима

питания растений в онтогенезе. В свете современных представлений разработка системы питания растения в процессе развития растительного организма является значительно более сложной, чем казалось ранее. В настоящее время уже не представляется возможным рассматривать этот прием как постоянное пополнение потребляемых растением питательных веществ. Новое в исследовании режима минерального питания растений характеризуется с изучением процесса в связи с развитием растений. Внимание исследователей привлекали только отдельные периоды онтогенеза. В результате такой постановки вопроса выводы о значении обеспеченности растений фосфором в процессе развития крайне противоречивы.

Проведенные нами исследования, позволяют выделить значение предшествующего режима питания и возрастные применения в использовании растением фосфора. Решение вопроса помогла гипотеза о направлении азотного обмена как фактора, определяющего отношение растения к фосфору. При этом установлено, что ответственную роль в процессе играют корни. Потребность растения в период прорастания в высоком отношении фосфора к азоту в окружающей среде обусловлена интенсивной перестройкой белков семени в белки вегетативных органов. Повышение поглощения фосфора в этот период развития растения над синтезом органического вещества не только благоприятно, но и необходимо для дальнейшего роста и раннего заложения цветочных почек. Поэтому, начальный период развития является критическим для фосфорного питания. Основанием для такого утверждения кроме хорошо установленной отзывчивости является специфическая реакция растений после фосфорного голодания. Несмотря на то, что многие растения в течение продолжительного времени могут развиваться в среде не содержащей фосфора, включение этого элемента после голодания неизбежно вызывает повреждение листьев, обусловленное продуктами жизнедеятельности корней. В связи с этим представляется очевидным, что при ограниченном количестве фосфорных удобрений, их необходимо использовать при посеве (или до посева), обеспечивая фосфорный режим путем формирования растений продуктивного типа, где относительная способность к синтезу белков снижается по мере старения и компенсируется повышением их десорбирующей способности, что и позволяет лучше обеспечивать потребность в фосфоре надземных органов.

Значительно более действенным фактором, чем старение, для направления азотного обмена в растении оказываются условия азотно-фосфорного питания. Этот фактор можно легко и быстро изменять, регулируя соотношение азота и фосфора в питательном растворе или в удобрительной смеси. Азотно-фосфорный режим питания глубоко действует на характер азотного обмена в любой из отрезков вегетации. Однако, особенно глубокое действие этого фактора проявляется в начальный период развития растения. Это дает большие возможности исследователям и производственникам. Благодаря сознательному изменению условий питания в наружной среде

можно создавать необходимый характер азотного обмена в корнях, обеспечивающий желаемое использование фосфора растением при формировании урожая. В наших исследованиях эта возможность подверглась экспериментальной проверке.

Результаты проделанной работы позволяют установить истинную причину противоречивых данных, получаемых в экспериментальных исследованиях различных авторов при снабжении растений фосфором во второй половине вегетационного цикла, подкормку фосфором, проводимую в этот период, приурочивали к началу цветения–плодоношения без учета режима питания в период предшествующий подкормке.

При выращивании многих культур с длительным периодом плодоношения применяются высокие дозировки фосфора и азота, необходимые для формирования полноценного урожая высокого качества. Внесение полной дозы этих удобрений до посева не обеспечивает хорошего использования применяемых удобрений.

Необходимо давать их в рассрочку, в зависимости от развития и необходимых агрономических вмешательств (поливы, обработка почвы). Результаты наших исследований показывают, что применение летних подкормок азотом и фосфором должно производиться с учетом физиолого-биохимической деятельности корней, обусловленной предшествующей историей питания.

На растения, на которых до посева внесен фосфор, азотные подкормки после появления всходов оказывают весьма положительные действия. При этом положительное действие не ограничивается интенсификацией роста вегетативных органов. Ускоряется одновременно и плодоношение растений. Время внесения фосфорных подкормок в процессе развития растений должно определяться не только переходом растения к цветению, но и (в еще большей степени) предшествующим режимом питания. Для положительного действия фосфатных подкормок в процессе онтогенеза необходима хорошая обеспеченность растений в начальный период развития и азотом и фосфором.

Одностороннее азотное питание в течение продолжительного периода создает условия для интенсивного поглощения фосфора, вносимого в наружную среду. Однако, в противоположность молодым растениям, интенсивное поглощение и соответствующее обогащение тканей полновозрастных растений фосфором, отнюдь не являются таким же благоприятным фактором. Фосфор используется для синтеза органического вещества в этом случае крайне плохо. Ткани растений, и прежде всего вегетативные, надземные органы, обогащаются фосфором, образование же репродуктивных органов при этом не ускоряется, а тормозится.

Результаты исследований показывают, что можно получить значительное повышение урожая за счет подкормки фосфором в период цветения–плодоношения. Необходимым условием для этого является сбалансированное азотно-фосфорное питание с момента посева до внесения фосфорной подкормки. Для этого следует давать односторонние азотные

подкормки с большим разрывом во времени с последующими фосфорными подкормками.

Возможность отрицательного действия фосфорной подкормки на плодоношение растений полностью устраняется при нанесении фосфора на листья растения. Однако положительное действие на продуктивность растений в этом случае может проявляться только при значительном обеднении растений фосфором. Поэтому крайне необходимо разрабатывать диагностические показатели, позволяющие определять степень несбалансированности азотно-фосфорного питания и тем самым решить вопрос о возможности фосфорной подкормки в разгар цветения для растений с неизвестным режимом питания в предшествующий период. При этом необходима разработка диагностических показателей по составу растений, т.к. различное использование фосфора, вносимого в наружную среду в течение вегетационного цикла, обусловлено изменением продуктов обмена веществ, подаваемых из корней в надземные органы.

Важное значение корней установленное в исследованиях поглощения и использования фосфора растениями, представляется особенно существенным в связи с многообразной ролью этих органов в процессе превращения веществ. Вопрос о роли корней в превращении элементов питания, поглощаемых из наружной среды, был поставлен еще в 20-х годах прошлого столетия. Развивая представление о круговороте веществ как процессе, связывающем растительный организм в единое целое, акцентировали внимание на роли корней в передвижении различных элементов питания. В то время на новом уровне исследовании рассматривают роль корней, как органов имеющих важное значение для формообразовательных процессов.

С нашей точки зрения, очень существенное значение корней в общем процессе питания растительного организма обусловлено их только в круговороте фосфорных и азотных соединений, связанном с наличием необходимых условий для синтезов отдельных соединений в тканях корней.

Особенно существенно изучение роли корней в исследованиях режима питания в онтогенезе. В этом отношении роль корней, установленная для процесса азотно-фосфорного питания, имеет большое значение в одном из звеньев общего процесса синтеза органического вещества. Этим звеном являются образование и распад зеленых пигментов в ассимилирующих органах растений. Следует подчеркнуть, что в многоступенчатом процессе синтеза органического вещества, т.е. процесса питания в полном значении этого термина, образование зеленых пигментов имеет очень большое значение.

1.5. Фосфорный обмен и дыхание в листьях и корнях пшеницы при недостаточном увлажнении

Наиболее важное, универсальное значение для жизнедеятельности растений имеет осуществление в акте дыхания синтеза АТФ из АДФ и неорганического фосфора. При всех неблагоприятных условиях у растений

наблюдается активирование дыхания. Динамичность этого процесса является причиной противоречивости данных и в связи с этим высказываются различные точки зрения. Наиболее полное представление о влиянии водного дефицита на энергетику дыхания высших растений дал Жолкевич. Известно также, что содержание фосфора в листьях и корнях не постоянно и зависит от возраста растения и сорта. Такие изменения в количестве соединений фосфора в онтогенезе растений происходят и при слабом водном дефиците.

Мы изучали влияние слабого обезвоживания на фосфорный обмен и дыхание листьев и корней пшеницы.

Незначительное обезвоживание вызвало изменения в фосфорном обмене. Содержание общего фосфора в листьях увеличивалось с возрастом растений.

Это связано с тем, что для анализа мы брали листья верхнего яруса, в которых накапливаются фосфоросодержащие соединения до того времени, как сформируются генеративные органы. Однако разные сорта пшеницы неодинаково реагировали на недостаток влаги в почве. Если в начале опыта, слабое обезвоживание увеличивало количество общего фосфора в листьях сорта Диамант, то при длительном не достатке воды возрастало содержание общего фосфора в листьях пшеницы сорта Эритроспермум. Количество общекислоторастворимого фосфора в листьях также увеличивалось с ростом растений, в корнях же наблюдалась обратная зависимость. Если же рассмотреть соотношение между органическими и минеральными соединениями кислоторастворимой фракции, то корни оказываются богаче органическими фосфатами, и убыль общекислоторастворимого фосфора с ростом происходит в результате уменьшения органического фосфора.

По мере роста растений в листьях верхнего яруса увеличивалось содержание минерального и органического фосфора.

Каким образом недостаток влаги влиял на состав и подвижность общекислоторастворимого фосфора? В течение опыта эта зависимость не однотипна. Первоначальное обезвоживание (1 проба) привело к усилению фосфорного обмена в листьях и корнях, в результате чего подвижность фосфорных соединений возросла у обоих сортов пшеницы. При более длительном обезвоживании (3 проба) количество фосфора в листьях уменьшилось или оставалось таким же, что и в контрольном варианте.

Содержание нуклеотидного фосфора (разница между содержанием общекислотосодержимого фосфора и суммой органического и неорганического) в листьях, которое переходило в состав трихлоруксусной вытяжки, мало изменялась в течение опыта. Однако наметилась тенденция к увеличению этой фракции в опытном варианте по сравнению с контролем. Следовательно, незначительный водный дефицит сопровождался накоплением в тканях растений фосфорных соединений типа АТФ и АДФ, что свидетельствует об усилении энергетического обмена. Это подтверждает ранее высказанное положение о двухфазности реакции живой ткани на обезвоживание.

Содержание фосфора, которое входило в липидный комплекс, незначительно изменялось в течение опыта. Наибольшее количество этих соединений отмечено в молодых корнях, тогда как в листьях фосфор липидов накапливался с ростом растений.

Слабое обезвоживание способствовало образованию фосфора в липидах, как в корнях, так и в листьях. Содержание фосфора нуклеиновых кислот в листьях увеличивалось с возрастом растений до пятого этапа органогенеза (6 недель). Недостаток влаги увеличивал количество фосфора нуклеиновых кислот, в основном за счет повышения фосфора, входящего в рибонуклеиновую кислоту (РНК). Однако с переходом растений к поглощению (3 проба) количество фосфора нуклеиновых кислот резко снижалось в результате уменьшения количества фосфора РНК. Такое явление связало не столько с нарушением синтеза РНК, сколько с быстрым ее распадом под действием рибонуклеидов, а также благодаря ее большей лабильности, чем ДНК.

Слабое обезвоживание усиливало интенсивность дыхания, что выразилось в более энергичном поглощении кислорода листьями обеих сортов. Характер этих изменений зависел от длительности обезвоживания (следовательно, и от возраста растений), а также сорта. В течение опыта интенсивность дыхания была несколько выше у листьев сорта Диамант.

Однако недостаток влаги в почве сказался сильнее на интенсивность дыхания у листьев сорта Эритроспермум 841. После двухнедельной засухи наблюдали максимум поглощения кислорода у листьев обоих сортов пшеницы, дальнейшее обезвоживание привело к резкому спаду интенсивности дыхания.

Таким образом, кратковременное слабое обезвоживание усиливает энергетический обмен. Это проявляется в усилении интенсивности дыхания, которому соответствует повышенный фосфорный обмен.

1.6. Динамика прироста сухого вещества и использование ФАР

Определяющим моментом динамики прироста биомассы являются накопление сухого вещества различными органами растений.

Что касается фосфора, то этот элемент во всех применяемых дозах повышает суточный прирост сухого вещества и особенно плодов. Но во второй половине вегетации под влиянием усиленного фосфорного питания прирост замедляется. Действие бора, марганца в данной динамике аналогично действию фосфора, а меди – азота.

Чистая продуктивность фотосинтеза

Чистая продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) резко изменяется в различных растениях в течение вегетации и в зависимости от факторов внешней среды.

Противоречивость полученных результатов свидетельствует о недостаточной изученности данного вопроса. Наряду с утверждением о значительном повышении ЧПФ в отдельные периоды и в среднем за

вегетацию при применении минеральных удобрений даже в высокой дозе (Бегишев, 1953; Добрунов, 1959; Устенко, 1959, 1963, Петин, 1962; Бабаева, 1964; Губарь и др., 1965; Ирбе, 1965; Патрон, 1966; Соис, 1966; Борисюк, 1968; D Aoust, Jayler, 1969). Констатируются факты обратного характера, при котором использование высоких доз удобрений по сравнению с низкими же снижает величину ЧПФ за вегетацию (Watson, 1956; Watson, Wits, 1959; Григорян, 1962; Кириченко, Дорохов, 1962, 1964; Витола, 1965; Repha et al., 1966; Алиев, 1967, 1968, 1969; Фоменко, 1968; Приезжев, 1969). В этом случае происходит значительное повышение мощности фотосинтетического потенциала и общей продуктивности растений.

Все испытываемые микроэлементы в резко выраженной форме повышают ЧПФ в начале вегетации при максимуме влияния бора и марганца. В этот период на фоне фосфора наблюдается относительно высокая ЧПФ по сравнению с азотным фоном, а наилучшие результаты по общей продуктивности получены при сочетании бора и марганца с азотом, а меди и цинка – с фосфором. Действие микроэлементов на общую величину ЧПФ во второй половине вегетации незакономерно.

Из минеральных элементов фосфор, особенно в высокой дозе, значительно увеличивает $K_{\text{хоз}}$ (коэффициент хозяйственной эффективности урожая) в течение всей вегетации. Это означает, что, во-первых, синтезированное органическое вещество в большей части расходуется на образование хозяйственно ценной части, и, во-вторых, плодоношение наступает раньше и проходит интенсивнее, а в последнем периоде вегетации прирост вегетативных частей замедляется в большей степени. При внесении азота, наоборот, наблюдается низкая величина $K_{\text{хоз}}$ в течение периода плодоношения, особенно, в начале. Под влиянием азота плодоношение наступает поздно, относительно большая часть органических веществ расходуется на образование вегетативных органов, рост которых в конце вегетации интенсивно продолжается. По эффективности микроэлементов выделяются бор и марганец, изменяющие направленность фотосинтетической деятельности в сторону увеличения $K_{\text{хоз}}$, в то время как медь и цинк при одностороннем применении сравнительно снижают этот коэффициент.

Внесение минеральных элементов повышает интенсивность фотосинтеза в основном на 12-18 мг $\text{CO}_2/\text{дм}^2$ час. Наиболее активен сдвиг в начале вегетации под влиянием фосфора; в последующих фазах преобладает действие азота. Самая высокая интенсивность ассимиляции углекислоты в начальном периоде отмечается при низких дозах азота и фосфора, позже максимум увеличения наблюдается под влиянием относительно высоких доз этих элементов.

Содержание хлорофилла

Фосфор при одностороннем применении также способствует увеличению содержания хлорофилла, но в значительно меньшей степени, чем азот. В начале вегетации лучший эффект дает сравнительно низкая его доза.

В дальнейшем растения, удобренные низкой дозой фосфора, по содержанию хлорофилла несколько уступает растениям варианта повышенного фосфорного питания.

При совместном внесении микроэлементов с азотом или фосфором медь в течение всей вегетации увеличивает, а бор и марганец, особенно на фоне одностороннего усиленного фосфорного питания, несколько повышая в первой половине, снижают содержание хлорофилла во второй половине вегетации.

Характер действия микроэлементов в зависимости от азотно-фосфорного питания в определенной степени можно объяснить как влиянием этих элементов на поступление азота и фосфора в растения, так и участием их в азотном и фосфорном метаболизме.

Итак, отмечая повышение хозяйственной полноценности фотосинтетической деятельности под влиянием минерального питания, следует констатировать это как последствие благоприятного действия питательных элементов на утилизацию ассимиляторов, более коррелирующую с урожайностью, чем с интенсивностью фотосинтеза. Наглядным отражением этого являются случаи отсутствия корреляции интенсивности фотосинтеза с урожаями в результате не эффективной направленности постфотосинтетических процессов, когда значительные величины первого не обеспечивают предполагаемого высокого урожая и наоборот.

2. ФОСФОР В ПОЧВЕ

Фосфор в почве находится в форме минеральных и органических соединений. Минеральные соединения фосфора представлены первичными минералами почвообразующих пород (апатиты и др.). В процессе выветривания первичные минералы разрушаются и образуются растворимые фосфорные соединения, которые поглощаются растениями и микроорганизмами и, таким образом, вовлекаются в биологический круговорот (Аскинази, 1949, Дмитренко, 1957). В результате чего в почве образуются соединения фосфора как органические, так и минеральные, представляемые фосфатами кальция, магния, железа, алюминия и сложными органоминеральными соединениями.

Знание количественного и качественного состава фосфатов в почвах имеет большое значение. Изучение отдельных форм фосфатов может с одной стороны способствовать более глубокому выяснению процессов выветривания минеральной части почв, а с другой, выявлять первичные и новообразующие формы фосфатов при внесении фосфорных удобрений.

Установлением форм фосфатов в почвах России занимались и занимаются многие исследователи: Д.Н. Прянишников (1905, 1909), А.И. Душечкин (1911, 1929, 1948), Карпинский Н.П. и В.Б. Замятина (1933, 1941), Г.С. Давтян (1946), Ф.В. Чириков (1948, 1956), А.В. Соколов (1950, 1958), Э.И. Шконде (1952), П.А. Дмитренко (1957), Л.С. Любарская (1962), М.Н. Бурангулова (1967), Э.С. Мусабекова (1970), Л.М. Войкин (1972) и др. В своих работах они отмечали, что для того, чтобы познать сущность плодородия и управлять им, необходимо изучить формы фосфорных соединений в почве как важнейшего показателя почвообразовательного процесса - и воздействия на почву сельскохозяйственных культур и агротехнических приемов.

Г.С. Давтян (1946) пишет; «... в настоящее время нельзя дать универсальный ответ на вопрос о том, какая именно форма фосфорных соединений может служить источником питания растений. Если еще полвека тому назад можно было говорить, что этой формой является известковая соль фосфорной кислоты, то теперь известно, что формы алюминия, железа и другие также могут служить источником питания растений».

Одна и та же форма фосфорных соединений при различных почвенных условиях может иметь различную ценность для растений (Аскинази, 1949).

Фосфаты полуторных окислов и органические преимущественно накапливаются в верхних горизонтах почвы (Давтян, 1946). Причем первые более устойчивы в кислых почвах, а в карбонатных - более доступны растениям (Аскинази, 1949).

Решение вопроса о доступности фосфора тесно связано с установлением основных факторов почвенной системы, которые в значительной мере определяют усвояемость его форм для сельскохозяйственных растений.

Формы фосфора и его количество в той или иной степени зависят от материнских пород, на которых развилась почва.

Почвы, образованные на породах богатых фосфором, содержат больше фосфора, хотя доступность его для растений может быть низка. Некоторые целинные почвы, сформировавшиеся на песчаных отложениях, содержат мало питательных элементов. Без внесения удобрений на них невозможно выращивать культурные растения. Часть фосфора связана с органическим веществом почвы и представляет собой долговременные и мало подвергаемые изменениям фракции, которые являются резервом минерального фосфора. Его соединения зависят от реакции почвенной среды. Так, в кислых почвах большая часть фосфора связана, пока еще не достаточно выясненным способом, с железом и алюминием (Аскинази, 1949).

В нейтральных и карбонатных почвах преобладающей формой будут фосфаты кальция - дикальций фосфат, октакальций фосфат и апатиты.

В зависимости от минералогического состава почвообразующих пород возможны соединения в почве фосфора в форме солей щелочно-земельных металлов (Аскинази, 1949; Barber, 1961).

Все вышеназванные почвенные фосфаты не могут быть выделены в неизменном виде, и их природа может быть выяснена с учетом всех химических свойств почвы и, как правило, фосфатная система должна изучаться как единое целое (Соке, 1967).

Минеральный состав фосфатов свидетельствует о длительной эволюции почвы, о направлении протекающих процессов почвообразования, в какой стадии развития находится данная почва.

Указывая на различие между породой и почвой В.Р. Вильямс (1937) отмечал, что при воздействии на материнскую породу биологических элементов почвообразования происходит концентрация тех веществ, которые являются необходимыми элементами зольной и азотной пищи растений, и в наиболее яркой и общевыраженной форме - фосфора.

Обогащение фосфором верхних горизонтов почвы наиболее выражено в черноземах, где процессы его биологической аккумуляции в значительной степени преобладают над процессами выноса с водой атмосферных осадков в нижележащие горизонты.

Накопление гумуса в почве способствует и накоплению фосфора, так как в нем содержится его почти в 10 раз больше чем в почве в целом (Дмитренко, 1948; Хейфец, 1950).

Вовлечение фосфора первичных минералов в биологический круговорот, сущность которого заключается в синтезе и разрушении органического вещества, привело к образованию в почве вторичных его форм, в общем, более подвижных и более доступных для растений. К числу вторичных фосфатов, возникших в процессе почвообразования, полностью относится фосфор, связанный с органическим веществом, а также большинство соединений фосфора минеральной части почв.

Среди вторичных форм фосфатов наряду с простыми образованиями (орто-, пиро- и метафосфорная кислота), встречаются и более сложные (соли фосфорной кислоты.) Это говорит о многообразии путей образования различных форм фосфатов и необходимости всестороннего изучения их. Это тем более необходимо, что не весь содержащийся в почве фосфор в одинаковой степени доступен растению и что легкодоступными могут быть только его определенные формы, которыми в значительной степени и обуславливается плодородие почв.

3. ФОРМЫ ФОСФОРА В ОСНОВНЫХ ТИПАХ ПОЧВ СРЕДНЕ-АМУРСКОЙ РАВНИНЫ

На Дальнем Востоке исследованиями, проведенными Приморской, Амурской опытными станциями, ДальНИИСХ ДБ филиалом СО АН СССР, зональными агрохимическими лабораториями выявлена высокая отзывчивость сельскохозяйственных культур на фосфорные удобрения, что свидетельствует о слабой обеспеченности местных почв доступной для растений фосфорной кислотой. Следовательно, окультуривание дальневосточных почв связано, прежде всего, с улучшением их фосфатного режима. Решить эту сложную проблему мы можем тем успешнее, чем полнее будут наши познания о формах почвенных фосфатов, их количественных соотношениях в тех или иных почвах.

Четкое представление о фракционном составе почвенных фосфатов позволяет предвидеть характер превращения вносимых в почву фосфорных удобрений. Это в свою очередь дает возможность выбрать наиболее эффективные приемы окультуривания различных типов почв.

В этом направлении на Дальнем Востоке проведены некоторые исследования лугово-глеевых почв Амурской области (Голов, 1965, 1967), основных типов почв Приморья (Стрельченко, 1972, 1973). Во всех почвах, несмотря на различие их морфологических и химических свойств, значительная часть почвенных фосфатов представлена фосфатами полуторных окислов.

Более подробное изучение фракционного состава фосфатов буро-подзолистых почв было проведено В.П. Басистым (1967), который пришел к выводу, что в буро-подзолистых почвах Приамурья превращение почвенных фосфатов и фосфатов, вносимых с удобрениями идет в направлении образования труднорастворимых фосфатов железа.

Почвенный покров пахотных земель Хабаровского края представлен в основном пятью типами (бурые лесные, буро-подзолистые, лугово-бурые, лугово-глеевые, дерново-аллювиальные), изучение в которых форм и фракционного состава фосфатов представляет большой интерес.

3.1. Характеристика форм фосфора основных типов почв

3.1.1. Валовой фосфор

Количество фосфора и его формы в почвах зависят от гранулометрического и минералогического состава почвообразующих пород и условий почвообразования.

Неоднородность четвертичных отложений, как по гранулометрическому, так и по химическому составу обусловлена всем ходом геоморфологического формирования Средне-Амурской равнины, что отразилось также на содержании в них соединений фосфора.

Наши исследования показали большое различие валового его содержания в почвообразующих породах, которые варьируют от 50 до 150 мг/100 г почвы.

У преобладающих групп материнских пород: озерно-аллювиальных, делювиальных и элювиально-делювиальных отложений, гранулометрический состав представлен легкими глинами. Содержание в них валового фосфора более стабильное 110-160 мг/100 г почвы (табл. 1).

Таблица 1 – Содержание валовой фосфорной кислоты в почвообразующих породах Средне-Амурской равнины

№ почвенного разреза	Типы отложений	Формирующиеся на них почвы	Глубина, в см	Гранулометрический состав, %		Валовая P_2O_5 мг на 100 г почвы
				< 0,001мм	<0,01 мм	
17	Аллювиальные	Бурые лесные	150-165	3,6	4,6	50,0
20	Аллювиальные	Бурые лесные	50-60			70,0
9	Элювиально-делювиальные	Бурые лесные	67-75			64,0
25	делювиальные	оподзоленные	110-125	31,6	68,2	153,2
8	Делювиальные	Буро-подзолистые	163-184			109,0
	Озерно аллювиальные		170-180	26,1	57,2	109,0
1	Озерно аллювиальные	Лугово-бурые	192-207			156,5
		Лугово-глеевые	160-175	24,4	61,7	153,0

Аллювиальные отложения, представленные песками и супесями, наиболее бедны по содержанию валового фосфора 50-70 мг/100 г почвы. Следовательно, почвы, залегающие на этих породах, будут содержать меньше валового фосфора, чем почвы, залегающие на глинистых отложениях (элювиально-делювиальных и озерно-аллювиальных).

На количество фосфора в почвах оказывает существенное влияние характер почвообразования. На равнинах Приамурья и Приморья имеет место проявления буроземного, подзолистого и луговых процессов (Диверовский, 1947; Качияни, 1954; Ливеровский и Рубцова, 1959; Иванов, 1964, 1966). Эти почвы отличаются, как правило, ненасыщенностью основаниями, кислой реакцией среды, высокой подвижностью полуторных окислов (Басистый, 1967).

В этих условиях будет иметь место не только аккумуляция, но и потеря фосфора из почвенного профиля (табл. 2).

Во всех исследованных почвах максимальное количество валового фосфора выявлено в гумусовом горизонте. Биологическая аккумуляция происходит за счет обеднения фосфором элювиального (A_2) и иллювиального (В) горизонтов, в которых его содержание уменьшается по отношению в почвообразующей породе.

Исключение составляют лишь бурые лесные почвы на аллювии. Здесь наблюдается постепенное снижение P_2O_5 вниз по профилю.

Изменение гранулометрического состава и подкисление реакции среды в бурых лесных оподзоленных почвах сопровождается частичным накоплением фосфора (разрез 9).

В буро-подзолистых почвах также по профилю заметен вынос фосфорной кислоты (разрез 8, 33), что связано с процессом

подзолообразования. Аккумуляция фосфора в иллювиальных горизонтах, может быть обусловлена не только процессами выщелачивания, но и более слабым усвоением его растениями.

Таблица 2 – Валовой фосфор в почвах Средне-Амурской равнины

Почва, № разреза	Горизонт	глубина взятия образца, см	Валовой фосфор	
			мг/ 100 г почвы	%
1	2	3	4	5
Бурая лесная, р. 20	A _{пах}	0-29	120,0	0,120
	A ₂ B	32-37	86,0	0,086
	C	50-60	70,0	0,070
Бурая лесная, р. 17	A _{пах}	0-22	120,0	0,120
	A ₂ B	30-35	86,0	0,086
	B	60-85	89,0	0,089
	C	150-165	50,0	0,050
Бурая лесная оодзоленная, р. 9	A _{пах}	0-17	124,0	0,124
	A ₂	17-37	43,0	0,043
	B ₁	37-56	58,0	0,060
	CD	61-75	64,0	0,060
Бурая лесная слабоподзоленная, р.25	A _{пах}	0-23	195,0	0,195
	A ₂ B	40-70	91,0	0,091
	B ₁	80-102	125,5	0,130
	CD	110-125	153,2	0,153
Буро-подзолистая, р.8	A _{пах}	0-20	180,0	0,180
	A ₂	27-42	76,0	0,080
	B	52-63	103,0	0,103
	C	163-184	109,0	0,109
Буро-подзолистая, р.33	A _{пах}	0-15	136,0	0,140
	A ₂	25-35	67,0	0,067
	B	50-65	96,0	0,096
	C	170-180	109,0	0,109
Лугово-бурая, р. 1	A _{пах}	0-23	250,0	0,250
	A ₂ B	35-60	153,0	0,153
	B _g	71-96	144,0	0,144
	B/C	105-120	156,5	0,160
Лугово-бурая, р. 7	A _{пах}	0-25	182,0	0,182
	A ₂ B	46-71	104,5	0,105
	B _{1g}	79-94	109,0	0,109
	C	198-211	127,0	0,127
Лугово-глеевая, р. 19	A _{пах}	2-18	131,5	0,132
	A ₂ B	18-40	92,0	0,092
	B _{1g}	45-60	89,0	0,089
	C	160-175	153,0	0,153
Лугово-глеевая, р. 37	A _{пах}	0-13	184,0	0,184
	A ₂ B	15-35	114,0	0,114
	B _{1g}	40-60	119,0	0,119
	C	160-170	122,0	0,122

Дерново-аллювиальная, р.34	$A_{\text{пах}}$	0-22	138,0	0,138
	A_2B	25-35	74,0	0,074
	B_1	65-75	133,0	0,133
	C	125-135	125,5	0,126

Значительная роль в распределении фосфора по профилю почв принадлежат корневой системе и деятельности микроорганизмов (Дмитренко, 1957).

Нами рассмотрены запасы валового фосфора по профилю исследуемых почв с учетом объемного веса в них.

Рассчитав запасы валового фосфора по генетическим горизонтам почв, и сравнив их с таковыми для соответствующих по мощности слоев почвообразующей породы, мы выявили характер происшедших изменений. Четко выраженное биогенное накопление фосфора в почвенном профиле наблюдалась лишь в бурой лесной почве на аллювии (приложение 1). Оно же отмечено в гумусных горизонтах бурой лесной оподзоленной, буро-подзолистой, лугово-бурой почвах. С учетом объемного веса максимальное биогенное накопление фосфора в горизонте $A_{\text{пах}}$ наблюдается у бурых лесных почв на аллювии (72 мг P_2O_5 на 100 г почвы) и несколько меньше у лугово-бурых (54 мг P_2O_5) и буро-подзолистых (40 мг P_2O_5) почвах.

В процессе аккумуляции фосфора в гумусовом горизонте происходит обеднение им горизонта A_2 у бурой лесной оподзоленной и буроподзолистых почв или горизонта В у лугово-бурой.

Лугово-глеевая почва характеризуется потерей фосфора из всей толщи. У дерново-аллювиальной почвы этим элементом обедняются лишь элювиальные и отчасти перегнойные горизонты ($A_{\text{пах}}$ и A_2).

Исходя из выше приведенных данных, можно заключить, не подверженных переувлажнению, и реакции среды близкой к слабокислой, фосфор накапливается во всем почвенном профиле. И, напротив, он теряется при кислой реакции среды и систематическом переувлажнении, вызывающем глеевые процессы.

Несмотря на то, что потенциальные запасы фосфора в исследуемых почвах значительны и их хватило бы намного лет, растения испытывают недостаток в фосфоре. Следовательно, валовое его содержание не является достаточно точным критерием обеспеченности почв фосфором. Оно лишь характеризует общее богатство их этим элементом.

При изучении доступности растениям фосфатов важно установить содержание органических, минеральных соединений, а также выявить и степень их подвижности.

3.1.2. Органический фосфор

Исследованиями ряда ученых (Душечкин, 1929; Карпинский, и Замятина, 1933; Чириков, 1939; Хейфец, 1948; Гриндель, Зырин, 1965 и др.)

было установлено, что основная часть органического фосфора связана с гумусовыми веществами почв.

Все формы органического вещества в почве в той или иной степени подвержены процессам распада и синтеза. Они динамичны и находятся в состоянии непрерывного изменения и обновления. В ходе этих процессов гумус становится источником питательных веществ для растений, в том числе и фосфора.

Переход фосфорных соединений из органических форм в минеральные является результатом непрерывного процесса обновления органического вещества за счет минерализации одних его форм и синтеза других. Чем выше биологическая активность почвы, чем интенсивнее в ней процессы распада гумуса, тем больше фосфора высвобождается из органического вещества в доступной для растений форме.

Основными особенностями фосфора, переходящего из органического вещества в минеральную форму, являются: 1) постепенное выделение его по мере минерализации органического вещества, что обеспечивает непрерывное и более равномерное снабжение растений фосфором; 2) более высокий «коэффициент» его использования в связи с тем, что растение обеспечивается при этом не только фосфором, но и всеми другими элементами питания, освобождающимися при разложении перегноя.

Д.Н. Прянишников (1940) указывал, что при разложении органического вещества почвы часть фосфора отщепляется в виде солей фосфорной кислоты и усваивается растениями. К числу факторов усиливающих разложение органического вещества самой почвы, Д.Н. Прянишников относил унавоживание почвы и связывал это с усилением деятельности микроорганизмов.

Наибольшую часть органических фосфатов в почве составляют нуклеопротеиды и меньшую - соединения типа фитина (Wrenshall, Mckibbian, 1939; Хейфец, 1948; Аскинази, 1949; Бурангулова, 1960, 1963 и др.). Выяснено, что фосфаты железа и алюминия устойчивы в кислой среде и неустойчивы в щелочной среде.

Основным источником нуклеопротеидов в почве, вероятнее всего является ее микрозаселение, на долю которого приходится до 15-25% органического фосфора (Аскинази, 1949).

Наряду с разложением органофосфатов в почве протекает и обратный процесс биологической трансформации усвояемого фосфора в органические соединения и закрепления его в телах микроорганизмов.

Органический фосфор, находящийся в живой плазме микроорганизмов, не может играть существенной роли в питании высших растений, пока микробы не отомрут. Фосфор все время передается дочерним поколениям при делении клетки.

Только после отмирания микроорганизмов незначительная часть органического фосфора, находящаяся в их телах, постепенно минерализуется и переходит в усвояемые формы, но не накапливается, а вновь связывается

почвой биологически, химически и физико-химически (Петербургский, 1964).

По мнению А.В. Соколова (1950) в почвах могут встречаться все формы органического фосфора, свойственные растениям и животным.

В своих исследованиях мы изучали собственно органический фосфор, химически связанный с органическим веществом (соединения типа лецитинов, нуклеопротеидов и др.) и фосфора, не входящего в состав гумуса, но связанного с ним по типу абсорбционных соединений непосредственно, а через посредство полуторных окислов, образующих вместе с гумусом (а также с кремневой кислотой) органоминеральный комплекс (табл. 3).

Запасы органического вещества и содержащихся в нем соединений азота и фосфора являются важнейшим показателем потенциального почвенного плодородия. В результате биологической его аккумуляции максимальное содержание фосфорорганических соединений сконцентрировано в перегнойном горизонте. Наблюдается резкое снижение в горизонте A_2 , ниже по профилю заметно постепенное уменьшение его количества.

Распределение органического фосфора по генетическим горизонтам находится в соответствии с содержанием в почвах гумуса. Коэффициент корреляции (r) удовлетворяет уровню значимости 0,05 и равен $+0,70 \pm 0,19$, связь между этими показателями довольно тесная.

В пахотном слое органический фосфор составляет 20,7-32,7% от валового. Меньше всего его содержится в буро-подзолистой почве, что, по-видимому, обусловлено не только особенностями ее формирования, но и частичной эродированностью, приведшей к потере части гумусового слоя.

Таблица 3 – Органический фосфор в почвах Средне-Амурской равнины

Почва, № разреза	Горизонт	Глубина взятия образца, см	Валовой фосфор	
			мг/ 100 г почвы	%
1	2	3	4	5
Бурая лесная, р. 20	$A_{\text{пах}}$	0-29	31,6	26,3
	A_2B	32-37	6,6	7,7
	C	50-60	3,2	4,6
Бурая лесная, р. 17	$A_{\text{пах}}$	0-22	29,6	24,6
	A_2B	30-35	6,0	7,0
	B	60-85	0,8	0,9
	C	150-165	6,0	12,0
Бурая лесная оподзоленная, р.9	$A_{\text{пах}}$	0-17	37,2	30,0
	A_2	17-37	0,8	1,9
	B_1	37-56		
	CD	61-75		
Бурая лесная слабоподзоленная, р.25	$A_{\text{пах}}$	0-23	42,8	21,9
	A_2B	40-70	5,6	6,2
	B_1	80-102	1,2	0,9
	CD	110-125	3,6	2,3
	$A_{\text{пах}}$	0-20	37,2	20,7

Буро-подзолистая, р.8	A ₂	27-42	0,8	1Д
	B	52-63	0,8	0,7
	C	163-184	0,8	0,7
	A _{нах}	0-15	41,6	30,6
Буро-подзолистая, р.33	A ₂	25-35	0,8	1,2
	B	50-65	-	-
	C	170-180	-	-
	A _{нах}	0-23	81,6	32,6
Лугово-бурая, р. 1	A ₂ B	35-60	9,6	6,2
	B _{1g}	71-96	3,2	2,2^
	в/с	105-120	2,4	1,5
	A _{нах}	0-25	52,4	28,7
Лугово-бурая, р. 7	A ₂ B	46-71	7,0	6,7
	B _{1g}	79-94	3,0	2,7
	C	198-211	3,8	2,3
	A _{нах}	2-15	37,6	28,7
Лугово-глеевая, р. 19	A ₂ B	18-40 .	1,6	1,7
	B _{1g}	45-60	1,6	1,8
	C	160-175	6,2	4,1
	A _{нах}	0-13	60,3	32,8
Лугово-глеевая, р. 37	A ₂ B	15-35	9,6	8,4
	B _{1g}	40-60	12,0	10,1
	C	160-170	1,6	1,3
	A _{нах}	0-22	37,4	27,1
Дерново-аллювиальная, р.34	A ₂ B	25-35	7,2	9,7
	B ₁	65-75	11,0	8,3
	C	125-135	11,0	8,8

В метровом почвенном слое органический фосфор составляет в буро-подзолистой и лугово-глеевой почвах 6,0-6,6% от валового его количества, в дерново-аллювиальной, бурой лесной на аллювии и лугово-бурой - 11,4- 13,3% (приложение 2). Это объясняется неодинаковым содержанием гумуса в почвах.

Насыщенность гумуса фосфором различна (табл. 4).

Таблица 4 – Содержание фосфора в гумусе основных типов почв
Средне-Амурской равнины

Почва, № разреза	Горизонт	Глубина взятия образца, см	Валовой фосфор	
			мг/100 г почвы	%
Бурая лесная, р. 17	A _{нах}	0-22	1,77	31
	A ₂ B	30-35	1,04	56
	B	60-85	0,13	360
	C	150-165	1,22	46
Бурая лесная слабооподзоленная, р.25	A _{нах}	0-23	0,70	75
	A ₂ B	40-70	0,09	83
	B ₁	80-102	-	370
	СД	110-125	-	97

Буро-подзолистая, р.8	A _{пах}	0-20	1,50	38
	A ₂	27-42	0,10	260
	B	52-63	0,16	370
	C	163-184	0,40	280
Лугово-бурая, р. 1	A _{пах}	0-23	2,50	23
	A ₂ B	35-60	0,73	33
	B _{1g}	71-96	0,40	80
	B/C	105-120	0,40	125
Лугово-глеевая, р. 37	A _{пах}	0-13	0,62	43
	A ₂ B	15-35	0,14	76
	B _{1g}	40-60	0,22	35
	C	160-170	1,60	180
Дерново-аллювиальная, р.35	A _{пах}	0-22	1,04	37
	A ₂ B	25-35	1,35	74
	B ₁	65-75	2,30	43
	C	125-135	2,82	35

По насыщенности фосфором органическое вещество почв Средне-Амурской равнины не имеет особых отличий от подобных показателей для почв Приморья (Стрельченко, 1973) и других районов страны (Дмитренко, 1957).

Различная степень насыщенности органического вещества почв фосфором будет зависеть не только от степени разложения, но и от качественного состава растительных остатков, послуживших источником для образования органической части почв, а также от состава микроорганизмов, населяющих почву (Дмитренко, 1957).

Отношение C:P_{орг} в пахотном слое исследованных почв варьирует от 23 до 75. Tisdal and Nelson (1956) считают, что если отношение C:P_{орг}, <200, то фосфорорганические соединения почвы представлены неустойчивыми легко минерализующимися формами. Исходя из этих данных, интенсивная минерализация будет происходить в основном в верхних горизонтах (A_{пах}) с глубиной процесс минерализации замедлен, что объясняется наличием соединений, связанных с полуторными окислами и трудно поддающихся минерализации (р. 17, 25, 8).

Исходя из всего сказанного можно сделать вывод, что лугово-бурые, бурые лесные, буро-подзолистые почвы, имеющие наибольшее содержание фосфора в гумусе, должны обладать более высоким потенциальным плодородием и более благоприятным фосфатным режимом.

3.1.3. Неорганический фосфор

В ходе почвообразовательного процесса лишь часть фосфора материнской породы переходит в органическую форму. Но и остальные неорганические соединения претерпевают сложные изменения. Многие минеральные фосфаты, соединяющиеся в почве, являются уже вторичными формами, образовавшимися при соединении фосфора через живой организм

(растения и микроорганизмы), с элементами минеральной части почв. Это наиболее доступная и подвижная часть фосфатов.

Многочисленные соединения фосфора минеральной части почв можно разбить на две группы относительно устойчивых минеральных фосфорных соединений: 1) фосфаты кальция, разной основности и подвижности, начиная от соединений типа дифосфата и кончая, формами типа гидроксилфторапатита, 2) фосфаты полуторных окислов разной основности и с различным отношением полуторных окислов к фосфору.

Соотношение между формами фосфора вторичного происхождения определяется общим направлением почвообразовательного процесса и условиями развития отдельных почв.

При оценке различных групп фосфатов с точки зрения их подвижности необходимо иметь в виду их неодинаковую растворимость при разных значениях pH. По этому признаку минеральные фосфаты можно разделить на 2 группы. Первая группа - фосфаты кальция, которые наиболее устойчивы в условиях кислой среды.

Исследованиями Д.Л. Аскинази и Д.М. Хейфец (1938) установлено, что минимальное количество фосфора переходит в раствор из фосфатов железа при pH 2,2, а из фосфатов алюминия - при pH 3,5. Ниже и выше этих значений pH, количество переходящего в раствор фосфора возрастает. Близкие к этим показатели минимальной растворимости фосфаты железа и алюминия получены также и рядом других исследователей (Seatl, Stanberry, 1963).

Однако наибольшего внимания заслуживает тот факт, что в почве со временем образуются растворимые соединения фосфора, которые переходят в раствор и снова выпадают в осадок в виде менее растворимых соединений. Это продолжается до тех пор, пока в почве не образуется самая стабильная для данного pH фаза (Seatl, Stanbeny, 1963).

Проведенные нами исследования показали, что в почвах Средне-Амурской равнины общее количество неорганических фосфатов, определенных селективным выделением, составляют 87-152 мг на 100 г почвы или 67-79% от его валового содержания (табл. 5).

Таблица 5 – Формы минеральных фосфатов в основных типах почв Средне-Амурской равнины

Почва, разрез	гори зонт	глубина взятия образца, см	Всего минеральных фосфатов		Фосфаты невыветрившихся минералов		Растворимые минеральные фосфаты	
			мг/100г почвы	% от валового	мг/100г почвы	% от валового	мг/100г почвы	% от валового
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Бурая лесная, р. 20	A _{пах}	0-29	88,4	73,7	44,2	36,8	44,2	36,9
	A ₂ B	32-37	79,4	92,3	45,8	53,3	33,6	39,0'
	C	50-60	66,8	95,4	31,1	44,4	35,7	51,0

Бурая лесная, р.17	A _{пах}	0-22	90,4	75,4	44,7	37,3	45,7	38,1
	A ₂ B	30-35	80,0	93,0	40,6	47,2	39,4	45,8
	B	60-85	88,2	99,1	32,4	36,5	35,8	62,6
	C	150-165	44,0	88,0	13,9	27,6	30,1	60,2
Бурая лесная оподзоленная, р. 9	A _{пах}	0-17	86,8	70,0	6,5	5,3	80,3	64,7
	A ₂	17-37	42,2	98,1	1,5	3,5	40,7	94,6
	B ₁	37-56	58,0	100,0	1,7	3,0	56,3	97,0
	сд	61-75	64,0	100,0	2,4	3,7	61,6	96,3
Бурая лесная слабооподзоле нная, р.25	A _{пах}	0-23	152,2	78,1	59,3	30,5	92,9	47,6
	A ₂ B	40-70	85,4	93,8	27,5	30,2	57,9	63,6
	B ₁	80-102	123,8	99,1	35,3	28,3	88,5	70,8
	сд	110-125	149,4	97,7	21,0	13,7	128,6	84,0
Буро подзолистая, р.8	A _{пах}	0-20	142,8	79,3	7,7	4,2	135,1	75,1
	A ₂	27-42	75,2	98,9	0,1	0,1	75,1	98,8
	B	52-63	102,2	99,3	7,0	6,9	95,2	92,4
	C	163-184	108,2	99,3	5,2	4,8	103,0	94,5
Буро подзолистая, р.33	A _{пах}	0-15	94,4	69,4	4,5	3,3	89,9	66,1
	A ₂	25-35	66,2	98,8	2,1	3,2	64,1	95,6
	B	50-65	96,0	100,0	3,1	3,2	92,9	96,8
	C	170-180	109,0	100,0	4,5	4,1	104,5	95,9
Лугово-бурая, Р-1	A _{пах}	0-23	168,4	67,4	82,5	33,0	85,9	34,4
	A ₂ B	35-60	143,4	93,8	66,2	43,3	77,2	50,5
	B ₁ g	71-96	140,8	97,8	71,7	49,4	69,7	48,4
	в/с	105-120	153,6	98,5	80,5	51,8	73,1	46,7
Лугово-бурая, р. 7	A _{пах}	0-25	129,6	71,3	56,5	31,2	73,1	40,1
	A ₂ B	46-71	97,5	93,3	34,9	33,3	62,6	59,9
	B ₁ g	79-94	106,0	97,3	31,1	28,6	74,9	68,7
	C	198-211	123,2	97,7	20,1	16,6	103,1	81,1
Лугово- глеевая, р. 19	A _{пах}	2-15	93,9	71,4	17,3	13,1	76,6	58,4
	A ₂ B	18-40	90,4	98,3	31,5	34,3	58,9	64,0
	B ₁ g	45-60	87,4	98,2	21,8	24,5	65,6	73,7
	C	160-175	146,8	95,9	19,6	12,8	127,2	83,1
Лугово- глеевая, р. 37	A _{пах}	0-13	123,7	67,2	49,5	26,9	74,2	40,3
	A ₂ B	15-35	104,4	91,6	45,8	40,2	58,6	51,4
	B ₁ g	40-60	107,0	89,9	54,0	45,4	53,0	44,5
	C	160-170	120,4	98,7	58,5	48,0	61,9	50,7
Дерново аллювиальная, р.34	A _{пах}	0-22	100,6	72,9	22,8	16,5	77,8	56,4
	A ₂ B	25-35	66,8	90,3	38,5	52,1	28,3	38,2
	B ₁	65-75	122,0	91,7	64,6	48,6	57,4	43,1
	C	125-135	114,0	91,2	52,4	42,0	61,6	49,2

Приведенные данные показывают, что в изучаемых почвах большая часть фосфора представлена минеральными соединениями. Общее их содержание составляет в пахотном слое 67,4-79,3%, а подпахотных горизонтах 90,3-100% валового количества P₂O₅.

Качественный состав минеральных фосфатов различных почв неодинаков. Об этом свидетельствует содержание растворимых фосфатов, определенных по методу Гинзбург-Лебедевой. Наибольшее их количество установлено для бурой лесной оподзоленной, буро-подзолистой - в горизонте $A_{\text{пах}}$ 64,7-75,1%, в горизонтах A_2 и B 92,4-96,8%) валовой P_2O_5 .

В лугово-бурой и бурой лесной на аллювии растворимость минеральных фосфатов резко снижается - их содержится в $A_{\text{пах}}$ 34,4-38,1%, а в подпахотных горизонтах - 45,8-62,6%.

Следовательно, при повышенной кислотности почв, возникающих под влиянием подзолистого и глеевого процессов, разрушение первичных минералов протекает интенсивнее, что приводит к накоплению более растворимых минеральных фосфатов. При снижении кислотности и усилении дернового процесса почвообразования в почвах разрушение первичных минералов ослабевает, вследствие чего фракция фосфатов невыветривших минералов достигает 33,0-49,4% валовой P_2O_5 .

3.1.4. Фракционный состав фосфатов

Изучение фракционного состава фосфатов позволяет выявить особенности почвообразовательного процесса в разных типах почв и уточнить их потенциальное плодородие.

Работами ряда дальневосточных исследователей (Зенкова, 1964; Басистый, 1967; Голов, 1965, 1967; Стрельченко, 1973) установлено, что значительная часть почвенных фосфатов представлена фосфатами полуторных окислов.

О наиболее доступных для растений формах фосфатов в почвах можно судить по их содержанию в слабокислотных вытяжках. Некоторое представление об этом дают первые две группы фосфатов, определяемые в 1% аммонийно-молибденной вытяжке (фосфорная кислота связана с окислами кальция и магния) и в уксусно-молибдатной вытяжке (разноосновные фосфаты кальция, магния, преимущественно вторичнообразованные; природные трехкальциевые фосфаты, феррифосфаты).

Фосфаты I группы хорошо усваиваются растениями. Фосфаты II группы частично доступны растениям; они являются ближайшим резервом, за счет которого постепенно пополняется количество доступных фосфатов по мере их использования растениями (Возбуцкая, 1966).

Данные содержания этих групп фосфатов в основных типах почв Средне-Амурской равнины приведены в приложении 3.

В исследуемых почвах содержание I, II группы фосфора невысокое и варьирует в гумусовом горизонте от 3,0 до 7,0 мг на 100 г почвы, что составляет 2-4 % валового фосфора.

На распределение соединений фосфора по генетическим горизонтам оказывает влияние гранулометрический состав, условия залегания и повышенный гидроморфизм. Так, в бурых лесных почвах, развитых на

аллювиальных отложениях, заметна концентрация 1 группы фосфатов в элювиальном, а II группы - в иллювиальном горизонте.

В бурых лесных оподзоленных залегающих на коренных породах - в иллювиальном горизонте В₁. В почвах гидроморфного ряда содержание 1 групп фосфатов значительно больше, чем II групп, и постепенно увеличивается от гумусового горизонта к почвообразующей породе от 4,0 до 15 мг на 100 г почвы или от 2 до 12% от валового количества.

В кислых дерново-аллювиальных почвах минимальное количество этих групп фосфатов обнаружено в горизонте А₂. Объясняется это, видимо, выносом оснований и вместе с ними и фосфатов Са и Mg. Подробное можно наблюдать и в лугово-глеевых (разрез 19, 37), лугово-бурых (разрез 7), буро-подзолистых (разрез 8, 32) почвах.

Установлена достоверная связь между суммой поглощенных оснований (Са+Mg) и I, II группой фосфатов, коэффициент корреляции равен $+0,60 \pm 0,17$.

Содержание 1 группы фосфатов в пахотном горизонте практически одинаково, вследствие чего возделываемые культуры в равной мере будут реагировать на фосфорные удобрения. Количество фосфатов II группы в изучаемых почвах не различается. Следовательно, первые две группы не являются типовым признаком почв. Их содержание определяется какими-то условиями, общими для всех почв.

Наши исследования показали, что, несмотря на различие почв Средне-Амурской равнины по их морфологическому строению и химическому составу значительная часть фосфатов представлена фосфатами полуторных окислов (приложение 4).

В большинстве типов фосфаты полуторных окислов со значительным преобладанием фосфатов железа, которые максимально сосредоточены в перегнойно-аккумулятивном горизонте А_{пах}, затем количество их резко снижается в А₂g и вновь возрастает к почвообразующей породе.

Несколько иной характер распределения железо-фосфатов по профилю в бурой лесной на аллювиальных отложениях, где наибольшие количества сосредоточены в иллювиальном горизонте. Легкий гранулометрический состав профиля, хорошая аэрация и водопроницаемость, обилие осадков способствовали выносу минеральной части почв и перемещение ее отдельных компонентов, в том числе и фосфатов железа.

Среди типов почв наибольшее количество фосфатов железа выявлено в буро-подзолистых. Оно достигает в пахотном горизонте 70-100 мг на 100 г почвы или 51-56% от валового фосфора. Повышение содержания в этих почвах «свободного» несиликатного железа (Басистый, 1967) вероятно, обуславливает значительное содержание железо-фосфатов, что подтверждается исследованиями Г.И. Иванова (1973), который установил, что до 57,5% извлекаемого из почв железа приходится на долю конкреций. При этом содержание фосфора в них в 1,5-2 раза больше, чем в самой почве (Иванов, 1970).

В лугово-бурой почве в почвообразующей породе, фосфатов железа содержится больше, чем в пахотном горизонте (приложение 4).

В лугово-глеевых почвах содержание железо-фосфатов более стабильное, хотя заметна некоторая тенденция к увеличению в почвообразующей породе. Избыточное увлажнение здесь может приводить с одной стороны к выщелачиванию некоторой части подвижных форм фосфатов, с другой - к образованию фосфатов железа при усилении восстановительных процессов в период муссонных дождей.

По содержанию фосфатов алюминия и фосфатов кальция почвы Средне-Амурской равнины довольно отличаются. В перегнойно-аккумулятивном горизонте содержание алюмо-фосфатов составляет от 2 до 16%, а кальций-фосфатов - от 2 до 10% валового фосфора.

Наибольшее количество алюмо-фосфатов содержится в лугово-глеевых почвах от 21 до 23 мг, наименьшее в бурых лесных на аллювиальных отложениях 2,6 мг на 100 г почвы. Остальные типы почв по содержанию в горизонте A_1 - фосфатов занимают промежуточное положение.

Распределение их по профилю по разным типам почв различно в зависимости от их генезиса и почвообразующей породы. Так, в почвах гидроморфного ряда, в условиях затрудненного водообмена, обусловленного застоем осадков в их профиле, заметна концентрация P в горизонтах $A_{\text{пах}}$ и A_{2g} . В автоморфных условиях при более быстром водообмене наблюдается некоторая стабильность содержания P в профиле почвы с некоторым отклонением от этого правила в почвообразующей породе (уменьшение в дерново-аллювиальных и увеличение в бурых лесных на аллювии).

Содержание фракции кальций-фосфатов невысокое от 3,0 до 16,0 мг на 100 г почвы или от 2,5 до 9,8% от валового его количества. В распределении его по профилю отмечается несколько иная тенденция, по сравнению с другими фракциями фосфора некоторая аккумуляция в верхнем горизонте ($A_{\text{пах}}$). Заметное увеличение его количества в иллювиальном горизонте, что очевидно связано выносом его нисходящим током воды, и увеличением содержания кальция в почве (разрез 25).

Некоторые авторы (Chang, Jackson, 1957) полагают, что по содержанию форм фосфатов можно устанавливать степень выветривания минеральной части почв. Они считают, что чем старше почва, то есть, чем глубже подвергалась выветриванию ее минеральная часть, тем меньше в ней содержание кальций-фосфатов и больше алюминий-фосфатов и железа-фосфатов, то есть $Ca-P < Al-P < Fe-P$. Исходя из этого, изучаемые почвы по данным, приведенным в приложении 4 можно подразделить на более молодые: бурые лесные, дерново-аллювиальные и более старые - лугово-бурые и лугово-глеевые. Бурые лесные оподзоленные на коренных породах и буро-подзолистые занимают промежуточное положение. Это согласуется с мнением дальневосточных исследователей (Иванов, 1967; Росликова, 1967).

Работами ряда ученых (Чириков, Александрова, 1952; Пергуда, 1963) уже было дано подтверждение известного высказывания П.А. Костычева

(1940) о том, что соотношение между группами фосфатов характерно для определенного типа почвы и обуславливается совокупным влиянием всего комплекса почвенных условий.

Мы представили соотношение отдельных групп фосфатов в виде отношения фосфатов кальция к сумме фосфатов железа и алюминия

$$\frac{Ca - P}{Al - P + Fe - P}$$

Как видно из таблицы 9 для почв Средне-Амурской равнины показатели этого соотношения низкие - 0,04-0,27, тогда как для карбонатного чернозема, это соотношение равно 11, а для дерново-подзолистой почвы - 0,49 (Шаймухаметов, 1966). Из основных типов почв эти показатели несколько выше для бурых лесных почв (0,27), дерновоаллювиальных (0,24), которые более богаты фосфатами-кальция.

Наименьшие соотношения получены для буро-подзолистой почвы - 0,08 до 0,11.

Почвы гидроморфного ряда по данному признаку занимают промежуточное положение. Низкий показатель отношения говорит о значительном преобладании в них фосфатов Al и Fe над фосфатами кальция.

Изменения в соотношении отдельных фракций фосфора в процессе почвообразования неизбежно сопровождаются увеличением или

уменьшением показателя $\frac{Ca - P}{Al - P + Fe - P}$, следовательно, последний может

быть использован не только для суждения о формах фосфатов, но и для характеристики профиля почв. Относительное увеличение фосфатов кальция и уменьшение фосфатов полуторных окислов в низлежащих горизонтах, рассматриваемых почв, ведет к изменению показателей отношения (табл.9) от 0,02 до 0,48 в почвообразующей породе.

3.1.5. Подвижный фосфор

В литературе встречается ряд терминов, определяющих доступность почвенных фосфатов, но не имеющих точных определений, - «усвояемые», «доступные», «растворимые», «подвижные» фосфаты. Усвояемые или доступные растениям фосфаты - это те соединения, фосфор которых поступает в растения во время их роста и развития. Они определяются анализом растений (Хейфец, 1965).

Растворимыми или подвижными фосфатами почвы называют тот, фосфор которых переходит в растворы слабых кислот, щелочей и некоторых солей. Содержание в почве растворимых (подвижных) фосфатов не всегда соответствует содержанию в ней усвояемых (доступных) растениям фосфатов.

Влияние на содержание подвижного фосфора оказывают почвенные процессы, протекающие с различной интенсивностью в зависимости от влажности, гранулометрического состава, химических свойств и других трудноуловимых причин. Установлено, что растворимость почвенных

фосфатов повышается под действием минеральных и органических кислот, образующихся в результате деятельности микроорганизмов и корней растений, а также при внесении в почву физиологически кислых удобрений (Дмитренко, 1957; Аскинази, 1949). Растворяющее действие оказывает и почвенная влага (Рамазанов, 1971; Гурмаза, 1972).

Почвы Дальнего Востока сформировались в условиях муссонного климата. Слабая дренированность почвообразующих пород обуславливает в период дождей периодическое переувлажнение, что способствует активации полуторных окислов. Создаются условия для адсорбции подвижной фосфорной кислоты, поэтому почвы Дальнего Востока имеют низкий показатель подвижной фосфорной кислоты при высоком содержании валового фосфора (Басистый, 1967; Голов, 1968).

В изучаемых почвах Средне-Амурской равнины определение подвижного фосфора проводилось по методу Кирсанова. Полученные данные свидетельствуют об очень низком его содержании (табл. 6).

В пахотных горизонтах количество фосфора не превышает 4,0 мг на 100г почвы и резко убывает в низлежащих у всех типов почв. К почвообразующей породе содержание подвижного P_2O_5 несколько увеличивается, превышая иногда ее количество в пахотном слое. Все это говорит о том, что в процессе почвообразования происходит образование более труднорастворимых фосфатов, чем те, которые содержались в материнской породе.

Расчеты показали, что содержание подвижных фосфатов по Кирсанову очень слабо коррелирует с количеством валового и органического фосфора, с содержанием в почвах гумуса. Коэффициент корреляции варьирует в пределах $+0,20 \pm 0,31$. Содержание подвижного фосфора в большей степени зависело от степени насыщенности почв основаниями ($r=+0,46 \pm 0,18$), от количества общего минерального фосфора ($r=+0,43 \pm 0,19$), от величины показателя растворимых фракций фосфатов ($r=+0,55 \pm 0,18$) и особенно от фракции кальций-фосфатов ($r=+0,60 \pm 0,17$). Следовательно, повышение содержания подвижных фосфатов должно способствовать известкованию кислых почв.

По обеспеченности подвижными фосфатами почвы Средне-Амурской равнины располагаются в следующий ряд: бурые лесные оподзоленные < лугово-глеевые < лугово-бурые < буро-подзолистые < бурые лесные < дерново-аллювиальные.

Таблица 6 – Сравнительная характеристика типов почв по содержанию подвижного фосфора

Почва, № разреза	Горизонт	глубина взятия образца, см	P_2O_5 мг/100 г почвы
1	2	о	4
Бурая лесная, р. 17	$A_{\text{пах}}$	0-22	3,23
	A_2B	30-35	0,10
	B	60-85	0,10
	C	150-165	5,10

Бурая лесная, р. 20	A _{пах}	0-29	0,95
	A ₂ B	32-37	0,13
	C	50-60	0,75
Бурая лесная оподзоленная, р. 9	A _{пах}	0-17	0,25
	A ₂	17-37	0,13
	B ₁	37-56	0,02
	CD	61-75	0,01
Бурая лесная слабооподзоленная, р.25	A _{пах}	0-23	9,75
	A ₂ B	40-70	4,23
	B ₁	80-102	2,18
	CD	110-125	23,50
Буро-подзолистая, р.8	A _{пах}	0-20	3,23
	A ₂	27-42	0,50
	B	52-63	0,10
	C	163-184	1,23
Буро-подзолистая, р.33	A _{пах}	0-15	0,50
	A ₂	25-35	0,30
	B	50-65	0,13
	c	170-180	0,10
Лугово-бурая, р. 1	A _{пах}	0-23	1,08
	A ₂ B	35-60	0,80
	B _g	71-96	0,80
	B/C	105-120	1,45
Лугово-бурая, р. 7	A _{пах}	0-25	0,80
	A ₂ B	46-71	0,50
	B _{1g}	79-94	0,65
	C	198-211	1,73
Лугово-глеевая, р. 19	A _{пах}	2-18	0,73
	A ₂ B	18-40	0,50
	B _{1g}	45-60	0,50
	C	160-175	3,50
Лугово-глеевая, р. 37	A _{пах}	0-13	0,50
	A ₂ B	15-35	0,20
	B _{1g}	40-60	0,12
	C	160-170	0,50
Дерново-аллювиальная, р.35	A _{пах}	0-22	3,98
	A ₂ B	25-35	0,50
	B ₁	65-75	3,45
	C	125-135	4,15

3.2. Степень подвижности фосфора

В почвенно-агрохимической характеристике выдвигается положение о необходимости знать не только количество подвижных фосфатов, но и степень их подвижности - фактор интенсивности, то есть интенсивность перехода фосфат-ионов в почвенный раствор (Карпинский, Замятина, 1958).

Учитывая высокую подвижность полуторных окислов в местных почвах и их воздействие на фосфатный режим (Грицун, 1964; Басистый, 1967 и др.), большой интерес представляет определение для них показателей степени подвижности фосфатов.

В своих исследованиях для определения степени подвижности фосфатов мы использовали 0,03н K_2SO_4 вытяжку, предложенную Карпинским Н.П. и Замятиной В.Б. (1958).

По нашим данным, показатели степени подвижности во всех типах почв очень низкие и варьируют в гумусовом горизонте ($A_{\text{пах}}$) от 0,002 до 0,028 мг в литре раствора.

В почвенном профиле заметна тенденция к уменьшению степени подвижности фосфатов в элювиальном и иллювиальном горизонте и увеличение в почвообразующей породе.

Из типов почв, лугово-бурые и лугово-глеевые почв, т.е. почвы гидроморфного ряда имеют наименьшие показатели степени подвижности фосфора - 0,002-0,004 мг/литр раствора. Это связано с высокой поглотительной способностью этих почв по отношению к фосфорной кислоте. Более подробно этот вопрос будет рассматриваться в следующей главе.

Наибольшие показатели степени подвижности фосфора в дерново-аллювиальных почвах (0,028 мг/литре раствора). Так как изучение степени подвижности на конкретных почвах представляет большой интерес и является необходимым, как для определения целесообразности применения фосфорных удобрений, так и для установления причин их различной эффективности, то мы провели более детальные наблюдения за изменением этого показателя в зависимости от содержания подвижных P_2O_5 в буро-подзолистой почве.

Исходные образцы буро-подзолистой почвы различались содержанием подвижных фосфатов (по Кирсанову), от 2,5 до 50 мг P_2O_5 на 100 г почвы. Исследования проводились в микрополевым опыте с соей.

Изменение степени подвижности фосфатов в почве зависело от содержания в ней подвижной фосфорной кислоты и от внесения удобрений.

Результаты исследования приведены в таблице 7.

При содержании 2,5 мг P_2O_5 внесение азотно-калийного удобрения вызывало снижение степени подвижности фосфатов (от 0,028 до 0,012 мг в литре раствора по сравнению с контролем (без удобрения). Это объясняется усиленным усвоением фосфат-ионов растениями сои при внесении азотно-калийного удобрения.

Растворимость фосфорных удобрений зависела от содержания P_2O_5 в почве и проявлялось в изменении степени подвижности их (табл. 8).

На высоком фосфатном фоне (50 мг P_2O_5 на 100г почвы) растворимость фосфорного удобрения низкая, что, вероятно, обусловлено насыщенностью почвенного раствора фосфат-ионами

Таблица 7 – Степень подвижности фосфатов в почвах
Средне-Амурской равнины

Почва, № разреза	Горизонт	Глубина взятия образца, см	P ₂ O ₅ мл/литр раствора
Бурая лесная, р. 17	A _{пах}	0-22	0,030
	A ₂ B	30-35	0,004
	B	60-85	0,004
	C	150-165	0,004
Бурая лесная, р. 20	A _{пах}	0-29	0,006
	A ₂ B	32-37	0,014
	C	50-60	0,002
Бурая лесная оподзоленная, р. 9	A _{пах}	0-17	0,003
	A ₂	17-37	0,004
	B ₁	37-56	0,004
	CD	61-75	0,004
Бурая лесная слабооподзоленная, р.25	A _{пах}	0-23	0,013
	A ₂	40-70	0,004
	B ₁	80-102	0,104
	CD	110-125	0,132
Буро-подзолистая, р.8	A _{пах}	0-20	0,028
	A ₂	27-42	0,005
	B	52-63	0,005
	C	163-184	0,020
Буро-подзолистая, р.33	A _{пах}	0-15	0,006
	A ₂	25-35	0,004
	B	50-65	0,004
	C	170-180	0,006
Лугово-бурая, р. 1	A _{пах}	0-23	0,013
	A ₂ B	35-60	0,004
	B _g	71-96	0,005
	B\С	105-120	0,005
Лугово-бурая, р. 7	A _{пах}	0-25	0,004
	A ₂ B	46-71	0,002
	B _{1g}	79-94	0,002
	C	198-211	0,013
Лугово-глеевая, р. 19	A _{пах}	2-18	0,003
	A ₂ B	18-40	0,003
	B _{1g}	45-60	0,004
	C	160-175	0,013
Лугово-глеевая, р. 37	A _{пах}	0-13	0,002
			0,003
	B _{1g}		0,003
	C	160-170	0,005
Дерново-аллювиальная, р.35	A _{пах}	0-22	0,028
	A ₂ B	25-35	0,004
	B ₁	65-75	0,013
	C	125-135	0,035

Внесение азотно-калийного удобрения на этом фоне резко повышало урожай сои - до 230% от контроля.

Таблица 8 – Растворимость суперфосфата и зависимости от содержания подвижной P_2O_5 в буро-подзолистой почве (мг/л раствора)

Варианты	Фоны P_2O_5 мг/ 100г почвы)				
	до 2,5	до 5,0	до 11,0	до 25,0	до 50,0
Контроль б/уд.	0.020	0.028	0.033	0.151	0.560
$N_{30}K_{30}$	0.012	0.018	0.036	0.156	0.540
$N_{30}P_{30}K_{30}$	0.027	0.031	0.048	0.198	0.650
$N_{30}P_{60}K_{30}$	0.042	0.044	0.085	0.250	0.710
$N_{30}P_{90}K_{30}$	0.051	0.086	0.105	0.290	0.720

На основании проведенных исследований можно сделать предположение о хорошей обеспеченности растений сои фосфором при степени его подвижности 0,54 мг в литре раствора.

При показателе степени подвижности - 0,65 мг/литре раствора фосфорные удобрения не эффективны при возделывании сои.

Растворимость фосфорных удобрений резко снижалась при содержании 0,65-0,72 мг фосфат-ионов в литре раствора.

Установлена прямая тесная связь между содержанием подвижной фосфорной кислоты (по Кирсанову) и степенью подвижности фосфатов в буро-подзолистой почве, коэффициент корреляции равен +0,99, при 5% уровне значимости.

Таким образом, основные типы почв Средне-Амурской равнины содержат различное количество валового фосфора - от 120 до 250 мг/100 г почвы. Значительная часть его сосредоточена в перегнойно-аккумулятивном горизонте. На запасы фосфора в почве оказывает влияние гранулометрический состав, почвообразующие породы и условия залегания их.

В исследованных почвах фосфор представлен в основном минеральными соединениями, которые связаны с полуторными окислами и особенно окислами железа 70-100 мг.

Фосфаты невыветрившихся минералов составляют значительную часть минеральных фосфатов (от 4,5 до 83 мг/100 г почвы).

Содержание органических соединений фосфора колеблется от 30 до 82 мг/100 г почвы, большая часть которых сконцентрирована в гумусовом горизонте. Выявлена тесная связь органического фосфора с содержанием гумуса ($r=+0,70\pm 0,19$).

Изучение фракционного состава фосфатов в исследованных почвах, показало, что лишь незначительная часть валового фосфора находится в доступных для растений формах (сумма I и II групп составляет 2-4%).

Содержание подвижной фосфорной кислоты в основных типах почв очень низкое и находится в пределах от 0,5 до 4,0 мг/100 г почвы.

По обеспеченности подвижными фосфатами почвы Средне-Амурской равнины располагаются в следующий ряд: бурые лесные оподзоленные <

лугово-глеевые < лугово-бурые < буро-подзолистые < бурые лесные < дерново-аллювиальные. При низком содержании подвижной фосфорной кислоты низка и степень их подвижности (от 0,002 до 0,004 мг/л раствора).

В буро-подзолистой почве, имеющей различное содержание подвижного P_2O_5 (от 2,5 до 50 мг на 100 г почвы) была выявлена неодинаковая растворимость фосфорных удобрений. Установлено, что растворимость фосфорных удобрений резко снижается при содержании в почве 0,5 мг фосфат-ионов в литре раствора.

На основании проведенных исследований сделано предположение с хорошей обеспеченности растений сои фосфором при степени его подвижности 0,54 мг в литре раствора.

Выявлена прямая тесная связь между содержанием подвижной фосфорной кислотой (по Кирсанову) и степенью подвижности фосфатов, коэффициент корреляции равен +0,99 при 5% уровне значимости.

3.3. Превращение фосфатов в почвах Средне-Амурской равнины

Поглощение фосфора почвой может быть обусловлено рядом факторов: химическим осаждением фосфат-ионов щелочно-земельными катионами и полуторными окислами, коллоидно-химическим поглощением фосфатов на поверхности твердой фазы почвы, а также биологическим поглощением фосфора корневой системой растений и почвенной микрофлорой.

Особенно активная роль в связывании фосфора почвой принадлежит ее высокодисперсной части, в состав которой входят вторичные минералы (преимущественно группы монтмориллонита, каолинита, иллита), кремнекислота, аморфные и различной степени окристаллизованные гумусовые вещества и полуторные окислы (Антипов-Каратаев и Бруновский, 1936; Горбунов, 1956; Гинзбург, 1960).

Поглощение фосфат-ионов почвами происходит преимущественно по типу хемосорбции, то есть с образованием внутреннего слоя потенциал - определяющих ионов в двойном слое вокруг коллоидной частицы. Поглощенные почвами фосфат-ионы по типу хемосорбции должны иметь большую подвижность, чем поглощенные фосфат-ионы по чисто химическому типу (Иванов, 1955).

Наиболее усвояемые для растений и микроорганизмов являются воднорастворимые фосфаты. Поэтому они впервые очередь подвергаются превращению, переходя в органические и труднорастворимые минеральные формы. По этой причине в почве не накапливаются в заметных количествах воднорастворимые фосфаты.

В почвах, насыщенных основаниями, нейтральных и щелочных, фосфорная кислота связывается с кальцием и магнием, образуя двухзамещенные и трехзамещенные фосфаты кальция и магния. В почвах же кислых образуются преимущественно соединения с железом и алюминием.

4. ПОГЛОТИТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ ПОЧВ В ОТНОШЕНИИ ВОДНОРАСТВОРИМЫХ ФОСФАТОВ

Эффективность вносимых удобрений тесно связана с поглощением и перемещением питательных веществ в почве. Поглощение его воднорастворимых фосфатов наблюдал еще в первой половине XIX века Way (1850), объясняя это явление образованием нерастворимых в воде солей. Данному вопросу посвящена много исследований. Итоги всех многочисленных исследований данной проблемы (Геммерлинг, 1925; Егоров, 1926; Бобко, 1931; Кирсанов, 1932; Костычев, 1940; Прянишников, 1940; Аскинази, 1941, 1949; Горбунов, 1948; Дмитренко, 1951; Тюлин, Маломахова, 1952; Чириков, 1956; Соколов, 1958) можно свести к нескольким общепринятым положениям:

а) все почвы и горизонты их способны к поглощению фосфорной кислоты;

б) поглощение почвой ионов фосфорной кислоты связано с образованием нерастворимых в воде фосфатов кальция, магния, железа, алюминия и некоторых других соединений;

в) поглощение почвами ионов фосфорной кислоты зависит от реакции среды. В кислой среде главными факторами поглощения являются гидраты полуторных окислов, в нейтральной и слабощелочной - двухвалентные катионы;

г) органическое вещество почвы, освобожденное от зольных элементов, не поглощает фосфатов;

д) часть поглощенных почвой фосфатов располагается на поверхности гидратов полуторных окислов;

е) растения и почвенные микроорганизмы также участвуют в поглощении фосфатов.

В.М. Ключевским (1951) был изучен механизм поглощения фосфатов почвой. На основании своих исследований автор делает предположение, что первой стадией поглощения фосфатов почвой является их обменная адсорбция на поверхности почвенных коллоидов.

Многие авторы (Костычев, 1940, Прянишников, 1940, Рыдкий, 1938, Чириков, 1947, Аскинази, Гинзбург, 1963; Горбунов, 1963, Ключевский, 1951 и др.) отмечают участие в поглощении фосфатов глинистых материалов, что при этом ионы фосфорной кислоты входят в их кристаллическую решетку.

Д.Н. Прянишников (1940) писал: «Если с одной стороны поглощение почвой питательного вещества представляет ближайший запас, усвояемой для растений пищи, то с другой стороны приходится считаться и с такими факторами, когда процесс поглощения почвой растворимых питательных веществ, внесенных в виде удобрений, сопровождается значительным понижением их усвояемости для растений».

Итак, поглощение ионов фосфорной кислоты почвой - явление сложное и оно выражается в образовании разнообразных фосфорных соединений.

Изучение поглотительной способности почв имеет как теоретическое, так и практическое значение, в связи с применением фосфорных удобрений.

Проведенные нами исследования выявили высокую фосфатную поглотительную способность почв Средне-Амурской равнины (табл. 9).

Таблица 9 – Поглощение фосфатов почвами Средне-Амурской равнины в зависимости от их физико-химических свойств

Почва, разрез	горизонт	Глубина, см	Гранулометрический состав, % частицы <0,001мм	pH КС1	P ₂ O ₅ по Кирсанову, мг/100г почвы	Величина поглощения P ₂ O ₅ , мг/100 г почвы
1	2	3	4	5	6	7
Бурая лесная, р. 17	A _{пах}	0-22	11,2	5,4	3,23	35,0
	A ₂ B	30-35	15,3	5,0	0,10	67,5
	B	60-85	11,0	5,0	0,13	58,9
	C	150-165	3,6	5,1	5,10	67,2
Бурая лесная оподзоленная, р.9	A _{пах}	0-17	9,7	4,2	0,25	120,0
	A ₂	23-35	18,2	3,5	0,13	125,0
	B	41-52	38,8	3,2	0,02	200,0
	BC	61-75	31,6	3,2	0,11	180,0
Буро-подзолистая, р. 8	A _{пах}	0-20	24,8	4,4	3,23	125,0
	A ₂	27-42	22,9	3,5	0,50	132,0
	B	52-63	35,8	3,7	0,10	160,0
	C	163-184	26,1	4,4	1,23	142,5
Лугово-бурая, р. 7	A _{пах}	0-25	16,7	4,0	0,80	140,0
	A ₂ g	46-71	33,1	4,1	0,50	113,0
	Bg	79-94	26,1	4,0	0,65	140,0
	C	198-211	24,9	4,2	1,73	110,0
Лугово-глеевая, р. 19	A _{пах}	2-15	11,6	3,9	0,73	140,0
	A ₂ g	18-40	25,8	3,7	0,50	125,0
	B ₁ g	45-60	35,9	3,7	0,50	140,0
	C	160-175	24,4	4,3	3,50	90,0
Дерново-аллювиальная, р.35	A _{пах}	0-22	8,6	3,7	3,98	135,0
	A ₂ B	25-35	8,8	3,5	0,50	45,0
	B ₁	65-75	13,9	3,9	3,45	57,7
	C	125-135	12,3	4,1	4,15	49,6

При этом величина поглощения P₂O₅ у различных почв не одинакова. Почвы лугово-бурые и лугово-глеевые поглощают заметно больше фосфорной кислоты (140 мг), чем буро-подзолистые, бурые лесные оподзоленные и дерново-аллювиальные. Последние имеют очень близкие показатели поглотительной способности от 120 до 135 мг на 100 г почвы. Бурые лесные на аллювиальных отложениях имеют меньшую величину поглощения, чем все другие почвы (35мг/100 г почвы).

Исследуемые почвы, несмотря на почти одинаковое, низкое содержание подвижной фосфорной кислоты поглощают разное количество P_2O_5 от физико-химических свойств почв.

Высокая поглотительная способность верхних горизонтов этих почв свидетельствует о биологической аккумуляции их и наличие биологического поглощения, наряду с физико-химическим.

Так, например, у лугово-бурых и лугово-глеевых почв высокое поглощение обусловлено значительным количеством органического вещества, которое насыщено основаниями и в этом случае они будут поглощать фосфор, так же как и минералы (Горбунов, Шурина, 1970).

Происходящее в процессе почвообразования накопление перегнойных веществ оказывает существенное влияние на емкость поглощения (Ремезов, 1957). Нами выявлена прямая коррелятивная зависимость между содержанием гумуса в перегнойно-аккумулятивном горизонте и поглощением фосфат-ионов ими. Коэффициент равен $+0,73 \pm 0,10$.

4.1 Поглощение P_2O_5 генетическими горизонтами основных типов почв

Мы выше рассматривали поглощение P_2O_5 в перегнойно-аккумулятивном горизонте почв Средне-Амурской равнины. Так как весь почвенный профиль является источником питания растений, то необходимо изучение поглотительной способности отдельных его генетических горизонтов.

Результаты наших исследований показали, что горизонты обладают различной поглотительной способностью к фосфат-ионам (таблица 10).

У бурых лесных оподзоленных и буро-подзолистых почв величина значительно увеличивается от пахотного горизонта к иллювиальному, а затем снижается в горизонте С. Резкое повышение поглощения P_2O_5 в иллювиальном горизонте связано с накоплением в нем илистой фракции и обменных оснований. По данным Ю.А. Ливеровского (1967) вынос обменных оснований из элювиального горизонта в иллювиальный составляет 60-80% по сравнению с почвообразующей породой. Все это вместе взятое оказало несомненное влияние на поглощение P_2O_5 почвой.

Лугово-бурые и лугово-глеевые почвы, по сравнению с бурыми лесными оподзоленными и буро-подзолистыми, поглощали P_2O_5 в меньшем количестве, но тенденция та же, повышенное поглощение в иллювиальном горизонте.

Намного ниже поглотительная способность к фосфат-ионам дерново-аллювиальных и бурых лесных почв, залегающих на аллювиальных отложениях. Показатели поглощения P_2O_5 не превышали 45-85 мг/100 г. почвы вследствие низкой дисперсности почвенных частиц и преобладании первичных минералов над вторичными.

Таблица 10 – Поглощение фосфатов почвами Средне-Амурской равнины

Почва, № разреза	Горизонт	Глубина взятия образца, см	P ₂ O ₅ водно раство римый мг	Содержание P ₂ O ₅ в растворе, мг на 100 г почвы										Предельное поглощение P ₂ O ₅ , мг/100 г почвы
				40	80	120	160	200	240	280	320	360	400	
				Поглощено P ₂ O ₅ мг/100гпочвы										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Бурая лесная, р.20	A _п	0-29	-	23,5	40,0	58,0	64,5	59,0	61,2	46,2	60,0	-	27,5	64,5
	A ₂ B	32-37	-	29,0	46,7	68,0	80,3	76,3	85,0	71,2	80,0	50,0	75,0	85,0
	C	50-60	-	15,0	28,2	42,5	48,1	44,8	40,0	13,7	32,5	-	-	48,1
Бурая лесная, р. 17	A _п	0-22	-	19,6	30,0	35,0	33,8	30,0	23,5	5,0	32,5	-	9,0	35,0
	A ₂ B	30-35	-	24,2	41,2	58,0	62,1	67,2	61,2	60,0	20,0	35,0	67,5	67,5
	B	60-85	-	24,2	40,5	52,0	52,1	58,9	57,2	13,0	53,0	27,5	12,5	58,9
	C	150-165	-	2,7	-	-	13,9	17,2	-	-	-	-	-	17,2
Бурая лесная оподзоленная, р.9	A _п	0-17	-	26,3	46,7	55,0	73,7	68,9	90,0	93,7	120,0	73,0	100,0	120,0
	A ₂	17-37	-	27,6	49,0	60,0	85,3	87,1	90,0	90,0	125,0	120,0	113,0	125,0
	B	37-56	-	29,0	55,0	75,0	68,7	125,3	142,5	136,2	190,0	172,0	200,0	200,0
	CD	61-75	-	27,0	51,2	72,0	95,3	11,2	140,0	133,5	180,0	160,0	150,0	180,0
Бурая лесная слабооподзоленна я, р. 25	A _п	0-23	-	32,5	55,0	80,0	87,8	104,5	123,7	107,5	140,0	135,0	140,0	140,0
	A ₂ B	40-70	-	27,0	49,0	68,0	80,3	87,1	102,5	90,0	132,5	160,0	105,0	160,0
	B ₁	80-102	-	25,0	42,5	68,0	80,3	92,1	110,0	92,0	147,5	110,0	75,0	147,5
	CD	110-125	-	21,2	37,5	55,0	54,6	67,2	70,0	67,5	80,0	65,0	75,0	80,0
Буро- подзолистая, р.8	A _п	0-20	-	27,6	46,0	53,5	64,5	81,3	85,0	71,2	125,0	85,0	113,0	125,0
	A ₂ B	27-42	-	29,6	50,5	68,0	95,3	87,1	96,2	97,5	132,5	127,0	43,0	132,0
	B	52-63	-	29,0	56,0	75,0	85,3	104,5	120,0	82,5	140,0	150,0	160,0	160,0
	C	163-184	-	22,7	36,7	52,0	54,6	53,9	61,2	142,5	110,0	100,0	35,0	142,5
Буроподзолистая, р. 33	A _п	0-15	-	29,0	46,0	60,0	77,0	73,8	90,0	125,0	95,0	60,0	82,5	125,0
	A ₂ B	25-35	-	30,7	56,0	68,0	100,2	94,6	115,0	82,5	140,0	127,0	150,0	150,0
	B ₁	50-65	-	31,6	57,5	78,0	100,2	113,7	135,0	46,2	190,0	180,0	175,0	190,0
	C	170-180	-	25,1	44,2	52,0	132,5	68,9	81,2	117,5	110,0	100,0	82,5	117,5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Лугово-бурые, р. 1	A _п	0-23		22,8	56,7	75,0	95,3	102,1	127,5	125,0	162,5	127,5	179,0	179,0
	A _{2B}	35-60		30,4	56,7	75,0	80,3	100,4	110,0	101,2	132,5	142,5	125,0	142,0
	B ₁	71-96	—	33,1	56,0	78,0	97,7	102,1	127,5	132,5	170,0	165,0	113,0	170,0
	B/C	105-120		30,4	52,5	72,0	85,3	89,6	110,0	110,0	125,0	120,0	67,5	125,0
Лугово-бурые, р. 7	A _п	0-25		32,2	57,5	84,0	95,3	97,1	120,0	121,2	140,0	100,0	140,0	140,0
	A _{2g}	46-71		32,8	52,5	78,0	87,8	92,1	102,5	101,2	87,5	50,0	113,0	113,0
	B _g	79-94		31,6	54,0	81,0	87,8	94,6	123,7	113,7	140,0	120,0	140,0	140,0
	C	198-211	—	29,0	46,7	68,0	82,8	73,8	70,0	90,0	110,0	93,0	100,0	110,0
Лугово-глеевые, р. 19	A _п	2-15		33,4	59,0	80,0	93,6	102,1	120,0	125,0	140,0	127,5	140,0	140,0
	A _{2g}	18-40	—	29,6	48,2	68,0	82,8	81,3	92,5	86,2	125,0	85,0	105,0	125,0
	B _g	45-60	^	31,7	56,0	78,0	85,3	92,1	110,0	121,2	140,0	127,5	105,0	140,0
	C	160-175	—	27,0	47,5	68,0	73,7	81,3	90,0	90,0	70,0	65,0	60,0	90,0
Лугово-глеевые, р. 37	A _п	0-13		33,4	57,5	84,0	105,7	117,0	142,5	142,5	140,0	150,0	175,0	175,0
	A _{2g}	15-35		33,4	56,7	86,3	102,7	111,2	142,5	132,5	147,5	93,0	140,0	147,5
	B _g	40-60		33,4	57,5	84,0	105,2	117,0	142,5	136,2	155,0	172,5	160,0	172,5
	C	160-170		31,0	52,5	72,0	90,3	83,8	106,2	97,5	125,0	100,0	82,5	125,0
Дерново-аллювиальные, р. 35	A _п	0-22		19,4	33,2	48,5	34,6	44,8	35,0	50,0	125,0	135,0	42,5	135,0
	A _{2B}	25-35		22,0	29,0	41,0	41,3	44,8	43,7	45,0	45,0	27,5	35,0	45,0
	B ₁	65-75		22,0	29,0	48,5	41,3	30,7	57,7	38,7	45,0	20,0	-	57,0
	C	125-135		30,7	28,2	36,5	49,6	30,7	42,5	21,2	45,0	-	35,0	49,6

Исследованиями С.Н. Иванова (1957) было установлено, что поглощение фосфат-ионов преимущественно происходит поверхностно-адсорбционным путем. Поэтому, чем выше дисперсность почвы, тем больше ее поглотительная способность, что подтверждается в нашем эксперименте тесной корреляционной зависимостью между поглощением фосфорной кислоты и содержанием илистой фракции в основных типах почв, $r=+0,81\pm 0,14$. Рассчитанное уравнение регрессии имеет вид $Y=47+3,32X$. Пользуясь им можно определить величину предельного поглощения фосфорной кислоты (в мг P_2O_5 на 100 г почвы) в зависимости от содержания илистой фракции (в %).

Известно, что в почвенный раствор при кислой его реакции среды переходит довольно много Fe, Al, Na и Ca из соприкасающихся с ним почвенных частиц. Эти ионы могут быть вступать в реакцию в растворимым фосфором и образовывать кристаллические и аморфные продукты (Seatz, Stanberry, 1963). Видимо, поэтому с повышением кислотности изучаемых почв возрастает и поглощение ими P_2O_5 .

В связи с высоким содержанием в кислых почвах полуторных окислов, возможно поглощение ими с образованием труднорастворимых фосфатов. Поглощение может происходить на пленках полуторных окислов, находящихся на поверхности коллоидных частиц (Ремезов, 1957).

Гидроокисям железа и алюминия придается ведущая роль в фиксации ионов P_2O_5 в форме труднорастворимых и малодоступных растениям фосфатов железа и алюминия (Аскинази, 1949).

По нашим данным в почвах, профиль которых имеет тяжелый гранулометрический состав, величина поглощения возрастает в иллювиальном горизонте. Здесь в результате процессов выноса при почвообразовании, происходит обогащение почвы окислами железа, которые и обуславливают повышенную поглотительную способность его в отношении P_2O_5 . Между величиной максимального поглощения P_2O_5 и содержанием P_2O_5 выявлена довольно тесная взаимосвязь. Коэффициент корреляции равен $+0,65\pm 0,16$. Между содержанием суммы полуторных окислов и величиной максимального поглощения P_2O_5 связь несколько ниже $r=+0,51\pm 0,19$.

На процессе поглощения фосфат-ионов почвами оказывает влияние концентрации раствора фосфорнокислого калия. А.Т. Кирсанов (1932) отмечал, что поглотительная способность почв зависит от целого ряда факторов, среди которых самым важным является концентрация изучаемого соединения в данной среде. Чем слабее раствор, тем интенсивнее идет поглощение.

Е.И. Казаков (1934) в результате опытов пришел к выводу, что поглощение P_2O_5 возрастает с повышением концентрации фосфора, причем относительно больше поглощается P_2O_5 из раствора слабых концентраций.

С повышением концентрации KH_2PO_4 поглощение P_2O_5 быстро нарастает до предельного насыщения (при данных условиях), а затем величина поглощения снижается. Нарастание поглощения с увеличением

концентрации объясняется значительным количеством P_2O_5 , взаимодействующей с почвой.

В почвообразующих породах легкого гранулометрического состава (р. 17, 20, 35) не наблюдалось поглощения при повышении концентрации P_2O_5 в растворе. Возможно, это объясняется тем, что при низкой дисперсности почв проявилась так называемая отрицательная адсорбция (К.К. Гедройц, 1933), т.е. отталкивание фосфат-ионов от поверхности почвенных частиц и соответственно повышение концентрации анионов P_2O_5 в почвенном растворе (Ремезов, 1957).

Отрицательное поглощение анионов К.К. Гедройц (1955) рассматривал как одну из форм проявления физической поглотительной способности, обусловленной понижением поверхностного натяжения. Когда в связывании фосфат-ионов принимают участие полуторные окислы – химическое поглощение, что мы наблюдаем в почвах тяжелого гранулометрического состава (Клечковский, Жердецкая, 1951).

На почвах с легким гранулометрическим составом физическое поглощение будет способствовать выносу фосфат-ионов удобрений с почвенным раствором в нижележащие горизонты.

Итак, коллоидная часть почвы играет главную роль в явлениях поглощения P_2O_5 .

Повышенная способность почвы с кислой реакцией поглощать фосфат-ионы обусловлены многими факторами и является положительным свойством с точки зрения закрепления P_2O_5 в почве, как при выветривании минеральной ее части, так и при внесении фосфорных удобрений, хотя доступность для растений ее форм остается низкой.

4.2 Влияние временного режима увлажнения на превращение фракций фосфатов в почвах

Превращение фосфатов при их взаимодействии с почвой относится к сложным процессам, обусловленным ее свойствами. Характер и интенсивность этих процессов находится в тесной зависимости от метеорологических условий и биологических факторов. Кислая реакция среды, слабая насыщенность основаниями, повышенное содержание полуторных окислов в почвах Средне-Амурской равнины способствуют закреплению в них фосфатов в формах труднорастворимых и малодоступных растений (Басистый, 1967).

П.А. Дмитренко (1957) выявлено, что на сезонную динамику фосфатов влияет различные электролиты, изменяющие рН среды. Им установлено, что превращение фосфатов в почве зависит от окислительно-восстановительных процессов, от деятельности микроорганизмов.

Исследованиями П.Г. Адерикина, Ю.Г. Чуриловой (1965) установлено, что содержание фосфора всех групп зависит от изменения влажности почв. Влажность влияет на протекающие в них физикохимические и биохимические процессы.

В условиях муссонного климата почвы Средне-Амурской равнины подвержены длительному переувлажнению, так как основное количество осадков выпадает в летнее время. В целях экспериментальной проверки влияния переменного режима увлажнения почв на характер превращения воднорастворимой фосфорной кислоты был проведен лабораторный опыт. Для компостирования были взяты образцы с пахотных горизонтов бурой лесной, бурой лесной оподзоленной, буро-подзолистой, лугово-бурой, лугово-глеевой и дерново-аллювиальной почв.

Сравнение аналитических данных, полученных для воздушно-сухих образцов и образцов тех же почв, но различных сроков (6 и 12 месяцев) компостирования показало, что при длительном переменном увлажнении сумма всех фракций фосфатов значительно уменьшается (табл. 11).

Таблица 11 – Изменение фракции фосфатов в почвах Средне-Амурской равнины в зависимости от разных сроков увлажнения

Почва	вариант опыта	Фракции P_2O_5 , % от валового фосфора						$Ca - P$
		I	II	Al-P	Fe-P	Ca-P	сумма фракции	$Al - P + Fe - P$
Бурая лесная на аллювии	1	5,2	4,3	2,2	21,7	4,7	36,9	0,19
	2	3,3	4,3	3,9	11,1	5,2	27,8	0,34
	3	2,6	6,3	5,2	13,1	1,5	28,9	0,08
Бурая лесная оподзоленная	1	2,1	2,1	10,4	47,6	2,5	64,7	0,04
	2	2,8	2,3	10,5	25,8	2,8	44,2	0,08
	3	3,8	2,1	2,3	13,4	3,7	25,3	0,23
Буро подзолистая	1	4,2	1,7	5,9	56,1	7,2	75,1	0,11
	2	2,2	1,4	3,5	16,0	2,6	25,7	0,13
	3	1,0	3,5	2,2	12,2	1,0	19,9	0,07
Лугово-бурая	1	2,3	2,1	5,4	20,0	4,6	34,4	0,17
	2	1,8	2,2	1,8	18,6	1,7	26,1	0,08
	3	0,7	1,6	2,3	16,0	1,3	21,9	0,07
Лугово-глеевая	1	3,4	1,8	12,4	20,7	2,1	40,3	0,06
	2	2,6	1,8	2,1	16,9	2,7	26,1	0,14
	3	1,4	3,7	3,1	12,8	1,0	22,0	0,06
Дерново-аллювиальная	1	3,4	3,7	3,2	36,3	9,8	56,4	0,24
	2	3,3	4,7	7,3	38,6	4,5	58,4	0,09
	3	2,6	6,9	5,4	24,2	5,4	44,5	0,18

**Примечание: вариант I - исходная почва, вариант II - почва после 6-месячного компостирования, вариант III - почва после 12-месячного компостирования.*

Данные показывают, что количество фосфатов 1 группы, растворимые в 1% аммонийно-молибдатной вытяжке и связанные с окислами кальция и магния составляло в сухих почвах от 5,2 до 2,3 мг на 100 г почвы. После длительного переувлажнения почв оно уменьшилось соответственно до 3,8-0,7 мг/100 г почвы. Некоторые особенности превращения следует отметить

по типам почв. В дерново-аллювиальной почве содержание фосфатов 1 группы незначительно изменилось после 6 месяцев и очень резко после 12 месяцев компостирования. Значительное снижение фосфатов 1 группы отмечено также в буро-подзолистой, в лугово-бурой и лугово-глеевой почве. Исключение из этого правила составила только бурая лесная оподзоленная почва, где содержание фосфатов этой группы увеличилось.

Фосфаты 2 группы, растворимые в уксусно-молибдатной вытяжке и представленные разноосновными фосфатами кальция, магния, преимущественно вторично образованными природными трехкальциевыми фосфатами и ферри-фосфатами, которые наряду с фосфатами 1 группы хорошо усваиваются растениями. При длительном увлажнении почв 2 группа фосфатов претерпевает значительные количественные изменения.

В дерново-аллювиальной почве их содержание после 6 месяцев компостирования практически не изменилось, а после 12 месяцев - возросло на 3,2 мг P_2O_5 на 100 г почвы. Во всех остальных типах почв 6-месячное увлажнение не изменило количество фосфатов этой группы, но после 12 месяцев заметен сдвиг: в лугово-бурой почве в сторону уменьшения, а в бурой лесной на аллювиальных отложениях, в буро-подзолистой, в лугово-глеевой - в сторону увеличения почти в два раза. Только в бурых лесных оподзоленных на коренных отложениях эта группа фракции была стабильна в течение 12-месячного увлажнения.

Следовательно, чем продолжительнее компостирование, тем ниже содержание фосфатов 1 группы и больше 2 группы. Поэтому при длительном избыточном увлажнении, которое нередко для почв Средне-Амурской равнины, особенно остро будет испытываться недостаток легкодоступных для растений фосфатов в лугово-бурых и буро-подзолистых почвах. В остальных типах почв, возможно, некоторое улучшение питания за счет 2 группы фосфатов.

Количество фосфатов, растворимых в 0,5 н фтораммонийном вытяжке и представленные соединениями алюминия (типа варисцита, вафелита и др.) при переменном увлажнении уменьшается в буро-подзолистой, в лугово-бурой и лугово-глеевой почвах. В бурой лесной оподзоленной после 6-месячного компостирования содержание фосфатов этой группы не изменилось и резко уменьшилось при более продолжительном увлажнении. В отличие от этих почв в бурой лесной на аллювии и в дерново-аллювиальных количество алюмо-фосфатов при переменном длительном увлажнении увеличилось почти в два раза.

Снижение содержания $Al-P$ в почвах тяжелого гранулометрического состава (буро-подзолистых, лугово-бурых, лугово-глеевых) при длительном увлажнении могло произойти вследствие закрепления этой группы фосфатов между слоями разбухающих глин (Дюшофур, 1970). Это слабее выражено в почвах среднесуглинистых (бурые лесные и дерново-аллювиальные), поэтому алюмо-фосфаты, образующиеся под влиянием активизирующихся

химических и биохимических процессов, остаются доступными для извлечения раствором 0,5 n NH₄P.

Щелочно-растворимые фосфаты железа (типа стренгита, дифренита и др.) содержатся в сухих почвах от 20,0 до 56,1 мг Р₂О₅ на 100 г почвы. При длительном увлажнении их наблюдалось постепенное снижение - минимальное после 12-месячного компостирования. В лугово-бурых и лугово-глеевых почвах снижение было небольшим с разницей между сроками взятия образцов 2 мг на 100 г почвы. Самое значительное уменьшение отмечено для буро-подзолистых почв с 56,1 до 12 мг Р₂О₅ на 100 г почвы. В дерново-аллювиальных почвах содержание Fe-P после 6-месяцев практически не изменилось и уменьшилось лишь после 12-месячного компостирования (с 38,6 до 24,2 мг/100 г почвы) вследствие постепенной кристаллизации железо-фосфатов, что характерно для кислой реакции среды (Дюшофур, 1970).

Количество кальций-фосфатов, растворимых в 0,5 n сернокислой вытяжке и представленных высокоосновными фосфатами кальция типа фосфорита, апатита в сухих почвах основных типов не превышает 2,1-7,2 мг Р₂О₅ на 100 г почвы. При переменном увлажнении в бурой лесной оподзоленной почве наблюдается постепенное увеличение этой фракции фосфатов с 2,5 до 3,7 мг на 100 г почвы. В бурой лесной на аллювиальных отложениях увеличение Са-Р отмечено лишь после 6 месяцев компостирования, а затем наблюдалось резкое снижение (с 5,2 до 1,5 мг/100 г почв). Наибольшее содержание кальций-фосфатов выявлено после длительного увлажнения в дерново-аллювиальных почвах (5,4 мг на 100 г почвы). В остальных типах почв при длительном переменном увлажнении наблюдалось резкое снижение содержания кальций-фосфатов.

Во всех типах почв, чем продолжительнее был период компостирования, тем в большей степени уменьшалось содержание Fe-P и Са-Р и несколько слабее Al-P. Однако снижение их количества происходило до определенного уровня почти во всех почвах. Возможно, это является той предельной концентрацией, за счет которого поддерживается равновесие между фосфатами различной основности в системе почва-раствор.

В результате изменения содержания фракции фосфатов произошло сужение $\frac{Ca - P}{Al - P + Fe - P}$ в луго-бурой почве с 0,17 до 0,07. Подобное наблюдалось в буро-подзолистой и в дерново-аллювиальной почвах, а в бурой лесной отмечено значительное увеличение этого соотношения после 12 месячного компостирования (с 0,04 до 0,23). В лугово-глеевой оно осталось без изменения.

Следовательно, в большинстве случаев при длительном переменном увлажнении в почве сужается соотношение между содержанием фосфатов кальция и фосфатов полуторных окислов. Это должно привести к ухудшению обеспеченности растений доступными фосфатами.

4.3 Влияние длительного переменного увлажнения почв на содержание подвижного фосфора и степень его подвижности

На Дальнем Востоке фосфорный режим почв сильно меняется в зависимости от их увлажнения, как в течение вегетационного периода, так и по годам. Вызвано это частой сменой окислительно-восстановительных условий, которые влияют на подвижность полуторных окислов, вместе с тем на содержание подвижной фосфорной кислоты (Неунылов, 1961; Грицун, 1964; В.П. Басистый, 1964, 1967).

В нашем лабораторном опыте мы наблюдали за изменением содержания подвижной фосфорной кислоты при длительном переменном увлажнении почв. Отбор образцов проводили в течение полутора лет, через каждые 6 месяцев.

Полученные данные приведены в таблице 12.

Таблица 12 – Изменение содержания подвижной P_2O_5 и степени подвижности их в зависимости от увлажнения

Почва	Вариант опыта	Методы определения подвижных форм P_2O_5 , мг				
		Кирсанова	Гинзбург-Артамоновой	Эгнера-Рима	Чирикова	Карпинского-Замятиной
1	2	3	4	5	6	7
Буряя лесная	сухая почва	3,20	8,78	3,10	0,84	0,030
	увл. 6 мес	1,70	9,80	следы	0,73	0,026
	увл. 12 мес	2,20	2,20	0,86	1,40	0,031
	увл. 18 мес	0,70	13,00	3,50	0,71	0,030
Буряя лесная оподзоленная	сухая почва	0,30	2,50	0,62	0,07	0,004
	увл. 6 мес	0,33	5,60	0,15	0,25	0,005
	увл. 12 мес	0,37	1,20	0,83	0,42	0,002
	увл. 18 мес	0,27	2,47	0,51	0,37	0,009
Буро-подзолистая	сухая почва	3,23	8,35	2,31	0,30	0,028
	увл. 6 мес	0,50	10,90	0,80	0,18	0,005
	увл. 12 мес	0,86	3,81	0,87	0,80	0,002
	увл. 18 мес	0,25	4,22	0,99	0,61	0,016
Лугово-буряя	сухая почва	1,08	7,30	1,18	0,11	0,013
	увл. 6 мес	0,97	6,30	0,90	0,23	0,005
	увл. 12 мес	1,70	6,10	1,23	0,04	0,003
	увл. 18 мес	0,80	8,41	0,51	0,65	0,008
Лугово-глеевая	сухая почва	0,50	2,92	0,62	0,03	0,002
	увл. 6 мес	0,95	8,60	0,90	0,13	0,006
	увл. 12 мес	1,20	4,30	1,20	0,04	0,002
	увл. 18 мес	0,39	6,60	0,62	0,17	0,008
Дерново-аллювиальная	сухая почва	3,98	3,75	1,62	0,47	0,028
	увл. 6 мес	3,74	7,80	1,92	0,20	0,016
	увл. 12 мес	4,80	4,30	2,16	2,80	0,025
	увл. 18 мес	2,67	8,35	0,64	1,84	0,025

Содержание подвижной фосфорной кислоты определенной разными методами свидетельствует о динамичном ее изменении при переменном увлажнении почв. При этом полученные показатели подвижной P_2O_5 зависели не только от типа почвы, но и применяемого метода.

В бурой лесной почве на аллювиальных отложениях содержание подвижной фосфорной кислоты при компостировании значительно снижалось только при определении ее по методу Кирсанова. В молибдатной и лактатной вытяжках оно увеличилось, в первой с 8,8 до 13,0 мг, а во второй с 3,1 до 3,5 мг P_2O_5 на 100 г почвы. В уксусно-кислой вытяжке содержание подвижных фосфатов осталось почти на одном и том же уровне.

В бурой лесной оподзоленной почве количество подвижных фосфатов по Кирсанову несколько возрастало в первый период компостирования и далее изменялось слабо. По Эгнеру-Риму содержание подвижной P_2O_5 впервые 6 месяцев увлажнения почвы, резко уменьшалось, а затем восстанавливалось до исходных величин. По Чирикову содержание подвижных фосфатов постепенно возрастало. По Гинзбург-Артамоновой отмечено резкое повышение впервые 6 месяцев компостирования, а затем такое же резкое снижение.

В буро-подзолистых почвах по всем методам кроме Чирикова отмечено значительное снижение (при компостировании) содержания подвижного фосфора. В уксусно-кислой вытяжке оно заметно возросло.

В лугово-бурых почвах после 6-месячного переменного увлажнения по всем методам отмечалось слабое изменение содержания фосфатов. После 12-месячного компостирования выявлено некоторое их увеличение лишь по методам Кирсанова и Эгнера-Рима. По Гинзбург-Артамоновой оно не изменилось, а по Чирикову снизилось. В конце эксперимента количество подвижных фосфатов по отношению к предыдущему сроку их определения снизилось по Эгнеру-Риму и Кирсанову и заметно возросло по Гинзбург-Артамоновой и Чирикову.

В лугово-глеевой почве после 6-месячного компостирования наблюдалось увеличение содержания подвижного фосфора, определенного всеми методами. В конце 12-месячного переменного увлажнения почв оно продолжало возрастать только при определении методами Кирсанова и Эгнера-Рима и снижалось по Гинзбург-Артамоновой и Чирикову. При завершении (18 месяцев) опыта показатели подвижной фосфорной кислоты изменились: по первым двум методам - снижение, а по двум вторым - возросло.

В дерново-аллювиальной почве после 6-месячного компостирования заметное увеличение подвижных фосфатов наблюдалось только по Гинзбург-Артамоновой, По остальным методам не выявлено существенного его изменения. В последующий срок определения количество подвижного фосфора возросло. Это выявлено методом Чирикова, Кирсанова и в слабой степени по Эгнеру-Риму. Содержание молибдатно-растворимого фосфора

снизилось. В конце периода компостирования отмечено по первым трем методам заметное снижение, а по Гинзбург-Артамановой - повышение.

В зависимости от типов почв при длительном переменном увлажнении степень подвижности фосфатов слабо изменялась в бурой лесной на аллювии и дерново-аллювиальной, повышалось в бурой лесной оподзоленной и лугово-глеевой и снижалось в буро-подзолистой почве.

Таким образом, длительное компостирование почв при переменной влажности (90-45% от ПВ) оказывает заметное влияние на содержание подвижных фосфатов. Характер изменения от типа почв и применяемого метода определения фосфорной кислоты. Вследствие высокой подвижности железа в изучаемых почвах содержание фосфорной кислоты, в вытяжках может быть измененным из-за вторичного ее осаждения. Степень выраженности этого процесса в различных растворителях неодинакова, что возможно, и определяет низкую коррелятивную связь показателей различных методов. Так коэффициент корреляции между содержанием подвижного фосфора по Гинзбург-Артамановой и Кирсанову равен +0,47, а по Карпинскому-Замятиной и Гинзбург-Артамановой +0,44. Это говорит о том, что дать объективную оценку фосфорного режима некультуренных почв Средне-Амурской равнины при использовании существенных методов определения P_2O_5 чрезвычайно трудно.

4.4 Превращение фракции фосфатов в зависимости от известкования и внесения KH_2PO_4

О превращении фосфора мы судили по данным изменения содержания фракций фосфора в образцах пахотных горизонтов основных типов почв, компостируемых при переменной влажности, по следующим вариантам: контроль без удобрений, KH_2PO_4 (по 100 мг P_2O_5 на 100 г почвы) по фону извести (по 1 г.к.) и KH_2PO_4 (по 100 мг P_2O_5 на 100 г почвы) без извести. Анализы почв проводили спустя 6 и 12 месяцев после заложения опыта. Полученные данные выразили в процентах от внесенного фосфора (табл. 13, приложение 5).

Результаты исследований показали, что в бурой лесной почве на аллювиальных отложениях после 6 месяцев компостирования весь внесенный фосфор учитывался при определении фракции фосфатов. При этом под влиянием удобрений произошло даже усиление подвижности почвенного фосфора, о чем свидетельствует превышение суммы извлеченных фосфатов над количеством внесенного. При более длительном (до 12 месяцев) компостировании наблюдалось некоторое уменьшение содержания фосфатов первых трех фракций и увеличение фракции кальций-фосфатов. Количество фосфатов железа практически не изменялось.

Сравнение данных фракционного состава фосфатов по двум срокам определения показывает, что и в бурых лесных слабо ненасыщенных почвах имеет место переход части фосфатов в нерастворимые формы.

Внесенное фосфорное удобрение в основном увеличивает количество А1-Р, Fe-Р и что особенно важно - первых двух групп, являющихся резервом подвижного фосфора. Известкование повышало содержание первых двух фракций только в начальный период компостирования. В дальнейшем отмечено снижение их содержания до того же уровня, что и в неизвесткованном фоне.

Таблица 13 – Превращение монофосфата калия в основных типах почв после 6-месячного компостирования

Почва	Вариант опыта	извлечено P_2O_5 по фракциям, % от внесенного фосфора						Перешло в нерастворимое состояние, % от внесенного фосфора	$\frac{Ca - P}{Al - P + Fe - P}$
		I	II	А1-Р	Fe-Р	Са-Р	сумма фракции		
Бурая лесная	1	12,7	4,3	34,9	62,3	2,4	116,6	-	0,02
	2	20,7	11,2	34,9	62,7	2,4	131,9	-	0,02
Бурая лесная оподзоленная	1	4,4	7,4	3,5	46,0	2,8	64,1	35,9	0,06
	2	8,6	8,3	10,5	49,9	4,8	82,1	17,9	0,08
Буро подзолистая	1	10,7	11,9	6,5	57,1	2,9	89,1	10,9	0,05
	2	21,3	11,3	5,3	16,1	3,4	57,0	43,0	0,15
Лугово-бурая	1	-	7,1	10,2	80,2	12,6	110,1	-	0,13
	2	5,3	9,9	21,4	76,5	14,7	127,8	-	0,15
Лугово-глеевая	1	1,4	3,4	10,2	85,5	5,5	106,0	-	0,06
	2	2,1	19,8	8,3	78,5	5,9	114,6	-	0,07
Дерново аллювиальная	1	8,3	23,4	69,9	41,9	9,2	152,7	-	0,08
	2	0,5	14,6	78,2	29,9	11,7	134,9	-	0,11

Бурые лесные оподзоленные почвы на коренных породах впервые 6 месяцев компостирования интенсивно поглощали внесенный фосфор, причем на фоне без извести 35,9%, с известью 17,9% от внесенного фосфора перешло в нерастворимые формы, то есть в труднорастворимые фосфаты полуторных окислов, и в другие более сложные соединения. После 12-месячного периода наблюдалось снижение более, чем на половину содержания первых двух групп фосфатов и увеличение фосфатов, связанных с полуторными окислами и особенно железом, которые составляли до 60-70% внесенного фосфора. При известковании перешло в неизвлекаемые формы 4,2%, а без извести - 11,0% внесенного фосфора. Сопоставление данных обоих сроков определения показывает, что процесс фиксации фосфатов является обратимым процессом.

В буро-подзолистой почве после полугодового компостирования внесенный фосфор в наибольшем количестве содержался во второй группе и фракции ферри-фосфатов. Известкование положительно сказалось на содержании легкорастворимых фосфатов. Однако при этом, наблюдается усиленное превращение фосфора в нерастворимые формы до 43 % от внесенного. Дальнейшие наблюдения показали, что фиксация фосфора без

известии постепенно усиливается в почве и достигает такого же уровня, что и при известковании. При этом следует отметить, что в произвесткованной почве по сравнению с первым сроком определения количество неизвлекаемого фосфора уменьшилось, а ферри-фосфатов напротив возросло.

В лугово-бурых почвах внесенный монофосфат калия заметно повысил растворимость почвенного фосфора. После 6 месяцев компостирования количество извлекаемых фосфатов превосходило внесенный на фоне без известии на 10% больше, на известкованном - на 28%. После годичного срока отмечены переход части фосфатов в нерастворимые формы и, особенно на фоне без известии. Основная часть внесенного фосфора (от 76 до 80%) находится в форме щелочно-растворимых фосфатов железа, от 10 до 20% P_2O_5 перешло в фосфаты I, II группы. При известковании больше внесенного фосфора переходило в фосфаты I, II группы, а также в фосфаты алюминия и кальция.

По истечении года в компостируемой почве содержание фосфатов железа и кальция значительно понизилось, алюмо-фосфаты остались на прежнем уровне, а фосфаты I группы несколько возросли. Переход фосфора в труднорастворимые соединения неизвлекаемые применяемыми растворителями, был более выражен на известкованном фоне, чем на известкованном.

В лугово-глеевых почвах характер превращения внесенного монофосфата калия подобен его превращению в лугово-бурой. В период компостирования он повышал подвижность почвенных фосфатов вследствие чего количество извлекаемого фосфора превышало внесенный. Известкование заметно повышало вторую фракцию фосфатов.

Из внесенного фосфорнокислого калия большая часть фосфора перешла в фосфаты железа до 56,5%; в фосфаты групп - 17%.

В дерново-аллювиальных почвах, как и в бурых лесных на аллювии, внесенный фосфор резко повышал подвижность почвенных фосфатов в течение всего срока проведения опыта. Превращение фосфора в этом типе почв имеет некоторые свои особенности в отличие от других. Здесь значительное количество внесенного KH_2PO_4 переходило в фосфаты алюминия: после 6 месяцев - до 78%, после 12 месяцев компостирования - до 46%. Под влиянием известкования наблюдается снижение содержания Fe-P и увеличение Al-P и особенно первых двух фракций фосфатов.

Исходя из результатов исследований, можно отметить, что на превращение фосфатов, вносимых в почву, оказывает наибольшее влияние ее физико-химические свойства. Наибольший переход в неизвлекаемые формы фосфатов (до 35% от внесенного KH_2PO_4) выявлено у высокодисперсных буро-подзолистых почв. Почвы, залегающие на аллювиальных отложениях (бурые лесные, дерново-аллювиальные) имеющие низкую дисперсность сохранили в течение опыта 100% от внесенного KH_2PO_4 . Остальные типы почв занимают промежуточное положение.

Установлена взаимосвязь между содержанием илистой фракции и поглощением P_2O_5 почвой, коэффициент корреляции равен +0,81. Это говорит о том, что величина емкости поглощения почв по фосфору в значительной степени зависит от дисперсности их.

Общим для всех типов почв (кроме дерново-аллювиальных) является превращение до 85% внесенного фосфора в формы щелочно-растворимых фосфатов железа (типа стренгита и дифренита и др.). В дерново-аллювиальных почвах превращение шло в сторону образования алюмофосфатов до 50% больше от внесенной P_2O_5 . В данном случае переход внесенного KH_2PO_4 в фосфаты алюминия, железа связано с присутствием в почве железа и алюминия (Misra, Gupta, 1971), а также от их окислов. Нами установлена зависимость поглощения внесенного фосфора от содержания полуторных окислов в почве. Коэффициент корреляции равен +0,51.

При продолжительном (до года) компостировании почв при переменной влажности (до 90-45%) от ПВ) содержание фосфатов железа увеличивалось, а фосфатов алюминия и кальция понижалось, что согласуется с исследованиями других авторов (Чуприков, 1972; Debnath, Hajra, 1972). Внесенный фосфор превращался в труднорастворимые фосфаты, не извлекаемые применяемыми растворителями (по методу Гинзбург-Лебедевой). Известь замедляла этот процесс. При ее внесении в почву содержание фосфатов всех фракций было выше, чем в известкованных почвах. Внесенная известь повышала количество растворимых фосфатов (I и II группы), но содержание кальций-фосфатов было ниже на автоморфных почвах, что связано с образованием более основных фосфатов кальция (Чуприков, 1972).

По количеству поглощенной фосфорной кислоты исследованные почвы располагаются в следующий ряд: буро-подзолистые > лугово-глеевые > лугово-бурые > бурые лесные оподзоленные.

При длительном взаимодействии внесенного фосфора с почвой, в результате поглощения и превращения фосфатов полуторных окислов изменяется их соотношение $\frac{Ca - P}{Al - P + Fe - P}$ в основном в сторону уменьшения,

исключение составляет бурая лесная почва на аллювиальных отложениях.

4.5 Изменение содержания подвижной фосфорной кислоты в почвах при известковании и внесении KH_2PO_4

Растворимые фосфаты при взаимодействии с почвой в результате протекающих биологических и химических процессов поглощаются минеральной частью. Адсорбированные фосфат-ионы в дальнейшем подвергаются более длительным по времени и сложным по характеру превращениям химического и биологического порядка (Дмитренко, 1957; Иванов, Столярова, 1973). Поэтому в своих исследованиях мы ставили цель проследить за динамикой подвижного фосфора в основных типах почв при

длительном компостировании их с применением извести и воднорастворимых фосфатов. Подвижные фосфаты определяли по методу Кирсанова.

Результаты определения подвижного фосфора в основных типах почв Средне-Амурской равнины представлены в таблице 14.

Как видно из данных анализа, исследуемые почвы обладают большой поглотительной способностью к фосфат-ионам. В большинстве типов почв содержалось (после первого срока компостирования) от 7 до 11 мг P_2O_5 на 100 г почвы. В почвах с низкой дисперсностью (бурые лесные и дерново-аллювиальные) в связи с их невысокой адсорбционной способностью содержание фосфорной кислоты было значительно от 11 до 32 мг/100 г почвы. На фоне с известью после 6-месячного компостирования наблюдалось заметное снижение подвижной фосфорной кислоты.

Таблица 14 – Влияние извести и KH_2PO_4 на содержание подвижной фосфорной кислоты в почвах Средне-Амурской равнины

Почва	Вариант опыта	Время компостирования		
		6 месяцев	12 месяцев	18 месяцев
Бурые лесные	1	1,7	2,2	0,66
	2	23,1	27,2	17,8
	3	31,9	23,1	22,3
Бурые лесные оподзоленные	1	0,3	0,4	0,3
	2	11,0	10,0	2,9
	3	10,2	16,7	5,6
Буро-подзолистые	1	0,5	0,9	0,3
	2	11,0	10,3	4,4
	3	6,8	9,8	5,2
Лугово-бурые	1	0,9	1,7	0,8
	2	10,7	11,5	4,0
	3	8,4	13,4	4,4
Лугово-глеевые	1	0,9	1,2	0,4
	2	8,0	11,1	5,1
	3	9,3	10,9	6,3
Дерново аллювиальные	1	3,7	4,8	2,7
	2	19,7	9,9	15,0
	3	10,5	10,5	20,8

**Примечание: 1 вариант - исходная почва; 2 вариант - P_2O_5 мг/100 г почвы; 3 вариант - P_2O_5 мг/100 г почвы + известь в дозе 1 г.к.*

По данным исследователей (Стебут, 1865; Гедройц, 1932; Кедров-Зихман, 1927) известны случаи, когда положительное действие извести проявлялось спустя продолжительное время после внесения в почву. Возможно, это объясняется тем, что согласно данным Moreno, Lindsay, Osborne (1960) соединения железа и алюминия поглощают фосфор из раствора даже при значении pH близких к нейтральным. Вследствие чего и снижается содержание подвижных форм P_2O_5 в почве. Наряду с этим возможно при высокой концентрации иона кальция в растворе образование

труднорастворимых высокоосновных фосфатов кальция $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. После годичного компостирования на варианте без извести содержание подвижного фосфора. Во всех типах почв (кроме бурых лесных) было почти одинаковым (10-11 мг/100 г почвы), то есть установилось фосфатное равновесие в системе почва-раствор.

При известковании почв количество подвижных фосфатов несколько возросло только в бурых лесных оподзоленных почвах. В остальных почвенных типах оно было ниже или на том же уровне, что и на неизвесткованном фоне.

После полутора лет в компостируемых почвах (см. табл. 14) наблюдалось интенсивное образование труднорастворимых соединений в форме высокоосновных фосфатов железа, алюминия, кальция. В связи с этим и содержание подвижного фосфора резко понизилось по сравнению с предшествующим сроком.

На почвах с низкой дисперсностью (бурых лесных и дерново-аллювиальных) содержание фосфора на фоне с известью или не изменялось или значительно возрастало. Это объясняется тем, что фиксация фосфора находится в зависимости от размера частиц почвы (Pericins, Wagoner, King, 1942). По мере уменьшения размера частиц увеличивается поглощение фосфора на единицу сухого веса. Дерново-аллювиальные почвы относятся к почвам наименее выветренным (глава III), поэтому они содержат значительное количество первичных минералов, которые слабее удерживают фосфор, чем почвы с высоким содержанием вторичных минералов.

На процесс превращения фосфорной кислоты оказывает влияние и реакции почвенной среды (Аскинази, 1949; Гедройц, 1955; Ремезов, 1957; Vdo, Vzu, 1972). Бурые лесные почвы, залегающие на аллювиальных отложениях имеют менее кислую реакцию среды (рН солевой 5,4), по сравнению с остальными типами почв (рН солевой 3,7-4,4). Это сказалось на ослаблении ретроградации вносимых фосфатов в почву.

В условиях кислой реакции в почвах тяжелого гранулометрического состава соединения железа и алюминия, марганца становятся более активными, переходят частично в ионную форму и, возможно, принимают участие в фиксации почвой ионов PO_4 (Аскинази, 1949), с образованием малорастворимых соединений фосфора, которые устойчивы в этой среде (Аскинази, Хейфец, 1938). Поэтому почвы с сильнокислой реакцией среды при тяжелом механическом составе, поглощают значительно больше фосфат-ионов, чем почвы менее кислые.

4.6. Влияние известкования и применения KN_2PO_4 на степень подвижности фосфатов

Степень подвижности фосфат-иона в почве непостоянна. Под воздействием различных факторов она подвержена большим колебаниям. Поэтому наряду с определением содержания подвижного фосфора в почвах большой интерес представляет изучение и степени подвижности его, в

зависимости от продолжительности компостирования при переменной влажности, применения извести и $\text{KН}_2\text{РO}_4$.

Результаты исследований приведены в таблице 15.

Таблица 15 – Изменение степени подвижности фосфатов в почвах Средне-Амурской равнины

Почва	Вариант опыта	P_2O_5 , мг/л		
		время компостирования		
		6 месяцев	12 месяцев	18 месяцев
Бурые лесные	1	0,026	0,031	0,030
	2	0,330	0,970	0,662
	3	0,740	1,020	0,837
Бурые лесные оподзоленные	1	0,005	0,002	0,029
	2	0,008	0,066	0,076
	3	0,084	0,170	0,131
Буро-подзолистые	1	0,005	0,002	0,006
	2	0,260	0,240	0,128
	3	0,065	0,067	0,092
Лугово-бурые	1	0,005	0,003	0,008
	2	0,055	0,086	0,092
	3	0,163	0,240	0,169
Лугово-глеевые	1	0,006	0,002	0,008
	2	0,016	0,026	0,020
	3	0,021	0,058	0,032
Дерново аллювиальные	1	0,016	0,025	0,025
	2	1,360	1,520	0,975
	3	1,430	1,790	1,370

**Примечание; 1 вариант - исходная почва; 2 вариант - P_2O_5 мг/100 г почвы; 3 вариант - P_2O_5 мг/100 г почвы + известь в дозе 1 г.к.*

Все исследуемые почвы имели различную степень подвижности фосфатов. Внесение извести значительно увеличило степень подвижности фосфатов, по сравнению с известкованным фоном. Максимальное содержание P_2O_5 было при годовичном сроке компостирования, что обусловлено физико-химическим процессом постепенного перехода фосфора в раствор из труднорастворимых соединений. Самая высокая степень подвижности отмечалась в первом сроке в дерново-аллювиальных (1,43 мг/л) и бурых лесных (0,74 мг/л) почвах, залегающих на аллювиальных отложениях, наименьшее - в лугово-глеевых (0,021 мг/100 г почвы). Остальные типы почв занимали промежуточное положение.

В отличие от всех типов в буро-подзолистых почвах внесение извести повлияло отрицательно на содержание как подвижных форм P_2O_5 , так и степени подвижности их. По всем срокам отмечалось постепенное повышение показателя степени подвижности (от 0,067 до 0,092 мг/л раствора) фосфатов на фоне с известью, но все, же намного ниже, чем на фоне без извести (от 0,260 до 0,128 мг/л раствора). Эти почвы отличаются от

других высокой дисперсностью (содержание частиц $<0,001$ мм = 25,0%, а в других типах колеблется от 9,7 до 16,8%). Низка и степень насыщенности основаниями (49%), что предопределяет высокую подвижность полуторных окислов в связи, с чем возрастает фиксация фосфат-ионов.

Уменьшение содержания подвижной фосфорной кислоты на фоне с известью отмечали О.К. Кедров-Зихман (1927), Д.Л. Аскинази, С.С. Ярусов (1928), Д.Л. Аскинази (1949). Они объясняют это высокой поглотительной способностью почв к фосфат-ионам при наличии значительного количества полуторных окислов и кислой реакцией среды.

При низкой дисперсности почв наблюдается низкая адсорбция фосфат-ионов и интенсивный переход их в солевой раствор, что характерно для дерново-аллювиальных почв. При внесении $\text{KН}_2\text{РO}_4$ в дозе 100 мг P_2O_5 на 100г почвы, показатель степени подвижности увеличился в 80 с лишним раз, тогда как у высокодисперсных лугово-глеевых почв только в 3-4 раза. На поглощение P_2O_5 оказывает влияние и содержание гумуса, хотя в литературе по этому поводу имеются противоречивые мнения. Одни исследователи считают, что органические вещества не связывают фосфат-ионы (Возбуцкая, 1968) или связывают мало (Рыдкий, 1938; Гинзбург, 1960; Адрихин, 1970). Но все же есть общее мнение о связи гумусовых веществ с аморфными полутора окисями (Шурина, 1973), а также с алюмосодержащими, чаще и более активно, чем с железосодержащими соединениями (Гинзбург, 1960).

В лугово-глеевых почвах содержание Al-P (15,9%) значительно меньше, чем Fe-P (26,7%) от валового P, хотя по данным Лазарева (1974), из общего количества гуминовых кислот 86,9% находится в соединении с подвижными полуторными окислами, которые оказали влияние на фиксацию внесенного фосфора в этих почвах.

Внесенные в почву фосфаты ($\text{KН}_2\text{РO}_4$) при длительном взаимодействии их с почвой постепенно снижают свою подвижность, и степень подвижности фосфатов понизились во всех типах почв. В буро-подзолистых почвах, отмечалось повышение растворимости фосфат-ионов на фоне с известью, в то время как на фоне без извести - шло на убыль.

Изучение превращения фосфора в основных типах почв показало, что внесенный фосфор ($\text{KН}_2\text{РO}_4$) переходит в основном в фосфаты полуторных окислов, большая часть которых представлена железо-фосфатами (до 75%). Только в дерново-аллювиальных почвах преобладают фосфаты алюминия (до 50%). Около 10% внесенного фосфора составляют подвижные фосфаты, которые со временем переходят в труднорастворимые соединения. На процесс ретроградации фосфора оказывает влияние кислая реакция среды, при которой в почвенном растворе находится значительное количество свободных полуторных окислов; а также степень дисперсности почв и наличие в них глинисто-гумусовых комплексов, в составе которых имеются гидраты окислов железа (Дюшофур, 1970).

Внесение извести увеличивало содержание подвижных фосфатов и уменьшало количество фосфатов, связанных с полуторными окислами. На

фоне извести отмечался постепенный переход фосфат-ионов из труднорастворимых соединений в почвенный раствор (буро-подзолистая почва).

Наряду с поглощением на поверхности почвенных коллоидов шли процессы поглощения в форме высокоосновных фосфатов железа, алюминия и кальция.

Однако фосфаты алюминия и железа могут использоваться растениями. Так наиболее доступны растениям, особенно проросткам, фракции легкорастворимых фосфатов алюминия. Железо-фосфаты является худшим источником питания, они могут быть использованы в значительном количестве только взрослыми растениями. При нейтральной реакции среды, что можно достичь известкованием наибольшей доступностью обладают алюмо-фосфаты и железо-фосфаты. Кислая реакция среды ускоряет превращение $Al-P$ в железо-фосфаты и снижает доступность последних (Ivanov, Sauerbeck, 1972).

Для предотвращения ретроградации фосфора рекомендуется вносить навоз одновременно с фосфорными удобрениями, в этом случае поглощение фосфора идет в направлении легкорастворимых форм. Использование бобовых как зеленого удобрения благоприятствует мобилизации почвенных фосфатов. Бобовые энергично поглощают из почвы фосфор, даже малорастворимый и при медленной гумификации они обогащают им почву (Дюшофур, 1970).

4.7 Сравнительная оценка различных методов определения подвижного фосфора в почвах Средне-Амурской равнины

Общеизвестно, что химические методы определения подвижного фосфора в почве носят условный характер. Этот вопрос детально освещен в работах И.И. Алямовского (1932), Д.Н. Прянишникова (1940), А.В. Соколова (1953). Однако эти методы находят все более широкое применение для прогнозирования эффективности удобрений и, особенно в последние годы в связи с широким внедрением химизации в сельское хозяйство.

Методов определения подвижных фосфатов предложено много и оценка правильности применения того или иного из них может быть дана на основании сопоставления показаний анализа почвы, сделанного определенным методом, с данными об усвояемости фосфора растениями из той же почвы.

Основанием для применения того или иного метода при извлечении подвижных фосфатов из различных почв служит состав фосфорных соединений в изучаемых почвах (Хейфец, 1964).

Для извлечения подвижных фосфатов из почвы в настоящее время применяют водные, кислотные и щелочные вытяжки. Водные вытяжки применяют редко, так как малые величины, извлекаемые водой фосфатов, аналитически трудно определить. На кислых подзолистых почвах применяют

слабокислотные вытяжки, в частности метод Кирсанова, Аррениуса, Чирикова, Эгнера-Рима (Пособие по проведению анализов почв ..., 1969).

При использовании метода Кирсанова (1931) следует помнить указание автора о том, что P_2O_5 , извлекаемая слабыми кислотами из различных горизонтов почв подзолистой зоны, не одинаково равноценна с точки зрения усвоения ее растением и что «для практических выводов вполне достаточно химического определения P_2O_5 только в пахотном горизонте, если речь идет о подзолистых почвах». Поэтому методы, разработанные для пахотных горизонтов почвы, не всегда правильно будут отображать содержание и характер подвижных соединений фосфора в других горизонтах почвенного профиля.

По исследованиям ВИУА, метод Кирсанова является наиболее простым и в то же время достаточно точным для массовой работы (Хейфец, 1964). Более сложным в этом отношении является метод Аррениуса, так как приготовление лимоннокислой вытяжки необходимо вести при определенной температуре и многократном взбалтывании и отстаивании. Этот метод дает хорошие результаты при определении подвижной фосфорной кислоты в присутствии полуторных окислов. Несмотря на это преимущество перед другими методами, он не получил широкого применения при массовых анализах ввиду трудоемкости его выполнения.

Большинство применяемых методов определения подвижных фосфатов имеют общий недостаток - вторичное осаждение фосфорной кислоты в момент приготовления вытяжек (Соколов, 1958) вследствие чего в них 2-4 раза снижается количество усвояемых фосфатов. Этим недостатком не обладает метод молибдатной вытяжки, который предложен итальянским химиком Феррари и экспериментально разработан К.Е. Гинзбург и Л.Ф. Артамоновой (Петербургский, 1968).

При расширении соотношения раствор: почвы уменьшается вторичное осаждение фосфатов. Поэтому при определении P_2O_5 по Чирикову и Эгнеру-Риму соотношение увеличено соответственно 1:25 и 1:50.

Время экстрагирования также является одним из условий, которое позволяет регулировать вторичное поглощение фосфатов в процессе приготовления вытяжки.

В зависимости от свойств почвы используются различные методы извлечения из них подвижных фосфатов (Кузин, 1960; Глазунова и др., 1968; Омельченко, 1969; Маркова, 1971; Стокозов, Носов, 1972; Антипина, 1973; Кобзаренко, 1973). При изучении фосфатного режима почв Дальнего Востока применяли метод Кирсанова (Грицун, 1964; Басистый, 1967; Щепкина, 1967; Новиков, 1970; Калинина, 1970; Стрельченко, Щукина, 1970) и только для лугово-черноземовидных почв В.Т. Куркаевым (1965) был предложен метод Чирикова (0,5 н. CH_3COOH вытяжка), который пользуется в настоящее время Амурская зональная агрохимическая лаборатория. Метод Аррениуса в модификации Гинзбург-Неунылова применяется при изучении фосфатного режима почв рисовых полей (Неунылов, 1961; Стрельченко, 1966). В.И.

Росликова (1967), предлагает использовать метод Аррениуса и на минеральных почвах Дальнего Востока.

В исследованиях советских и зарубежных авторов в последние 10-15 лет прошлого столетия особое внимание уделялось степени подвижности фосфатов (фактор интенсивности) показателем которой служит величина концентрации фосфат-ионов в солевой вытяжке. А.П. Карпинский, В.Б. Замятина (1958, 1960, 1968) считают, что для характеристики почв в отношении их способности обеспечивать растения фосфором, установление запасов подвижного фосфора (фактор емкости) недостаточно. Нужно учитывать два показателя; запас подвижного фосфора и степень его подвижности.

Использование солевой вытяжки позволяет обнаружить различие между запасами подвижного фосфора (фактор емкости) и степенью его подвижности (фактор интенсивности).

В почвах Средне-Амурской равнины изучение степени подвижности фосфора не проводилось.

4.8 Оценка методов определения подвижности фосфора в почвах Средне-Амурской равнины

Почвы Дальнего Востока сформировались в условиях муссонного климата. В период дождей они из-за слабой дренированности почвообразующих пород подвержены периодическому переувлажнению, которое способствует активизации полуторных окислов. Создаются благоприятные условия для адсорбции и связывания подвижной фосфорной кислоты. Поэтому очень важно выявить методы определения подвижного фосфора, которые в наибольшей степени отражали бы специфику превращения фосфатов в почвах.

Нами проведено сравнительное изучение следующих методов: Кирсанова, Чирикова, Эгнера-Рима и Гинзбург-Артамоновой. Оценку степени подвижности фосфатов проводили по методу Карпинского-Замятиной. Данные по содержанию подвижного фосфора в основных типах почв приведены в таблице 16.

Проведенные исследования выявили, что все методы в одинаковой степени улавливают различие типов почв и их генетических горизонтов по содержанию подвижных фосфатов. При этом молибдатная вытяжка в большинстве случаев извлекает из почв наибольшее количество P_2O_5 . В лактатной вытяжке оно практически одинаково с солянокислой для почв гидроморфного ряда и меньше в почвах автоморфных. Наименьшее количество фосфора извлекается из почв по методу Чирикова, по сравнению с методом Кирсанова, оно меньше почти в десять раз.

Таблица 16 – Содержание подвижного фосфора,
определенного разными методами, в основных типах почв

Почва, № разреза	Генетический горизонт	Глубина взятия	Методы определения подвижного фосфора				
			Кирсанова	Гинзбург- Артамонов	Эгнера- Рима	Чирикова	Карпинского- Замятиной
			Содержание P_2O_5 , мг/100 г почвы				
1	2	3	4	5	6	7	8
Бурая лесная, р. 20	A _n	0-29	0,95	5,85	0,75	0,174	0,006
	A ₂ B	32-37	0,13	6,60	следы	0,028	0,002
	C	50-60	0,75	4,75	0,50	0,050	0,004
Бурая лесная, р. 17	A _n	0-22	3,23	8,78	3,10	0,840	0,130
	A ₂ B	30-35	0,10	7,50	0,37	0,080	0,004
	B	60-85	0,13	10,35	0,25	0,050	0,004
	C	150-165	5,10	2,50	1,18	0,570	0,004
Бурая лесная оподзоле иная, р. 9	A _n	0-17	0,25	2,50	0,62	0,066	0,004
	A ₂	17-37	0,13	2,92	0,25	0,010	0,013
	B	37-56	0,02	6,28	0,25	0,020	0,004
	CD	61-75	0,01	6,28	Следы	0,040	0,004
Бурая лесная слабопо дзоленная, р. 25	A _n	0-23	4,75	6,60	4,28	1,490	0,013
	A ₂ /B	40-70	4,23	4,17	0,75	0,374	0,004
	B	80-102	2,18	8,78	1,56	0,280	0,104
	CD	110-125	23,50	11,40	3,10	0,470	0,132
Буро- подзолис тая, р. 8	Ап	0-20	3,23	8,35	2,31	0,300	0,028
	A ₂	27-42	0,50	4,57	0,37	0,080	0,005
	B	52-63	0,10	10,00	0,31	0,050	0,005
	с	163-184	1,23	14,25	1,37	0,200	0,020
Буро- подзолис тая, р.33	A _n	0-15	0,50	4,17	0,56	0,103	0,006
	A ₂	25-35	0,03	5,85	след	0,050	0,004
	B ₁	50-65	0,13	10,00	0,25	0,050	0,004
	C	170-180	0,10	13,00	0,33	0,066	0,006
Лугово бурая, р.1	A _n	0-23	1,08	7,13	1,18	0,112	0,013
	A ₂ g	35-60	0,80	7,50	0,62	0,084	0,004
	Bg	71-96	0,80	15,00	0,81	0,103	0,005
	B/C	105-120	1,45	19,50	1,12	0,125	0,005
Лугово бурая, р.7	A _n	0-25	0,80	5,00	0,62	0,068	0,004
	A ₂ g	46-71	0,50	5,00	0,37	0,040	0,002
	B ₁ g	79-94	0,65	8,78	0,75	0,075	0,002
	C	198-211	1,73	13,00	1,68	0,150	0,013
Лугово- глеевая, р.19	A _n	2-15	0,73	4,17	0,75	0,050	0,003
	A ₂ g	18-40	0,50	4,57	0,25	0,030	0,003
	B ₁ g	45-60	0,50	7,50	0,25	0,030	0,004
	C	160-175	3,50	17,10	2,31	0,250	0,013

Лугово- глеевая, р.37	A _n	0-13	0,50	2,92	0,62	0,030	0,002
	A _{2g}	15-35	0,20	5,85	следы	0,066	0,003
	B _g	40-60	0,12	5,43	0,25	0,050	0,003
	C	160-170	0,50	5,85	0,56	0,066	0,006
Дерново- аллювиа льная	A _n	0-22	3,98	3,75	1,62	0,470	0,028
	A ₂ B	25-35	0,50	2,15	0,37	0,050	0,004
	B ₁	65-75	3,45	8,78	1,93	0,570	0,013
	C	125-135	4,15	8,35	1,75	0,440	0,035

Сравнение результатов определения подвижного фосфора разными методами показало, что его содержание, определенное по методу Кирсанова, имеет тесную связь с содержанием фосфора по Эгнеру-Риму, $r=10,82\pm 0,08$; среднюю — по методу Чирикова, $r=+0,58\pm 0,12$ и слабую с данными, полученными по методу Гинзбург-Артамановой, $r=+0,27$. Это свидетельствует о том, что первые три метода особых различий между собой не имеют, так как в одинаковой степени отражают соотношения между различными формами почвенного фосфора, а возможно имеют и одинаковые недостатки.

При сравнении содержания подвижных фосфатов, определенных различными методами с показателями степени подвижности почвенных фосфатов была установлена тесная связь между последними и результатами, полученными по методу Чирикова ($r=+0,73\pm 0,10$), по другим методам получены средние корреляционные зависимости. Из этого можно сделать предположение, что условия обеспеченности растений фосфат-ионами в наибольшей мере отражает метод Чирикова.

Для установления возможных источников подвижного фосфора в почве большое значение имеет выявление взаимосвязи содержания подвижного фосфора, определенного разными методами, и содержанием фракций фосфатов.

Установлено, что показатели первых двух фракций фосфатов, которые наиболее доступны растениям (Чириков, 1958; Гинзбург-Лебедева, 1971) имели тесную связь с содержанием подвижной фосфорной кислоты, определенными по методу Гинзбург-Артамановой (табл. 17).

С фракцией алюмофосфатов выявлена слабая связь только по методу Кирсанова ($r=+0,33\pm 0,20$). Показатели P_2O_5 , полученные по методам Эгнера-Рима и Гинзбург-Артамановой, имели среднюю корреляционную зависимость с содержанием железо-фосфатов. В остальных случаях зависимость была слабая или отсутствовала.

Количество подвижных фосфатов, определенных по методам Кирсанова, Эгнера-Рима имели сильную, а по методам Чирикова, Гинзбург-Артамановой - среднюю корреляционную связь с содержанием кальций - фосфатов.

Почвы Средне-Амурской равнины - кислые, почвенный поглощающий комплекс насыщен Са-ионами, что является одной из причин низкого содержания кальций-фосфатов. Это, по-видимому, обуславливает низкое

содержание подвижных фосфатов, несмотря на значительное количество валового фосфора.

При установлении взаимосвязи содержания подвижной P_2O_5 , определенной разными методами и содержанием фракций фосфатов было выявлено преимущество метода Гинзбург-Артамоновой. Количество подвижного фосфора и молибдатной вытяжке имело наибольшую взаимосвязь с содержанием фракции фосфатов и особенно первых двух. Для показателей подвижной P_2O_5 , определенной остальными методами подобной зависимости не выявлено. Учитывая, что в естественных условиях на химические свойства почв оказывают влияние активно протекающие биохимические процессы, мы провели сравнительное изучение содержания подвижной фосфорной кислоты по разным методам в сухой и во влажной компостируемой почве (вариант без удобрений). Результаты исследования показали, что во влажной почве вследствие активизации и инактивизации некоторых групп фосфатов количество подвижного фосфора изменяется, что отражается и на их взаимосвязи между собой. Расчеты показали, что в этом случае количество P_2O_5 по Кирсанову имело тесную связь с содержанием фракции железо-фосфатов ($r=+0,74$) и с кальций-фосфатами ($r=+0,84$), чего не имели для сухих почвенных образцов. Содержание подвижного фосфора, определенного по Эгнеру-Риму, Чирикову имели коррелятивную взаимосвязь лишь с количеством Са-фосфатов. Степень подвижности фосфатов зависела в основном от содержания II фракции фосфатов (табл. 18).

Таблица 17 – Корреляционная зависимость между содержанием подвижного фосфора, определенного разными методами и фракциями фосфатов в основных типах почв

Методы определения подвижного фосфора	Фракции P ₂ O ₅ по Гинзбург-Лебедевой									
	I		II		Al-P		Fe-P		Ca-P	
	r+m _z	P	r+m _z	P	r+m _z	P	r+m _z	P	r+m _z	P
Кирсанова	+0,08±0,20	0,68	+0,31±0,20	0,95	+0,33±0,20	0,95	+0,34±0,20	0,95	+0,93±0,08	0,999
Чирикова	+0,17±0,20	0,68	+0,45±0,18	0,95	+0,16±0,20	0,68	+0,27±0,20	0,68	+0,50±0,18	0,99
Эгнера-Рима	+0,24±0,20	0,68	+0,45±0,18	0,95	+0,19±0,20	0,68	+0,47±0,18	0,99	+0,71±0,14	0,999
Гинзбург- Артамоновой	+0,58±0,17	0,999	+0,80±0,16	0,999	+0,18±0,20	0,68	+0,43±0,19	0,95	+0,44±0,19	0,95
Карпинского- Замятиной	+0,22±0,20	0,68	+0,25±0,20	0,68	+0,28±0,20	0,68	+0,35±0,19	0,95	+0,67±0,15	0,999

Таблица 18 – Взаимосвязь между содержанием подвижного фосфора и фракциями фосфатов в пахотных горизонтах после годичного компостирования (контрольные варианты)

Методы определения подвижного фосфора	Фракции P_2O_5 по Гинзбург-Лебедевой									
	I		II		Al-P		Fe-P		Ca-P	
	r+m _z	P	r+m _z	P	r+m _z	P	r+m _z	P	r+m _z	P
Кирсанова	+0,34±0,40	0,68	+0,61±0,36	0,68	+0,57±0,30	0,68	+0,74±0,33	0,95	+0,84±0,26	0,95
Гинзбург-Артамоновой	-0,75±0,33	0,95	-0,47±0,44	0,68	-0,53±0,41	0,68	+0,68±0,36	0,68	-0,27±0,47	0,68
Эгнера-Рима	-0,27±0,47	0,68	+0,50±0,42	0,68	+0,44±0,44	0,68	+0,64±0,36	0,68	+0,79±0,30	0,95
Чирикова	+0,43±0,44	0,68	+0,65±0,36	0,68	+0,66±0,35	0,68	+0,49±0,42	0,68	+0,81±0,28	0,95
Карпинского-Замятиной	+0,76±0,31	0,68	+0,93±0,30	0,95	+0,95±0,27	0,95	+0,57±0,40	0,68	+0,63±0,38	0,68

Следовательно, в местных почвах в естественных условиях вполне можно допустить, что основным источником пополнения запасов подвижного фосфора являются Са-Р, Fe-Р, которые сами по себе трудноусвояемы для растений.

Обращает на себя внимание факт слабой взаимосвязи между содержанием труднорастворимых фракций фосфатов и содержанием подвижного фосфора по Гинзбург-Артамоновой. Это возможно обусловлено экстрагирующей способностью применяемого фосфора. Для показателей P_2O_5 , полученных по этому методу, установлена тесная коррелятивная взаимосвязь только с первой группой фосфатов. Из этого можно допустить, что в кислотные вытяжки при определении подвижных фосфатов переходят не только легкорастворимые, но и труднорастворимые соединения фосфора.

Слабокислотные вытяжки на слабоокультуренных почвах дает удовлетворительные результаты только потому, что они одновременно учитывают и какое-то количество резервных фосфатов. По мере окультуривания и повышения в почве содержаний подвижного фосфора эти методы напротив могут дать искаженные данные из-за вторичного осаждения фосфатов в момент приготовления вытяжки. Поэтому в своих исследованиях мы ставили цель сравнительно изучить методы определения подвижного фосфора в основных типах почв при длительном компостировании их с применением извести и воднорастворимых фосфатов.

Данные определения подвижного фосфора в основных типах почв Средне-Амурской равнины представлены в приложении 6.

В результате проведенных исследований была установлена высокая корреляция между величинами кислорастворимой P_2O_5 , полученными по методам Кирсанова и Гинзбург-Артамоновой, коэффициент корреляции равен $+0,79 \pm 0,15$. Содержание P_2O_5 в 0,03 н. K_2SO_4 имеет тесную связь с показателями P_2O_5 , полученными по методу Чирикова ($r=+0,88 \pm 0,11$) и Гинзбург-Артамоновой ($r=+0,66 \pm 0,18$).

С фракционным составом почвенных фосфоров установлена тесная коррелятивная связь для подвижного фосфора, определенного по методу Гинзбург-Артамоновой. Количество фосфора, извлекаемого из почв 0,5 н. CH_3COOH K_2SO_4 , тесно взаимосвязано только со второй и третьей группой фосфатов (преимущественно с А1-Р). Подвижная P_2O_5 , определенная по Эгнеру-Риму имела тесную связь с третьей (А1-Р) и пятой группой (Са-Р) фосфатов (приложение 7). На показатели подвижного фосфора, определяемого всеми методами влияет содержание в почве кальций-фосфатов, исключение составляет лишь метод Кирсанова.

После 12-месячного компостирования заметно изменилось содержание в почвах подвижного фосфора и фракции фосфатов. В связи с этим изменились и коррелятивные связи между ними (приложение 8). Количество фосфатов, переходящих в 0,2 н. HCl вытяжку зависело в основном от Fe-Р и Са-Р, в молибдатную - от первой фракции, в лактатную и в уксуснокислую -

от Са-Р, в 0,03 н K_2SO_4 вытяжку от содержания II и III фракций фосфатов, то есть преимущественно от А1-Р.

Следовательно, как без применения удобрений, так и внесения извести и фосфатов при определении подвижного фосфора различными методами из-за переосаждения его в момент приготовления вытяжек, выявляются далеко неполно резервы доступного для растений фосфора. В процессе превращения внесенных фосфорных удобрений наиболее доступны растениям, по-видимому, разноосновные фосфаты кальция и магния (II группа) и алюмофосфаты, с содержанием которых хорошо коррелируются показатели степени подвижности фосфатов.

Примененные растворители (0,2 н. HCl , 0,5 н. CH_3COOH , 0,03 н. K_2SO_4 , лактат кальция, молибдат аммония) в одинаковой мере выявляют различие почв по содержанию подвижных фосфатов. Наибольшие величины подвижного фосфора в почвах получены по методу Гинзбург-Артамоновой и наименьшие - Чирикова.

Содержание P_2O_5 , определенного по методу Кирсанова имеет коррелятивную тесную связь с показателями содержания подвижного фосфора и в лактатной вытяжке ($r=+0,82 \pm 0,08$), с показателями P_2O_5 по остальным методам - среднюю связь. Иными словами для общей характеристики подвижных фосфатов почв, можно пользоваться всеми методами, применяемыми в нашей работе.

4.9 Оценка различных методов определения подвижных фосфатов при разных уровнях их содержания в буро-подзолистой почве

Рассмотренная выше оценка методов определения подвижных фосфатов показала, что каждый из них может быть в той или иной степени применен для характеристики фосфатного режима почв. Какому же методу отдать предпочтение? Чтобы ответить на этот вопрос мы провели дополнительные исследования. Объектом служила буро-подзолистая тяжелосуглинистая почва, имеющая различную обеспеченность подвижной фосфорной кислотой. В условиях микрополевого опыта изучались различными методами подвижные фосфаты и отзывчивость сои сорта Амурская 310 на фосфорные удобрения. Все полученные данные были обработаны методом парных корреляций (Доспехов, 1965).

Результаты исследований подтвердили, что содержание подвижного фосфора, определенного по Кирсанову хорошо коррелирует со степенью подвижности фосфатов - $r=+0,97$, в лактатной - $r=+0,95$ и несколько слабее в молибдатной вытяжке - $r=+0,82$ (приложение 9).

Количество P_2O_5 , извлекаемой из почв кислотными вытяжками сравнивали с содержанием фосфорной в 0,03 н K_2SO_4 вытяжке (приложение 9). Выявлено, что в этом случае степень подвижности фосфатов имеет тесную связь с показателями P_2O_5 , определенных по Кирсанову ($r=+0,99$), Эгнеру-Риму ($r=+0,94$), Чирикову ($r=+0,88$) и Гинзбург-Артамоновой

($r=+0,84$). Высокие коэффициенты корреляции, полученные при сопоставлении содержания подвижного фосфора, определенного различными химическими методами, свидетельствует, что по сравнению со стандартным методом Кирсанова не имеют особых преимуществ.

Для установления зависимости между содержанием фосфора при внесении удобрений на различных почвенных фонах и потреблением соей фосфора, мы проводили отбор растительных образцов по фазам развития сои и определяли вынос ею фосфора (табл. 19).

Таблица 19 – Вынос P_2O_5 по фазам развития сои, мг/сосуд

Почвенный фон, P_2O_5 в мг на 100 г почвы	Вариант	Вынос P_2O_5 , в мг/сосуд				
		3-й тройчатый лист	Конец вегетативного роста	Созревание		
				соломой	зерном	общий
2,5	контроль	5	99	10	174	184
	$N_{30}R_{30}$ -фон	5	103	13	222	235
	Фон + P_{30}	6	106	16	277	293
	Фон + P_{60}	8	121	20	343	363
	Фон + P_{90}	10	187	21	382	403
5,0	контроль	7	162	23	223	246
	$N_{30}R_{30}$ -фон	8	148	24	330	354
	Фон + P_{30}	8	208	29	369	398
	Фон + P_{60}	9	231	31	402	433
	Фон + P_{90}	12	207	33	421	454
11,0	контроль	7	153	24	235	259
	$N_{30}R_{30}$ -фон	8	166	26	310	336
	Фон + P_{30}	8	148	35	400	435
	Фон + P_{60}	12	183	37	475	512
	Фон + P_{90}	И	189	37	469	506
25,0	контроль	11	206	32	257	289
	$N_{30}R_{30}$ -фон	16	211	37	353	390
	Фон + P_{30}	14	185	47	408	455
	Фон + P_{60}	18	236	54	449	503
	Фон + P_{90}	18	222	49	520	569
50,0	контроль	20	172	31	161	192
	$N_{30}R_{30}$ -фон	22	221	55	340	395
	Фон + P_{30}	24	188	69	369	438
	Фон + P_{60}	22	203	82	380	462
	Фон + P_{90}	24	192	89	417	506

Результаты исследования показали, что впервые фазы развития (первый настоящий лист) растения сои потребляют незначительное количество фосфора. При этом отмечено, что с увеличением содержания подвижной фосфорной кислоты в почве возрастает на контролях в 1,5-4 раза потребление соей фосфора. В этот период заметное влияние на вынос P_2O_5 растениями оказывают лишь высокие дозы фосфорного удобрения.

По окончании вегетативного роста сои различия на контролях по потреблению P_2O_5 соей несколько сглаживается, что обусловлено в основном несбалансированностью азотно-фосфорного питания. Поэтому при внесении азотно-калийного удобрений вынос фосфора возрастает в 2-4 раза при высокой обеспеченности почв подвижными фосфатами.

В период от первого тройчатого листа до окончания вегетативного роста (фаза бобообразования) наибольшее влияние на вынос фосфора соей оказали дозы фосфорного удобрения: на фоне 2,5 мг P_2O_5 на 100 г почвы – P_{60} и P_{90} , 5 мг P_2O_5 – P_{30} , P_{60} ; 11 мг P_2O_5 – действие всех доз очень слабое, 25 мг – незначительно P_{60} , 50 мг – отсутствует влияние.

Поглощение соей фосфорной кислоты не ослабевает до самого созревания. В период бобообразования – созревание потребляется растениями из почвы на контролях от 10 до 45%, по азотно-калийному – 44- 58%, при внесении по НК фону P_{30} – 48-70%, P_{60} – 48-67%, P_{90} – 53-63% P_2O_5 от выноса ее с урожаем. Таким образом, применение удобрений растягивает период потребления фосфора растениями.

5. ЗАВИСИМОСТЬ УРОЖАЯ СОИ АМУРСКАЯ 310 ОТ СОДЕРЖАНИЯ ПОДВИЖНЫХ ФОСФАТОВ В ПОЧВЕННЫХ ФОНАХ

Химизация земледелия Дальнего Востока, повышение культуры его ведения приводит к изменению почвенного плодородия, и увеличению в почвах подвижных форм питательных элементов, в том числе и фосфора. Это отражается и на урожайности возделываемых культур.

В нашем опыте мы изучали на почвенных фонах, разных по содержанию подвижной фосфорной кислоты, урожайность сои Амурской 310 и отзывчивость ее на фосфорные удобрения.

Проведенные наблюдения показали, что при различной обеспеченности почв фосфором наступление фаз развития у сои сорта Амурская 310 было одновременным. Внутри фона варианты между собой отличались незначительно. Соя на контрольных вариантах в фазу первого - третьего настоящих тройчатых листьев имела на один лист меньше, чем при внесении удобрений. Растения имели утонченные стебли, мелкие листья и заметно страдали от азотного голодания.

При дальнейшем развитии сои наблюдалась та же закономерность в нарастании вегетативной массы и в частности сухого вещества (табл. 20).

Таблица 20 – Влияние удобрений на накопление соей сухого вещества
(г на 1 растение)

Варианты	Фоны (P_2O_5 , мг на 100 г почвы)				
	До 2,5	До 5,0	До 11,0	До 25,0	До 50,0
Фаза первого тройчатого листа					
Контроль	0.47	0.48	0.49	0.58	0.60
$N_{30}K_{30}$	0.51	0.56	0.59	0.77	0.74
$N_{30}P_{30}K_{30}$	0.62	0.60	0.60	0.77	0.82
$N_{30}P_{60}K_{30}$	0.66	0.73	0.76	0.81	0.86
$N_{30}P_{90}K_{30}$	0.72	0.68	0.68	0.80	0.79
Фаза бобообразования					
Контроль	4.9	5.0	5.4	5.8	4.4
$N_{30}K_{30}$	6.3	5.6	6.7	6.6	6.1
$N_{30}P_{30}K_{30}$	6.9	8.1	8.2	7.4	7.7
$N_{30}P_{60}K_{30}$	10.2	9.4	10.2	10.6	8.9
$N_{30}P_{90}K_{30}$	12.7	11.3	11.4	12.6	10.1

На контрольных вариантах с повышением содержания подвижного фосфора в почве наблюдается снижение его потребления растениями в период налива бобов. Характерно, что выносы фосфора урожаем при содержании 5, 11 и 25 мг P_2O_5 на 100 г почвы практически одинаковы, а при 50 мг P_2O_5 находится на уровне самого низко обеспеченного фосфатами почвенного фона. Все это говорит о том, что процесс поглощения соей фосфора обусловлено не столько усвояющей способностью ее корневой системой, сколько обеспеченностью растений другими элементами питания,

прежде всего азотом. Внесение в опыте сравнительно небольшой дозы азота (N_{30}) обеспечило резкое повышение выноса фосфора.

На общий вынос растениями фосфора на фоне с 2,5 мг P_2O_5 на 100 г почвы положительно влияли все дозы фосфорного удобрения, с 5 мг P_2O_5 – P_{30} и P_{60} ; с 11 мг P_2O_5 – P_{30} и P_{60} ; с 25 мг P_2O_5 – все три дозы; с 50 мг P_2O_5 – практически лишь P_{90} . Максимальный вынос P_2O_5 составил 569 мг/сосуд.

Таким образом, с повышением обеспеченности почвы подвижными фосфатами потребление соей фосфора будет во многом зависеть от азотного режима.

Расчеты выявили тесную коррелятивную связь между количеством потребленного фосфора соей и содержанием подвижных фосфатов в почве при определении их по методу Гинзбург-Артамоновой, коэффициенты корреляции равны для фазы третьего настоящего тройчатого листа +0,94, для созревания +0,70. Показатели подвижного фосфора, определенного остальными методами имели среднюю коррелятивную взаимосвязь с величинами выноса P_2O_5 растениями (г находится в пределах +0,43 и +0,47).

Следовательно, при оценке фосфорного питания сои лучшие результаты дает метод Гинзбург-Артамоновой (молибдатная вытяжка).

Анализ приведенного материала показал, что соя, потребившая на фонах с 25 и 50 мг P_2O_5 на 100 г почвы наибольшее количество фосфора имела в фазу первого настоящего тройчатого листа и самый высокий вес сухого вещества. Применение азотно-калийного удобрения положительно влияло на него при содержании в почве более 5 мг P_2O_5 , а фосфорные удобрения – на всех почвенных фонах. Исключение составляет лишь доза 90 кг/га действующего вещества. По-видимому, при ее внесении проявляется в не большей степени несбалансированность азотно-фосфорного питания.

На контрольных вариантах с повышением обеспеченности почвы подвижными фосфатами отмечено снижение у сои вегетативной массы, сформировавшейся за период от всходов до окончания бобообразования. Наиболее четко это проявилось при содержании 25 и 50 мг P_2O_5 на 100 г . почвы.

Торможение вегетативного роста сои сопровождалось уменьшением у нее площади ассимиляционного аппарата. Резче всего подобная зависимость прослеживается при внесении на всех фонах, кроме стандартного (до 2,5 мг/100 г почвы P_2O_5), повышенных доз фосфора (табл. 21).

Таблица 21 – Влияние фонов и удобрений на формирование ассимиляционной поверхности листьев сои (dm^2 на 1 растение)

Варианты	Фоны (P_2O_5 , мг на 100 г почвы)				
	До 2,5	До 5,0	До 11,0	До 25,0	До 50,0
Контроль	6,97	6,15	7,60	7,05	6,47
$N_{30}K_{30}$	8,29	7,64	8,20	8,98	9,07
$N_{30}P_{30}K_{30}$	9,06	8,43	8,64	8,67	8,77
$N_{30}P_{60}K_{30}$	10,52	8,98	10,06	10,87	8,89
$N_{30}P_{90}K_{30}$	12,16	11,03	10,29	10,26	9,91

С величиной ассимиляционного аппарата и сухого вещества хорошо коррелирует урожай сои коэффициенты корреляции соответственно равны по годам, $r=+0,89\pm0,11$; $r=++0,86\pm0,10$.

Следовательно, рост продуктивности сои сорта Амурская 310 связан с формированием мощного хорошо облиственного растения.

Соя сорта Амурская 310 очень отзывчива на применение минеральных удобрений на известкованном фоне (табл. 22).

Таблица 22 – Зависимость урожайности сои от содержания подвижного фосфора в почве и доз фосфорных удобрений

Варианты опыта	Фоны (P_2O_5 , мг на 100 г почвы)									
	До 2,5		До 5,0		До 11,0		До 25,0		До 50,0	
	1972	1973	1972	1973	1972	1973	1972	1973	1972	1973
Контроль	12,6	13,5	12,3	17,4	11,9	17,1	12,1	18,8	9,3	14,5
$N_{30}K_{30}$	18,6	19,9	20,4	26,6	19,2	24,1	22,1	25,8	25,8	30,5
$N_{30}P_{30}K_{30}$	21,4	23,1	23,9	28,7	22,9	39,7	23,9	29,7	25,3	33,1
$N_{30}P_{60}K_{30}$	25,3	28,5	33,6	31,2	27,3	34,6	26,1	32,7	26,6	34,1
$N_{30}P_{90}K_{30}$	27,6	31,7	26,1	35,1	32,3	36,5	31,2	37,9	26,7	35,4
м. гр. сосуд	$\pm 0,50$	$\pm 0,91$	$\pm 0,57$	$\pm 0,70$	$\pm 0,82$	$\pm 1,14$	$\pm 0,38$	$\pm 1,24$	$\pm 0,56$	$\pm 0,99$
м. гр. сосуд	$\pm 0,70$	$\pm 1,28$	$\pm 0,80$	$\pm 0,98$	$\pm 1,15$	$\pm 1,60$	$\pm 0,54$	$\pm 1,74$	$\pm 0,78$	$\pm 1,39$

Приведенные в таблице 25 данные показывают, что урожайность сои по мере повышений обеспеченности почвы подвижными фосфатами все в большей степени зависит от азотно-калийных удобрений.

Прибавка при внесении только $N_{30}K_{30}$ - 48-137%. Причем на фоне 50 мг/100 г P_2O_5 чувствуется потребность в применении более высоких доз азота, так как содержание азота в зерне заметно ниже, чем на других фонах (табл. 23).

В опыте четко прослеживается зависимость действия доз фосфорных удобрений от обеспеченности почвы подвижным фосфором.

При содержании его до 11 мг/100 г почвы, все дозы суперфосфата повышают урожай сои. При высокой обеспеченности почвы P_2O_5 (25 мг) доза P_{30} слабо влияет на него, хотя общий уровень в этом варианте находился в тех же пределах, что и на первых двух фонах. При очень высоком содержании в почве подвижных фосфатов (до 50 мг) соя практически не нуждается в фосфорном удобрении.

Наличие питательных веществ в зерне имеет некоторые особенности в зависимости от обеспеченности почвы подвижными фосфатами (табл. 23).

На фоне с 2,5 мг/100 г почвы P_2O_5 содержание в зерне азота повышалось, а фосфора, напротив, снижалось при использовании азотно-калийного удобрений. При внесении по их фону фосфорных удобрений, показатели N, K, P в зерне практически не отличались от контрольного варианта.

На почвенных фонах с 5 мг P_2O_5 и выше, применение азотно-калийных удобрений снижало содержание азота в зерне по сравнению с контролем. Это произошло за счет повышения общей продуктивности растений. Применение фосфорных удобрений вызывало некоторое повышение содержания азота в зерне.

Количество фосфора в зерне увеличивается соответственно с повышением обеспеченности почвы фосфатами, и только при содержании 50 мг P_2O_5 наблюдается снижение.

Следовательно, нарушение физиологической уравновешенности азотно-фосфорного питания сои привело к снижению в зерне в первую очередь фосфора.

В целом для растений, как саморегулирующей системы, свойственно поддержание содержания азота и фосфора в семенах на каком-то одном уровне. Калий в этом отношении не обладает такой стабильностью, его содержание в зерне, при внесении фосфорных удобрений на всех фонах, кроме контрольного (2,5 мг/100 г почвы P_2O_5), заметно снижалось. Признать это положительным явлением нельзя. Видимо, не хватало нужных запасов его в почве.

Таблица 23 – Содержание N, P, K в зерне сои сорта Амурская 310
(в % на абсолютное сухое вещество)

Варианты опыта	Фоны (P_2O_5 , мг на 100 г почвы)														
	До 2,5			До 5,0			До 11,0			До 25,0			До 50,0		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K
Контроль	6,95	1,51	2,06	7,03	1,59	1,92	7,24	1,60	1,77	7,15	1,67	1,86	6,76	1,38	1,88
$N_{30}K_{30}$	7,03	1,30	2,06	6,84	1,52	2,00	7,34	1,55	1,70	6,81	1,62	1,92	6,58	1,31	1,88
$N_{30}P_{30}K_{30}$	6,64	1,49	2,06	6,89	1,54	1,96	7,26	1,59	1,41	6,98	1,64	1,96	6,59	1,33	1,96
$N_{30}P_{60}K_{30}$	6,89	1,49	1,92	6,94	1,55	1,98	7,38	1,61	1,41	7,03	1,64	1,84	6,57	1,35	1,92
$N_{30}P_{90}K_{30}$	6,85	1,49	1,96	7,11	1,48	1,96	7,24	1,57	1,50	7,03	1,66	1,53	6,76	1,38	1,96

Дозы фосфорных удобрений почти не влияли на содержание жира и белка в зерне, но по фонам было заметное различие (табл. 24). С повышением содержания фосфора в почве наблюдалось заметное уменьшение жира и повышение белка в зерне.

При внесении азотно-калийных удобрений качество зерна сои по фонам изменялось по-разному: при содержании подвижного фосфора до 2,5 мг/100 г почвы содержание белка несколько увеличилось по сравнению с контрольным вариантом, при 50 мг P_2O_5 - на уровне контроля, на остальных фонах наблюдалась снижение белка на 1-2%.

На повышенном фоне (50 мг P_2O_5) отмечалось снижение белковости зерна при внесении фосфорных удобрений, в связи с нарушением соотношения NPK.

Для выявления эффективности применения удобрений на почвах с разным содержанием подвижного фосфора нами были рассчитаны коэффициенты корреляции между содержанием подвижного фосфора в почве, определенного разными методами, и урожаем сои сорта Амурская 310.

Результаты сравнительных исследований показали, что при содержании P_2O_5 по методу Кирсанова от 2,5 до 11 мг/100 г почвы наблюдается средняя зависимость между содержанием в почве подвижного фосфора в почве по методу Чирикова с величиной урожай сои получены тесные связи на фоне от 2,5 до 5,0 мг P_2O_5 на 100 г почвы ($r=+0,72+0,57$).

Методы Эгнера-Рима и Карпинского-Замятиной отразили эффективность фосфорных удобрений на фонах от 2,5 до 11,0 мг на 100 г почвы.

Таблица 24 – Влияние почвенных фонов и доз фосфорных удобрений на содержание белка и жира в зерне сои сорта Амурская 310

Варианты опыта	Фоны (P_2O_5 , мг на 100 г почвы)									
	До 2,5		До 5,0		До 11,0		До 25,0		До 50,0	
	белок	жир	белок	жир	белок	жир	белок	жир	белок	жир
Контроль	38,90	19,66	38,40	19,61	42,96	19,34	40,90	18,94	42,23	17,47
$N_{30}K_{30}$	39,66	20,06	38,40	20,36	41,83	19,96	38,13	19,22	41,60	19,06
$N_{30}P_{30}K_{30}$	38,56	20,02	38,20	20,18	41,03	19,94	40,66	19,31	40,76	19,08
$N_{30}P_{60}K_{30}$	40,60	20,07	37,90	20,17	39,06	19,96	40,33	19,31	40,46	18,83
$N_{30}P_{90}K_{30}$	40,00	20,00	38,50	20,24	40,03	19,86	41,63	19,48	42,13	19,24

Методом Гинзбург-Артамоновой выявлены средние коррелятивные зависимости на фонах от 5,0 до 25 мг на 100 г почвы.

При содержании 50 мг P_2O_5 на 100 г почвы эффективность фосфорных удобрений не установлена, поэтому не выявлена и коррелятивная зависимость между содержанием подвижных фосфатов и величины урожая.

Сравнительная оценка методов определения подвижной фосфорной кислоты в основных типах почв Средне-Амурской равнины показало, что при разных условиях почвенной системы применимы разные методы определения P_2O_5 .

Так для слабокультуренных почв следует применить метод Кирсанова, который лучше отражает запас подвижных фосфатов по сравнению с методами Чирикова и Эгнера-Рима.

По мере окультуривания почв, выявляется преимущество метода Гинзбург-Артамоновой, который полнее отражает обеспеченность сои фосфором. На окультуренных почвах следует применять и метод Карпинского-Замятиной, который позволяет установить степень

подвижности фосфатов, то есть интенсивность перехода фосфат-ионов в почвенный раствор.

При оценке обеспеченности генетических горизонтов основных типов почв подвижным фосфором применим метод Гинзбург-Артамоновой. Содержание P_2O_5 в молибдатной вытяжке из почв имеет тесную связь с показателями I и II фракций фосфатов, которые наиболее усвояемы растениями или являются основным резервом подвижного фосфора.

Итак, можно отметить основное:

1. Содержание валового фосфора в почвах Средне-Амурской равнины зависит, главным образом, от его количества в почвообразующих породах. Наиболее им богаты элювиально-делювиальные и озерно-аллювиальные глинистые отложения (109-156,5 мг /100 г почвы). Значительно меньше валового фосфора (50-70 мг) обнаружено в аллювиальных отложениях, представленных песками и супесями.

Биогенная аккумуляция фосфора четко выражена для гумусовых горизонтов всех типов почв, кроме лугово-глеевой, а у бурой лесной слабонасыщенной и для всего почвенного профиля. С усилением восстановительных процессов при периодическом переувлажнении происходит миграция фосфора из верхних горизонтов в нижние. В лугово-глеевой почве обедняется фосфором весь почвенный профиль.

2. Максимальное содержание фосфорорганических соединений отмечено в гумусовом горизонте: в бурой лесной - 31,6, в бурой лесной оподзоленной, в лугово-глеевой и в дерново-аллювиальной в пределах - 37,2 - 37,6, в буро-подзолистой до 41,6, в лугово-бурой - 81,6 мг P_2O_5 на 100 г почвы. Эти показатели составляют 20,7 - 32,7% от валового фосфора.

Распределение органического фосфора по генетическим горизонтам находится в соответствии с содержанием гумуса - коэффициент корреляции между ними равен $+0,70 \pm 0,19$. Поэтому при переходе от гумусового к нижележащим горизонтам почвенного профиля количество фосфора резко убывает до 0,8-12 мг P_2O_5 . Наиболее обеднена им бурая лесная оподзоленная и буро-подзолистая почвы.

Насыщенность гумуса фосфором наибольшая у лугово-бурой (2,5%), бурой лесной (1,77%) и буро-подзолистой почв (1,50%). В подпахотных горизонтах вследствие увеличения фракции фульвокислот насыщенность гумуса фосфорной кислотой снижается до 0,09-0,73%.

Исходя из показателей отношения $C:P_{орг}$, наиболее трудноминерализуемые фосфорорганические соединения представлены в профиле буро-подзолистой и в иллювиальных горизонтах бурой лесной и бурой лесной оподзоленной почв. В остальных типах почв фосфорорганические соединения относятся по Tisdal and Nelson (1956) и легкоминерализующиеся формам.

3. Неорганические фосфаты в почвах Средне-Амурской равнины в $A_{пах}$ составляют 67,3-79,3%, а в нижележащих горизонтах почвенного профиля 90-100% от валового фосфора. При этом на долю растворимых фосфатов,

определенных по методу Гинзбург-Лебедевой, приходится в лугово-бурой - 34,4-40,1%, в лугово-глеевой, дерново-аллювиальной и бурой лесной слабооподзоленной 40,3-50,7%, в буро-подзолистой и бурой лесной оподзоленной - 66,1-80,3% валового фосфора.

Фосфаты I (растворимые фосфаты Ca и Mg, природные трехкальциевые фосфаты и ферри-фосфаты) не превышают в исследованных почвах 3-7 мг на 100 г почвы или 2-4% от валового фосфора. Их содержание зависит от суммы поглощенных оснований, $r=+0,60\pm 0,17$.

Во всех типах почв, несмотря на различие морфологического строения и химического состава, значительная часть минеральных фосфатов представлена фосфатами полуторных окислов. На их долю приходится в бурой лесной слабооподзоленной, лугово-бурой - 24-31%, лугово-глеевой и дерново-аллювиальной 33,1-42,6%, в буро-подзолистой и бурой лесной подзоленной почве - 56,4-62,0% валового фосфора.

Среди фосфатов полуторных окислов преобладают фосфаты железа. Фосфаты алюминия в заметных количествах обнаружены в лугово-глеевой, бурой лесной оподзоленной и буро-подзолистой почве (9,6-15,9% от валового фосфора). В остальных типах почв эта фракция не превышает в пахотном горизонте 5,7% валового фосфора.

Содержание кальций-фосфатов в пахотных горизонтах почв невысокое 3,0-16,0 мг на 100 г почвы, что составляет 2,5-9,8% от валового фосфора.

Отмеченные особенности фракционного состава фосфатов пахотных горизонтов, характерны для всего почвенного профиля изучаемых почв.

4. Фракционный состав минеральных фосфатов изменяется в процессе компостирования почв при переменном режиме увлажнения (90-45% от ПВ).

Чем продолжительнее срок компостирования, тем ниже содержание I фракции и особенно в буро-подзолистой, лугово-бурой и лугово-глеевой почвах. Фосфаты II фракции проявляют тенденцию к увеличению в бурой лесной, буро-подзолистой и лугово-глеевой почвах.

При длительном переменном увлажнении уменьшается содержание алюмо-фосфатов в буро-подзолистой, лугово-глеевой почвах. В почвах более легкого механического состава (бурая лесная и дерново-аллювиальная) оно возрастает. Содержание щелочно-растворимых фосфатов железа уменьшается и наиболее резко в буро-подзолистой почве (с 56,1 до 12,0 мг P_2O_5 на 100 мг почвы).

Количество кальций-фосфатов также снижается во всех типах почв, за исключением дерново-аллювиальной.

Следовательно, при переменном режиме увлажнения для всех почв Средне-Амурской равнины свойственно образование нерастворимых соединений фосфора, вследствие чего снижается содержание всех фракций фосфатов.

5. Почвы Средне-Амурской равнины слабо обеспечены подвижными фосфатами. В пахотных горизонтах бурой лесной оподзоленной, лугово-глеевой, лугово-бурой почв его содержание не превышает 1 мг P_2O_5 на 100 г

почвы. Несколько больше оно в бурой лесной, дерново-аллювиальной почвах (3,2-3,9 мг). Вниз по профилю почв оно еще больше убывает. Содержание подвижного P_2O_5 не зависит от количества валового и органического фосфора. На него оказывало влияние количество обменных оснований в почвах – $r=+0,46\pm 0,17$, содержание растворимых фракций фосфатов – $r=+0,55$ и особенно кальций-фосфатов, $r=+0,60$.

По обеспеченности подвижными фосфатами почвы Средне-Амурской равнины располагаются в следующий ряд: бурая лесная оподзоленная < лугово-глеевая < лугово-бурая < буро-подзолистая < бурая лесная < дерново-аллювиальная.

6. Изучаемые почвы характеризуются очень низкой степенью подвижности фосфора, которая в гумусовых горизонтах варьировала в пределах 0,002-0,028 мг P_2O_5 в литре раствора.

7. Погашение фосфат-ионов удобрений почвами зависит от степени дисперсности их, гидроморфности и реакции среды. Выявлена тесная коррелятивная связь между поглощением P_2O_5 и содержанием илистой фракции в основных типах почв – $r=+0,81\pm 0,14$, а уравнение регрессии имеет вид $Y=47+3,32 X$, где Y – предельное поглощение P_2O_5 в мг на 100 г почвы, X – содержание илистой фракции в %.

Лугово-бурая и лугово-глеевая почвы поглощают до 140 мг P_2O_5 на 100 почвы, буро-подзолистая, бурая лесная оподзоленная и дерново-аллювиальная – 120-135 мг, бурая лесная – 35 мг.

Превращение воднорастворимых фосфатов удобрений идет в направлении образования преимущественно железо- и алюмофосфатов. Этот процесс протекает тем быстрее, чем выше дисперсность и кислотность почв.

После 6-месячного компостирования при переменном увлажнении весь внесенный фосфор (100 мг P_2O_5 на 100 г почвы) полностью извлекался по методу Гинзбург-Лебедевой во всех почвах, кроме буро-подзолистой и бурой лесной оподзоленной, где соответственно 35,9 и 10,9% его количества перешло в нерастворимые формы.

После годичного компостирования большинство типов почв 11 – 34% внесенного фосфора перешло в нерастворимые формы и только в бурой лесной и дерново-аллювиальной он весь входил в состав растворимых фракций.

Известкование ослабляет образование нерастворимых фосфатов во всех типах почв. При этом в первый период компостирования почв (до 6 месяцев) под влиянием извести повышается содержание фосфатов в основном первых трех фракций, при более длительном компостировании и Fe-P.

Содержание подвижного фосфора по Кирсанову при внесении воднорастворимых фосфорных удобрений зависит от емкости поглощения почвой фосфатов. Поэтому в бурой лесной почве, обладающей наименьшей емкостью поглощения почвой фосфатов. Поэтому в бурой лесной почве, обладающей наименьшей емкостью поглощения, при внесении 100 мг P_2O_5 на 100 г почвы содержание подвижной фосфорной кислоты возросло до 23,1 мг. В

остальных почвах, обладающих более высокой емкостью поглощения фосфат-ионов содержание подвижной P_2O_5 не превышало 8-11 мг на 100 г почвы.

В процессе компостирования содержание подвижной P_2O_5 , определенной по методу Кирсанова, убывает и особенно сильно в буро-подзолистой, бурой лесной оподзоленной, лугово-глеевой почвах. В конце срока опыта (1,5 года) в них содержалось 2,9-5,1 мг P_2O_5 , что составляет всего лишь 3-5% от внесенного фосфора. В бурой лесной и дерново-аллювиальной почвах к концу компостирования содержалось почти одинаковое количество подвижного фосфора - соответственно 17,8-15,0 мг P_2O_5 на 100 г почвы.

Известкование повышало во всех почвах содержание подвижной P_2O_5 . Хотя в отдельных типах почв (буро-подзолистой, лугово-бурой и дерново-аллювиальной) при известковании наблюдалось в начальный период, некоторое снижение содержания P_2O_5 по сравнению с неизвесткованным фоном.

Исследования выявили, что все методы (Кирсанова, Чирикова, Эгнера-Рима и Гинзбург-Артамоновой) в одинаковой степени улавливают сходство и различие изучаемых типов почв и их генетических горизонтов по данному признаку. При этом молибдатная вытяжка извлекает наибольшее количество подвижных фосфатов - до 8,8 мг; показатели солянокислой и лактатной вытяжек очень близки (0,8-1,18 мг) для лугово-бурой лугово-глеевой, буро-подзолистой почв и отличны для бурой лесной и дерново-аллювиальной почв соответственно до 0,75 и 4,0 мг P_2O_5 на 100 г почвы. По методу Чирикова извлекалось из всех почв наименьшее количество P_2O_5 (от 0,03 до 1,49 мг).

Содержание P_2O_5 , определенной по методу Кирсанова имеет тесную связь с содержанием P_2O_5 по Эгнеру-Риму - $r=+0,82\pm0,08$, среднюю - по Чирикову - $r=+0,58\pm0,12$ и слабую - по Гинзбург-Артамоновой - $r=+0,27$.

При длительном компостировании почв характер динамики подвижной P_2O_5 , определенной различными методами был неодинаков. Поэтому между показателями, полученными по Кирсанову и другими методами, существовала слабая взаимосвязь - коэффициент корреляции не превышает 0,47.

11. При определении содержания подвижного фосфора в буро-подзолистой почве с различным уровнем их обеспеченности установлена между показателями, полученными по методу Кирсанова и степенью подвижности фосфатов, связь сильная $r=+0,99$, по Чирикову - $r=+0,97$, по Эгнеру-Риму - $r=+0,95$ и по Гинзбург-Артамоновой - $r=+0,82$.

Методы Чирикова и Эгнера-Рима по сравнению с методом Кирсанова не имеют особых преимуществ.

12. При определении зависимости потребления фосфора растениями сои от содержания в буро-подзолистой почве подвижного P_2O_5 по Кирсанову, Чирикову, Эгнеру-Риму имели среднюю коррелятивную связь, $r=+0,43$ - 47 и тесную для показателей, полученных по методу Гинзбург-Артамоновой, $r=+0,70$.

13. Урожайность сои сорта Амурская 310 повышалась при содержании фосфора на 100 г почвы при внесении фосфорных удобрений из расчета 30-90 кг на гектар действующего вещества; до 11,0 мг - 30-60 кг; до 25 мг - 90 кг и до 50 мг - потребность в фосфорных удобрениях не обнаружена. На этом фоне азотно-калийные удобрения обеспечили прибавку урожая (230%).

6. СОЕДИНЕНИЕ ФОСФОРА В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ

6.1 Валовой фосфор

В исследуемых дерново-подзолистых почвах максимальное количество валового фосфора отмечено в перегнойно-аккумулятивном горизонте А. В среднем количество валового фосфора составляет 157 мг, с колебаниями от 102 до 280 мг P_2O_5 на 100 г почвы.

При переходе к иллювиальному горизонту содержание его уменьшается. На распределение фосфорной кислоты по генетическим горизонтам большое влияние оказывает гранулометрический состав почв и интенсивность проявления подзолистого процесса: отмечен некоторый вынос P_2O_5 из горизонта А и накопление его в иллювиальном горизонте В.

Довольно ясно этот процесс выражен в почвах под лесом.

Аккумуляция фосфора в иллювиальном горизонте может быть обусловлено не только процессами выщелачивания, но и более слабым усвоением растениями фосфора из этих горизонтов (П.А. Дмитриенко, 1957). Значительная роль в распределении фосфора по профилю почв, вероятно, принадлежит также корневой системе и деятельности микроорганизмов.

Сопоставление величины общей P_2O_5 и содержания гумуса в горизонте А исследуемых почв показало менее тесную связь между ними. Коэффициент корреляции, рассчитанный по Б.А. Доспехову (1965), несущественный ($r=+0,19$).

Фактическая величина критерия существенности (t_z) значительно меньше стандартного (t допустимого) значения критерия.

Учитывая объемный вес почвы отдельных горизонтов, нами произведен расчет запасов валового P_2O_5 , для слоев в 0-20, 0-50, 0-100 см дерново-подзолистых почв. Оказалось, что общие запасы фосфорной кислоты велики и исчисляются: для пахотного слоя в среднем 5,0 т/га с диапазоном колебаний в 2,6-6,7 т/га. В слое 0-50 см запасы P_2O_5 увеличиваются до 11 т/га, а в метровой толще составляют в среднем 20 т/га. Особенно богаты валовым фосфором почвы тяжелого гранулометрического состава.

Однако, запасы фосфора, в отличие от запасов азота в почве, не всегда соответствуют запасам гумуса (см. рис. 1). Подобные явления были отмечены Д.М. Хейфец (1950).

Несмотря на то, что потенциальные запасы фосфора в исследуемых почвах значительны и их хватило бы на много лет, растения в отдельных случаях испытывают недостаток в фосфоре.

Следовательно, валовое содержание P_2O_5 в почве не является достаточно точным критерием обеспеченности почв фосфором, а характеризует лишь общее богатство почв этим элементом. Для глубокого познания фосфатов с точки зрения их доступности растениям важно раскрытие содержания других форм органических минеральных соединений фосфора и степени их подвижности.

6.2 Органический фосфор

В ходе почвообразовательного процесса общее количество фосфора дифференцируется на органические и неорганические соединения. С помощью кислотно-щелочного метода Д.М. Хейфец (1948) нами установлены количественные соотношения этих соединений.

В результате биологической аккумуляции органического вещества, максимальное содержание фосфорорганических соединений в дерново-подзолистых почвах сконцентрировано в перегнойном горизонте. Абсолютное количество его, переходящего в 4 % NH_4OH и 4,0н HCl – вытяжки, колеблется в пределах 34-90 мг/100г почвы, что составляет 23-46% от валового содержания фосфора.

Обнаружено, что количество органического фосфора и распределение его по генетическим горизонтам находится в коррелятивной связи с содержанием в почве гумуса. Коэффициент корреляции (r) удовлетворяет уровню значимости 0,05 и равен $+0,89 \pm 20$.

Известно, что содержание органического фосфора в гумусе определяет степень обеспеченности его фосфором. Насыщенность гумуса фосфором и показатель отношений $\text{C:P}_{\text{орг}}$, характеризующий элементарный состав гумуса, зависит от степени разложения органического вещества, количественного соотношения в почве продуктов растительного и животного распада и продуктов синтеза микробиологической жизни почвы (П.А. Дмитриенко, 1946). Чем больше в почве продуктов синтеза микрофлоры, тем более она насыщена фосфорными соединениями. В таком случае, в почвах пахотных, окультуренных, с хорошо развитыми аэробными процессами, интенсивнее протекает жизнь микрофлоры, быстрее и активнее идет минерализация органического вещества. По нашим данным содержание органического фосфора в гумусе дерново-подзолистых почв в горизонте А составляет 1,2-2,6%. Соответственно, показатель отношения $\text{C:P}_{\text{орг}}$ характеризуется величинами 23-53. В почвах под лесом отмечено сравнительно низкое содержание фосфора в гумусе и более широкое отношение $\text{C:P}_{\text{орг}}$, что связано с наличием в органическом веществе почв большого количества еще неразложившихся растительных остатков, преобладанием их над продуктами бактериального распада. Вниз возрастает, а показатель отношения $\text{C:P}_{\text{орг}}$ уменьшается.

Полученные данные согласуются с результатами исследований других авторов (Хейфец, 1948; А.В. оков, 1950; Болотина, 1960). Д.М. Хейфец (1948) считает, что такая закономерность объясняется устойчивостью фосфорорганических соединений и отсутствием условий для их разложения в нижележащих горизонтах.

По мнению А.В. Соколова (1950) в почвах могут встречаться все формы органического фосфора, свойственные растениям и животным. Разделение фосфорорганических соединений в почвах на отдельные группы по Д.М. Хейфец (1948), основано на различной растворимости их в кислотах

и щелочах. Автор метода предполагает, что в солянокислую вытяжку из почв переходят преимущественно органофосфаты типа фитина, а в аммиачную – соединения типа нуклеиновых кислот.

Распределение органического фосфора между двумя типами этих соединений в дерново-подзолистых почвах далеко не равномерное. Как свидетельствуют данные таблицы в аммиачную вытяжку из перегнойного горизонта А переходит от 12 до 50 мг/100г почвы органического фосфора, что составляет 19-56% от общего его содержания.

Значительная часть органического фосфора (44-81%) в рассматриваемых почвах представлена кислотнo-растворимыми формами и сконцентрирована в основном в перегнойно-аккумулятивном горизонте. Максимум отмечен в почвах под лесом – 81 % от общего содержания фосфорорганических соединений. Несколько меньшее количество кислотнo-растворимого органического фосфора найдено в гумусовом горизонте пахотных угодий.

Такое разнообразие в содержании фосфорорганических соединений внутри типа почвы, неравномерное распределение их по генетическим горизонтам объясняется неодинаковым количеством гумуса, различной биологической активностью почв. Существенное влияние, как указывает П.А. Дмитриенко (1948) оказывает возраст почвы и неидентичные условия почвообразования. Несмотря на относительно высокое количество органического фосфора в дерново-подзолистых почвах, оно не может обеспечить потребность сельскохозяйственных растений в фосфоре, т.к. доступность его увеличивается, главным образом, только после минерализации органического вещества. Мобилизация же фосфора из его органических соединений в условиях Восточной Сибири низка, вследствие слабой биологической активности почв, обусловленной резкой континентальностью климата (Б.В. Надеждин, 1957; О.В. Манеев, 1959; К.А. Козлов, 1959). Следовательно, основными носителями доступной растениям фосфорной кислоты в почве являются минеральные фосфаты, разнообразные вторичные их образования, возникающие как в результате почвообразовательного процесса, так и производственной деятельности человека.

6.3 Неорганический фосфор

Общее количество неорганических фосфатов, определенных методом Д.М. Хейфец (1948), в перегнойном горизонте А дерново-подзолистых почв колеблется в пределах 54-90 мг P_2O_5 на 100 г почвы.

Относительно повышенное количество их отмечено в слабокультуренной почве (разрез 116) более низкое в почвах под лесом. Следует отметить, что по данному методу из почв извлекается только часть фосфора – 60-75% от валового его содержания. Значительную долю не извлекаемых фосфатов составляют, видимо, минеральные соединения.

Доказательством этому явилось дальнейшее разделение неорганических фосфатов, проводимое по методу Chand a. Jackson (1957).

В ходе анализа минеральных фосфатов по данному методу выделяется три стадии.

Фосфаты полуторных окислов со значительным преобладание фосфатов железа максимально сосредоточены в перегнойно- аккумулятивном горизонте А, затем количество их несколько снижается и вновь возрастает в иллювиальном горизонте.

Довольно редко этот процесс выражен в почвах, занятых лесом, где под влиянием подзолистого процесса идет разрушение минеральной части почв, перемещение ее отдельных компонентов, в том числе и фосфора, в нижележащие горизонты. Несмотря на высокое содержание в почвах подвижного железа, между его количеством и содержанием Fe-P в почвах корреляционной связи не обнаружено. На отсутствие таковой в почвах лесостепи Предбайкалья указывает также Л.Н. Костюхин (1966).

Фосфаты алюминия в перегнойном горизонте почв составляют 12-23% от валового содержания фосфора, далее, вниз и материнской породе количество их постепенно падает.

Фосфаты кальция по профилю дерново-подзолистых почв распределены неравномерно. Максимум обнаружен в верхней части профиля. Затем количество их несколько уменьшается и вновь возрастает в глубоко лежащих горизонтах, что очевидно, связано с меньшим выносом солей кальция корнями растений с больших глубин и высокой насыщенностью основаниями материнских пород.

Карбонатность последних значительно ослабляет подзолистый процесс в данных почвах (Б.В. Надеждин, 1957; О.В. Манеев, 1959) и в целом, оказывает существенное влияние на фракционный состав фосфатов.

Значительная часть фосфора в гумусовом горизонте 8-16% от валового его содержания обнаружена в остатке почвы после выделения группы «активных» фосфатов. В распределении его по профилю исследуемых почв определенной закономерности не выявлено: некоторая аккумуляция отмечена в иллювиальном горизонте, возможно, за счет накопления здесь восстановленных «растворимых» и «окклюдированных» форм фосфатов железа и алюминия.

Работами ряда исследователей (Чириков, Александрова, 1952; Перегуда, 1963) уже было дано подтверждение известного высказывания П.А. Костычева (1940) о том, что соотношение между группами фосфатов характерно для определенного типа почвы и обуславливается совокупным влиянием всего комплекса почвенных условий. Мы представили соотношение отдельных групп «активных» фосфатов в виде отношения

фосфатов кальция к сумме фосфатов железа и алюминия
$$\frac{Ca - P}{Al - P + Fe - P}$$

оказалось, что для верхнего гумусового горизонта исследуемых почв показатель отношения колеблется в пределах 0,35-0,59.

Несколько повышен он в дерново-подзолистой окультуренной почве (разрез 191), более богатой фосфатами кальция. Изменения в соотношении отдельных фракции фосфора в процессе почвообразования неизбежно

сопровождается увеличением или уменьшением показателя, $\frac{Ca - P}{Al - P + Fe - P}$ следовательно, последний может быть, использован нетолько для суждения о формах фосфатов, но и для характеристики профиля почв. Относительное увеличение фосфатов кальция и уменьшение фосфатов алюминия в нижележащих горизонтах рассматриваемых почв ведет к значительному возрастанию показателя отношения $\frac{Ca - P}{Al - P + Fe - P}$ до 0,51 – 0,98.

6.4 Подвижность фосфора дерново-подзолистых почв

Наличие в рассматриваемых почвах свыше 60% от валового содержания P_2O_5 «активных» форм минеральных фосфатов говорит о том, что в исследуемых почвах имеется большой резерв фосфора, способного переходить в раствор и в определенных условиях быть доступным для питания растений.

Обычно для характеристики обеспеченности почв доступным для растений фосфором учитывают два показателя: запас подвижного фосфора и степень его подвижности.

Все имеющиеся методы определения подвижного фосфора дают на различных типах почв не одинаковые результаты, что является следствием применения разных растворителей (Д.М. Хейфец, 1964; А.В. Соколов, 1968). Сравнительное изучение кислоторастворимого фосфора, определенного несколькими методами Кирсанова, Чирикова, Францессона показало, что наибольшая корреляция данных химического анализа в данных вегетационных опытов по отзывчивости яровой пшеницы на фосфорные удобрения на дерново-подзолистых почвах наблюдается при использовании методов Кирсанова и Чирикова.

При сопоставлении показателей выявлена корреляционная зависимость между методами Кирсанова и Чирикова ($r=0,75 \pm 0,29$). Между данными методов Кирсанова и Францессона такой тесной связи не обнаружено ($r=+0,66 \pm 0,31$) что, очевидно, объясняется разным составом и основой фосфорных соединений, вытесняемых применяемыми растворителями.

Из данных таблицы 25 отчетливо выявляется большой диапазон колебаний в содержании подвижного фосфора. Пестрота в содержании фосфатов в рассматриваемых почвах может быть обусловлена как окультуренностью их, так и условиями почвообразования, интенсивностью проявления в них дернового и подзолистого процессов.

Установлена тесная зависимость между валовым запасом P_2O_5 в дерново-подзолистых почвах и содержанием в них кислотнорастворимой

фосфорной кислоты по Кирсанову. Коэффициент корреляции для гумусового горизонта равен $0,85 \pm 0,23$.

Количество подвижного P_2O_5 в почве определяется не только валовым его содержанием, но и другими агрохимическими свойствами почв. Получена средняя положительная корреляция между накоплением гумуса в перегнойном аккумулятивном горизонте почв и содержанием в нем подвижного фосфора ($r=0,64 \pm 0,28$).

Таблица 25 – Содержание различных форм фосфора в почве

№ разреза	Почва, угодия	Горизонт, глубина, см		Валовая P_2O_5	Подвижная P_2O_5 по Кирсанову	% подвижного P_2O_5 от валового фосфора
116	Дерново-подзолистая	A_n	0-20	153	8	5,2
		A_2	22-30	163	7	4,3
	Средне-суглинистая пашня	B_1	40-50	178	8	4,6
		B_2	70-80	126	7	5,7
		B_2	100-120	94	8	8,1
		B_3	130-140	88	9	10,0
		C	170-180	131	13	10,0

Для данных почв в гумусовом горизонте наблюдается довольно тесная связь между содержанием подвижной P_2O_5 и суммой поглощенных оснований (коэффициент корреляции равен $0,75 \pm 0,29$).

Между подвижным алюминием и количеством фосфора для всех генетических горизонтов дерново-подзолистых почв отмечена отрицательная зависимость.

Распределение подвижного фосфора по профилю обусловлено многими свойствами почв. Вследствие биологической аккумуляции максимум подвижной фосфорной кислоты обнаружен в перегнойно-аккумулятивном горизонте А с глубиной происходит некоторое снижение P_2O_5 в элювиальном горизонте и увеличение его в иллювиальном. Значительное влияние на накопление кислоторастворимого фосфора в отдельных горизонтах оказывает гранулометрический состав почв.

Запасы подвижного P_2O_5 , рассчитанные для слоев 0-20, 0-50, 0-100 см дерново-подзолистых почв.

Данные свидетельствуют о том, что резервы подвижного P_2O_5 в горизонте А велики. Если еще учесть запасы фосфора в подпахотном слое, то исследуемые почвы характеризуются значительным богатством и вполне могут удовлетворять потребности растений в этом элементе питания в течение многих лет.

В последнее время для характеристики почв в отношении их способности обеспечивать растения фосфором наряду с запасом подвижной фосфорной кислоты (фактора емкости) существенное значение приобретает другой показатель – подвижность почвенного фосфора, т.е. интенсивность

перехода фосфат-ионов почв в раствор. В качестве показателя на подвижности может быть использована степень насыщенности почвы фосфат-ионами (Карпинский, 1958, Замятина, 1960), величина которой изменяется концентрация P_2O_5 в солевой (0,03н K_2SO_4) вытяжке, в мг на литр раствора.

Анализ данных таблицы 26 показал, что степень подвижности фосфат-иона в дерново-подзолистых почвах значительна. С глубиной профиля она заметно снижается, особенно в иллювиальных горизонтах, что очевидно, связано с увеличением здесь полуторных окислов, отрицательно влияющих на подвижность фосфатов.

Ряд авторов (Антипина, 1965; Рахуба, 1964; Чупринов, 1967) указывает, что с повышением содержания P_2O_5 в солевой вытяжке, что свидетельствует об увеличении степени подвижности фосфатов (фактора интенсивности).

Для исследуемых дерново-подзолистых почв между этими показателями получена высокая корреляция, коэффициент которой равен $0,89 \pm 0,24$.

Степень подвижности фосфат-иона в почве не постоянна и зависит от: а) свойств самой почвы и б) сезонной динамики почвенных процессов (Карпинский, Замятина, 1958; Глазунова, 1962 и др.). Вынос фосфора с растением изменение влажности почв, температурного градиента сопровождается изменением концентрации P_2O_5 в 0,03 н K_2SO_4 – вытяжке. Как отмечают авторы, данная величина может служить хорошим показателем потребности почв в фосфорных удобрениях, давая достоверную корреляцию между степенью подвижности P_2O_5 , урожаем и выносом им фосфора из почвы.

Таблица 26 – Содержание кислоторастворимой P_2O_5 и степени подвижности Р-иона в перегнойном горизонте (по Замятиной, 1960)

№ разреза	почва	P_2O_5 мг/100г почвы		P_2O_5 в 0,03н K_2SO_4 вытяжке мг/литр
		По Кирсанову	По Францессону	
116	Дерново-подзолистая среднесуглинистая	8,0	1,2	0,18

6.5 Действие фосфорных удобрений на дерново-подзолистых почвах

Как отмечалось выше, дерново-подзолистые почвы характеризуются следующими агрохимическими показателями: содержание гумуса в слое 0-20см колеблется от 1,9 до 3,6%, общего азота – 0,09-0,28%, рН солевой вытяжки 5,0-5,5, гидролитическая кислотность 1,7-5,4 мг/экв, сумма поглощенных оснований 13-24 мг/экв на 100 г почвы. Валовой фосфор составляет в среднем 157 мг на 100 г почвы, 36% которого приходится на органические и 64% - на минеральные соединения. Минеральные соединения

фосфора представлены фосфатами алюминия – 25%, фосфатами железа – 40% и фосфатами кальция – 25%.

Для вегетационных опытов использовались почвы значительно отличающихся как по естественному, так и эффективному плодородию.

Данные показывают, что урожай растений в неудобренных сосудах дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы ниже, чем на аналогичной почве тяжелого гранулометрического состава. Это вполне согласуется с агрохимическими свойствами и общим плодородием исследуемых почв. При внесении азотно-калийных удобрений урожай пшеницы вырос, что свидетельствует о бедности почв подвижными формами азота. Добавка к азотно-калийному фону фосфора (варианты NP_1K и NP_2K) в опыте на дерново-подзолистой почве с высокой обеспеченностью подвижными фосфатами (19,2 мг/100г почвы) не оказала заметного положительного влияния на урожай пшеницы.

Двойная доза фосфора повысила урожай зерна на 8%, что является математически достоверным.

На дерново-подзолистой легкосуглинистой почве содержащей 8 мг P_2O_5 на 100г почвы, внесение фосфора увеличило урожай зерна с 12,7 ц до 15,9-16,4 ц (или на 25-29%) по сравнению с урожаем в варианте НК.

Неодинаковые условия обеспеченности почв подвижными формами фосфора отразилось и на накоплении его в растениях. Так в опыте на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве на контрольном (неудобренном варианте) в зерне пшеницы содержится 1,19%, в соломе – 0,68%, а на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве – в зерне 1,00% и 0,59% P_2O_5 в соломе. Соответственно меньше и вынос фосфора растениями.

На фоне азотно-калийных удобрений, а также при дополнительном внесении в почву фосфора, процентное содержание общей P_2O_5 в растениях снижается.

В подобных случаях, как отмечает П.А. Дмитриенко (1957), улучшение азотного режима благоприятно влияет на условия использования фосфора растением и способствует накоплению его в органической форме. Фосфор растениями используется более рационально, относительное содержание его в зерне и соломе снижается, а урожай резко увеличивается.

Аналогичное явление наблюдается и в наших опытах, более рельефно выраженное на почве тяжелого гранулометрического состава, богатой подвижными фосфатами.

Вынос фосфора из почвы и удобрения определяется процентным содержанием его в растениях и величиной урожая. На незначительную разницу в урожаях, вынос P_2O_5 – растением выше почти в 2 раза из дерново-подзолистой почвы тяжелого гранулометрического состава, более обогащенной подвижными фосфатами.

С увеличением урожая от применения азотно-калийных и фосфорных удобрений вынос P_2O_5 резко возрастает на обеих почвах.

Таким образом, вегетационные опыты довольно ясно показывают, что урожай растений на дерново-подзолистых почвах находится в определенном соответствии с содержанием в них кислоторастворимого фосфора. Чем выше урожай пшеницы по азотно-калийному фону, тем больше вынос фосфора растением и меньше прибавка урожая зерна от внесения фосфорного удобрения.

Прежде всего, обращает на себя внимание низкий урожай пшеницы на неудобренных вариантах – 10,4-11,5 ц/га, что впервые очередь связано с низким общим плодородием этих почв.

На фоне высоких прибавок зерна пшеницы от азота (12-16 ц/га) в опытах получены значительно меньшие прибавки от фосфорных удобрений с колебанием по годам и почвам от 1,8 до 2,1 ц/га к урожаю контрольного варианта (НК).

Величина прибавок от фосфора находится в зависимости от исходного плодородия почв, содержания в них подвижного фосфора и усвояемого азота.

Более отзывчивыми на внесение фосфорных удобрений оказались дерново-подзолистые легкосуглинистые почвы, где прибавка зерна от суперфосфата на фоне НК составила 2,1 ц/га.

В накоплении фосфора в растении на отдельных вариантах опытов нет существенной разницы. По содержанию P_2O_5 относительно богаче пшеница в опыте на дерново-подзолистой почве тяжелого гранулометрического состава. При внесении удобрений содержание фосфора в урожае значительно возрастает с 0,96 до 1,24% P_2O_5 на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве и с 1,02 до 1,4% на тяжелосуглинистой.

Размер общего выноса фосфора из почвы определяется количеством урожая. Низкий вынос P_2O_5 отмечен в урожае с неудобренного варианта опыта – 14 кг/га. Внесение азотно-калийных, а также полного минерального удобрения (NPK) во всех случаях способствовало резкому увеличению выноса фосфора из почв урожаем. Степень использования питательных веществ растениями характеризуются выносом их в расчете на единицу полученного урожая зерна. Вынос P_2O_5 на 1 ц основной продукции в зависимости от вариантов опытов изменяется: на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой от 1,34–1,93 кг и на дерново-подзолистой легкосуглинистой 1,2-1,62 кг. Таким образом, более низкий расход фосфора наблюдается на почве легкого гранулометрического состава слабо обеспеченной подвижными фосфатами.

Минеральные удобрения при наличии достаточного количества влаги в почве положительно действуют не только на урожай зерна, но и на его качество. Установлено, что наибольшей белковостью отмечается зерно пшеницы по азотному фону, а также при внесении в почву полного минерального удобрения – NPK (Журбизкий, 1963; Мосолов, Карандашов, 1964; Папицкая, 1967). Важная роль в формировании зерна с высоким качеством отводится погодным условиям (Осипова, 1964; Угаров, 1965; Маркадянов, 1966; Попкова, 1968). Суперфосфат иногда может оказывать

положительное воздействие на качество зерна (Кудзин, Мельниченко, 1960; Суднов, 1965), а в некоторых же случаях оно отсутствует (Глуховский, Полянова, 1968; Стрельникова, 1968).

Такая разная направленность в действии фосфора на качественные показатели зерна, по мнению авторов, объясняется различным влиянием его на азотистый обмен и синтез белка в растениях. Резкий недостаток фосфора отрицательно сказывается на синтезе нуклеиновых кислот и через них на синтезе белка. Преобладание в питательной среде фосфора над азотом ведет к уменьшению белка в нем (Мосолов, Карандашов, 1964).

В таблице 27 приведены данные, характеризующие некоторые качественные показатели яровой пшеницы в полевом опыте на дерново-подзолистых почвах.

Абсолютный вес 1000 семян является ценным показателем физических свойств зерна пшеницы. В нашем опыте фосфорно-калийные удобрения существенного влияния на абсолютный вес зерен не показали, увеличив его лишь на 1,5 г. В то же время дополнительное внесение азота способствовало значительному возрастанию веса – на 5,8 г по отношению к контрольному (без удобрений) варианту.

Таблица 27 – Влияние удобрений на содержание белка в зерне и абсолютный вес 1000 зерен

Вариант	Урожай, ц/га	Вес 1000 зерен, г	Содержание белка, % (N 5,7)	Содержание белка, кг/га
Контроль (без удобрений)	10,5	25,2	16,5	91
P ₆₀ K ₆₀	11,7	26,7	17,1	104
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	29,9	31,0	19,4	267

Содержание протеина в зерне пшеницы по неудобренному фону составило 16,5% и 17,1% на фоне РК. Внесение полного минерального удобрения (NPK) повысило количество протеина в зерне яровой пшеницы до 19,4%. Соответственно общий вынос протеина урожаем увеличился с 91 кг/га до 104 кг/га и 267 кг/га.

Итак, улучшение азотного режима дерново-подзолистых почв является необходимым условием эффективного использования фосфатных удобрений и фосфатов самих почв. Правильное сочетание фосфорных удобрений с азотно-калийными способствует получению высоких урожаев пшеницы с хорошим качеством зерна.

На основании отмеченных выше особенностей почв, в отношении накопления фосфатов, распределения их между органическими и минеральными соединениями P₂O₅, различной доступности их растениям в своеобразных почвенно-климатических условиях Восточной Сибири, можно сказать следующее:

1. Перед внесением фосфорных удобрений для более эффективного использования их растениями необходимо учитывать плодородие почв в целом, обеспеченность их другими элементами питания и в особенности азотом.

2. На почвах, бедных органическим веществом (дерново-подзолистых легкосуглинистых, светло-серых лесных, серых оподзоленных) фосфорные удобрения, даже в случае слабой обеспеченности почв фосфорной кислотой, следует вносить только в сочетании с азотными.

3. На серых лесных неоподзоленных и темно-серых черноземовидных почвах с большим запасом кислоторастворимого фосфора для его мобилизации и более интенсивного усвоения растениями, необходимо вносить азотные удобрения. Применение суперфосфата без азотных удобрений можно практиковать лишь под культуры, идущие по пару или ранней августовской зяби.

4. Учитывая относительную подвижность фосфора в почвах Восточной Сибири, возможно, основную часть фосфорных удобрений целесообразно вносить осенью в более глубокие слои почвы. Сочетая этот прием с внесением при посеве небольших доз фосфора.

7. СОЕДИНЕНИЕ ФОСФОРА В СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВАХ

7.1 Валовой фосфор

Выше отмечалось, что неоднородность материнских пород по содержанию в них фосфора и направление процесса почвообразования являются основными причинами различной обеспеченности почв фосфором.

Валовое содержание фосфора в материнских породах рассматриваемых почв составляет 0,11-0,17%. Количество валовой фосфорной кислоты в верхнем горизонте почв колеблется в значительных пределах и зависит от степени проявления в почвах дернового и подзолистого процессов.

По среднему содержанию общего P_2O_5 исследуемые почвы располагаются в определенный ряд, который соответствует в какой-то мере и количеству гумуса в них: темно-серые лесные > серые лесные > светло-серые лесные. Хотя прямой зависимости между количеством гумуса и валовой P_2O_5 в почвах не наблюдается.

Распределение фосфорной кислоты по профилю отдельных подтипов почв различно и обусловлено их генетическими особенностями. В темно-серой лесной почве, характеризующейся слабо развитым процессом оподзоливания, а иногда вообще отсутствием его, максимум валовой P_2O_5 – сконцентрирован в перегнойно-аккумулятивном горизонте. Вниз по профилю наблюдается постепенное снижение его. В серой лесной оподзоленной почве количество валовой фосфорной кислоты в гумусовом горизонте значительно меньше, по сравнению с темно-серой лесной почвой, но изменение ее при переходе от перегнойного горизонта и элювиальному более резкое. Все горизонты, лежащие ниже элювиального, характеризуются довольно близкими величинами P_2O_5 , которое мало отличается от количества ее в материнской породе. Наблюдается лишь слабое увеличение P_2O_5 в иллювиальном горизонте В. В светло-серой лесной слабооподзоленной почве в гумусовом горизонте найдено самое низкое содержание валового фосфора. С глиной количество его падает, особенно в элювиальном горизонте. Далее к материнской породе оно вновь возрастает.

Запасы общей фосфорной кислоты в серых лесных почвах значительны. Отмечены большие различия в запасах P_2O_5 внутри одного генетического подтипа и между ними. Установлено, что от светло-серых лесных к темно-серым лесным почвам общие запасы валового фосфора возрастают. Следовательно, в результате развития дернового процесса в почвах идет накопление гумуса и обогащение его фосфорной кислотой.

Некоторые авторы (Славина, 1949; Хохлова, 1966) указывают на прямолинейную связь между запасами в почвах гумуса и запасами валового фосфора.

Наши результаты также подтверждают эту закономерность и оттеняют генетические особенности исследуемых почвенных разностей. С

возрастанием запасов гумуса от светло-серых лесных почв к темно-серым лесным наблюдается увеличение общих запасов валового P_2O_5 (рис. 1).

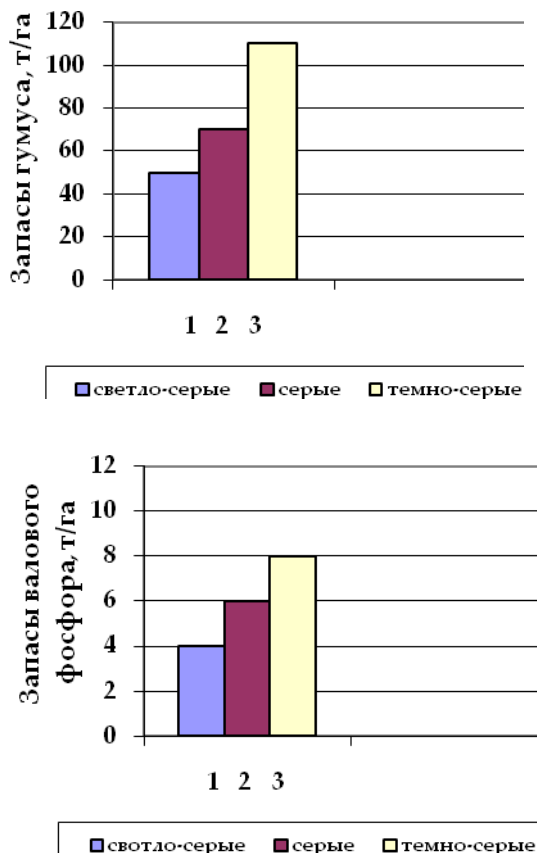


Рисунок 1 – Запасы гумуса и валового фосфора в пахотном слое светло-серых лесных, серых лесных и темно-серых лесных почв

7.2 Органический фосфор

Данных о соотношении фосфора органических и минеральных соединений в серых лесных почвах лесостепи Прибайкалья очень мало. По исследованиям А.Н. Угарова (1965), содержание органического фосфора в верхнем гумусовом горизонте серых лесных почв составляет 29-35% от валового его содержания. По данным Л.Н. Костюхина (1966), количество фосфорорганических соединений в серых лесных почвах колеблется в пределах 27-33% от общего P_2O_5 .

Наши результаты, относительно близки к таковым вышеуказанных авторов. Абсолютное содержание фосфорорганических соединений суммарного переходящего в кислотную и щелочную вытяжку (метод Хейфец,

1948), подвержено большим колебаниям и составляет от 30 до 49% валового P_2O_5 . Установлено, что накопление органического фосфора находится в тесной зависимости от количества гумуса в почве. Коэффициент корреляции между этими показателями удовлетворяет уровню значимости 0,05 и равен $0,9 \pm 0,21$. С глубиной профиля количество фосфорорганических соединений уменьшается параллельно снижению в почве гумуса. В темно-серых лесных почвах этот процесс происходит более постепенно, чем в серых лесных.

Различия в содержании органического фосфора в пределах одного подтипа серых лесных почв можно объяснить неодинаковым количеством гумуса, его качественным составом и различной заселяемостью почв микроорганизмами. Важную роль играет также производственная деятельность человека.

Обогащенность гумуса органическим фосфором характеризует потенциальные возможности почв в отношении обеспечения растений фосфором по мере минерализации органического вещества.

Литературных данных по характеристике насыщенности фосфором гумуса серых лесных почв лесостепи Прибайкалья нет, поэтому сравнение мы проведем с результатами по исследованию одноименных почв в европейской части России и Западной Сибири.

В соответствии с данными Д.М. Хейфец (1948) в гумусе серой лесной среднеподзоленной почвы содержится 1,78% органического фосфора, с глубиной количество его возрастает до 2,4%.

По данным М.Н. Бурангуловой (1963), в серых лесных почвах содержится 1,5-4,9%, а в темно-серых – 2,6-6,7% фосфора органических соединений. В гумусе серых лесных почв Томской области (Славнина, 1954) содержится 0,55-0,78% органического фосфора.

Согласно нашим исследованиям, содержание фосфорорганических соединений в гумусе перегнойно-аккумулятивного горизонта рассматриваемых почв колеблется от 1,48 до 2,12%. Очень низкий процент P_2O_5 (1,48%) обнаружен в гумусе серой слабоподзоленной почвы, занятой смешанным лесом.

Необходимо отметить, что обогащенность фосфором вниз по профилю почв возрастает, достигая в нижележащих горизонтах 4-5,6%. Это говорит о накоплении в гумусе нижних слоев серых лесных почв, высокомолекулярных соединений фосфора и отсутствие условий для их разложения. Полученные нами данные по насыщенности гумуса отдельных генетических горизонтов органическим фосфором в основном согласуются с результатами исследований других авторов.

Отношение углерода к органическому фосфору $C_{орг}:P_{орг}$, как показатель элементарного состава гумуса, находится в обратной зависимости от степени обогащенности гумуса органическим фосфором. Для почв с высоким процентным содержанием фосфатов в гумусе, как показатель отношения $C_{орг}:P_{орг}$ выражен в пределах 24-27.

Относительно высокое содержание фосфорорганических соединений в исследуемых почвах говорит о том, что они могут накапливаться только в результате аккумуляции стабильных форм фосфора, а не лабильных ее фракций. Можно полагать, что большая часть органического фосфора серых лесных почв представлена весьма сложными высокополимерными соединениями типа нуклеинового комплекса.

В перегнойном горизонте серых лесных почв обнаружено кислоторастворимых фосфорорганических соединений 40-68% от общего органического P_2O_5 . В темно-серой лесной почве содержания их снижается и составляет 37% от общей суммы органического фосфора. Вниз по профилю в этих почвах как абсолютное, так и относительное количество кислоторастворимого органического фосфора уменьшается.

Отмеченный своеобразный характер распределения фосфорорганических соединений между двумя комплексами в серых лесных почвах связан с влиянием нескольких факторов. Ведущими среди них являются факторы почвообразования – климат, растительный и животный мир, деятельность человека. Все формы органического вещества подвержены в той или иной степени процессам распада и синтеза, они динамичны и находятся в состоянии непрерывного изменения и превращения.

Огромные запасы фосфорорганических соединений в серых лесных почвах говорят о высоком потенциальном плодородии данных почв в отношении фосфора.

Однако, ввиду континентальных климатических условий юга Восточной Сибири, слабой фосфатазной и нуклеидной активности почв, процессы синтеза органического вещества в них значительно преобладают над процессами распада (Надеждин, 1957; Мане, 1959; Булгадаева, Нечесов, 1968).

Следовательно, возможность превращения фосфора органических соединений в минеральные очень мала. Лишь определенная система агротехнических мероприятий (внесение навоза, азотных удобрений, фосфоробактерина), направленных на создание благоприятных условий для микробиологических процессов может явиться положительным фактором мобилизации фосфорной кислоты органического вещества в этих почвах.

7.3 Минеральный фосфор

Главным источником доступного растениям фосфора являются его минеральные соединения. Общее количество неорганических фосфатов, извлекаемое солянокислой и аммиачной вытяжками по методу Д.М. Хейфец (1948), в гумусовом горизонте исследуемых почв колеблется от 68 до 104 мг P_2O_5 на 100 г почвы, что составляет 51-70% валового содержания P_2O_5 . Основная часть их представлена кислотнорастворимыми формами и лишь 8-10% общего количества неорганического фосфора приходится на аммиачно-растворимые соединения.

Максимум минеральных фосфатов обнаружен в серых лесных почвах. Темно-серые лесные почвы ввиду относительного высокого содержания их органическим фосфором, характеризуются меньшим содержанием неорганических фосфатов. По мере углубления профиля абсолютное и относительное количество минерального P_2O_5 в почвах возрастает.

Фракционирование фосфатов по видоизмененному методу Чанга-Джексона (Аскинази, 1963) показало весьма тесную связь их с генетическими показателями отдельных подтипов серых лесных почв.

Из результате анализа видно, что от 56 до 70% валовой P_2O_5 в гумусовом горизонте рассматриваемых почв составляют «активные формы» фосфатов.

Распределение их по фракциям фосфора между отдельными подтипами почв очень неравномерное. В серых лесных слабооподзоленных почвах преобладающими формами фосфора являются соединения его с алюминием и железом, составляющие в гумусовом горизонте 27-35% от общего P_2O_5 .

С глубиной профиля количество алюмофосфатов постепенно снижается, содержание же фосфатов железа возрастает, достигая максимума в иллювиальном горизонте почв. Фосфаты кальция в перегнойном горизонте составляют 19-24%, вниз по профилю количество их увеличивается до 44% от валового содержания P_2O_5 .

В серых лесных неоподзоленных почвах накопление различных фракции минерального фосфора происходит несколько по-иному. В гумусовом горизонте наблюдается снижение количества фосфора, связанного с железом и алюминием, и относительное увеличение в нем фосфатов кальция. С глубиной профиля в содержании фосфатов полуторных окислов, особенно соединений фосфора с алюминием, отмечается тенденция к их уменьшению. Количество фосфатов кальция, наоборот, возрастает до 40-60%, что очевидно связано с высокой насыщенностью основаниями в глуболежащих горизонтах почв.

В темно-серых лесных почвах, где процессы оподзоливания отсутствуют или проявляется очень слабо, значительную часть среди «активных» форм фосфора занимают фосфаты кальция. Абсолютное количество их в перегнойно-аккумулятивном горизонте колеблется в пределах 61-84 мг P_2O_5 на 100 г почвы, что составляет 26-34% от валового фосфора. В нижележащих горизонтах профиля содержание их возрастает до 67-73% от общего фосфора. Вместе с тем, в данных почвах, хотя и в меньшей степени идет накопление фосфора, связанного с полуторными окислами. Максимум алюмофосфатов (13-15%) обнаружено в верхней части профиля. Вниз, к материнской породе идет редкое снижение их до 3-4% от валового P_2O_5 . В поведении фосфатов железа наблюдается слабое увеличение их в иллювиальном горизонте почв.

Некоторое представление о преобладании тех или иных фосфатов минеральной группы в различных подтипах серых лесных почв дает также показатель отношения в них фосфатов кальция к фосфору, связанному с

полуторными окислами. Для перегнойно-аккумулятивного горизонта серых лесных слабоподзоленных почв он выражается величиной 0,42-0,43, очень близкой к таковой в дерново-подзолистых почвах. Такой низкий показатель

отношения $\frac{Ca - P}{Al - P + Fe - P}$ говорит о значительном преобладании в данных почвах фосфатов алюминия и железа над фосфатами кальция. Повышение показателя в серых лесных неоподзоленных и темно-серых почвах 0,84-0,9 свидетельствует об относительном увеличении в них содержания фосфора, связанного кальцием. Повышение показателя в серых лесных неоподзоленных и темно-серых лесных почвах 0,84-0,9 свидетельствует об относительном увеличении в них содержания фосфора связанного кальцием.

С углублением по профилю исследуемых почв показатель отношения $\frac{Ca - P}{Al - P + Fe - P}$ возрастает до 0,84-3,2. «Остаточный» фосфор, включающий в себя восстановленно-растворимые и «окклюдированные» фосфаты железа и алюминия, а также соединения фосфора, прочно связанные с кристаллической решеткой минералов, в гумусовом горизонте серых лесных почв составляет 3-12% от валового содержания P_2O_5 , значительно увеличиваясь в иллювиальном горизонте, а иногда и в материнской породе. Определенной закономерности в накоплении «остаточного» фосфора между подтипами почв не выявлено.

7.4 Подвижность фосфора серых лесных почв

Различные формы связи фосфорной кислоты, разная основность фосфорнокислых соединений объясняют и неодинаковую подвижность P_2O_5 в отдельных типах и подтипах почв. Известно, что подвижность P_2O_5 в почве связано и обусловлено влиянием многих факторов реакции почвенного раствора, насыщенности почв основаниями, влажности и температуры, гумусированности, биологической активности и степени окультуренности почв.

В работах А.Н. Угарова (1966) и А.И. Кузнецовой (1964) неоднократно подчеркивается о том, что серые лесные почвы лесостепи отличаются повышенной подвижностью в них фосфорной кислоты. Наши исследования в основном согласуются с этими результатами авторов.

Применение ряда химических методов для определения кислото-растворимой P_2O_5 в рассматриваемых почвах показано, что наиболее тесная связь между их показателями и результатами вегетационных опытов наблюдается при использовании методов Кирсанова и Чирикова (Агрохимические методы исследования почв ..., 1965). Общее количество подвижного P_2O_5 , извлекаемой 0,2н HCl (по Кирсанову), 0,5н CH_3COOH (по Чирикову), 0,006н HCl (по Францессону) в гумусовом горизонте

исследуемых почв свидетельствует о большом диапазоне колебании ее как между типами, так и внутри их.

Придерживаясь градации, разработанных для данных методов, серые лесные почвы могут быть отнесены в основном к группе средне- и высокообеспеченных подвижным P_2O_5 .

Для определения степени связи между показателями различных химических методов были найдены соответствующие коэффициенты корреляции. В качестве стандартного был взят метод Кирсанова, с которым сравнивались методы Чирикова и Францессона.

Наиболее тесная связь наблюдается между показателями методов Кирсанова и Чирикова ($r = 0,94 \pm 0,33$, $t_{\text{факт}} > t_{\text{допуст}}$).

Степень тесноты корреляционной зависимости между показателями методов Кирсанова и Францессона несколько меньшая ($r = 0,67 \pm 0,26$).

Сопоставляя количества подвижного фосфора и валового его содержания, не находим прямой зависимости между этими величинами. При большем содержании общей P_2O_5 в верхнем горизонте темно-серой лесной почвы (разрезы 1-64, 60) в ней отмечается меньшее количество подвижного P_2O_5 , чем в серой лесной (разрезы 269, 522).

Светло-серая лесная почва, которая содержит в верхнем горизонте валовой P_2O_5 в 1,5 раза меньше, чем темно-серая лесная почва (разрез 1-64), характеризуется почти одинаковым с ней содержанием подвижного P_2O_5 .

Сравнение величины подвижного фосфора с количеством гумуса в перегнойно-аккумулятивном горизонте показало отсутствие связи между этими показателями. Коэффициент корреляции равен $0,18 \pm 0,40$, а его критерии существенности значительно ниже допустимого значения.

Если проследить изменение подвижного фосфора по профилю, то можно заметить, что максимальное количество его за счет биологической аккумуляции, сконцентрировано в перегнойном горизонте почв. Определенной закономерности в распределении подвижного P_2O_5 в нижележащих горизонтах почв не выявлено. В серых лесных слабоподзоленных почвах наблюдается некоторый вынос P_2O_5 из горизонтов A , A_2 и накопление его в нижней части профиля. В серых лесных неоподзоленных и темно-серых лесных почвах, за исключением разреза 1-64, количество подвижной фосфорной кислоты с глубиной постепенно снижается. Значительную роль в процессе накопления подвижного фосфора по генетическим горизонтам отдельных разновидностей почв играет их гранулометрический состав.

Запасы подвижной фосфорной кислоты, рассчитанные нами для слоев 0-20, 0-50, 0-100 см. Данные свидетельствуют о значительных запасах подвижного P_2O_5 , особенно в горизонте A серых и темно-серых лесных почв. В полуметровой толще общий запас P_2O_5 еще более возрастает, а в слое 0-100 см исчисляется в пределах 0,8-1,5 т/га. Как видно, запасы P_2O_5 намного превышают потребность растений в данном элементе питания.

Однако, имея довольно высокие запасы подвижной фосфорной кислоты, отдельные разновидности рассматриваемых почв обладают далеко неодинаковой способностью отдавать фосфат-иона в почвенный раствор, т.е. имеют различную степень подвижности фосфат-иона, измеряемую концентрацией P_2O_5 в мг/литр в 0,03н K_2SO_4 – вытяжке (Замятина, 1960).

Между накоплением кислоторастворимого фосфора и степенью его подвижности в серых лесных почвах сопряженной связи не обнаруживается. Это, очевидно, объясняется тем, что содержание подвижного P_2O_5 в рассматриваемых почвах слабо связано с окультуренностью, а обусловлено, в основном, их генетическими особенностями. В подобных случаях соответствия между количеством кислотнорастворимого фосфора и степенью его подвижности может и не быть (Карпинский, 1968; Ляхов, Зенин, Кривицкая, 1968).

Степень подвижности фосфат-иона в почве непостоянна и под воздействием различных факторов подвержена большим колебаниям.

Как показали наши наблюдения концентрация P_2O_5 в 0,03н H_2SO_4 – вытяжке в течение вегетационного периода претерпевает существенные изменения.

Дополнительное внесение минеральных удобрений оказывает положительное воздействие, увеличивая в целом степень подвижности фосфора. Вынос P_2O_5 с растением, уменьшение или увеличение влажности, температуры почв сопровождается изменением фосфатного потенциала. Степень подвижности фосфат-иона (фактор интенсивности) наряду с количеством подвижного P_2O_5 (фактор емкости) служит дополнительным критерием определения потребности почв в фосфорных удобрениях.

Итак, отметим главное:

1. Содержание валового фосфора в гумусовом горизонте колеблется в больших пределах – от 0,10 до 0,28% и обусловлено большим содержанием данного элемента в материнских породах и условиями почвообразования. Абсолютное количество его возрастает от почв с преобладанием элювиальных процессов (дерново-подзолистых и серых лесных) к почвам, где доминируют перегнойно-аккумулятивные процессы (темно-серые лесные, выщелоченные черноземы). В такой же закономерности увеличиваются общие запасы валового P_2O_5 . Отмечено, что почвы тяжелого гранулометрического состава богаче валовым фосфором. Между запасами общего P_2O_5 и накоплением гумуса в горизонте А исследуемых почв обнаружена положительная связь.

2. Установлено, что в результате активной жизнедеятельности растений и микроорганизмов в почвах, особенно в верхней части профиля аккумулируется фосфор органических соединений, который составляет 23-61% от валового P_2O_5 . Содержание и распределение его по горизонтам почв находится в корреляционной зависимости от наличия гумуса. Максимум органофосфатов найден в выщелоченных черноземах, а также в дерново-подзолистых и серых лесных почвах, занятых лесом.

3. Все исследуемые почвы характеризуются более высоким процентом фосфора в гумусе (1,48-2,6%), чем одноименные почвы Европейской части России и Западной Сибири. Вниз по профилю обогащенность гумуса возрастает, что, вероятно, связано с аккумуляцией высокомолекулярных фосфорорганических соединений в нижележащих горизонтах и отсутствием в них условий для их гидролиза.

4. Основная часть органического фосфора в почвах представлена, возможно, сложными высокомолекулярными соединениями, переходящими преимущественно в щелочные растворы. Максимальное содержание аммиачно-растворимых фосфорорганических соединений равно 63-81% от общего органического P_2O_5 обнаружено в перегнойно-аккумулятивном горизонте темно-серых лесных почв и выщелоченных черноземов. В серых лесных и дерново-подзолистых почвах легкого гранулометрического состава преобладают органические фосфаты, растворимые преимущественно в соляной кислоте, с глубиной профиля соотношение этих групп изменяется и остается характерным для каждого типа почв.

5. В лесостепи Предбайкалья вследствие резко континентального климата и слабой биологической активности почв, возможность минерализации огромных запасов фосфорорганических соединений очень ограничена. Основным источником доступного растениям фосфора служат его минеральные соединения.

6. Установлено, что органические фосфаты представлены, в основном, «активными» формами. Распределение их по профилю обусловлено генетическими особенностями почв. В дерново-подзолистых и серых лесных оподзоленных почвах фосфаты полуторных окислов преобладают над фосфатами кальция, максимально аккумулируясь в иллювиальном горизонте. В выщелоченных черноземах по всему профилю наблюдается превышение фосфатов кальция над суммой фосфатов алюминия и железа. Последние концентрируются, в основном в перегнойном горизонте почв. Показатель

соотношения отдельных групп фосфатов
$$\frac{Ca - P}{Al - P + Fe - P}$$
 возрастает от дерново-подзолистых почв к черноземам.

7. Фосфор в остатке почв составляет значительный процент от общего P_2O_5 , но в распределении его между типами и подтипами почв определенной закономерности не наблюдается. Выявлена лишь некоторая аккумуляция его в иллювиальном горизонте дерново-подзолистых и серых лесных почв.

8. Содержание подвижного кислоторастворимого фосфора в исследуемых почвах, определенного различными химическими методами, колеблется в весьма широких пределах 6-32 мг P_2O_5 на 100 г почвы и обусловлено как природными факторами почвообразования, так и хозяйственной деятельностью человека (производственным фактором). Установлено, что почвы лесостепи Предбайкалья, особенно дерново-подзолистые и серые лесные неоподзоленные по содержанию в них подвижного P_2O_5 богаче своих аналогов в Европейской части России и

Западной Сибири. Это связано, в первую очередь, с различными условиях образования данных почв.

9. Запасы подвижной фосфорной кислоты в исследуемых почвах, рассчитанные для слоев 0-20, 0-50 и 0-100 см, значительны и намного превышают потребность растений в данном элементе. Самым высоким запасом P_2O_5 отмечаются серые лесные неоподзоленные почвы.

10. Степень подвижности фосфат-иона, т.е. интенсивность перехода фосфора в раствор, колеблется от 0,12 до 0,34 мг P_2O_5 на литр и изменяется не только между типами почв, но и внутри их. Относительно высокой концентрацией P_2O_5 в 0,03н K_2SO_4 вытяжке характеризуются дерново-подзолистые и серые лесные неоподзоленные почвы. Выщелоченные черноземы, ввиду наличия в них большого количества фосфора, связанного с органической частью почв обладают несколько меньшей способностью отдавать фосфат-иона в почвенный раствор.

11. В почвах близких по гранулометрическому составу, но различающихся по степени окультуренности, наблюдается прямая зависимость между содержанием подвижного P_2O_5 и концентрацией ее в 0,03н K_2SO_4 вытяжке.

8. ФОСФАТНЫЙ РЕЖИМ И ИЗВЕСТКОВАНИЕ ПОЧВ С КИСЛОЙ РЕАКЦИЕЙ

8.1 Доступность растениям минеральных соединений фосфора

Наиболее доступные растениям при местном или рядковом внесении в почву и при подкормках обычно более растворимые фосфаты кальция.

Е.И. Казанов (1934) теоретически обосновал методы получения и впервые выделил химически чистые препараты $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ и гидроксилапатита. После опубликования им соответствующих рентгенографических, оптических и химических анализов чистота полученных в его исследованиях препаратов не вызывает сомнения. Результаты работ Е.И. Казанова позднее были подтверждены рядом исследований других авторов (Хейфец, 1937; Ратье, 1942). Таким образом, работы Е.И. Казанова пролили свет на темный и запутанный вопрос об агрохимической оценке высокоосновных фосфатов кальция.

Следует отметить, что фосфорит является трех-Са фосфатом, а в основном изоморфной смесью гидроксил- и фторапатита с тем или иным содержанием железа и других компонентов (фосфаты полуторных окислов и др.).

Доступность P_2O_5 фосфорита зависит от многих его свойств: структуры фосфорита – кристаллической или аморфной, содержания в нем фтора и другие компонентов, от тонины размолла, а также от свойств почвы, в которую он вносится. Из литературных материалов известно хорошее действие и длительное последствие фосфорита на кислых подзолистых почвах. Эта проблема изучалась в ряде опытных учреждений путем постановки длительных опытов с фосфоритированием – на Долгопрудном опытном поле НИУИФ (Кошельнов, 1940).

Из особенностей почв, обуславливающих разложение фосфорита следует подчеркнуть значение их кислотности (содержание ионов H и Al в почвенном поглощающем комплексе), степень насыщенности почв основаниями кальция (Соколовский, 1923), интенсивность нитрификационного процесса (Лебедевцев, 1924), влажность почвы (Егоров, 1928) и другие моменты. Указанные моменты, несомненно, влияют на доступность растениям P_2O_5 фосфорита.

Успешное применение фосфорита на умереннокислых почвах связано с максимальным его контактом с почвенными частицами. При этих условиях имеет место повышение растворимости и доступности растениям P_2O_5 . В случае почв с сильнокислой реакцией, обычно обладающих высокой фиксирующей способностью в отношении P_2O_5 , внесенный фосфорит после первоначального растворения может энергично поглощаться почвой и в связи с этим не будет в достаточной степени использован корнями растений (Аскинази, Шапошникова, 1944 и др.). Благодаря этому молодое растение на почвах с сильнокислой реакцией не сможет обеспечить себя P_2O_5 и будет

испытывать фосфорное голодание, несмотря на энергичное растворение почвой фосфорита; растение иногда даже теряет часть P_2O_5 , которая была ими занесена в семена (почва «отвоевывает» у растения P_2O_5 из его скромных запасов). Опыты действительно указывают на реальную возможность таких условий. Можно провести аналогию с фактом, отмеченным для почв засоленного ряда, которые поглощают кальций так энергично, что растения в этих условиях не могут обеспечить себя им из почвенных ресурсов и погибают (Ратнер, 1935).

Долгое время полагали, что лишь монофосфат кальция (главный компонент суперфосфата) хорошо доступен растениям.

Начиная с 1871 г. Л. Грандо (по Соколову, 1938) стал развивать положение, что фосфорная кислота двухосновного кальциевого фосфата (преципитата) усваивается растениями так же хорошо, как воднорастворимая фосфорная кислота монофосфатат кальция. Л. Грандо развивал свои положения на основании полевых опытов, проведенных им в Нанси в 1870-1877 гг. С момента опубликования этих опытов было установлено высокое достоинство преципитата как фосфорного удобрения.

8.2 Доступность растениям органических соединений фосфора

В литературе накопились некоторые данные об усвоении высшими растениями органических соединений фосфора. Так, например, Стоклаза (1911) наблюдал усвоение корнями растений лецитина; в опытах Егорова (1913) в песчаных культурах с просом также показано, что лецитин доступен растениям; в опытах Вагнера эффективность натрий-фитина и натрий-глицерофосфата была одинакова с таковой у Na_2HPO_4 и $CaHPO_4$; в опытах Уэйтинга и Генка (1926) фитин усваивался овсом.

Но имеются опыты и с противоположными результатами. Так, например, в опытах Парнера (1928) органический фосфор оказался недоступным растениям, а Пиршле показал, что в присутствии микроорганизмов органический фосфор доступен растениям.

В целях выяснения наметившихся противоречий при решении вопроса о доступности органических форм фосфора растениями, исследователи стали изучать доступность органических фосфатов в опытах со стерильными культурами. Этот метод был в свое время удачно использован И.С. Шуловым (1913), доказавшим доступность фитина горохом.

Вейсфлы и Менгдель изучали в стерильных культурах доступность кукурузе следующих форм фосфора: фосфоглицериновой кислоты, гексомонофосфорной кислоты, сахаро-фосфорной кислоты, фитиновой и нуклеиновой кислот. В опытах этих авторов выявлены значительные различия в общем содержании в растениях фосфора по разным фонам: при питании фитином и нуклеином количество фосфора наименьшее, а при питании ионами PO_4 и гексозофосфатом – наибольшее; затем по фитину и нуклеину относительно больше фосфора в корнях, чем по другим фонам.

Повышенное содержание фосфора в корнях по фитину и нуклеину по сравнению с другими источниками фосфора указывают на застывание там изъятых из питательной среды фитина или нуклеиновой кислоты, передвижение этих форм фосфора по растению идет замедленным темпом, а удвоение – в меньшей степени.

С органическими фосфатами: натрий–глицерофосфат, натрий β -глицерофосфат, триэтилфосфат и натрий–нуклеат, кроме лабораторных опытов с перколяцией, были проведены также и вегетационные опыты которые показали, что доступность изучавшихся источников фосфора менялось в зависимости от свойства почвы при чем многие органические фосфаты по своей эффективности оказались близкими к неорганическим формам фосфора (фенил-фосфаты токсичны при больших дозах на легких почвах). Большинство органических соединений фосфора быстро переходит в почве в неорганическую форму, поэтому, по мнению авторов (Аллисон, Пинк, Шерманн) органические фосфаты не должны иметь преимуществ и шансов для более глубокого передвижения в почве.

Вопрос о сравнительной подвижности минеральных и органических форм фосфатов в разных почвенных условиях окончательно еще не решен. Можно полагать, что использование органических фосфатов идет в меру их минерализации, которая протекает весьма быстро, но в некоторых почвах она длится несколько дней, за это время органические фосфаты равномерно и глубже распределяются, в связи, с чем в ряде случаев может повыситься их использование растениями. Некоторые данные характеристики подвижности органических фосфатов имеются в работах Аллисона, Пинке, Шерманна (1941).

Не останавливаясь на деталях постановки опытов, ограничимся следующим: 20 мг фосфора добавлялись к 100 г почвы и настаивались при 20° С как в аэробных, так и в анаэробных условиях. Сроки анализа: 3, 7, 14 и 21 день. При анализе определялся процент извлекаемого водой фосфора. В условиях опыта водорастворимые органические фосфаты: натрий–глицерофосфат, кальций–глицерофосфат, натрий–нуклеат, добавленные к почве, содержащей коллоиды, переходили в воднонерастворимую форму также быстро, как и неорганические фосфаты. Хотя эти фосфаты прекрасно доступны микроорганизмам, роль последних, по мнению исследователей, второстепенная, поглощение же изучаемых фосфатов обуславливается присутствующими в почве коллоидами.

Фенилфосфаты, токсичные для микроорганизмов, могут иметь некоторые преимущества перед неорганическими фосфатами в смысле их передвижения (если бы не возможность их ядовитого действия на рост растений).

В работе Бертрамсона и Стефенсона (1942) по выявлению легкости разложения органических фосфатов под влиянием микроорганизмов было показано, что кальций–этилфосфат наиболее легко разлагается, гидролизуются, следующее место по легкости разложения заняла нуклеиновая

кислота, затем лецитин, в таком же порядке расположились в опыте фосфаты по их эффективности.

При внесении органических фосфатов авторами обнаружено увеличение количества общего фосфора в растениях, но последние лишь в небольшом количестве накапливаются в органической форме в корнях по фону фитина, нуклеиновой кислоты и глицерофосфата как источников фосфора. При внесении в почву более простых форм органического фосфора имеет место гидролиз (или он протекает сейчас же после проникновения внутрь растения).

Накопленные в почве остаточные органические соединения фосфора более устойчивы по сравнению с простыми легкорастворимыми органическими соединениями фосфора в растительных остатках и в навозе. Навоза при внесении в почву служит непосредственным источником неорганического фосфора для питания растений. Растительные остатки и навоз легко разлагаются в почве микроорганизмами и передают содержащийся в них фосфор растениям, этот источник фосфора близок по своему действию на урожай растений к тройному суперфосфату.

Таким образом, следует признать, что доступность органических фосфатов – явление биологическое и в биологически малоактивных почвах накапливающееся органическое вещество не разлагается и не освобождает фосфор.

Микробиологические препараты вносят с целью расщепления в почве органических фосфатов и повышения доступности растениям органических фосфатов почвы.

Обычно считают фосфор веществом, сильно закрепляющимся в почве: с другой стороны, некоторые (Драчев, 1928, 1933) полагают, что фосфор в почве не так прочно закреплен и способен передвигаться либо вертикально в виде коллоидных частиц и тонких суспензий, либо – путем образования летучих соединений. По Рудакову (1926) в анаэробных условиях идет редукция фосфора. Профессор М.А. Егоров (1928) также наблюдал большие потери фосфора через улетучивание; с другой стороны, М.А. Егоров наблюдал улавливание гниющим навозом летучих соединений фосфора из атмосферы (этот исследователь допускает круговорот для фосфора, как и для азота).

9. ФОРМЫ ФОСФОРА В ПОЧВАХ ТУВЫ

9.1 Условия почвообразования Республики Тува

Географическое положение. Территория Республики Тува находится в центральной части Азиатского материка между 54-50° с.ш. и 89-99° в.д. и является преимущественно горной страной: около 82% ее территории занято горами, 18 % приходится на долю относительно пониженных и выровненных элементов рельефа денудационных цокольных равнин, больших котловин, межгорных долин второго-третьего порядка. Республика Тува окружена горными системами Саян, Алтая и Танну-Ола. Орографическую основу территории образуют две крупные выгнутые к северу дуги общего широтного простирания, состоящие из торных хребтов высотой 2500-3500 метров над уровнем моря. Северная дуга образована сложной системой хребтов и нагорий Западного и Восточного Саян. Южная дуга по своей конфигурации повторяет северную и состоит из хребта Танну-Ола и нагорья Сангилен. На западе края обеих основных горных дуг широтного направления замыкаются Шапшальским хребтом, принадлежащим к системе Алтая. Продолжением Шапшальского хребта к югу и юго-востоку являются хребты Чихачева и Цаган и Шибэту, уходящие из пределов территории Тувы в Монголию. Восточные края основных орографических дуг замыкаются горами меридионального простирания – Восточным Саяном и краевыми хребтами Прихубсугульской горной группы (Хан-Тайга). Кроме того, в восточной части республики Тувы развита еще одна большая горная система – Восточно-Тувинское нагорье, или хребет акад. Обручева, состоящая из группы высоких горных цепей, вытянутых в направлении, близком к широтному. На востоке эта система примыкает в Большому Восточному Саяну, на западе – к Куртушибинскому хребту Западного Саяна. Между горными системами располагаются обширные понижения (550-1200 м. абс. высоты) депрессионные территории, простирающиеся на многие сотни километров в длину и десятки километров в ширину, которые являются сложными геоморфологическими образованиями, состоящими из более или менее обособленных котловин, долин и останцевых столовых равнин, чередующихся с низкорослыми возвышенностями, одиночно выступающими скалистыми гребнями и участками мелкосопочника. К главным депрессиям приурочена современная гидрографическая сеть. Наиболее крупной из депрессии является Центрально-Тувинская, ограниченная с севера Западным Саяном и Восточно-Тувинским нагорьем, а с юга – хребтом Танну-Ола. В пределах этой депрессии расположены Улуг-Хемская котловина, находящаяся в центральной части республики, и Хемчикская котловина, проникающая далеко на запад. В северо-восточной части Тувы находится Тоджинская депрессия, а на юге – Убсу-Нурская часть, котловины Больших озер Северо-Западной Монголии. Кроме этих трех крупных депрессии, в пределах Тувы находятся еще три равнинно- депрессионные территории:

Турано-Уюкская, Тере-Хольская (1300 м абс. высоты) и Тарисская котловина (лежащая на высоте 1700-1800 м над уровнем моря). Главные черты орографии Тувы являются следствием сложных, интенсивных тектонических процессов, протекающих в течение длительного геологического периода. Наличие мощных горных сооружений высотой 2,5-3,5 тыс. м над уровнем моря и обширных депрессионных территорий, лежащих на 1-2 тыс. м ниже гор, имеет для Тувы важнейшее ландшафтное значение. Этими главными и орографическими элементами определяются разнообразие типов рельефа, конкретное выражение широтной географической зональности, вертикальная поясность и локальные особенности климата, живой природы и почвенного покрова. Этими элементами определяются и современные эрозионные процессы, протекающие в степной и сухостепной зоне (суховеи, засуха, дефляция почв) и в расчлененной лесостепи и в предгорьях (водная эрозия почв).

Почвообразующие породы. Вследствие сложности геологического строения и геоморфологического развития территория республики отличается большим разнообразием горных пород, которая отмечается не только в условиях пересеченного горного рельефа, но и на равнинах, где четвертичные наносы часто бывают очень изменчивыми на самых близких расстояниях. И это разнообразие горных пород служит одним из важнейших факторов развития дефляции и водной эрозии почв. Большое удельное значение в качестве материнских почвообразующих пород имеют образования элювиального генезиса. Элювий коренных пород широко распространен в условиях горного рельефа: в местах развития мелкосопочника, останцовых возвышенностей, выхода на поверхность плотных пород в горизонтальном залегании. Элювиальные производные гранитов выступают в восточной части территории республики. Механический состав мелкозема большей частью бывает легкосуглинистым в поверхностном горизонте, супесчаным (либо суглинистым) – в более глубоких скелетных горизонтах. При ослаблении выветривания породы с глубиной.

В химическом составе элювия гранитов преобладают полуторные окислы; кремнезема (67-70%), окислы алюминия (12-17 %) и железа (5-8 %). Содержание $\text{CaO}+\text{MgO}$ колеблется около 3-5%, $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ около 4-7%; следовательно, сумма щелочной в 1,5-2 раза превышает сумму щелочно-земельных пород. Таким образом, элювий гранитов, в условиях Тувы представлен главным образом продуктами физического разрушения (измельчения), без глубокого химического изменения первичных порообразующих минералов. Образования вторичных минералов выражено слабо и состоит главным образом в некотором накоплении водных окислов железа и, по-видимому, гидрослюд (наблюдения Э.А. Корнблюма, также В.О.Таргульяна по Восточному Саяну). Поэтому мелкозем гранитного элювия относительно обогащен железом, обладает невысокой обменно-поглотительной способностью, в водных или солевых суспензиях дает,

кислую реакцию. Элювий кристаллических сланцев, гнейсов, а также сильно метаморфизованных брекчий и конгломератов, включающих большое количество обломочного материала кристаллических пород, распространены и участвуют в почвообразовании гораздо шире, чем элювий гранитов. Мощность элювиального чехла обычно составляет не более 40-50 см, на самых малоуклонных элементах рельефа мелкоземистый горизонт элювия только-хлоритовых, слюдистых, шиферных сланцев ограничивается 10-20 см, глубже залегает пластинчатый или плитчатый щебень с очень малой примесью мелкозема. Гранулометрический состав легкосуглинистый с преобладанием слюдистых тонкопесчаных, реже – пылеватых фракций. Фракция < 0.001 мм обычно составляет около 10 %.

Химический состав элювия кристаллических сланцев, гнейсов и близких к ним сильно метаморфизованных пород характеризуется в среднем пониженным содержанием SiO_2 (58-66%), повышенным содержанием полуторных окислов (Al_2O_3 -15-20 %, Fe_2O_3 -7-11 %) и щелочно-земельных оснований ($\text{CaO} + \text{MgO}$ - 4-6 %), главным образом за счет магния. Содержание окисей натрия и калия составляет- 3-5 %, то есть равно или меньше суммы щелочно-земельных оснований. Элювий гранитов в условиях республики представлен продуктами физического разрушения.

Гранулометрический состав этих продуктов всегда легкий (песчаный, супесчаный) и неоднородный, с большим содержанием скелетных фракций. На территории республики делювиальные и пролювиально-делювиальные отложения – одной из главных групп рыхлых четвертичных отложений, которые являются материнскими породами почв. Делювиальные образования в условиях горного рельефа распространены на покатых (но не крутых) склонах гор, в седловинах, распадках, широких ложбинах, вогнутых поверхностях вершины хребтов и плоскогорий. В условиях больших котловин те же образования развиты по склонам островных возвышенностей, мелкосопочника, а также покрывают денудационные увалистые плато. Мощность делювиальных образований большей частью измеряется несколькими метрами по бортам сухих межгорных долин толща этих накоплений может составлять десятки метров. Такие обнажения наблюдаются у южного склона Западного Танну-Ола (окрестности Арыг-Бажи) и в отрогах Западных Саян (Шанчи), местами эти отложения не превышают одного метра особенно на плоских водоразделах.

Материал шлейфово-склоновых отложений может состоять из осыпных (гравитационных) масс, частично из типичного делювия, то есть, мелкоземистых осадков плоскостного и струйчатого смыва, а также из осадков ливневого стока, которые представляют собой пролювий выносимый из области гор кратковременными селевыми потоками. Некоторое участие могут принимать и золы наносы, хотя роль ветра более проявляется во вторичной переработке уже образовавшихся отложений (перемещение, выдувание мелкозема, пыли). Литологический состав делювиальных отложений довольно разнообразен и отражают петрографический состав

близлежащих коренных пород. По механическому составу верхних горизонтов в группе делювиальных образований преобладают две разновидности: пылевато-легкосуглинистые; супесчаные (пылевато-мелкопесчаные).

Литологический состав и некоторые свойства основных разновидностей рассматриваемой группы отложений, Б.Ф. Петров (1952) относил к среднесуглинистым отложениям, у северного подножия Восточного Танну-Ола полосе однородного лесса идентичного алтайскому лессу. Более детальные материалы почвенных съемок 1952-1956 гг., проведенные В.А. Носиным выявили, что эти контуры являются аллювиально-пролювиальными валунно-галечниковыми выносами прикрытому сверху маломощными (менее 1 м) чехлом пылеватых суглинков или супесей. Другая часть отложений, приуроченная к волнистому плато, лежащее к северу от озера Чагытай и отделенное от хребта Восточного Танну-Ола обширной продольной ложбиной, относится к категории довольно однородных лессовидных суглинков, очень сходных с покровными бурыми суглинками южной части Западной Сибири и многих районов Европейской части России. Однако относить такие суглинки к лессу можно только при самом широком, довольно расплывчатом понимании термина “лесс”. В пределах территории Тувы и типичному лессу приближается, может быть, лишь небольшой локальный контур на высокой древней террасе левобережья долины реки Чаа-Холь.

Аллювиальные и пролювиально-аллювиальные отложения имеют широкое распространение во всех больших котловинах и речных долинах Тувы. Мощность аллювиальных отложений в Туве местами очень велика. В средних частях Хемчикской, Улуг-Хемской, Тес-Хемской котловин толща аллювия исчисляется десятками метров.

Для большинства аллювиальных отложений характерна общая карбонатность мелкоземистого материала и окарбоначенность поверхности валунов, гальки, независимо от петрографического состава, которые наблюдаются на высоких террасах всех главных рек. В 10-15 метровых толщах естественных и искусственных обнажениях западной, Центральной и южной Тувы. Аллювиальные, пролювиально-аллювиальные отложения в Туве являются незасоленными изредка наблюдаются в верхней полутора или двухметровой толще кристаллические выделения гипса, а также повышение концентрации легкорастворимых солей (до 1% сухого остатка в водных вытяжках) представляют собой продукт современных почвенных процессов.

Моренные и флювиогляциальные отложения покрывают северо-восточную часть республики это Тоджинская котловина, значительные моренные отложения распространены в районе возвышенности Хан-Тайги с прилегающей Тарисской котловиной (юго-восточная часть республики). Кроме того моренные наносы локально наблюдаются во многих местах высокогорного пояса всех крупных горных систем. Материал, слагающий боковые и конечные морены, характеризуются петрографическим

разнообразием, несортированностью по механическому составу при большом участии крупных каменистых фракций (глыбы, валуны, слабоокатанная галька). Измельченную массу морен образуют грубые хрящевые супеси, реже - суглинки. В связи с богатством каменистых компонентов невыветрелыми первичными минералами поверхностные горизонты моренных отложений чаще всего представляют собой образования, близкие к элювию или элюво-делювию коренных массивнокристаллических и метаморфических пород. Поэтому почвообразование на моренных отклонениях сравнительно с почвообразованием на элювии коренных пород. Флювиогляциальные отложения в Тоджинской котловине различаются на зандровые и террасовые, в остальных местах только террасовые. Зандровые равнины Тоджинской котловины (Ийхемская с урочищем Караганшул, Азасская и Тозбулукская) весьма типично располагаются за внешним краем холмистых конечноморенных нагромождений на уровнях, значительно превышающих уровни верхних речных террас, часто сливаясь с последними своими основаниями. Местами среди зандровых равнин наблюдаются невысокие, сильно вытянутые гряды (гивы), напоминающие озы. Возникновение зандровых равнин связывается с деятельностью потоков талых вод, сбегавших с окраины покровных ледников во время максимального развития последних, поэтому зандровые отложения, заметно слоисты. Поверхностные горизонты зандровых отложений Тоджинской котловины до глубины 1-2 м сложены хорошо отсортированными песчанистопылеватыми легкими суглинками, либо пылеватыми супесями, не содержащих скелетных фракций. Глубже преобладают тонкозернистые пески, с гравелистыми, реже-мелкогалечными прослойками. В пределах от 1,5 до 3-4 м глубины на разрезе очень часто наблюдаются охристо-бурые (ожелезненные) полосы, разводы, ржавые жилки и пятнышки следы бывшего переувлажнения, которые, возможно, связывалось с существованием в грунте мерзлых горизонтов. Террасовые флювиогляциальные отложения, связанные с таянием горнодолинных ледников, слагаются разнообразным материалом хорошей окатанности - валунными галечниками, валунными гравелистыми или же почти чистыми песками разной крупности - в целом очень сходны с речными аллювием, от которого отличаются главным образом по территориальным сопряженностям с моренными аккумуляциями.

Эоловые песчаные образования. Песчаные пространства встречаются во всех больших степных котловинах Тувы, местами занимают значительные площади. По происхождению эти пески являются элювиально-делювиальными, аллювиальными, отчасти озерными и флювиогляциальными и могли бы рассматриваться в соответствующих типах четвертичных отложений. Пески, которые подверглись переотложению при помощи ветра и образуют барханы, дюны, гряды, бугры, принято выделять в категорию эоловых песчаных образований. Наибольшие площади перевеянных песков находятся в Убсу-Нурской впадине. Южнее реки Тес-Хем в пределах Тувы находится край громадного песчаного массива Борзиг-Дель, занимающего

всю центральную впадину между хребтами Танну-Ола и Хан-Хухей (на территории Монголии).

Эти весьма сильно перевеянные крупнобугристые и частично барханные пески, с рядом глубоких котловин интенсивного современного развевания, по Э.М. Мурзаеву (1952) являются продуктом древнеаллювиальных речных, а в некоторой части древне-озерных аккумуляций, возникших в конце третичного – начале четвертичного времени. По левому берегу реки Тес-Хем, и в районе озера Тере-Холь и севернее, также есть много золых песчаных накоплений, местами подверженных ни интенсивному перевеванию: песчаный материал здесь имеет как древнеаллювиальное, так и элювиальное происхождение (перевеянные на месте продукты аридного выветривания песчаников, гранита и других пород). В пределах Центрально-Тувинской депрессии золотые песчаные образования наиболее развиты в районе холмистого денудационного плато между озером Хадын и г. Кызылом, и севернее села Балгазын на склонах возвышенностей Сыргалык-Тайга. Таким образом, в этих местах пески приурочены к относительно приподнятым положениям рельефа, вне четвертичных речных долин. Исходный материал золотых песчаных накоплений, образующих широкие гряды, простирающиеся с северо-запада на юго-восток, реже дюны и невысокие бугры, имеют двойное происхождение: либо являются продуктом разрушения карбоновых и юрских песчаников, конгломератов и других пород. Образующих основу рельефа и часто выступающих на поверхность в виде мелкосопочных останцов, или представляют собой дочетвертичные аллювиальные накопления, в последующем приподнятые тектоникой и переработанные ветром (Шорыгина, 1960).

Отвесные 5-6 метровые обнажения вблизи озер (контур древней ванны озера Убсу-Нур) показывают ясно слоистую толщу пепельно-светло-серого, слабоуплотненного мучнисто-пылеватого материала, содержащего мелкие раковины двухстворчаток.

Четвертичные отложения, выходящие на поверхность рельефа на территории Республики Тува являются материнскими или почвообразующими породами, разного литологического состава и строения, это главный фактор неоднородности почвенного покрова.

Преобладают материнские породы легкого механического состава - песчаных и крупнопылеватых легких суглинков, супесей, тонкозернистых пылеватых песков. Глинистые отложения встречаются очень мелкими контурами (пятнами).

Поверхностный мелкоземистый слой имеет мощность 20-30 см, имеет легкий гранулометрический состав, и подстиление их почвообразующие породы имеют двучленный профиль в виду неоднородности литологического состава четвертичных пород 1,5-2 метровом слое, отмечается увеличение скелетности (каменистости и хрящеватости) или опесчаненности книзу.

Иногда подстилагся грубообломочный материал (галечник, щебень), что обуславливает высокую водопроницаемость и ослабленную капиллярную водоподъемную способность в пределах почвенной толщи. Что оказывает глубокое влияние на почвообразовательный процесс. Рыхлые четвертичные отложения содержат в своей массе значительную долю продуктов физической дезинтеграции коренных пород, богатых первичными минералами и податливых к дальнейшему внутрипочвенному выветриванию, а на поверхности почв ведет к дефляции и водной эрозии.

Климат. Удаленность от океанов и барьерная роль горных цепей, которые окружают территорию Республики Тувы, находящегося в центре азиатского материка, определяет континентальность климата. Территория имеет разные гипсометрические уровни. Горные цепи чередуются лежащими между ними депрессиями разного размера, расположения, относительной глубины, разных степеней замкнутости и равнинности. В зимнее время территория Тувы находится под действием центрально-азиатского антициклона, создаваемого сильно охлажденными малоподвижными воздушными массами. В это время температура воздуха понижается в котловинах ниже 50°C. В теплый период воздушные массы, формирующиеся над пустынными пространствами Центральной Азии достигают территории республики, и температура воздуха может повышаться до 36- 40 °С. Климат котловин Тувы отличается наивысшей “экологической сухостью”. Тепловой режим котловин резкоконтрастный. Чем больше степень орографической замкнутости котловины, тем неподвижнее холодные воздушные массы. Сильные морозы удерживаются в течение трех месяцев с декабря по февраль, а иногда и первая половина марта температуры показывают от - 14,5 до 21,8° С.

В зимнее время в котловинах и низкогорьях слабые ветры (0,5-1 м/сек), наблюдаются морозные туманы, мало выпадает снега. В южной части Тувы наблюдается редукция, а затем и полное исчезновение горно-лесного пояса, широко развитого в северной и центральной частях территорий.

В ботанико-географическом отношении Тува относится к двум природным зонам Евразии таежной (хвойно-лесной) и степной. Северо-восточная часть территории Тувы, которая охватывает бассейн реки Хамсара и Бий-Хем (до Хутинского порога), а также выступающий к югу (вплоть до хребта Сангилен) район по среднему течению р. Каа-Хем, могут относиться к таежной (хвойно-лесной) зоне. Вся остальная часть Тувы, охватывающая две центрально-тувинские котловины (Хемчикскую и Улуг-Хемскую), южную сторону Западного Саяна, горы Юго-Западной Тувы и всю Убсу-Нурскую котловину, располагается в пределах степной зоны.

С этой точки зрения, не котловины Центральной Тувы являются “островами” степной зоны, как считают некоторые исследователи, а горные леса на хребте Танну-Ола (так же как и на более южном хребте Хан-Хухей в Монголии), связанные с вертикальной поясностью, охвачены с севера и юга степными пространствами, представляют собою острова, форпосты среднесибирской тайги внутри степной зоны Центральной Азии. По данным

А.В. Калининой (1957), соотношением между главными группами формации в Туве по площади их распространения характеризуются следующими информацией: леса – покрывают почти 50% территории, степи (равнинные и горные) – до 40% и около 10% занимают различные высокогорные (луговые, кустарниковые, тундровые) и долинные (луговые, кустарниковые, болотные и др.) растительные формации.

Высота снежного покрова в котловинах достигает 10-20 см.

Малоснежье зим является фактором глубокого зимнего промерзания почвы и не способствует созданию достаточного запаса почвенной влаги к началу вегетации растений.

Повышение температуры воздуха происходит в апреле, хотя в начале месяца температура может быть низкой до -27°C , -29°C , а в конце месяца максимальная температура может превышать $+25^{\circ}\text{C}$.

В мае происходит дальнейшее общее нарастание тепла.

Переход положительных среднесуточных температур через 5°C происходит обычно в третьей декаде мая. После средней даты перехода температур через 10°C в мае возможны длительные возвраты холодов со снижением температуры до -4°C , -6°C . Поэтому фактические даты устойчивого перехода среднесуточной температуры через 10°C весной могут колебаться в интервале до 20 дней.

Поздние весенние, даже летние (начало июня) заморозки - одна из характерных особенностей климата котловин, очень неблагоприятная в сельскохозяйственном отношении. Последние весенние заморозки на 10-20 дней могут отклоняться от средних многолетних, и наступают позже в июне, самые поздние в Тора-Хеме в июне. В Тодже ни один летний месяц не гарантирован от ночных заморозков. Тепловой режим лета очень жаркий, несмотря на высокий гипсометрический уровень (600-1200 м абсолютной высоты), среднемесячная температура июля в степных котловинах $17-20^{\circ}\text{C}$, а июнь и август находится в пределах $14-18^{\circ}\text{C}$, в лесной зоне Тоджинской котловины средняя температура 14°C , июнь и август 12°C .

Максимальные температуры в любой летний месяц могут превышать 30°C , абсолютные максимумы за лето достигает округленно $32-37^{\circ}\text{C}$.

Вегетационный период с суточными температурами не ниже 10°C , в степных котловинах продолжается в среднем от 107 до 128 дней, сумма температур за этот период составляет $1500-2100^{\circ}\text{C}$. Наибольшим тепловым ресурсами выделяются центральные пониженные части Улуг-Хемской и Хемчикской котловин, а также, западная часть Убсу-Нурской котловины. Понижение температуры наблюдается в конце августа месяца, особенно по ночам, возможны предутренние заморозки. Дневные температуры довольно теплые $-12,1-16,9^{\circ}\text{C}$.

В первой половине сентября в котловинах формируется осенний антициклональный режим, наступает сухая и ясная погода с большими суточными колебаниями температуры, возможны ночные заморозки, во второй половине быстрое общее снижение температуры. В этот период в

степных котловинах отмечается переход среднесуточной температуры через 10°C в отрицательных значениях. Средние даты перехода через 10°C и 5°C по разным котловинам различаются довольно заметно (на 7-10 дней), но даты перехода через 0°C очень сближены по всем пунктам (кроме Тоджинской котловины). Ветровая деятельность за теплый период невелика, в среднем (1,5-3 м/сек), бывают кратковременные (несколько часов) ветры, носящий шквальный характер, достигают 20 м/сек.

В котловинах Тувы осадков выпадает за теплый период недостаточное количество от 140-162 мм в Улуг-Хемской и Хемчикской котловине и южная часть Убсу-Нурской котловины, немного выше в Турано-Уюкской и Тоджинской котловинах в пределах 200 мм.

Распределение осадков за год зависит от горных барьеров на пути влагоносных северо-западных воздушных течений, кроме Тоджинской котловины.

Количество осадков колеблется по годам. Максимальное годовое количество может более чем вдвое превышать минимальное в связи, с чем резко меняется облик растительного покрова особенно, если совпадают к ряду несколько более влажных или более сухих лет.

Распределение осадков в течение года характеризуется резко выраженным летним максимумом. За холодный период октября по март, в степных котловинах выпадает всего 16-22 % годового количества осадков, весной (апрель-май) – 7-13 %. В течение трех летних месяцев – июня, июля и августа – выпадает около 56-67% годового количества осадков. Максимум осадков обычно наблюдается в июле, реже в августе или июне; минимум – в июне.

Осадки теплого периода в котловинах связаны почти исключительно с холодными фронтами циклонов. Конвективных осадков выпадает мало, за исключением Тоджинской котловины, где они довольно часты.

Дожди бывают как обложными умеренно интенсивными, так и ливневыми, нередко с градом, большой интенсивности со шквальным ветром.

Турано-Уюкская котловина, восточная и южная части Центрально-Тувинской депрессии по основным показателям климатического режима сходны между собой и приближая к условиям зоны засушливых степей. Улуг-Хемская, Хемчикская и частично Убсу-Нурская (в восточной части) котловины отличаются малым атмосферным увлажнением, резкой континентальностью и относятся к зоне сухих степей (в характерном центральноазиатском варианте). Крайняя западная часть Убсу-Нурской котловины выделяется весьма скудным годовым увлажнением и повышенными тепловыми ресурсами лета, создающими здесь режим полупустынной зоны.

Режим выпадения осадков в среднегорном поясе, в общем, имеет тот же тип, что и в котловинах, то есть осадки выпадают главным образом летом, в мае-августе выпадает 60-75% от годовой суммы.

Мощность снежного покрова больше, чем в котловинах и низкогорье на выровненных склонах, в лесном поясе глубина достигает 0,5-0,7 м, в распадках и ложбинах – выше 1 м.

Низкие температуры теплого периода и повышенное количество осадков приводят к тому, что относительная влажность воздуха в среднегорье значительно выше, чем в котловинах на 10-20%, весной не опускается ниже 60-65%. Соответственно этому коэффициенты увлажнения за период вегетации в большей части пояса приближается к единице, а в самые теплые и закрытые от влагоносных ветров местоположения характеризуются степенью увлажнения близкие к условиям низких гор и предгорий.

Климат высокогорного пояса Тувы характеризуется низкими термическими ресурсами, продолжительной холодной зимой и очень короткое холодное лето. Зима начинается в сентябре, продолжается до конца мая. Период с температурой выше 0°C составляет 128 дней, из них 89 дней с температурой не ниже 5°C, и всего 26 дней (с 8.VII по I. VIII) не ниже 10°C.

Гидрография и гидрология. Гидрографическая сеть Республики Тувы представлена в основном рекой Улуг-Хем или верховья реки Енисей, который образовался от слияния двух горных рек Бий-Хем и Каа-Хем, на месте образования, многолетний средний расход воды составляет 970 м/сек.

Водосборный бассейн ее занимает всю Улуг-Хемскую котловину, протяженностью 150 км. Площадь бассейна р. Енисей составляет 16520 км².

На всем протяжении р. Енисей течет в безлесной открытой долине шириной в несколько километров и сохраняя в то же время большую скорость течения 1,5 м/сек. Замерзает р. Енисей в середине-конце ноября. Вскрывается ото льда в конце апреля – начале мая. В связи с малым снежным покровом и поздним таянием снегов в горах, весенние паводки, наступающие во второй половине мая – незначительны. Во время выпадения дождей в июле-августе наблюдаются паводки.

Улуг-Хемская котловина. Долина р. Енисей имеет абсолютную высоту 540-560 м, самое узкое место долины 400 метров, а вблизи поселка Хайыракан – 2 км. Леса сохранились только в пойме реки и на небольших островах, общий характер низких сглаженных берегов кое-где нарушается возвышающимися скалами – останцами, образующими сужение долины (г. Боом).

Река Енисей имеет несколько притоков: Эжим, Барык, Сенек, Чааты, ширина притоков 1-3 м глубина от 0,3 до 2 м, скорость течения от 1 до 4 м/сек. Воды притоков пресные, в засушливые годы пересыхает.

Грунтовые воды приурочены преимущественно к аллювиальным и озерным отложениям вне ледниковых областей глубина залегания 6-10 м, иногда более 20 м воды грунтовые пресные в основном, иногда минерализация достигает до 1 г/л. Воды грунтовые пресные в основном, иногда минерализация достигает до 1 г/л. Химический состав гидрокарбонатно-кальциевый реже гидрокарбонатно-магниевый.

Р. Енисей – основная водная магистраль Тувы. Берега в основном низкие, многолетний средний расход воды в средней части течения 1200 м³/сек. Уклоны русла более или менее однообразны. Общее падение реки равно 113 м, имеет много притоков.

В *Турано-Уюкской котловине* в р. Улуг-Хем впадает река Уюк, которая формируется за счет вод, стекающих с южных склонов Западного Саяна и с северных склонов хребта Бура. Берега реки низкие, заболоченные, русло шириной 5-15 м, сильно извилистое. Вода в реке пресная, пригодна для орошения. Дно долины реки Уюк сильно заболочено из-за того, что на глубине 1,5-4 м существует сезонная мерзлота, являющаяся водоупором. Мелиорация долины не проводится. Река Азют – правый приток Уюка, берет начало с северных уклонов горы Чакпек. Течет сначала на север, затем сворачивает на северо-восток. Река небольшая, в сухое время года похожа на ручей. Ширина русла до 3 м. Берега ее, также как и берега р. Уюк, большей частью заболочены. Справа р. Азют принимает притоки ручьи Хадын и другие. Вода этих ручьев используется для орошения огородов, близлежащих пашен, для питьевых и хозяйственных нужд. Хорошими источниками обводнения выпасов являются родники в урочище Азют, река Азют и ручей Арзак. Последний берет начало в горах, в период таяния снегов бывает полноводным, но летом пересыхает, за исключением истока.

Резко выраженная континентальность климата и горный характер области являются естественными основными факторами, обуславливающими режим тувинских рек. Сток горных притоков формируется главным образом за счет весеннего снеготаяния и летнего высокогорного питания. Снеготаяние начинается раньше на обнаженных южных склонах гор; на залесенных северных склонах, таяние снега запаздывает и растягивается почти на все лето.

Хемчикская котловина является межгорной впадиной с характерным мелкосочным рельефом. Абсолютные высоты находятся в пределах 600-1800 м над уровнем моря. Самые низкие положения занимают долины рек Хемчик, Чадан и их притоков (Аныяк-Хондергей, Сайлыг-Хем, Бугалыг, Шеми, Хайыракан, Ак-Тал, Чевелиг, Теректиг). По характеру водного режима реки относятся к типу рек с весенне-летним половодьем в период интенсивного таяния снегов. В питании рек Чевелиг и Теректиг принимает участие также дождевые и грунтовые воды. Склоны сильного изрезаны промоинами и расчленены на множество мелких водоразделов различной крутизны, которые в значительной степени эродированы и закаменены. Река Шеми, небольшая река, берет свое начало на северо-западном, залесенном склоне хребта Западного Танну-Ола. Относится к бассейну реки Хемчик и является правым притоком.

Питание реки Шеми преимущественно снеговое. Зимний снеговой покров в горах невелик, поэтому весенние паводки наступают в апреле-мае, во время таяния снега в горах.

Растительность. В Республике Тува распределение основных растительных типов сопряжено с рельефом, которые определяют контрастность климатических условий. Существенными геоботаническими закономерностями являются, наличие вертикально-поясных смен и экспозиционная асимметрия растительного покрова. В общей схеме в центральной части Тувы наблюдается следующая последовательность распределения растительности в связи с орографией: сухая степь и фрагменты пустынной степи в котловинах; сухие "настоящие" и луговые горные степи в нижней ступени гор, леса в среднем поясе гор; кустарники, луга, тундры и каменистые "пустоши" на высокогорьях (гольцах).

Различная высота горных хребтов, их ориентировка, степень расчленения и экспозиция склонов, а также положение, размеры, гипсометрический уровень котловин и многие другие местные факторы оказывают сильнейшее влияние на степень выраженности и высотные границы вертикальных растительных поясов и определяют геоботанические различия отдельных горных массивов.

Наряду с закономерностями, обусловленными орографическими причинами влияние на растительный покров оказывают зонально-климатические факторы (Соболевская, 1950). Изменение ландшафта равнинных плакоров лежащих на динаковом гипсометрическом уровне (800-1000 м) меняется флористический состав в пределах основных депрессий – Тоджинский, Центрально-Тувинской и Убсу-Нурской: первая является лугово-таежной, вторая – степной, третья – сухостепной, частично опустыненной. Влияние тех же зонально-климатических факторов проявляется и в структуре вертикальных природных, в том числе, растительных поясов, свойственных горам Тувы. В южной части Тувы наблюдается редукция, а затем и полное исчезновение горно-лесного пояса, широко развитого в северной и центральной частях территорий.

В ботанико-географическом отношении Тува относится к двум природным зонам Евразии – таежной (хвойно-лесной) и степной.

Северо-восточная часть территории Тувы, которая охватывает бассейн реки Хамсара и Бий-Хем (до Хутинского порога), а также выступающий к югу (вплоть до хребта Сангилен) район по среднему течению р. Каа-Хем, могут относиться к таежной (хвойнолесной) зоне. Вся остальная часть Тувы, охватывающая две центрально-тувинские котловины (Хемчикскую и Улуг-Хемскую), южную сторону Западного Саяна, горы Юго-Западной Тувы и всю Убсу-Нурскую котловину, располагается в пределах степной зоны. С этой точки зрения, не котловины Центральной Тувы являются "островами" степной зоны, как считают некоторые исследователи, а горные леса на хребте Танну-Ола (так же как и на более южном хребте Хан-Хухей в Монголии), связанные с вертикальной поясностью. Охвачены с севера и юга степными пространствами, представляют собою острова, форпосты среднесибирской тайги внутри степной зоны Центральной Азии.

Улуг-Хемская котловина. В восточной части котловины распределение основных типов растительности тесно связано с рельефом и климатическими условиями. Четко выражена смена растительности по вертикальным поясам и по склонам различной экспозиции. Настоящие степи занимают довольно значительную площадь, по долинам рек: Шан, Мерген, Хопто в большинстве же случаев участки настоящих степей чередуются с участками, занятыми каменисто-щебнистыми, сухими и луговыми вариантами степей. Почвенный покров настоящих степей представлен типом каштановых почв и темно-каштановых почв. В составе травостоя доминируют мелкодерновинные злаки: типчак, тонконог, мятлик, а также крупнодерновинные: овсец пустынный, ковыли тырса. В качестве создателя постоянно присутствует осочка стоповидная.

В группе разнотравья входят лапчатка бесстебельная, полынь холодная, лапчатка вильчатая, различные виды луков и астр, гвоздика разноцветная, подмаренники настоящий и северный.

Общей экологической особенностью рассмотренных основных формации Тувинских сухих степей является замедленность начала вегетации, связанная с холодностью и сухостью весны. В летние месяцы, когда выпадает большая часть годовой нормы осадков, отмечается наиболее активная вегетация растений – эдификаторов: в это время колосятся злаки, цветет карагана, астрагалы и другое разнотравья. При отсутствии осадков происходит перерыв вегетации и временное выгорание травостоя.

Убсу-Нурская котловина. Годовое количество осадков не превышает 150 мм, а также в некоторых местах подвергаются сильному иссушению вследствие частных условий микроклимата получают развитие наиболее ксерофильные формации пустынной степи – змеевково-ковыльковые, полынно-змеевково-ковыльные и ковыльно-нанофитовые, а также почти чистые нанофитонники, которые по геоботанической таксономии относятся уже к формации пустынь. Пустынные степи приубсунурской территории можно рассматривать как северный форпост пустынно-степной зоны Монголии. Эдификаторами пустынных степей являются два вида ковылей – галечный (*stipa glareosa* P. Smirn) и восточный (*stipa orientalis* Trin), в разных соотношениях сочетаются обычные для Тувы сухостепные злаки с которыми: житняк, змеевка, реже – тырса, а также полукустарнички – полынь холодная и дернистая, кохия (*kochia prostrata* (L) Schrad), нанофитон (*nanophyton erinaceum* (Pall.) Bunge). В небольшом количестве представлены луки (преимущественно *allium mongolicum*), качим пустынный (*gypsophila desertorum* Fenzl), выюнок (*convolvulus ammannii*), астрагалы (*astragalus monophyllus*) и некоторые другие травы. Кроме того изредка встречаются кустарники: карагана карликовая и Бунге, терескен (*ceratoides papposa*).

Пустынные степи характеризуются сильной разреженностью, проективное покрытие до 30 %, малая высота травостоя (10-15 см), низкая урожайность (2-4 ц/га), причем в составе травостоя значительную долю занимают кустарнички.

Почвы. В результате проведенных исследований полевых и камеральных были получены материалы, характеризующие почвенный покров всей территории Тувы, а также научные материалы по географии, систематике и производственной характеристике почв к 1960 г. В монографии В.А. Носина «Почвы Тувы» (1963) дана характеристика природных условий, систематический обзор почвенного покрова, агрономическая характеристика основных типов почв котловин Республики Тува.

Характеристика котловинных земель. Почвы котловин, относятся преимущественно к группе степного и пустынно-степного почвообразования, 2588 тыс. га или 15,2 % от всей площади республики.

В составе степных и пустынно-степных равнинных (котловинных) почв естественно преобладают типы автоморфного ряда, то есть, увлажняемые исключительно атмосферными осадками (черноземы, каштановые, бурые пустынно-степные почвы); вместе с генетически близкими к ним почвами несколько повышенного увлажнения (лугово-черноземными, лугово-каштановыми, бурыми лугово-пустынно-степными), они занимают 58% от площади степных равнинных (котловинных) территорий.

Полугидроморфные луговые и аллювиальные почвы, более обильно и устойчиво увлажняемые за счет близких грунтовых вод и во время паводка на реках, занимают 34%; гидроморфные почвы (лугово-болотные, болотные) солончаки – до 5%; около 3% площади занимают пески. Почвы больших тувинских котловин существенно различаются между собой в сельскохозяйственном отношении.

Плодородие почв, как известно, определяется: совокупностью свойств унаследованных от материнской породы и возникших в процессе почвообразования; условиями природной среды (главным образом, климатическим режимом, гидрогеологическими условиями и фитоэкологической обстановкой); суммой изменений природных свойств почвы, в результате стихийной или направленной хозяйственной деятельности людей.

Черноземы. Почвы черноземного типа, как обладающие высокими запасами органического вещества, считаются наиболее богатыми элементами питания растений среди почв степного класса почвообразования. Это положение в общей форме сохраняет свое значение и для Республики Тува.

По общим запасам азота подтипы, виды и разновидности черноземов существенно и вполне определенно различаются между собой в той же последовательности, как и по запасам гумуса. Наибольшим валовым содержанием азота характеризуются обыкновенный среднесиловый суглинистый чернозем, в гумусовой части профиля которых (горизонты A+B₁+B₂) азота находится 130-150 ц/га (для слоя 0-50 см можно принять – 140-160 ц/га), на втором месте стоят чернозем маломощный супесчаный и южный маломощный легкосуглинистый с достаточно развитым горизонтом B в которых содержание азота 90-100 ц/га в горизонтах AB, B₂ или 100-120 ц/га

в полуметровом слое. Чернозем южный маломощный супесчаный, с запасом азота 70-80 ц/га в горизонтах АВ, В₂, то есть обычно, менее 100 ц в полуметровом слое. Черноземы малоразвитые, подстилаемые на глубине 20-30 см галечником или щебнем запас азота в них практически сконцентрирован лишь в горизонте А и составляет 50-60 ц/га. Распределение азота по профилю соответствует распределению гумуса, то есть в горизонте А содержится больше, чем в горизонте В (соответствует глубине 15-25 см) содержание общего азота 20-40 ц/га.

По содержанию гидролизуемого азота в среднемощных черноземах Тувы средне-и легкосуглинистых черноземах, вдвое больше, чем в маломощных южных черноземах того же гранулометрического состава. При супесчаном гранулометрическом составе содержание гидролизуемого азота снижается соответственно содержанию гумуса. В общей оценке валового фосфора содержание не высокое. В отношении содержания “доступного” фосфора в почвах Тувы в основном – низкое. В суглинистых черноземах абсолютные запасы доступного фосфора – средние.

Поглощающий комплекс черноземов насыщен кальцием и магнием, соотношение между которыми колеблется в пределах 4:1-5,5:1, с глубиной увеличивается относительная доля магния (Геммерлинг, 1936). В составе поглощенных оснований натрия и калий присутствуют в очень малых величинах порядка 1-3 % от суммы поглощенных оснований.

В морфологическом описании выделяются карбонатный горизонт, характерный для степного почвообразования. В гумусовом горизонте содержание карбонатов находится в пределах 0,1-0,2% (в расчете на CaCO₃). В горизонте В₂, а несколько глубже, содержание карбонатов резко возрастает. На глубине примерно от 35-40 см до 60-80 см наблюдается максимум выделения CaCO₃, достигающий 15-22% от веса сухой почвы. Глубже содержание карбонатов уменьшается более или менее интенсивно, в зависимости от гранулометрического состава почвообразующей породы (на легких породах или при подстилании легкими породами более сильно). Накопление CaCO₃ в профиле черноземов, находится довольно близко от поверхности сразу же под гумусовыми горизонтами. При этом зона максимального накопления CaCO₃, часто оказывается «висячей», то есть достаточно отчетливо ограниченный снизу, а не продолжающейся с постепенным убыванием на ту или иную глубину за пределы корнеобитаемой толщи.

Черноземы обыкновенные и тучные содержат незначительное количество гипса (на древних озерных террасах, подгорные шлейфы, не свободные от влияния бокового внутрипочвенного стока и других условий приноса сульфата кальция в почву со стороны). Большей частью в обыкновенных черноземах данные показывают отсутствие гипса. Содержание легкорастворимых солей по профилю обыкновенных черноземов – низкое (0,1-0,2 сухого остатка в водной вытяжке), главную часть которых составляют бикарбонаты щелочно-земельных и щелочных оснований,

содержание же хлоридов и сульфатов незначительное (обычно менее 0,05% SO_4).

Слабая солонцоватость черноземов обыкновенных выявленная анализами водной вытяжки объясняется возможностью периодического подпитывания их пленочно-грунтовой влагой, либо влагой внутри почвенного стока по уклону местности, или возможностью приноса солей с делювиальным поверхностным стоком.

Чернозем южный, является преобладающим подтипом черноземов в Туве. Они формируются в условиях засушливой степи, под разреженными разнотравно-полынно-злаковыми ассоциациями. Они покрывают нижние, шлейфовые части склонов возвышенностей, обрамляющих котловину и частично вступающих в нее, а также верхнюю террасовидную ступень днища котловины.

Южные черноземы характеризуются теми же вариантами гранулометрического состава, с глубиной значительно сокращается доля тонких фракций в мелкозем и укрупнение гранулометрического состава, часто за счет очень грубых, каменистых включений. В этом отношении южные черноземы не отличаются от обыкновенных черноземов и каштановых почв Тувы. В южных черноземах отсутствует макроструктура, но ясно выражена микроагрегатность почвенной массы в гумусовых горизонтах.

Согласно принятой таксономической схеме подразделение черноземов, для подтипа южных черноземов принимается содержание гумуса 5-7% (при суглинистом гранулометрическом составе), с возможным отклонением до 1 % для старопахотных площадей. Анализами установлено варьирование гумусности в пределах 4,5-6,8 % в средне- и легкосуглинистых разновидностях и 4,0-5,2% – в супесчаных. Влияние обработки на снижение содержание гумуса в поверхностном горизонте (дегумификация). Абсолютные запасы гумуса в профиле южных маломощных черноземов составляет 18-25 кг/м², в слаборазвитых – 15 кг/м² и менее. Южные черноземы Тувы относятся к малогумусным. Распределение гумуса по профилю характеризуется, накоплением в горизонте А и В, мощностью не более 20-30 см, с глубиной уменьшается.

Групповой состав гумуса южного чернозема Тувы в общем сходен с составом гумуса Европейской части Российской Федерации. Общее содержание группы гуминовых кислот в горизонте А высокое, достигает 35% общего количества гумуса в данном горизонте; отношение между гуминовыми кислотами и фульвокислотами (по содержащемуся в них углероду) составляет 1,2. В горизонте В содержание гуминовых кислот в гумусе уменьшается, содержание же фульвокислот несколько возрастает.

Содержание веществ растворимых в спиртобензоле и группы негидролизуемых веществ по горизонтам чернозема почти не изменяется. Но во фракционном составе главных групп гумусовых веществ отмечается особенность: несмотря на высокую насыщенность чернозема обменным

кальцием, значительная часть гумусовых веществ (43% в горизонте А) извлекается непосредственно 0,1-н раствором щелочи (фракция I), что нетипично для черноземов Европейской части России.

С глубиной подвижность гумусовых веществ несколько уменьшается. Гумусовые вещества, прочно, связанные с минеральной частью почвы (III фракция), во всех горизонтах почти совсем отсутствуют. О.В. Юрлова (1959) связывает эти особенности гумуса с очень малым содержанием коллоидального минерального материала в почве и своеобразием условий гумификации. Емкость поглощения (сумма поглощенных оснований) в южных черноземах несколько меньше, чем в обыкновенных черноземах, пропорционально соотношению гумусности этих подтипов.

Сумма поглощенных оснований в горизонте А средне- и легкосуглинистых разновидностей колеблется около 25-32 мг – экв/100 г, в супесчаных - около 20-25 мг-экв. Состав поглощенных оснований идентичен обыкновенным черноземам. Главная роль принадлежит обменному Са, а затем Mg.

По характеру солевого профиля, т.е. содержанию и распределению гипса и легкорастворимых солей, в южных черноземах хорошо различаются три категории, связанные с условиями залегания по рельефу, с литологическим составом грунтов, а также с генетическими линиями почвообразования.

В южных черноземах выявлены в третьем полуметре от поверхности наличие гипса до 0,6% CaSO_4 (сверх водорастворимого), что соответствует почти 0,8% кристаллического двуводного гипса. В материнской или подстилающей породе – низкое содержание всех легкорастворимых солей и режим возрастанием количества сульфатов (главным образом, связанных с кальцием до 0,5% водорастворимого CaSO_4) в гипсоносных горизонтах. Такой солевой профиль характерен для степных почв с промывным водным режимом и явлениями выделения малорастворимых солей автотоксического происхождения в слабоувлажняемых частях почвенного профиля.

Большее распространение имеют южные черноземы без гипсового горизонта с однородно-низким по всему профилю содержанием легкорастворимых солей (0,1 -0,2% сухого остатка в водной вытяжке), главную часть которых составляют щелочные и щелочно-земельные бикарбонаты, содержание же хлоридов и сульфатов очень низкое (обычно не более 0,01 % Cl и не более 0,05% SO_4). К ним относятся южные черноземы с разными условиями залегания, в том числе и на плакорах, отличаются легким гранулометрическим составом или двучленным – более легкими в нижних горизонтах и хорошо дренированными за счет подстилания песком, щебнистым или галечным материалом, что обеспечивает даже в условиях недостаточного атмосферного увлажнения, вынос из корнеобитаемого слоя растворимых солепродуктов почвообразования и выветривания.

Каштановые почвы. В котловинах Республики Тыва тип каштановых почв является преобладающим, занимает 1195 тыс. га или 7,1% от общей

площади. Из них темно-каштановые – 165 тыс. га, каштановые – 1074 тыс. га, светло-каштановые – 206 тыс. га, лугово-каштановые – 52 тыс. га. Из подтипов каштановых почв преобладают каштановые (Жуланова, Чупрова, 2010; Савич, Жуланова, Кащенко, Якимов, 2012; Жуланова, 2013).

Каштановые почвы развиваются на относительно низко расположенных территориях от 700 до 1200 м абс. высоты, в межгорных долинах не холмисто-увалистых междуречьях, под разреженной полынно-злаковыми ассоциациями. Общий запас корневой массы в метровом слое почвы по данным О.В.Юрловой (1959) составляет 120 ц/га в полуметровом слое, а в светло-каштановых почвах около 50 ц/га. Распределение корневой массы сосредоточено в самом верхнем слое мощностью 17-25 см, который соответствует горизонтам А и В. Почвообразующими породами для каштановых почв являются грубый маломощный элювий плотных пород до рыхлых и однородных на глубину нескольких метров делювиальных или древнеаллювиальных отложений.

Преобладающими типами грунтов являются: слабощебнистые супесчаные и песчаные элювиально-делювиальные покровные отложения, маломощные щебнистые, суглинистые и легкосуглинистые делювиальные отложения (на шлейфах хребтов Улуг-Хемской и Хемчикской котловинах, на южной подгорной равнине хребта Танну-Ола и т.д.) неоднородные легкосуглинистые и супесчаные валунно-галечниковые древне-аллювиальные наносы (на речных террасах). Здесь преобладают грунты мало влагоемкие и легководопроницаемые если не с поверхности, то в неглубоких горизонтах (обычно уже во втором-третьем полуметре от поверхности). Это обстоятельство определяет профиль каштановых почв, препятствует формированию в них гипсоносного горизонта и тем самым придает почвам характер элювиальности.

Подтип каштановые почвы наиболее распространенный в тувинских степях, каштановые почвы полнее всего отражают: свойства подтипа, а также провинциальные особенности, и представлены наибольшим числом разновидностей. Темно-каштановые и каштановые почвы различаются по содержанию гумуса. Очень сходны по морфологическому габитусу и основным свойствам.

В каштановых почвах Тувы не выявлено гипсового горизонта, а имеются на глубине 1-1,5 м новообразования в виде друз, жилок в мелкозем, иногда небольшие выделения гипса. В этом горизонте обычно наблюдается довольно большое содержание легкорастворимых сульфатов и хлоридов.

В каштановых почвах Европейской части России, в Казахстане и Южной Сибири под карбонатным горизонтом есть сульфатный горизонт, содержащий обильные и выделения гипса легкорастворимых сульфатов и хлоридов.

Каштановые почвы Тувы аналогичны Забайкальским и Северо-Монгольским каштановым почвам (Беспалов, 1951; Уфимцева, 1960), что дает основание считать, перечисленные почвы, принадлежащие к одной

фациальной группе. Каштановые почвы хорошо дренированы, имеют легкий гранулометрический состав, подстилаемой щебнем, имеют высокую водопроницаемость почвенного профиля и подстилающих пород и незначительным капиллярным поднятием влаги. Ввиду этих причин при небольших атмосферных осадках, солевые продукты выветривания вымываются из почвенного профиля, и не приводят к образованию гипсового горизонта (Ногина, 1956). Каштановые почвы средне- и легкосуглинистые развивающиеся на однородных суглинках (в пределах 1,5 м) могут иметь элементы гипсовой аккумуляции, что ведет к изменению водно-физических свойств. Эти каштановые почвы могут приближаться к европейско-казахстанскому типу почвообразования (Носин, 1963).

Песчаные разновидности каштановых почв сопутствуют супесчаным, и местами занимают довольно большие площади. Широкое распространение их отмечается в восточной части Хемчикской котловины, в долине реки Улуг-Хема (Енисей) восточнее г. Шагонара, на Кызыл-Чедерском плато и особенно в районе южнее реки Тес-Хем, где они становятся почти преобладающими в почвенном покрове.

По общей морфологии каштановые песчаные почвы мало отличаются от супесчаных. Гумусовый горизонт в них, естественно, окрашен светлее (преобладает серовато-бурый тон), но выделяется на разрезе вполне отчетливо. Переходный горизонт В прогумусирован слабо, несколько неравномерно и всегда имеет окраску более красноватую (рыжеватую), чем материнская порода. Карбонатный горизонт большей частью выражен в форме не сплошной пятнистой и в общем, слабой обызвесткованности песка. Выделения CaCO_3 более обильны в линзах и прослойках щебня. Глубина залегания карбонатного горизонта меняется в больших пределах, чем это наблюдается в легкосуглинистых и супесчаных разновидностях, однако вскипание обнаруживается не ниже 40 см, а начало карбонатных выделений – не ниже 60 см. Таким образом, даже весьма водопроницаемые и маловлажеемкие песчаные разновидности каштановых почв не отличаются глубокой выщелоченностью от карбонатов, как это свойственно каштановым почвам Прикаспия, причиной является недостаток почвенной влаги, вызывающей растворение и вынос карбонатов.

Содержание гумуса в каштановых почвах (2,0-2,7%) ниже, чем в темно-каштановых (3,8%). Гумус в этих подтипах сосредоточен в 10-15 см слое, соответственно распределению корневой системы. В супесчаных почвах содержание гумуса меньше в связи с их генетическими особенностями.

Темно-каштановые почвы по запасам гумуса в полуметровом слое близки к южным черноземам 15 кг/м^2 , в каштановых почвах запас гумуса меньше, чем в темно-каштановых вдвое-втрое 10 кг/м^2 , чем в черноземах. На содержание гумуса влияет гранулометрический состав почв, в супесчаных разновидностях каштановых почв запас гумуса меньше на 10% чем в суглинистых. Содержание азота (валовое) в гумусовом горизонте А темно-каштановых почв суглинистой и супесчаной разновидности различаются в

пределах 0,10-0,03 %, высшее значение имеют пылевато-суглинистые разновидности.

Темно-каштановые и каштановые почвы полностью насыщены кальцием и магнием содержание натрия незначительное (около 1-3% от суммы поглощенных оснований). В основном темно-каштановые и каштановые легкого гранулометрического состава характеризуются отсутствием аккумуляции гипса и малое содержание водорастворимых солей во всем почвенном профиле, вероятно водопроницаемость этих почв является причиной выноса солей с нисходящими токами влаги во влажные годы (Ногина, 1956). Каштановые почвы, особенно темно-каштановые за исключением каменистых слаборазвитых разновидностей обладают потенциальным запасом основных элементов питания растений.

Однако при интенсивном земледелии и, особенно при орошении может наблюдаться недостаточная обеспеченность сельскохозяйственных культур доступными элементами питания: азот и фосфор находятся в минимуме, которые при недостатке влаги резко снижает урожай или приводят к гибели посевов при интенсивной ветровой деятельности.

Светло-каштановые почвы. Характерными растительными ассоциациями на светло-каштановых почвах Республики Тува является ксероморфная растительность: житняково-ковыльно-змеевковые с большим участием карликовой караганы нанофитона, последний является основным фоном общей разреженной высоты травостоя и очень низкой биологической продуктивности растений. Светло-каштановые почвы развиваются во всех котловинах, в основном приурочены к двум орографическим районам Убсу-Нурской и Хемчикской котловинам по южным склонам хребта Танну-Ола и отрогов Сангилена по правому берегу реки Тес-Хем, а также левобережные террасы этой реки западнее останцовых гор Большого и Малого Сайгына.

В Хемчикской котловине светло-каштановые почвы развиваются на обширной Барлык-Аянгатинской равнине по правобережью реки Хемчик, по левому берегу Хемчика долина Эдегей, террасы в устьи реки Алаш.

Довольно крупный массив светло-каштановых почв в Улуг-Хемской котловине площадью несколько сотен квадратных километров выделены геоботаниками полынно-нанофитовой полупустыни (Соболевская, 1950; Шертер, 1954). Светло-каштановые почвы отличаются от каштановых и темно-каштановых менее дифференцированным морфологическим профилем, малой гумусированностью ввиду малой биологической продуктивности растительного покрова. Менее контрастным выражением горизонта аккумуляции карбонатов, проявляются слабые признаки солонцеватости, состоящие в образовании тонкослоеватых корочек на поверхности горизонта А (толщиной около 1 см) и в некотором уплотнении, а также некоторой комковатости в структуре горизонта В.

Морфологические особенности светло-каштановых почв зависят от литологического состава и строения почвообразующих пород, которыми преимущественно являются: маломощные, легкосуглинистые и супесчаные,

делювиальные отложения, переходящие в грубые элювиально-делювиальные накопления, и маломощные покровные отложения, подстилаемые валунно-галечными пролювиальными или аллювиальными наносами. В некоторых местах почвообразующими породами являются однородные 1,5-2 м глубины светлые, похожие на среднеазиатский лёсс, пылеватые легкие и средние суглинки, в глубоких горизонтах обычно подстилаемые грубыми несортированными отложениями.

Содержание гумуса в горизонте А светло-каштановых почв составляет при легкосуглинистом гранулометрическом составе 1,7-2,0%, при супесчаном составе 1,2-1,5%. На содержание оказывает влияние наличие мезорельефа, влияющего на степень увлажнения почвы, продуктивность растительного покрова, на степень накопления гумуса. Распределение гумуса по профилю характеризуется постепенным убыванием с глубиной, чем в других подтипах.

Суммарные по профилю запасы гумуса в светло-каштановых почвах низкое 6-4 кг/м² в слое 0-30 см, 9-5 кг/ м² в слое 0-50 см (низкие величины соответствуют супесчаным и суглинистым слабообразованным разновидностям).

Почвы каштановые и светло-каштановые Тувы и Хакасии имеют много общего: растительность сухих степей по составу основных ассоциации так и по их продуктивности. Однако большая часть каштановых почв Хакасии сформировалась на иных материнских породах, чем в Туве, на тяжелосуглинистых дериватах красноцветных отложений палеозоя в связи, с чем отмечается значительное уплотнение, связность (B_1B_2) нередко карбонатность всего профиля, пятнистый характер выделений $CaCO_3$, в карбонатном горизонте, большое содержание обменного магния в поглощающем комплексе (Градобоев, 1954).

Каштановые почвы Хакасии часто солонцеваты, и имеют не автоморфный генезис (прошли через луговую фазу), с возможным частичным сохранением лугового режима и в настоящее время.

Каштановые почвы Тувы и Бурятии отличаются по составу гумуса, в почвах, которых отмечается фульватный характер верхней части горизонта и отношение гуминовых кислот к фульвокислоте составляет 0,9 в образце 0-10 см и гуминовый характер нижнего горизонта 1,6 в образце 10-20 см. В каштановых почвах Тувы состав гумуса не подвержен резким колебаниям и отношение гуминовых кислот к фульвокислоте составляют около 1,1. Поэтому каштановые почвы Тувы и Бурятии относятся к разным провинциям, одной общей центральноазиатской фации.

9.2 Характеристика дефлированных почв

Дефлированные каштановые почвы. Почвообразующие породы состоят в котловинах Республики Тува из элювиальных, элювиально-делювиальных, делювиально-пролювиальных, пролювиальных и аллювиальных отложений, последние в долине реки Енисей и ее притоков. Гранулометрический состав

мелкоземистой части от легкосуглинистого до песчаного. Содержание частиц физической глины от 6,5 до 21,2%. Реакция почвенной среды щелочная. Элювий выветривания горных пород распространен на сглаженных вершинах водоразделов. Поверхностная часть элювия с преобладанием мелкоземистого материала составляет 20-30 см и полностью вовлечена в процессы почвообразования. Процент мелкозема незначителен и возрастает по мере выполаживания склонов.

Элювиально-делювиальные отложения характерны для склонов увалов и возвышенностей, которые образованы в результате процессов выветривания горных пород и сноса их в виде щебня, дресвы. Поверхностная часть этих отложений с преобладанием мелкоземистого материала составляет от 25 до 50 см, глубже залегает пластинчатый или плитчатый щебень с очень малой примесью мелкозема. Гранулометрический состав мелкоземистой части супесчаный и песчаный. Содержание частиц физической глины составляет от 6,2 до 19,3%. Реакция почвенного раствора щелочная (рН 7,6-7,8). Содержание гумуса варьирует от 0,95 до 0,98% на элювиально-делювиальных отложениях формируются горные черноземы, горные каштановые почвы, при распахке которых образуются дефлированные почвы.

На делювиально-пролювиальных отложениях формируются черноземы обыкновенные, южные, темно-каштановые, каштановые и светло-каштановые почвы, которые являются основными угодьями, используемые в сельскохозяйственном производстве.

Делювиально-пролювиальные отложения имеют наибольшее распространение и приурочены к выположенным предгорным шлейфам, пологим склонам гор. От элювиально-делювиальных отложений отличаются большей мощностью мелкоземистой части от 60 до 80 см, меньшим содержанием камня и щебня. Почвообразующие породы на склонах гор, как правило, карбонатны. Карбонаты выделяются в виде корочек, накали на нижней стороне щебня и камней в виде мучнистой присыпки в мелкоземе. Гранулометрический состав мелкоземистой части от песчаного до легкосуглинистого. Содержание частиц физической глины от 6,5 до 21,2%. Реакция почвенного раствора от слабощелочной до сильнощелочной (рН 7,2-7,8). Содержание гумуса в пределах 0,18 до 0,82%.

Почвообразующие породы имеют в составе щебень, камни, мелкозем, который богат содержанием карбонатов. Гранулометрический состав от песчаного до легкосуглинистого, реакция щелочная.

При дефляционных процессах преобладающая мелкоземистая часть сдувается и вымывается, особенно на склонах при условии отсутствия растительного покрова, на пахотных угодьях.

Как видно из сравнения аналитических данных в черноземе обыкновенном произошло снижение содержания гумуса на 25% в верхнем слое за 13 лет использования в сельскохозяйственном производстве в качестве пахотных угодий. Гумусовый горизонт уменьшился на 4 см в

результате дефляции и эрозии. Если снос 1 см ведет к потере азота 760 кг, фосфора 240 кг, калия 800 кг/га (Труфанова, Савостьянов, 1967), то потеря 4 см снижает NPK в почве в четыре раза. При дефляционных и эрозионных процессах почва теряет свое естественное плодородие по причине антропогенных воздействий.

Изменение происходит и в каштановых почвах, используемых как пахотное угодие (табл. 28).

Таблица 28 – Изменение химического состава каштановых почв в результате антропогенного воздействия

Год обследования	Мощность горизонта A + B, см	Гумус, %	pH	Грансостав (сумма фракции менее 0,01 мм)
1985	25-30	1,52-2,75	6,5 - 7,5	16,1-17,8
2005	14-29	1,45 -1,57	7,2-8,3	12,5-14,1

Сравнение аналитических данных показывает, что с момента предыдущего обследования произошло снижение гумуса на 1,18% и снижение гумусового слоя от 1 до 9 см, подщелачивание до 0,8% и потери мелкозема до 3,7%. При ежегодной обработке и потери растительного покрова, почва опесчанивается и содержание гумуса приближается к низким пределам. Содержание гумуса в каштановых почвах составляет 1,45-1,57%, в темно-каштановых – 3,2%, в светло-каштановых – 1,29%. Содержание и распределение общего азота находится в коррелятивной связи с количеством гумуса.

Каштановые и светло-каштановые почвы характеризуются небольшой емкостью поглощения, темно-каштановые – высокой (34 мг/экв). Реакция почвенного раствора в верхних горизонтах слабощелочная и щелочная (pH 7,2-8,2), в нижних – щелочная (pH 8,7). В составе обменных оснований основная роль принадлежит кальцию, но содержание в гумусовом горизонте изменяется на 4-12 мг/экв и превышает содержание магния в два раза. С глубиной количество магния и кальция возрастает. Обеспеченность подвижными формами фосфора очень низкая (P_2O_5 – 1,7-2,3 мг/100 г почвы), обменным калием – очень низкая и средняя (K_2O – 1,7-21,9 мг/100 г почвы).

На каштановых почвах, используемых в качестве пашни, залежи, пастбищ необходимо применение противодефляционных и противоэрозионных мероприятий, как полосное размещение сельскохозяйственных культур, ширина полос должна зависеть от гранулометрического состава почв пахотных угодий. Для сохранения и повышения содержания гумуса на пастбищах необходимо проводить поверхностное улучшение, сеять однолетние и многолетние травы. Почвы низкого плодородия отвести под постоянное залужение, без использования под пахотное угодие.

Гранулометрический состав дефлированных каштановых почв. Анализ гранулометрического состава слабо-, средне-, и сильнодефлированных

каштановых почв проведен по методу Качинского. Содержание илистой фракции в верхнем горизонте уменьшается с увеличением степени дефлированности. Так, например: содержание илистой фракции на слабодефлированной – находится в пределах от 2,30 до 7,26%, на среднедефлированной от 2,00 до 5,00%, а на сильнодефлированной до 0,84%.

Содержание физической глины в верхнем слое почвы больше в слабодефлированной (от 16 до 19%), чем на среднедефлированной (от 9 до 13%), и в сильнодефлированной (от 1,3 до 2,0%) каштановой почве.

Причем крупного и среднего песка в горизонте А на сильно-, и среднедефлированных почвах больше (72,54-74,00%), чем на слабодефлированной на 34%. Содержание пылевой фракции в слабодефлированной больше на 7-17%, чем в не дефлированных почвах.

Таким образом, в поверхностном слое дефлированных каштановых почв легкого гранулометрического состава накапливается песчаная фракция. Под влиянием дефляции происходит сортировка и перераспределение песчаной фракции, увеличивается содержание крупного и среднего песка при одновременном уменьшении илистых частиц, которые выдуваются.

Изменение гранулометрического состава ведет к изменению химических свойств дефлированных каштановых почв. Вместе с мелкоземом на отвально-обработанных пашнях выносились важнейшие элементы плодородия почв, снижение содержания гумуса и питательных веществ. В слабодефлированной каштановой маломощной почве в верхнем горизонте гумуса содержится 2,5% и в нижних горизонтах доходит до 0,79%, в среднедефлированных – от 1,40 до 0,60% - в нижнем горизонте, в сильнодефлированных – 0,50%, в нижнем горизонте содержится до 0,24%.

Содержание валовых элементов. Снижение содержания гумуса ведет к снижению питательных элементов, в том числе его валовых форм.

Сильнодефлированная каштановая, маломощная почва в верхнем слое содержит валового азота 0,030-0,032%, валового фосфора – 0,040-0,042%, валового калия – 0,62-0,89%.

В среднедефлированной каштановой почве содержание валового азота 0,045-0,089%, валового фосфора – 0,030-0,61%, валового калия – 1,19-1,52%.

В слабодефлированной каштановой маломощной почве содержание валовых форм почти в два раза больше, а именно; валового азота 0,101-0,120%, валового фосфора – 0,072-0,109%, валового калия – 1,39-2,80%.

Содержание подвижных элементов. Дефляция снижает содержание илистых фракций, вынос которых ведет к снижению содержания гумуса и подвижных элементов.

Содержание подвижного фосфора в сильнодефлированных почвах варьирует в пределах 1,0-1,34 мг/100г почвы, обменного калия – 7-10 мг/100г почвы. В среднедефлированной каштановой маломощной почве подвижного фосфора содержится 1,0-1,80 мг, обменного калия – 15-20 мг/100г почвы.

В слабодефлированной каштановой маломощной почве подвижного фосфора содержится от 1,30 до 2,10 мг, обменного калия – 15,3-22,0 мг/100г

почвы. Содержание нитратного азота очень низкое и варьирует от слабодефлированной до сильнодефлированной, соответственно от 1,7 до 0,10 мг/100г почвы.

Под действием ветровой деятельности почвы теряют основное свойство – плодородие. Изменяется гранулометрический состав и химические свойства каштановых почв. В дефлированных каштановых почвах увеличивается содержание песчаной фракции, значительно снижается содержание гумуса, валовых и подвижных форм фосфора и калия, основных элементов питания растений.

Внедрение дифференцированных почвозащитных мероприятий может способствовать восстановлению почвенного плодородия и использовать почвы под посев многолетних и однолетних трав для восстановления органического вещества и в последующем можно сеять зерновые культуры.

Изменение химического состава происходит и на южном маломощном черноземе при использовании под пахотное угодие по сравнению с целиной (табл. 29).

Таблица 29 – Основные показатели химического состава и свойства южного маломощного чернозема (целина)

Почва	Генетический горизонт	Глубина образца, см	Гумус, %	Азот, %	C:N	Валовой P ₂ O ₅ , %	pH водной суспензии	Поглощенные катионы мг/100 г почвы			
								Ca	Mg	Na	сумма
Чернозем южный легкосуглинистый на делювиальном суглинке	A	1-14	6,8	2,8	14,0	0,21	7,1	23	5,5	0,2	28,7
	B ₁	15-25	3,6	0,16	13,0	0,17	6,8	17,8	5,1	0,3	23,2
	B ₂	30-37	2,0	0,10	11,6	0,14	7,8	15,3	5,9	-	11,2
	BC _к	50-60	1,5	0,05	-	0,13	7,9	11,2	7,5	-	18,7
	C _к	80-90	0,8	0,03	-	0,09	7,8	10,2	9,2	-	19,4
	C _к	110-120	0,5	0,02	-	0,10	7,8	9,4	12,0	-	21,4
	D	140-150	0,3	-	-	0,11	8,0	11,3	9,7	-	21,0

По данным таблицы 29 видно высокое содержание гумуса 6,8%. Содержание валового азота и фосфора высокое соответственно содержанию гумуса.

Южные черноземы маломощные, подверженные дефляции имеют следующий гранулометрический состав (опытное поле) (табл. 30).

Таблица 30 – Гранулометрический состав маломощного южного чернозема, подверженного дефляционным процессам

Генетический горизонт	Глубина образца, см	Гироскопическая влага, %	Частицы <0,001 мм	Физический состав		Наименование по гранулометрическому составу
				Глина	Песок	
				<0,01	<0,01	
A	0-18	2,1	10,33	26,88	73,12	Легкий суглинок
AB	18-25	2,8	12,81	38,40	61,60	Средний суглинок
B ₁	30-40	2,1	10,72	30,29	69,21	Средний суглинок
C ₁	80-90	2,0	10,39	34,14	65,86	Средний суглинок
C ₂	130-140	1,4	9,28	30,21	69,79	Средний суглинок

Содержание илистой фракции, то есть частиц меньше 0,001 мм, в горизонте АВ значительно увеличивается, по сравнению с горизонтом Апах, что обусловлено эродированностью и дефлированностью верхнего слоя горизонта А. Вследствие этого процент физической глины здесь намного ниже (26,88%), чем в горизонте АВ (38,40%). Различие составляет 11,52%. Вниз по профилю содержание физической глины на уровне 30,21-34,14%. Содержание илистой фракции в горизонте А, находится на уровне с почвообразующей породой С₁ – 10,39%, а С₂ – 9,28%. Содержание крупной пыли (0,05-0,01 мм) составляет в почвообразующей породе от 34,57 до 45,0% (Носин, 1963) и преобладает над остальными, таким образом, почвообразующая порода южного маломощного деградированного чернозема – лессовидный суглинок.

В таблице 31 отражено содержание гранулометрического состава южного маломощного чернозема, заложенного на целине (Носин, 1963). Почва целинная, не подвергалась эрозионным процессам. Частицы физической глины < 0,001 мм в горизонте А – 17%, сумма фракции < 0,01 мм составляет 33% и выше нижележащих горизонтов до почвообразующей породы Ск (80-90 см). В гранулометрическом составе горизонта А, преобладает фракция мелкого песка (0,25-0,05 мм), которая составляет 35%, на втором месте фракция крупной пыли (0,05-0,01 мм) – 21% и только на третьем месте фракция, которая относится к илу или коллоиды – 17% (частицы < 0,001 мм). Эти почвы в дальнейшем при обработке быстро становятся дефлированными, мелкозем уносится ветром как более легкие частицы и остается преобладающая фракция песка.

Таблица 31 – Гранулометрический состав южного маломощного чернозема, не подверженного эрозионным процессам (целина)

Генетический горизонт	глубина образца, см	Гироскопическая влага, %	Содержание фракции мелкозема, % (размер частиц в мм)						Сумма фракции <0,01, %
			1,0-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001	
A	0-14	2,2	11	35	21	3	13	17	33
B ₁	15-25	2,9	12	37	20	3	12	16	31
B ₂	30-37	2,2	17	49	14	1	10	9	20
BC _к	50-60	2,1	12	41	17	1	12	17	30
C _к	80-90	2,2	7	29	19	4	16	25	45
C _{кл}	110-120	2,3	8	32	19	5	15	20	40
D	140 -150	1,4	41	27	23	7	15	3	25

Южный маломощный чернозем при длительном использовании под пахотное угодие изменяется (табл. 32).

Таблица 32 – Химический состав южного маломощного деградированного чернозема (опытное поле)

Генетический горизонт	глубина образца, см	Гумус, %	Азот, %	Валовой P ₂ O ₅ , %	pH солевой	Подвижные элементы мг/100 г почвы		Поглощенные катионы мг/100 г почвы			
						P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	Na	сумма
A	0-20	2,8	0,20	0,20	6,9	2,30	24,6	10,6	6,6	-	17,2
B	20-40	1,8	0,15	0,19	7,2	1,42	11,0	12,0	6,5	-	18,5
BC	40-80	1,0	0,03	0,13	7,2	0,43	10,3	11,4	7,1	-	18,5
C ₁	80-100	0,41	0,02	0,13	7,4	0,43	8,5	9,1	11,5	-	20,6
C ₂	100 -155	0,14	-	0,16	7,8	0,62	7,6	12,1	8,97	-	21,1

Южный маломощный деградированный чернозем на опытном участке имеет резкое снижение содержания гумуса до 2,8% в горизонте А, соответственно понижение содержания азота почти на 30%. Сумма поглощенных оснований также имеет тенденцию к снижению, особенно кальция. Небольшая мощность гумусового горизонта (0-14 см) при обработке перемешивается с малопродуктивным горизонтом В. Ежегодная применяемая отвальная вспашка и эрозионные, дефляционные процессы за несколько десятилетий понизили естественное плодородие южных маломощных черноземов, используемых под посев зерновых и кормовых культур.

Влияние механической обработки на почву

На начальном этапе освоения целины механическая обработка играет исключительно важную и по существу мелиоративную роль в почвообразовании.

При вспашке с оборотом пласта резко различные по свойствам генетические горизонты и подгоризонты срезаются на глубину вспашки и перемешиваются, в результате чего создается качественно новый горизонт – пахотный слой. Свойства его резко отличаются от свойств тех горизонтов, какие вошли при вспашке в его состав. Содержание гумуса и прочной структуры в новом пахотном слое почвы снижается до уровня средней величины в результате перемешивания с нижними менее гумусными и менее структурными горизонтами. Усредняется и плотность почвы. Обычно вновь созданный пахотный слой захваченный плугом имеет более рыхлое сложение, чем основная масса нижних горизонтов. Увеличивается численность почвенной микрофлоры и уменьшается почвенная фауна и ее роль в образовании прочной структуры и сложении почвы.

Групповой состав почвенных микроорганизмов изменяется. Вследствие улучшенной аэрации в почве усиливаются процессы нитрификации, а процессы денитрификации при этом резко снижаются.

В процессе возделывания сельскохозяйственных культур система механической обработки почв регулирует плотность пахотного слоя – одного из главных факторов почвенного плодородия, так как с изменением плотности почвы меняются водный, воздушный, тепловой режимы и, как следствие, биологическая активность и питательный режим почвы.

Почва, оставленная без обработки даже в течение одного вегетационного периода, неизбежно уплотняется, при этом резко снижается ее свободная пористость и водопроницаемость. Увеличивается количество мелких пор и в связи с этим возрастает количество недоступной растениям влаги, ухудшается газовый режим почвы и резко снижается урожай растений. Так, повышение плотности от 1,0 до 1,6 г/см³ снижает скорость фильтрации воды в суглинистых и тяжелосуглинистых почвах в 1000 и 5000 раз, причем наибольшее падение фильтрации наблюдалось уже при первом уплотнении почвы от 1,0 до 1,2 см³ (Васильев и др., 1965).

При увеличении плотности от 1,0 до 1,4 г/см³ влажность устойчивого завядания растений в дерново-подзолистой почвы увеличилась с 8,2 до 12,7%, а южного чернозема – с 16,4 до 25,8%. В вегетационных опытах уплотнение почвы с 1,1 до 1,5 г/см² вызывало снижение урожая овса на дерново- подзолистой почве с 12,7 до 7,5 г, на каштановой почве – с 10,5 до 7,5 г и на мощном черноземе – 14,0 до 3,7 г зерна на сосуд.

Для разных почв величина оптимальной плотности пахотного слоя почвы различна и колеблется в пределах от 1,0 до 1,25 г/см³.

Обработка почвы оказывает большое влияние на содержание гумуса в почве. С одной стороны, она усиливает аэробные процессы минерализации органического вещества в почве, и тем самым играет важную роль в

обеспечении растений элементами питания, в первую очередь азотом. С другой стороны, обработка, улучшая условия аэрации, способствует развитию микроорганизмов, участвующих в образовании гумуса, и усилению окислительных процессов.

Новообразование высокомолекулярных гумусовых веществ происходит в результате реакции окисления (Тюрин, 1937). Соотношение этих двух противоположных процессов – процессов минерализации и образования гумуса под влиянием обработки почвы – зависит от поступления в почву органического материала в виде растительных остатков, корневых выделений, органических удобрений. При наличии их в рыхлой обрабатываемой почве создаются условия для преобладания процессов образования гумуса над его минерализацией.

В опытах ТСХА с бессменными культурами: озимая рожь и картофель было внесено одинаковое количество углерода с навозом за 36 лет 810 ц/га, прибавка гумуса под культурами была разная – под озимой рожью составила – 137 ц/га, под картофелем – 205,0 ц/га, соответственно количество углерода в % было также разным 17,0 и 25,3. В рыхлой почве под пропашной культурой гумуса образовалась значительно больше, чем в уплотненной почве под озимой рожью (Ковда, 1973).

Обработка почвы частично разрушает структуру, но в то же время в еще большей степени образует структурные агрегаты в результате крошения глыб орудиями и за счет агрегации пылеватых частиц физически «спелой» почвы при сдавливании. Сближенные пылеватые и глинистые частицы скрепляются в агрегаты под действием сил Ван-дер-Ваальса, за счет добавочных валентностей, пленок ориентированием воды, полимеризации дипольных органических соединений и др. (Антипов-Каратаев, Келлерман, Хан, 1948; Вершинин, 1958; Качинский, 1966).

Для каждой почвы существует своя оптимальная влажность структурообразования, соответствующая понятию «спелой» почвы, при которой перемешивание и механическое воздействие орудий обработки приводят к образованию структурных агрегатов. Опытами установлено, что обработка почвы при оптимальной влажности улучшает состояние почвы и повышает урожай растений.

На старопахотных распыленных почвах механическая обработка при оптимальной влажности осенью и весной, предпосевная обработка (рыхление и боронование) после выпадения осадков являются основными фактором, улучшения структуры и водно-воздушного режима пахотного слоя на весь период вегетации. Механическая обработка сухой почвы, при лущении стерни, при подготовке почвы под посев озимых, наоборот сильно разрушает структуру почвы.

Механическая обработка оказывает и косвенное влияние на структуру почвы. Снижает прочность структуры, способствует минерализации гумусовых веществ, скрепляющих почвенные агрегаты, в почве лучше развивается корневая система растений, интенсивно образуются перегнойные

вещества, мицелий и слизистые продукты жизнедеятельности микроорганизмов, повышающие прочность структуры.

Однако структура, возникшая в результате обработки, обладает малой водопрочностью, большая часть ее разрушается в период осенне-весеннего переувлажнения почвы и только немногие из агрегатов под влиянием гумусовых веществ эволюционируют в стабильно прочную структуру при оптимальном увлажнении и в достаточном количестве поступлении в почву органических веществ на суглинистых и глинистых почвах.

Под влиянием обработки изменяются и агрохимические свойства почвы. Усиливаются процессы выветривания первичных минералов, и процессы перевода минеральной части почвы в активные формы соединений, увеличивается содержание обменных оснований. В почвах с кислой реакцией при этом снижается кислотность, содержание подвижного алюминия, увеличивается степень насыщенности почвы основаниями.

В зоне степи и в полупустынной зоне уничтожение естественной растительности механической обработкой, создаются условия для развития водной эрозии и дефляции почв.

Резко усиливается смыв и выдувание наиболее плодородного богатого гумусом верхнего слоя почвы, образуются рытвины, промоины, овраги. Снижается плодородие почв, гибнут посевы и увеличиваются бросовые земли. Поэтому защита пахотных почв от эрозионных процессов – главная задача земледелия.

Защита почв от эрозионных процессов

Известно много различных приемов защиты почв от эрозионных процессов. По наиболее распространенной классификации противоэрозионные меры делятся на: 1) организационно-хозяйственные; 2) агромелиоративные или агротехнические; 3) лесомелиоративные; 4) гидротехнические.

В агромелиоративные мероприятия входят и лугово- и пастбищемелиоративные (Маккавеев и др., 1972), хотя отличаются по объектам применения.

При разработке комплекса мер защиты почв от дефляции и водной эрозии учитываются почвенно-эрозионная зона, отдельные участки пахотных и других сельскохозяйственных угодий, где должна быть обеспечена защита почв от эрозии и дефляции.

Достигается это, прежде всего разработкой проекта внутрихозяйственного землеустройства, составлением плана противоэрозионной организации территории. Ими устанавливается оптимальное соотношение между различными видами угодий – пашней, лугом, пастбищами, лесными насаждениями в зависимости от ландшафтных и почвенных условий.

При разработке проекта внутрихозяйственного землеустройства в Республике Тува было намечено; сплошное залужение малопродуктивных

пахотных угодий, (которые были сильноэродированы и дефлированы) на площади 72,0 тысячи гектар с последующим переводом их в кормовые угодия, из них 0,7 тыс. га – в сенокосы и 71,3 тыс. га – в пастбища; выделение сильноэродированных участков и перевод их в гослесфонд на площади 2,5 тыс. гектар (табл. 33).

Коренное и поверхностное улучшение сенокосов и пастбищ на площади 44,7 тыс. га. Коренное и поверхностное улучшение проводить на эродированных почвах.

Агротехнические противоэрозионные мероприятия также включают обработку почвы, полосное размещение сельскохозяйственных культур, залужение сильноэродированных земель, применение удобрений, способы посева, снегозадержание, регулирование снеготаяния.

По лесомелиоративному мероприятию проектировалось создание полезащитных лесных полос – 0,2 тыс. га насаждений на орошаемых землях и – 0,2 тыс. гектар других видов защитных насаждений.

Гидротехнические противоэрозионные мероприятия: строительство водозадерживающих сооружений (валы, плотины, пруды), водонаправляющие сооружения, водосборные, донные сооружения, выполаживание склонов, оврагов, промоин, береговые укрепления и спрямление русел.

Таблица 33 – План организационно-хозяйственного мероприятия в Республике Тува (площади в тыс. га)

№ п/п	Наименование административных районов	Перевод сильно- эродированных земель		Передача сильно- эродированных участков в ГЛФ	Площади земель, выделяемые под сплошное залужение	Улучшение			
		в сенокос	в пастбище			Сенокосов		Пастбищ	
						поверхностное	коренное	поверхностное	коренное
1	Бай-Тайгинский	-	2,4	0,2	2,4	0,2	0,2	3,8	0,4
2	Барун-Хемчикский	-	6,9	-	6,9	0,4	0,4	2,1	1,0
3	Дзун-Хемчикский	-	17,1	0,3	17,1	1,2	-	,2	1,3
4	Улуг-Хемский	0,6	13,5	0,4	13,5	1,4	0,6	3,5	1,0
5	Каа-Хемский	-	10,5	-	10,1	0,8	0,6	2,7	1,0
6	Тандынский	ОД	8,2	1,6	8,2	1,0	0,3	1,1	0,5
7	Пий-Хемский	-	-	-	-	-	1,5	2,5	0,3
8	Тес-Хемский	-	2,8	-	2,8	0,3	0,4	1,8	0,5
9	Эрзинский	-	2,5	-	2,5	-	1,2	1,0	1,0
10	Овюрский	-	0,5	-	0,5	-	-	1,6	0,3
11	Монгун- Тайгинский	-	-	-	-	-	-	-	-
12	Тоджинский	-	-	-	-	-	-	-	-
13	Кызылский	-	8,0	-	8,0	-	8,0	1,7	1,7
Итого по Республике Тува		0,7	71,3	2,5	72,0	4,7	6,0	25,0	9,0

Мелиоративные мероприятия. По условиям рельефа пригодными для орошения и осушения в Туве имеется 2405,8 тыс.га. Общая площадь земель нуждающиеся и пригодные к орошению составляют 1486,6 тыс. га с учетом коэффициента земельного использования к мелиоративному фонду отнесено 1062. 5 тыс. га. (табл. 34).

Таблица 34 – Мелиоративные мероприятия (тыс.га)

№ п/п	Мероприятия	Всего	В том числе под		
			Пашню	Сенокосы	Пастбища
1	Земли, намечаемые к орошению, в том числе с предварительным расселением	835,9 124,3	127,2 -	13,6	678,7 110,7
2	Земли, нуждающиеся в осушении с последующим орошением или увлажнением	226,7	-	52,9	173,8
	Всего	1062,6	127,2	82,9	852,5

Орошение путем устройства самотечного плотинного и безплотинного водозаборов, а также с механической водоподачей. Магистральные каналы предусматриваются через трубы и лотки железобетонные. Для проведения более производительного механизированного полива-способ дождевания. Осушение земель намечалось осуществлять непосредственно с открытой сети каналов.

Почвозащитные мероприятия. Защита почв от ветровой эрозии или дефляционных процессов зависит от комплекса мероприятий: введение почвозащитных севооборотов с многолетними травами; полосное размещение сельскохозяйственных культур и паров; приемы обработки почв с сохранением стерни на поверхности и применение противоэрозионных стерневых сеялок СЗС-2Д; посев кулис из высокостебельных растений на чистых парах.

Почвозащитные севообороты. В эродированных районах республики должно быть введено два типа севооборота: полевые севообороты, где зерновые культуры чередуются с чистым паром и выводным клином многолетних трав, размещенных на более эродированных или дефлированных участках; кормовые, где зерновые культуры чередуются с кормовыми.

На слабозабезянных тяжелых по гранулометрическому составу почвах – зерновые культуры занимают 60 % площади, кулисный пар – 20%, кукуруза на силос – 20%.

На среднеразвешенных легких почвах в структуре севооборота под зерновыми культурами отводится 40%, под кулисным паром 10% пашни, под многолетними травами – 50% пашни.

На сильноразвешенных почвах различного гранулометрического состава вводится полосное размещение однолетних просяных культур и многолетних трав 1:1 без пара. Под сплошной посев многолетних трав отводятся участки сильнодефлированные, не пригодные под посев сельскохозяйственных культур, используются под кормовые угодия со строго ограниченным выпасом. В республике таких почв 72 тысячи гектар, которые отведены под залужение. За последние годы площади неиспользуемых земель увеличиваются, пашни остаются под залежью. Из перечисленных типов севооборота в хозяйствах республики введены: полосное размещение зерновых культур и черного пара с применением кулис из кукурузы.

Почвозащитное полосное земледелие

В сельском хозяйстве в засушливых районах применяется полосная система земледелия, особенно на склонах с созданием полос-буферов из травянистой растительности (Соболев, 1961) или деревьями и кустарниками. Буферные полосы наблюдаются в ряде областей: Курской, Тульской, Московской, а также в Молдавии и на Украине где крестьяне с давних пор оставляли на склонах (поперек склонов) нераспаханные полосы шириной от 0,5 до 2 м, поросшие целинной или старозалежной растительностью. Такие травянистые полосы-буфера, разделявшие склон на несколько отрезков, уменьшали скорость стекающих струй, способствовали впитыванию влаги, уменьшали смыв на склонах и задерживали мутные потоки талых вод, создавая ступенчатые террасы.

В исследованиях ученых Московской сельскохозяйственной академии имени К.А. Тимирязева (Трушин, 1953) показали, что стерневые буферные полосы, не побитые скотом, оставленные при вспашке зяби, сокращают смыв почвы и аккумулируют взвешенные в потоках талых вод почвенные частички. Так, например, четыре буферные полосы из озимой ржи, шириной по 10,5 м каждая на расстоянии 52,2 м одна от другой и добавочная полоса в конце склона шириной 85 метров уменьшили смыв почвы на 41,5% по сравнению с контролем, где была сплошная вспашка зяби без буферных полос.

Лаборатория эрозии Почвенного института имени В.В. Докучаева (Преснякова, 1959) изучила метод посева зерновых (озимые и яровые) культур загущая норму высева в полтора раза, образуются полосы с более густой и хорошо развитой растительностью, которые выполняют роль буфера. Это метод дал положительные результаты.

Буферные полосы из озимой пшеницы при ширине 3 м уменьшили смыв до 4,6 м³ с гектара. Внесение удобрений на посевах озимой пшеницы уменьшили смыв с 3,5 до 1,7 м³ с гектара (Керимханова, Преснякова, 1959).

В.В. Докучаев, учитывая народный опыт, создавал травянистые буферные полосы вдоль бровок балок и оврагов. Таким образом, народный опыт и опыт научных учреждений показали эффективность буферных полос из однолетней и многолетней растительности, а также стерневых буферных полос из зерновых культур.

В годы освоения целинных и залежных земель (1958-1964 гг.) в Туве в Тандынском районе, на Тувинской государственной сельскохозяйственной опытной станции получали урожай зерновых культур до 20 центнеров с гектара в основном на каштановых почвах малой мощности. Но уже в 1968 г. посевы в сухостепной зоне погибли от засухи.

Начиная с 1965 г. изучали полосные посевы в сухостепной зоне на каштановых почвах легкого гранулометрического состава. В результате исследования было рекомендовано: ширина защитных полос многолетних трав, посева зерновых культур и стерневых паров в основном зависит от степени эродированности почв, гранулометрического состава и от уклона местности, находится в следующих интервалах: на почвах легкого гранулометрического состава от 25 до 50 м; на почвах тяжелого гранулометрического состава до 70 м. На склонах от 1-6° до 10-25 м. На очень сильноразвешенных почвах рекомендуется производить сплошное залужение многолетними травами. На всех остальных почвах с тяжелым гранулометрическим составом ширина полос не должна превышать 70 метров.

На сильноразвешенных почвах полосы с многолетними травами должны занимать 50% всей севооборотной площади. Обработка почв в полосах производилась почвозащитными орудиями, безотвальным способом.

Разбивку полос на пахотных угодиях проводили в 1968 г. и к 1980 г. полосная система была внедрена в республике на площади 87213 га, безотвальная обработка почв на площади 222852 га, полосное размещение озимой ржи на – 440 га, полив дождеванием – на 160 га, посев многолетних трав в полосных посевах – на 2080 га (табл. 35).

В полосном посеве применялся севооборот: стерневой пар – пшеница (или кукуруза или просо или могар). Эффективным способом борьбы с ветровой эрозией является также посев кулис по стерневому пару. В качестве кулис кроме кукурузы, сеяли подсолнечник на 400 га, расстояние между строчками 22-23 см, между кулисными полосами 24 м. Обработку кулис и межкулисных пространств, проводили культиватором КПЭ-3,8. Кулисы служили весной при посеве для защиты от дефляции.

Таблица 35 – Почвозащитные агротехнические мероприятия в РТ, га

№ п\п	Районы РТ	На зяби			На посевах озимых		На посевах пропашных		На посевах яровых		На посевах многолетних трав			Чистый пар	
		Вспашка поперек склона	Безотвальная вспашка	Щелевание	Полосное размещение	Посев противозероз. сеялками	Полив по бороздам	Полив дождеванием	Полосное размещение	Посев противозероз. сеялками	Полосное размещение	Прикатывание до и после посева	Задержание талых вод	Полосное размещение	Безотвальная обработка
1	Овюрский	-	-	-	-	-	200	-	120	120	-	-	-	120	-
2	Бай-Тайгинский	500	1318	-	-	-	160	10	1150	1150	150	150	50	1150	320
3	Барун-Хемчикский	1500	4303	-	-	-	-	-	4050	4050	-	-	-	4050	250
4	Дзун-Хемчикский	10750	16867	-	-	-	490	40	17080	17080	200	200	50	17080	2300
5	Улуг-Хемский	5400	28566	-	440	440	-	-	9804	9864	-	-	-	9864	3860
6	Тандинский	8464	56463	1540	-	-	100	10	7714	7714	500	500	250	7714	8800
7	Пий-Хемский	5400	35125	1000	-	-	-	-	1258	1258	120	120	120	1258	5607
8	Каа-Хемский	12800	47963	2000	-	-	360	40	5329	5329	360	360	180	5329	6200
9	Тоджинский	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	Тес-Хемский	790	880	-	-	-	610	10	4423	4423	150	150	150	4423	120
11	Эрзинский	1600	-	-	-	-	-	10	6900	6900	-	-	-	6900	-
12	Кызылский	8596	25947	1460	-	-	120	20	23915	23915	-	-	-	23915	2330
13	Монгун-Тайгинский	1850	5420	-	-	-	200	20	5410	5410	-	-	-	5410	800
Всего по Республике Тува		57650	222852	6000	440	440	2240	160	87213	87213	2080	2080	800	87213	30587

Кулисные поля содержат влаги больше весной перед посевом (на 16-18%), в зимнее время хорошо задерживают снег от выдувания, так как в сухостепной зоне мощность снежного покрова невелика. Однако надо не только задержать снег на полях, но нужно задержать талые воды, добиться того, чтобы они полностью впитались в почву.

Посев кулис и оставление полос стерни на высоком срезе поперек склона в значительной мере обеспечивают задержание талых вод, а позже, в апреле-мае, от весенних ветров почвенная поверхность будет меньше подвергаться дефляционным процессам. Урожай яровой пшеницы сорта Саратовская 29 на кулисных парах был выше на 1,3-1,5 ц/га, чем на черных парах без кулис (Григорьев, 1976).

Обработка дефлированных почв. К противозерозионным орудиям обработки почв предъявляются следующие требования: сохранение стерни на поверхности полей и наименьшее распыление почв. При наличии густой стерни более 300 шт/м², почва мало подвергается дефляции. Снежный покров на полях с сохранением стерни достигает большей мощности по сравнению с полями, вспаханными без оставления стерни, которые обрабатываются отвальным способом. Запас влаги в 1,5-2,0 раза меньше, чем на полях со стерневыми полосами, и урожаи соответственно меньше. Поверхность почвы подвергается смыву при таянии снега, зимой сдуванию ветром, а весной почва подвергается дефляции. Обработка почвы проводится после уборки зерновых культур (стерневое поле) культиватором плоскорезом КПП-2,2 на глубину 10-12 см. Это мероприятие позволяет задержать снег зимой и сохранить талые воды весной.

Весной следующего года необходимо провести обработку почвы БИГ-3, дисковым лушильником ЛД-10 с плоскими дисками на глубину 5-7 см, с одновременным прикатыванием поля кольчато-шпоровыми катками ЗКК-6А с целью сохранения влаги в почве.

Технология обработки пара за летнее время. При появлении однолетних сорняков проводится обработка КПП-2,2 с постепенным углублением до 16 см. Там, где имеются очаги корневищных и корнеотпрысковых сорняков, обработка проводится во второй половине августа культиватором КПЭ-3,8. Основную обработку проводят во второй половине августа культиватором глубокорыхлителем КПП-250 на глубину 20-24 см. При глубоком рыхлении почва впитывает влагу осенних осадков и задерживает весенние талые воды, увеличивает запас влаги к весне для будущего урожая.

Если почвы имеют глубину гумусового горизонта до 15 см, то основную обработку проводят культиватором КПП-2,2, заглубляя культивирующие лапы на предельную глубину, при необходимости можно вносить минеральные (фосфорно-калийные) удобрения в осеннее время.

Предпосевная обработка почвы проводится по мере подсыхания верхнего горизонта (определение спелости почвы). На легких почвах проводится закрытие влаги кольчато-шпоровыми катками ЗКК-6А. На

суглинистых каштановых почвах обрабатываются игольчатой бороной БИГ-3 в пассивном положении под углом 12-16°. Последнюю обработку лучше вести одновременно с посевом, внесением удобрений и прикатыванием почвы сеялкой СЗС-2,1.

Очень важно при всех обработках почвы уменьшить распыление, сохранить по возможности больше стерни на поверхности поля. Стерня замедляет движение приземном слое почвы, корневая система скрепляет почвенные комочки, в результате чего увеличивается устойчивость почвы против дефляции в весеннее время.

Посев проводится сеялкой зерновой, стерневой СЗС-2,1, образовавшаяся при посеве мелкогребнистая поверхность в сочетании со стерней сохраняет растения от выдувания и небольшие весенние осадки стекают в междугребневых понижениях, подпитывая, снабжая влагой, всходы яровой пшеницы. Основной культурой в Туве является яровая пшеница. Применяется сорт Саратовская 29, норма посева 3,0-3,5 млн. всхожих зерен на га. В засушливые годы норму высева семян уменьшают и высевают 2,5-3,0 млн. семян на га. Общепринятая заделка семян 3-5 см в Туве не приемлема, так как к посеву в первой декаде мая почва иссушается, как дующими ветрами, так из-за малого количества влаги в почвенном слое. Поэтому глубина посева иная 8-10 см.

9.3 Влияние минеральных удобрений на формы фосфора в южных черноземах Тувы

Количество фосфора и его форм в почвах зависит от гранулометрического и минералогического состава почвообразующих пород и условий почвообразования. В этом направлении почвы Тувы не были изучены. Проведение пробных исследований необходимо, так как для рационального использования удобрений, а фосфорных в особенности, необходимо знать запасы фосфора в почве, распределение его форм по профилю.

Исследования форм фосфора были проведены в маломощных южных черноземах на стационарном опыте. Изучалось влияние органических и минеральных удобрений на плодородие почвы. В исходных образцах почв взятых из разреза, заложенного до закладки опыта, было проведено определение минерального состава фосфатов по Чанга-Джексону в модификации Аскинази-Гинзбурга (1965). Валовое содержание P_2O_5 определяли по методу Гинзбурга, Щегловой и Вульфуса (1963), содержание подвижного фосфора – по Мачигину, степень подвижности фосфатов – по Карпинскому-Замятиной (1958).

Почвы бедны содержанием органического вещества, очень низки показатели гумуса и общего азота, реакция почвенной среды нейтральная, а с глубиной в горизонте С становится слабощелочной, содержание подвижного калия довольно высокое, сумма поглощенных оснований по Каппену – 28,4

мг/100 г почвы (табл. 36). По гранулометрическому составу почвы легкосуглинистые (табл. 37).

Таблица 36 – Агрохимическая характеристика маломощного южного чернозема

Генетический горизонт	Глубина образца, см	Гумус по Тюрину, %	рН солевой	Азот общий, %	мг на 100 г почвы			
					Азот гидролизуемый	K ₂ O	Ca	Mg
A	0-18	3.71	7.2	0.18	10.3	22.9	12.7	8.0
AB	18-25	1.66	7.2	0.14	5.8	13.7	13.0	11.2
B ₁	30-40	1.26	7.3	0.13	-	9.2	10.1	14.9
C ₁	80-90	0.28	7.7	0.01	-	9.2	10.1	14.9
C ₂	130-140	0.09	7.7	-	-	-	15.9	7.8

Таблица 37 – Гранулометрический состав маломощного южного чернозема

Генетический горизонт	Глубина образца, см	Гигроскопическая влага, %	Частицы <0.001 мм	Физическая		Наименование по гранулометрическому составу
				глина	песок	
				<0.01	>0.01	
A	0-18	2.1	10.33	26.88	73.12	Легкий суглинок
AB	18-25	2.8	12.81	38.40	61.60	Средний суглинок
B ₁	30-40	2.1	10.72	30.29	69.71	Средний суглинок
C ₁	80-90	2.0	10.39	34.14	65.86	Средний суглинок
C ₂	130-140	1.4	9.28	30.21	69.79	Средний суглинок

Содержание илстой фракции частиц меньше 0,001 мм в горизонте АВ значительно увеличивается, по сравнению с горизонтом А_{пах}, что обусловлено некоторой эродированностью верхнего слоя горизонта А_{пах}. Вследствие этого процент физической глины здесь намного ниже (26,88%), чем в горизонте АВ (38,40%).

В маломощных южных черноземах максимальное количество валового фосфора выявлено в гумусовом горизонте. Биологическая аккумуляция происходит за счет обеднения фосфором элювиального горизонта АВ и иллювиального горизонта В. Содержание валового фосфора довольно значительное в почвообразующей породе, состоящей из лессовидного пылеватого среднего суглинка (табл. 38).

Растворимыми или подвижными фосфатами почвы называют тот фосфор, который переходит в растворы слабых кислот, щелочей и некоторых солей. Содержание в почве растворимых (подвижных) фосфатов не всегда соответствует содержанию в ней усвояемых (доступных) растениям фосфатов.

В исследуемых почвах содержание подвижного фосфора невысокое и не превышает 3 мг/100 г почвы, с глубиной имеет тенденцию к понижению, минимальное в горизонте В₁, в результате биологической аккумуляции максимальное количество сосредоточено его в перегнойно-аккумулятивном горизонте.

Таблица 38 – Содержание форм фосфора в южном черноземе

Генетический горизонт	Глубина образца, см	Валовой фосфор, мг/100 г почвы	Подвижного P_2O_5 по Мачигину		P_2O_5 в мг/литре раствора
			мг/100 г почвы	% от валового P_2O_5	
A	0-18	232	2,66	1,16	0,36
AB	18-25	163	1,04	0,63	0,11
B ₁	30-40	169	0,58	0,34	0,12
C ₁	80-90	118	1,10	0,84	0,12
C ₂	130-140	125	1,52	1,21	0,12

Содержание подвижного фосфора в процентах от валового в почвообразующих породах несколько выше, чем в горизонте A_{пах}.

С учетом высокого содержания карбонатов в местных почвах и их воздействия на фосфорные соединения нами определена степень подвижности фосфатов в маломощных южных черноземах. Для ее определения использована 0,03 н. K₂SO₄ - вытяжка, предложенная Н.П. Карпинским, В.Б. Замятиной (1958).

Показатели, степени подвижности фосфатов по профилю почв резко меняются, уменьшаясь почти в три раза по сравнению с перегнойно-аккумулятивным горизонтом (от 0,36 до 0,12 мг в литре раствора).

В ходе почвообразовательного процесса лишь часть фосфора материнской породы переходит в органическую форму. Остальные неорганические соединения претерпевают сложные изменения. Многие минеральные фосфаты, содержащиеся в почве, являются уже вторичными формами, образовавшимися при соединении фосфора через живые организмы (растения и микроорганизмы) с элементами минеральной части почв. Это наиболее доступная и подвижная часть фосфатов.

Проведенные исследования показали, что в южных черноземах общее количество неорганических фосфатов находится в пределах 60-70% от валового фосфора.

О наиболее доступных для растений формах фосфатов в почвах можно судить по содержанию их в группе I. Они являются ближайшим резервом, за счет которого постепенно пополняется количество доступных фосфатов по мере их использования растениями. В исследованных почвах содержание 1 группы фосфатов невысокое - 0,8-2,6% от валового фосфора, наименьшее количество - в гумусовом горизонте, наибольшее - в почвообразующей породе. Здесь фосфор представлен наиболее растворимыми формами (табл. 39).

Таблица 39 – Фракционный состав фосфатов маломощного южного чернозема

Генетический горизонт	Глубина образца, см	Валовой фосфор, мг/100 г почвы	Процент от валового фосфора в вытяжках				
			1 н. NH_4Cl	0,5 н. NH_4F	0,1 н. NaOH	0,5 н. H_2SO_4	всего минеральных фосфатов
A	0-18	232	0.8	17.2	12.3	37.8	69.0
AB	18-25	163	0.9	13.8	6.9	21.4	43.0
B ₁	30-40	169	1.2	8.9	7.4	14.8	32.3
C ₁	80-90	118	0.8	17.0	6.3	19.0	43.1
C ₂	130-140	125	2.6	20.0	8.0	16.0	46.6

Фосфаты полуторных окислов со значительным преобладанием фосфатов кальция сосредоточены в перегнойно-аккумулятивном горизонте А, затем количество их несколько снижается и вновь возрастает в почвообразующей породе.

Содержание кальций-фосфатов, извлекаемых 0,5 н. H_2SO_4 - вытяжкой максимально сосредоточены в гумусовом горизонте до 38% от валового содержания P_2O_5 , что, очевидно, связано с выносом солей кальция корнями растений и высокой насыщенностью основаниями материнских пород, а также с высоким содержанием карбонатов.

Содержание алюмо-фосфатов, извлекаемых 0,5 н. NH_4F – вытяжкой, составляют в гумусовом горизонте 17,2% от валового P_2O_5 , наименьшее количество в горизонте В₁. Вероятно, это связано как с выносом их растениями из этого горизонта, так и с внутрипочвенным выветриванием. Наибольшее количество сосредоточено в почвообразующей породе – 20% от валового содержания P_2O_5 .

Несколько иной характер распределения фракции железосфосфатов, извлекаемых 0,1 н. NaOH - вытяжкой. Максимальное количество сосредоточено в перегнойно-аккумулятивном горизонте А, вниз по профилю содержание их резко уменьшается – почти в два раза и показатели их несколько стабильны (6,3-8,0%).

Внесение органических и минеральных удобрений, в эти почвы вызывало изменение содержания форм фосфатов в образцах почв, взятых со стационарного опыта, с наблюдаемых вариантов:

1. Контроль – Р₁₀ в рядки + фон;
8. Фон + навоз 20 т/га;
9. Фон + N₁₀₈P₆₄K₆₀;
11. Фон+N₁₉₇P₁₀₇K₁₂₀+навоз 20 т/га.

Было выявлено значительное изменение степени подвижности фосфатов, фактор интенсивности, т.е. интенсивность перехода фосфат-ионов в почвенный раствор (табл. 40).

Таблица 40 – Влияние органоминеральных удобрений на показатели степени подвижности фосфатов в слое 0-18 см

№ варианта	Варианты опыта	Р ₂ O ₅ в мг/литре раствора	
		в исходных образцах	после внесения удобрений
1.	Контроль – Р ₁₀ в рядки - фон	0,36	0,33
8.	Фон + навоз 20 т/га	0,36	0,77
9.	Фон + N ₁₀₈ P ₆₄ K ₆₀	0,36	0,61
11.	Фон+N ₁₉₇ P ₁₀₇ K ₁₂₀ +навоз 20 т/га	0,36	0,50

Внесенные органические и минеральные удобрения значительно повышали интенсивность перехода фосфат-ионов в почвенный раствор, особенно органические и минеральные удобрения, взятые в отдельности. Комплекс органоминеральных удобрений в варианте 11 замедлял переход фосфат-ионов в почвенный раствор, в связи, с чем показатели степени подвижности фосфатов на этом варианте ниже, чем на других вариантах, исключая контрольный.

Показатели степени подвижности фосфатов возросли на 233% на варианте с органическими удобрениями, а на варианте с минеральными – на 185%, что свидетельствует о слабом закреплении фосфора удобрений в почве, а также о большой растворимости фосфатов органических удобрений.

Повышенное содержание питательных элементов в доступной форме способствовало более ускоренному росту и развитию растений. Наблюдение за динамикой развития растений в течение вегетации показало интенсивное поступление питательных веществ в органы растений (кукурузы, пшеницы) на удобренных вариантах. Так, химический анализ кукурузы в фазе цветения выявил значительное превышение содержания фосфора в листьях – в 3-4 раза по сравнению с контролем.

Установлена средняя корреляционная зависимость между показателями степени

подвижности фосфатов и содержанием фосфора в органах растений. Коэффициент корреляции равен +0,60.

Для установления влияния органических и минеральных удобрений на фракции

минеральных фосфатов были проанализированы образцы почв с наблюдаемых вариантов. Данные анализов показали влияние органических и минеральных удобрений на некоторые фракции фосфатов. Небольшие изменения - в пределах 5-10% от исходного содержания – выявлены во фракции воднорастворимых и рыхлосвязанных фосфатах, а также в группе железо- и кальций-фосфатов.

Итак, южные маломощные черноземы содержат значительное количество валового фосфора – 232 мг/100 г почвы, что зависит от его количества в почвообразующей породе, состоящей из лессовидного пылеватого среднего суглинка. Содержание Р₂O₅ в них довольно высокое –

125 мг/100 г почвы. В исследованных почвах преобладают неорганические фосфаты (60-70% от валового содержания P_2O_5). Значительная часть минеральных фосфатов представлена фосфатами полуторных окислов, в которых преобладают фосфаты кальция - до 38% от валового P_2O_5 .

Внесение органических и минеральных удобрений повышало переход фосфат-ионов в солевой раствор. Показатели степени подвижности фосфатов повышались от 185 до 230% от контроля. Наибольшее влияние на показатели степени подвижности фосфатов оказывали органические удобрения. Установлена зависимость между показателем степени подвижности фосфатов и содержанием фосфора в органах растений. Органические и минеральные удобрения повышали содержание рыхлосвязанных фосфатов и основных фосфатов кальция. Они являются ближайшим резервом, за счет которого постепенно пополняется количество доступных фосфатов по мере их использования растениями.

9.4 Применение минеральных удобрений на дефлированных каштановых почвах степной зоны Центрально-Тувинской котловины

Внесение в почву различных удобрений представляет собой способ улучшения пищевого режима почвы, соответствия количества питательных элементов с потребностями возделываемых культур. В почве могут создаваться условия, приводящие к неполному использованию растениями питательных элементов из удобрений.

Азот из азотных удобрений используется вследствие выщелачивания за пределы корнеобитаемого слоя или потерь в процессе денитрификации, часть его может связываться в органическую форму в результате биологического поглощения. Недостаточное использование питательных веществ из удобрений вызвано недостатком воды или неблагоприятной реакцией почвы.

Немалая часть внесенных удобрений используется сорными растениями. Удобрения могут не способствовать хорошему росту (погрешности в обработке почвы, несвоевременный посев, применение семян, не отвечающих ГОСТу и т.д.). Наиболее полное удовлетворение возделываемых культур питательными элементами достигается в том случае, если внесение удобрений сопровождается мероприятиями, сводящими к минимуму потерю питательных веществ за счет перехода в неусвояемую форму, а также создающими условия для нормального развития выращиваемых растений. Использование удобрений растениями достигается всей суммой взаимосвязанных агротехнических, почвозащитных мероприятий, а также климатических и почвенных условий.

В процессе развития растений существуют два периода; первый – критический, второй – период максимального потребления питательных веществ. Критическим в питании растений называется период, когда недостаток какого-либо элемента особенно отрицательно сказывается на всем последующем развитии растений. Усвоение питательных элементов

растением в более позднее время не может устранить отрицательных воздействий голодания в критическом периоде.

Критический период во времени совпадает с начальными этапами роста растений. Исследованиями (Куперман, 1960; Блэк, 1973; Волков, 1973; Волков, Золотарев, 1974; Ермолаев, 1974) установлено, что в отношении фосфора критическим периодом являются первые 10- 15 дней после появления всходов. Фосфорное голодание в это время не только резко снижает нарастание сухой массы, но и приводит к нарушению нормального обмена веществ в растении, в частности, отрицательно сказывается на азотном обмене. В начальный период (первые 15 дней после всходов) растениям также необходимо азотное питание. В это время они нуждаются в небольшом количестве пищи, так как вегетативная масса и корневая система их еще развиты слабо, а молодые всходы весьма отрицательно реагируют на повышенную концентрацию почвенного раствора. Корневая система растений в этот период еще не обладает способностью использовать питательные вещества из труднодоступных соединений.

В условиях степной зоны в начальной фазе развития растений критический период совпадает с пониженной активностью почвенных микроорганизмов, участвующих в минерализации органического вещества. Это обуславливает резкий недостаток усвояемой пищи, особенно азотной. К этому нужно добавить, что температура почвы недостаточная для микробиологических процессов, которые оказывают непосредственное влияние на нитрификаторов, оптимальная температура для их жизнедеятельности $+28^{\circ}\text{C}$, $+30^{\circ}\text{C}$.

Исследованиями (Демиденко, Попов, 1937; Колосов, 1956; Носатовский, 1965; Сапожников, Корнилов, 1969) установлено, что при температуре $+8^{\circ}\text{C}$, $+10^{\circ}\text{C}$ в зоне корней существенно уменьшается поступление в растения элементов питания.

Фосфор имеет важное значение в начальный период развития растений. В этот период понижена способность растений, использовать почвенный фосфор. Расположение вблизи семян концентрированного источника легкодоступного фосфора с момента прорастания семян имеет большое значение, а также для первоначального роста растений и для усвоения ими фосфора почвы. Последнее обусловлено еще и тем, что под влиянием вносимого в рядки суперфосфата стимулируется развитие корневой системы растений. Это позволяет им для снабжения элементами питания и водой использовать большой объем почвенного субстрата. Период максимального потребления элементов минерального питания совпадает с периодом наибольшего нарастания надземной массы растений.

У злаковых хлебов максимальное среднесуточное потребление питательных веществ наблюдается во время роста стебля, в период между выходом в трубку и началом колошения, после чего оно начинает резко снижаться, а к концу колошения почти заканчивается.

Таким образом, у зерновых культур период питания короче вегетационного периода, потребление питательных веществ из почвы у них прекращается, хотя формирование урожая еще продолжается. Такие культуры, как картофель, кукуруза, многие овощные усваивают азот, фосфор и калий в течение всего вегетационного периода. Быстрые темпы роста в рассматриваемый период, обуславливая интенсивное потребление питательных веществ растениями, требуют достаточного содержания их в почве. Наряду с возрастом увеличивается мощность корневой системы и усиливается выделение корнями веществ, оказывающих растворяющее действие на минеральную часть почвы, и, следовательно, повышается способность растений усваивать питательные элементы из труднодоступных соединений.

Н.А. Сапожников, М.Ф. Корнилов (1969), используя метод меченых атомов, выяснили, что для яровой пшеницы в первую половину вегетации характерно поглощение питательных веществ из верхней части пахотного слоя, в фазу стеблевания усиливается поглощение питательных элементов корнями, расположенными в нижней части пахотного слоя. Аналогичные данные получены для других культур, поэтому авторы считают, что усиленное поглощение питательных элементов во вторую половину вегетации корнями, расположенными в нижней части пахотного слоя, можно рассматривать как общую закономерность.

Не утрачивают растворимости в воде при внесении в почву нитратные формы азотных удобрений. Так как анион азотной кислоты не поглощается почвой ни химическим, ни физико-химическим путем. Вследствие этого они при достаточном количестве осадков могут из верхнего слоя передвигаться вглубь и использоваться корнями, расположенными в нижней части пахотного слоя. Для основного внесения удобрений лучшим считается осеннее внесение (фосфорно-калийное). Удобрения, внесенные осенью, продолжительное время находятся в почве без использования растениями (а в Туве это 7-8 месяцев). В связи с этим возможны следующие осложнения:

1) При заблаговременном внесении (задолго до посева культур) питательные вещества удобрений могут теряться вследствие вымывания за пределы корнеобитаемого слоя;

2) Имеется опасность снижения доступности питательных веществ удобрений при столь длительном взаимодействии их с почвой.

Фосфорные и калийные удобрения в результате взаимодействия с почвой утрачивают или сильно снижают свою подвижность, поэтому опасность их вымывания практически исключается. Но эта опасность существует для азотных удобрений, в первую очередь для нитратных форм. Анион азотной кислоты со всеми основаниями, имеющимися в почве, образует соли, легкорастворимые в воде, способные передвигаться с водой. Другим видом азотных удобрений, способным к вымыванию из почвы является мочевины, которая применяется на полях Центрально-Тувинской котловины.

Как отмечает А. Гро (1966), в среднем каждые 3 мм осадков вымывают нитраты на 1 см. Следовательно, для того чтобы нитраты продвинулись на глубину 30 см, необходимо чтобы за относительно короткий промежуток времени выпало примерно 90 мм осадков. По сведениям того же автора промачивание почвы происходит на глубину, равную пятикратной величине выпавших осадков. Следовательно, при одинаковом количестве осадков промачивание почвы произойдет на значительно большую глубину, чем нитраты. Это, как полагают, происходит вследствие того, что вода просачивается в основном по некапиллярным промежуткам, имеющимся между комочками почвы, тогда как нитраты сосредоточены главным образом внутри комочков, в капиллярах.

Снижение доступности питательных веществ для растений при длительном взаимодействии с почвой возможно практически только для фосфорных удобрений. Суперфосфат при этом превращается в дифосфат и трифосфат кальция (и магния). Но как выяснено многими исследователями, на нейтральных почвах указанные реакции останавливаются на образовании двухзамещенного фосфата кальция и магния, которые растворяются в слабых кислотах и поэтому являются доступными растениям, трехзамещенный фосфат кальция (и магния) в свежесаженном состоянии (до старения) также является доступным растениям.

Калий калийных удобрений, поглощается почвой физико-химически. Однако в почвах легкого гранулометрического состава часть калия может находиться в растворе и подвергается вымыванию. В условиях Центрально-Тувинской котловины калия в почве достаточно для обеспечения растений (20-30 мг/100г почвы в каштановых почвах). Количество этого элемента колеблется от 1,2 до 2,5 % от веса почвы и зависит от минералогического состава почвообразующих пород, степени выраженности почвообразовательного процесса и содержания илистой фракции.

Как правило, в почвах, тяжелых по гранулометрическому составу, по сравнению с легкими наблюдается более высокое валовое содержание калия. Наибольшее значение в питании растений имеет калий почвенного раствора и калий, находящийся в обменном состоянии в почвенно-поглощающем комплексе (Пчелкин, 1966).

Из практики применения удобрений известно, что коэффициент использования фосфора удобрений очень низок по сравнению с использованием других элементов питания: азот используется растениями на 60-100%, калийные на 30-70%, фосфор же всего лишь на 10-30%.

Почвы Центрально-Тувинской котловины содержат подвижного фосфора в пределах 1-3 мг, низкое содержание легкоусвояемого азота (0,5-5,4 мг), но содержание обменного калия достаточно высокое 22-26 мг/100 г почвы. Здесь калийные удобрения не эффективны, исходя из этого нами изучено влияние азотно-фосфорных удобрений на урожай яровой пшеницы на каштановых дефлированных почвах степной зоны.

Целью и задачей проведенных исследований является выяснение характера действия отдельных видов минеральных удобрений и их сочетаний на рост и развитие яровой пшеницы, его качество, а также влияние удобрений на пищевой режим почвы и на ее химические свойства и на плодородие дефлированной каштановой почвы.

Опыты проводились в степной зоне в полосной системе земледелия, при применении безотвальной обработки почв. Предшественник – черный пар, зябь. Почва каштановая слабо-, средне- и сильнодефлированная.

Опыт был заложен по схеме: 1. контроль без удобрения; 2. N_{60} ; 3. P_{60} ; 4. $N_{60} P_{60}$; 5. $N_{60} P_{90}$; 6. $N_{60} P_{120}$; 7. $N_{120} P_{60}$. По зяби и на сильнодефлированных почвах был введен добавочный вариант $N_{60} P_{150}$. В опытах использовались удобрения: аммиачная селитра, суперфосфат двойной гранулированный, калийная соль. Схема опыта предусматривала изучение трех доз азотного (N_{60} , N_{90} , N_{120}), фосфорного (P_{60} , P_{90} , P_{120} , P_{150}) удобрений, калийных удобрений в дозе 60 кг действующего вещества на гектар.

Соотношение азотных и фосфорных удобрений составляет от 1,2 до 3,0. На дефлированных каштановых почвах было заложено несколько опытов:

- на слабедефлированной каштановой почве – опыт I;
- на среднедефлированной каштановой почве – опыт II а;
- на среднедефлированной каштановой почве – опыт II б.

На опыте II а – было проведено осеннее внесение минеральных удобрений по полной схеме. На опыте II б – минеральные удобрения вносились весной перед посевом. На сильнодефлированной каштановой почве изучался опыт IVа с осенним внесением минеральных удобрений. На опыте IVб – минеральные удобрения вносились весной. На сильнодефлированных почвах был введен дополнительный вариант 9 с дозами удобрения – $N_{60} P_{150}$.

На среднедефлированных почвах был заложен опыт III. Схема: 1. Контроль без удобрений; 2. $N_{60} K_{60}$ + фон; 3. Фон + P_{60} ; 4. Фон + P_{90} ; 5. Фон + P_{120} ; 6. Фон + P_{150} .

Кроме того, проводилось изучение действия на урожай яровой пшеницы двойного гранулированного суперфосфата, внесенного весной. Схема V опыта: 1. Контроль без удобрений; 2. P_{60} ; 3. P_{90} .

Повторность опытов четырехкратная, размер делянок 200 м^2 , учетная площадь 160 м^2 , сорт яровой пшеницы Саратовская 29, посев проводился во второй декаде мая.

Предшественник – черный пар, кроме опыта I, где кроме черного пара, была зябь (после посева проса). Агротехника – безотвальная обработка. Опыты проводились в полосной системе земледелия.

Полосная система с включением многолетних трав (ширина полос 25 м, 38 м, 50 м, 75 м, 100 м и 150 м) изучались в 1966-1975 гг. с применением безотвальных обработок.

На фоне безотвальной обработки применение минеральных удобрений является одним из мероприятий, как по повышению урожая возделываемых культур, так и по повышению плодородия дефлированных почв.

В степных условиях Центрально-Тувинской котловины, где почва за зиму глубоко промерзает и весной содержание минерального азота в ней незначительное количество, зерновые культуры с ранних фаз развития испытывают азотное голодание, это является следствием того, что температура почвы в течение длительного времени колеблется от 7,5°C – в мае, до 20,7°C в начале июня и не достигает оптимальных значений для прохождения процесса нитрификации (+28°C). Содержание питательных элементов снижается по мере увеличения степени дефляции. Обеспеченность нитратами в слабдефлированной почве (опыт I) варьирует от 1,7 до 5,4, в среднедефлированной (опыты Па, Пб, III, IV) от 0,5 до 1,8, на сильнодефлированной – 0,5 мг на 1 кг почвы (опыты IVa, IVb).

С увеличением тепла в атмосфере и в почве и с внесением азотных удобрений усилились процессы нитрификации, и показатели их изменились в сторону повышения, несмотря на то, что в течение вегетации шло усвоение их растениями пшеницы, и все же заметно повышение в фазу кущения на вариантах с высокими дозами азота (опыт I, опыт Пб).

На средне- и сильнодефлированных почвах с фазы колошения содержание нитратов резко снижается и остается на этом уровне до конца вегетации – 0,5 мг/кг почвы (опыт Па, опыт Пб, опыт III, опыт IVa, опыт V).

Более стабильно содержание легкогидролизуемого азота в почвенных образцах, взятых до внесения удобрений, есть некоторые различия по степени дефлированности: на сильнодефлированных – 5-6мг, на среднедефлированных и слабдефлированных – 7-8 мг/100 г почвы. До конца вегетации на средне- и слабдефлированных почвах их изменение было незначительным.

Содержание аммиачного азота в почвах опытов - низкое и варьирует в пределах от 0,10-0,85 мг/кг почвы. В течение вегетации содержание их уменьшается, но по вариантам довольно стабильно, за исключением опыта III, где заметно сказывается действие фосфорных удобрений. С увеличением в почве фосфора увеличивается содержание аммиачного азота в почве в связи с увеличением концентрации солей в почвенном растворе.

На дефлированных каштановых почвах внесение азотно-фосфорных удобрений оказало влияние на развитие растений в начальные фазы, фазы кущения, когда закладывается будущий колос и формирование продуктивных стеблей. На каштановых почвах разной степени дефлированности удобрения по разному оказывали влияние на интенсивность нарастания вегетативной массы.

В таблице 41 отражено действие доз удобрений и их сочетание на развитие яровой пшеницы, в фазе кущения на каштановых дефлированных почвах.

Таблица 41 – Влияние минеральных удобрений на формирование вегетативной массы яровой пшеницы в фазе кушения, на дефлированных каштановых почвах

№ п/п	Варианты опыта	Интенсивность нарастания вегетативной массы в 50 растениях, г/сутки					
		Слабодефлированная		Среднедефлированная		Сильнодефлированная	
		вегетативная масса, г	отклонения от контроля +, -	вегетативная масса, г	отклонения от контроля +, -	вегетативная масса, г	отклонения от контроля +, -
1	Контроль б/удобр.	2,4	-	1,1	-	1,46	-
2	N ₆₀	3,8	+1,4	3,3	+2,2	1,82	+0,36
3	P ₆₀	2,7	+0,3	4,7	+3,6	1,84	+0,38
4	N ₆₀ P ₆₀	4,4	+2,0	5,5	+4,4	1,98	+0,52
5	N ₆₀ P ₉₀	3,7	+1,3	4,7	+3,6	2,27	+0,81
6	N ₉₀ P ₉₀	4,6	+2,2	7,7	+6,6	3,22	+1,76
7	N ₆₀ P ₁₂₀	5,5	+3,1	5,9	+4,8	3,47	+2,01
8	N ₁₂₀ P ₆₀	2,3	-0,1	8,0	+6,9	1,92	+0,46
9	N ₆₀ P ₁₅₀	-	-	7,1	+6,0	3,32	+1,86

Реакция яровой пшеницы на удобрения определялось нами по показателям полевой всхожести, нарастанию зеленой массы и урожаю зерна. Исследователями установлено, что полевая всхожесть семян по удобренным вариантам была выше, до 10%. Поступление питательных веществ из почвы в растения интенсивно проходила в фазу кушения. Причем интенсивность формирования зеленой массы по удобренным вариантам в несколько раз превосходило контрольный, особенно на фоне повышенных доз азотно-фосфорных удобрений на слабо- и среднедефлированных каштановых почвах. На сильнодефлированных почвах интенсивное усвоение питательных элементов и прирост вегетативной массы отмечено при дозе N₆₀ P₁₂₀, N₁₂₀P₆₀, а также при дозе N₆₀P₁₅₀. В фазу цветения различия в содержании сухого вещества на контроле и на варианте с повышенными дозами были еще более выраженными. Содержание азота в листьях от внесения N₆₀ и N₆₀ P₆₀ было наибольшим. Поступление азота в корневую систему яровой пшеницы несколько иное, азотные удобрения в дозе N₆₀ почти не повысили содержание азота в корнях (табл. 42). Наличие азотных удобрений повышало интенсивность поступления фосфат-ионов в почвенный раствор и поглощение их корневой системой, так как содержание их на контроле составляет 0,126 %. После внесения N₆₀, на этом варианте содержание фосфора в корневой системе составляет 0,30 %. При равных соотношениях азотно-фосфорных удобрений отмечено наибольшее содержание азота в корнях. На дефлированных почвах имеет значение развитие корневой

системы, которая закрепляет почвенную поверхность и является защитным слоем от выдувания.

Таблица 42 – Влияние минеральных удобрений на развитие корневой системы яровой пшеницы на каштановой среднедефлированной почве

№ п/п	Варианты опыта	Средняя масса корней	Отклонение от контроля +, -
1	Контроль б/удобр.	16,1	-
2	N ₆₀	17,1	+1,0
3	P ₆₀	17,5	+1,4
4	N ₆₀ P ₆₀	19,8	+3,8
5	N ₆₀ P ₉₀	18,2	+2,1
6	N ₉₀ P ₉₀	21,2	+5Д
7	N ₆₀ P ₁₂₀	17,8	+1,7
8	N ₁₂₀ P ₆₀	15,9	-0,2

За вегетационный период играет большую роль корневая система, от особенностей строения, мощности и развития которой в большей степени зависит снабжение растений водой и питательными элементами. Наши наблюдения за развитием корневой системы показали, что минеральные удобрения на эти процессы оказывают положительное влияние.

На интенсивность формирования корневой системы особенно сильное влияние оказали дозы N₆₀ P₆₀ и N₉₀ P₉₀, оптимальное питание на этих вариантах способствовало развитию вторичных узловых корней яровой пшеницы, которые увеличили их массу, усвоение питательных элементов из почвенного поглощающего комплекса зависело еще и от влажности почвы.

Содержание влаги в почвах опытов было различным. Запас продуктивной влаги в слое 0-20 см в опыте I был неудовлетворительным (16 мм), а в опыте II и III более повышенным (соответственно 32,8 и 33,8 мм), в метровом слое – 41-50 мм - запас влаги неудовлетворительный, но вполне достаточный для растворения внесенных минеральных удобрений. В степной зоне обычно бывает мало осадков, так за май месяц во второй и третьей декаде выпало 5 мм, вместо 13 мм (многолетние данные). В июне месяце также выпало мало осадков – 5,7 мм в результате чего влажность была недостаточной и близка к гигроскопической – 4,3-7,2 %. Отсутствие влаги способствовало образованию короткого колоса с небольшим количеством колосков. В это время на опытных участках наблюдалось пожелтение и засыхание нижних листьев, близких к поверхности почвы, так как температура на поверхности почвы была очень высокой, около + 60°С.

Н.И. Вавилов (1931) считал засуху физической данностью и постоянным условием нашего земледелия. Свыше 60 % посевов зерновых культур в России находится в зонах недостаточного увлажнения, из них 2/3 - в засушливой или очень сухой зоне (Ковырялова, 1984). В итоге основные посевы пшеницы у нас находятся в регионах со среднегодовым количеством осадков менее 400 мм, а часть их - в полупустыне, где выпадает меньше 300

мм в год. В таких условиях возделываются сельскохозяйственные культуры в Центрально-Тувинской котловине.

Главной причиной снижения урожая в период засухи Н.А. Максимов (1952) считал торможение ростовых процессов в критический период, которое приводит к сокращению ассимиляционной поверхности листьев.

Дальнейшие исследования показали, что активные ростовые процессы вегетативных органов разворачиваются несколько раньше, когда растение наиболее требовательно к свету, и засуха в это время действительно приводит к сокращению интенсивности роста, а критический период наступает, когда интенсивность ростовых процессов снижается в силу естественных причин и при нормальном водоснабжении (Удачин, 1987).

В критические периоды главной причиной снижения урожая является повреждение микроспор пыльцы, что приводит к стерильности цветков и снижению озерненности колоса. Мысль о влиянии засухи на ход редукционного деления впервые высказала Н.Л. Удольская (1936).

В конечном итоге засуха сказывается на урожае. Урожай снижается исключительно за счет уменьшения числа зерен на одно растение, так как масса 1000 зерен не снижается. Влияние засухи в фазе формирования колосков сказывается на сокращении ассимиляционной поверхности средних и частично верхних листьев и уменьшения числа колосков в колосе. Воздействие засухи период налива зерна приводит к ухудшению налива, шуплости зерна снижению его качества (Заблуда, 1948; Удачин, 1987).

Ни скороспелость, ни засухоустойчивость сами по себе еще гарантируют высокой урожайности. Продуктивны только те скороспелые сорта, которые наряду с быстрым развитием отличаются энергичным ростом высоким темпом накопления сухого вещества, а также достаточно эффективным ассимиляционным аппаратом.

Жаро- и засухоустойчивость растения пшеницы связаны с увеличением вязкости протоплазмы, и в этом процессе наибольшую роль играют катионы кальция и натрия; анионы органических кислот, наоборот, понижают вязкость (Генкель, 1982). Предполагается существование нескольких видов протоплазмы: гидрофильная вязкость протоплазмы и под действием органических кислот снижаются заряд и степень гидратации боковых цепочек белковых молекул, которую называет структурной вязкостью протоплазмы. При повышении температуры воздуха, вязкость протоплазмы непрерывно повышалась, а жароустойчивость возрастала до температуры 35°C, а с 40°C снижается, соотношение между гидрофильной и структурной вязкостью цитоплазмы смещаются под влиянием повышенной температуры. При температуре почвы от 50°C до 53°C на листьях появляются ожоги, а при температуре 54,5°C – очень сильные, приводящие в итоге к отмиранию растений пшеницы.

Посевы яровой пшеницы переносили температуру на поверхности супесчаной почвы + 60°C. Желтели и отмирали только нижние листья. Температура воздуха достигала в отдельные годы в тени более 30-34°C

(данные приводятся по фазе кущения яровой пшеницы). При таких условиях было заметно влияние удобрений на развитие яровой пшеницы и урожай зерна. На выживаемость растений пшеницы влияет наличие питательных элементов в почве и поступление их в корневую систему.

Калийное питание растений. Каштановые почвы за исключением песчаных разновидностей характеризуются высоким содержанием обменного калия (20-30 мг/ 100 г почвы). Эффективность от применения калийных удобрений на таких почвах пока не отмечено. На опытных участках перед закладкой опыта, содержание калия было в пределах 28 - 35 мг/100 г почвы. В течение вегетации его содержание в почве изменилось, так в фазу кущения заметно некоторое снижение, а в фазу колошения до 20 мг/100 г почвы, объясняется процессами почвообразования, связанными с температурой и влажностью почвы и большей частью потреблением его растениями в процессе роста вегетативной массы яровой пшеницы (табл.). Соотношением элементов питания в почве создается равновесие в почвенном растворе и усиливается интенсивность поглощения элементов питания корневой системой.

Благоприятные условия питания создаются, как известно, при оптимальном соотношении элементов питания. Резкое преобладание в почвенной среде азота над фосфором может привести к повышению синтеза простых белков. Снижение фосфорсодержащих органических соединений может отрицательно сказаться на качественных показателях урожая, как протеин, аминокислотный состав белка и др.

9.5 Изменение питательных элементов в слабодифлированной каштановой почве в связи с внесением минеральных удобрений под посев яровой пшеницы

На слабодифлированных каштановых почвах внесенные удобрения под посев яровой пшеницы оказали заметное влияние на содержание элементов питания в почве по сравнению с контролем.

В таблице 43 отражено содержание легкогидролизуемого и аммиачного азота до и после внесения минеральных удобрений, за период вегетации яровой пшеницы.

Легкогидролизуемого азота в слабодифлированных каштановых почвах содержалось в пределах от 6,24 до 7,56 мг/100 г почвы.

При внесении аммиачной селитры в дозе $N_{60}-N_{120}$ произошли изменения в фазе кущения и колошения яровой пшеницы. В пахотном слое содержание азота легкогидролизуемого варьировало в пределах от 7,28 (на контроле) до 12,84 мг/100г почвы, на варианте $N_{120}P_{60}$. В фазе восковой спелости содержание их оставалось на высоком уровне от 8,40 до 14,60 мг/100 г почвы.

Содержание аммиачного азота очень низкое. Поэтому данные приводятся в мг/кг почвы. До внесения удобрений, содержание их находятся в пределах от 1,01 до 1,66 мг/кг почвы.

За вегетационный период содержание по фазам развития изменилось, и наибольшее их количество было в фазу кущения.

Внесение азотных удобрений повышало содержание аммиачного азота от 2,10 до 4,10 мг/кг почвы.

При внесении дозы $N_{120}P_{60}$ содержание аммиачного азота повысилось до 7,00 мг/кг почвы по сравнению с контролем (1,10 мг/кг почвы).

Дефлированные почвы содержат мало органического вещества, мало гумуса, которые влияют на содержание усвояемого азота.

Таблица 43 – Изменение азота в слабодэфлированной каштановой почве в связи с применением минеральных удобрений под яровую пшеницу (Опыт I)

№ варианта	Варианты опыта	Легкогидролизуемый азот мг/100г почвы				Аммиачный азот мг/кг почвы			
		До внесения удобрений	Фазы развития			До внесения удобрений	Фазы развития		
			кущение	колошение	Восковая спелость		кущение	колошение	Восковая спелость
1	Контроль б/удобр.	6,69	7,28	7,28	8,40	1,26	1,10	1,10	1,10
2	N_{60}	6,24	10,40	8,40	8,96	1,66	3,10	2,10	2,10
3	P_{60}	7,56	8,96	10,64	12,88	1,04	2,90	2,10	2,50
4	$N_{60}P_{60}$	7,00	10,08	8,40	11,20	1,30	3,80	2,80	4,90
5	$N_{60}P_{90}$	6,30	10,08	10,64	11,32	1,01	4,10	2,80	4,10
6	$N_{90}P_{90}$	7,56	11,76	11,76	14,60	1,60	4,10	2,80	3,50
7	$N_{60}P_{120}$	6,58	12,04	11,76	14,60	1,30	4,10	3,00	3,50
8	$N_{120}P_{60}$	6,16	12,84	12,88	11,20	1,30	7,00	3,50	4,10

Содержание нитратов очень низкое, в пахотном слое до внесения удобрений по фазам развития растений, в пределах 0,5-1,7 мг/100 г почвы. После внесения азотных удобрений, их количество за вегетационный период увеличилось в несколько раз, от 2,5 до 6,8 мг/100 г почвы. В фазу кущения было немного выше и к концу вегетации заметно уменьшилось. При полной спелости показатели их были следующие - от 1,7 на варианте P_{60} , где не вносилось азотного удобрения и до 3,4 мг/100 г почвы при дозе – $N_{120}P_{60}$.

Содержание усвояемого азота в почве на варианте P_{60} не изменилось. Осталось на уровне контрольного варианта, так как азотное удобрение не вносилось. С наступлением тепла в биосфере, нитрификационные процессы усиливаются, и на этом варианте (3) показатели нитратов несколько меняются от 0,5 до 1,7 мг/100 г почвы.

При сочетании доз $N_{60}P_{120}$ содержание нитратов варьирует от 0,5 до 2,5 мг/100 г почвы, уменьшаясь к концу вегетации яровой пшеницы. При равных соотношениях доз $N_{60}P_{60}$ и $N_{90}P_{90}$ содержание нитратов в почве выше, чем при остальных сочетаниях, и количество их находилось в пределах от 2,4 до 4,5 мг/100 г почвы (табл. 44). В каштановых почвах подверженных дефляции содержание усвояемого азота очень низкое.

За вегетационный период содержание азота повышалось при высоких дозах азотных удобрений. В слабдефлированной каштановой почве внесенные азотные удобрения оказывали влияние на повышение содержания элементов питания: легкогидролизуемого, аммиачного азота и нитратов. Внесенные удобрения повышали плодородие почвы и оказывали влияние на развитие яровой пшеницы, возделываемой в экстремальных условиях.

Содержание подвижного фосфора в почвах Центрально-Тувинской котловины низкое, а в дефлированных почвах еще ниже за счет потери органического вещества и гумуса. В слабдефлированной каштановой почве внесения удобрений, содержание подвижного фосфора было на уровне от 0,8 до 1,34 мг/100 г почвы. При развитии яровой пшеницы за вегетационный период наибольшее содержание подвижного фосфора отмечено при колошения, от 1,19 на контроле, и при дозе $N_{60}P_{120}$ – 10,40 мг/100 г почвы.

Наибольшее содержание подвижного фосфора отмечено при равных сочетаниях азотно-фосфорного удобрения, а именно $N_{90}P_{90}P_{120}$ – мг/100 г почвы.

К концу вегетации (при одной спелости) содержание подвижного фосфора было очень низким, от 0,21 до 1,34 мг/100 г почвы, за счет усвоения питательных элементов растениями пшеницы при формировании урожая, при наливе зерна.

В сухостепной зоне мало выпадает осадков, поэтому были изучены на среднедефлированных каштановых почвах сроки осеннего и весеннего внесения удобрений. Весной и в начале лета практически исключается возможность вымывания удобрений из почвы. Осадки преимущественно выпадают в июле и августе, в виде затяжных дождей (муссонные осадки). Это с одной стороны дает возможность вносить удобрения с осени (вторая декада октября), не опасаясь их вымывания из корнеобитаемого слоя, а с другой - обуславливает необходимость их глубокой заделки, в слой с наиболее устойчивым увлажнением.

Почвенные образцы были отобраны до внесения удобрений осенью и весной. Предшественник – черный пар.

Данные анализа показали, что содержание легкогидролизуемого азота немного выше осенью, чем весной. Соответственно следующие по срокам внесения удобрений: при осеннем отборе образцов составляет от 7,84 до 8,52, при весеннем – от 5,74 до 7,12 мг/100 г почвы. Отличие объясняется оптимальной температурой воздуха и почвы, и накоплением элементов питания за период парования в летний период (образцы почв отобраны осенью).

Таблица 44 – Изменение элементов питания яровой пшеницы на слабдефлированной каштановой почве в связи с применением минеральных удобрений (в мг/100 г почвы в слое 0-20 см, опыт I)

№ варианта	Варианты опыта	Нитраты				Фосфор				Калий			
		До внесения удобрений	Фазы развития			До внесения удобрений	Фазы развития пшеницы			До внесения удобрений	Фазы развития пшеницы		
			кущение	колошение	полная спелость		кущение	колошение	полная спелость		кущение	колошение	полная спелость
1.	Контроль б/удобр.	0,5	0,5	0,5	0,7	0,99	0,21	1,19	0,21	25,2	10,5	15,3	10,6
2.	N ₆₀	1,1	2,5	2,5	2,8	1,20	2,50	2,25	0,21	30,9	13,1	22,9	11,8
3.	P ₆₀	0,5	1,7	0,5	1,7	1,34	2,76	6,42	0,21	30,9	18,7	9,2	11,8
4.	N ₆₀ P ₆₀	1,1	4,5	3,4	2,3	1,19	4,00	5,50	0,30	25,2	17,5	15,3	14,2
5.	N ₆₀ P ₉₀	1,7	6,8	2,5	3,25	1,34	3,50	6,25	0,54	28,6	13,1	15,3	10,6
6.	N ₉₀ P ₉₀	0,5	3,4	3,4	2,4	1,19	3,54	12,00	0,42	25,2	13,1	22,9	11,8
7.	N ₆₀ P ₁₂₀	0,5	2,5	1,1	1,4	1,19	3,50	10,40	1,17	28,6	10,5	11,0	10,6
8.	N ₁₂₀ P ₆₀	1,7	2,5	3,4	3,4	0,99	4,0	7,50	1,34	30,9	6,6	18,3	11,8

На среднедефлированных почвах при осеннем внесении азотных удобрений содержание легкогидролизуемого азота повышалось. Содержание легкогидролизуемого азота на вариантах с высокими дозами $N_{120}P_{60}$ составляет 14,64 мг/100 г почвы при осеннем внесении удобрений (табл. 45).

Содержание легкогидролизуемого азота изменялось от доз и их сочетаний, составляло при дозе N_{60} – 8,40-11,20 мг, при дозе $N_{60}P_{60}$ – 10,20-11,64, при дозе $N_{90}P_{90}$ – 10,08-11,76 мг/100 г почвы.

Высокая доза азотного удобрения $N_{120}P_{60}$ в два раза повышала содержание легкогидролизуемого азота по сравнению с контрольным вариантом.

Таблица 45 – Изменение содержания азота в среднедефлированных каштановых почвах в связи с применением минеральных удобрений под яровую пшеницу (опыт II а. Осеннее внесение удобрений)

№ п\п	Варианты опыта	Легкогидролизуемый азот мг/100г почвы				Аммиачный азот мг/кг почвы			
		До внесения удобрений	Фазы развития			До внесения удобрений	Фазы развития		
			кушение	колошение	восковая спелость		кушение	колошение	восковая спелость
1	Контроль б/удобр.	7,00	7,84	6,96	5,60	1,80	2,10	2,50	2,00
2	N_{60}	7,56	10,64	11,20	8,40	2,10	2,80	2,80	2,50
3	P_{60}	7,84	8,08	8,64	7,40	2,21	2,50	2,10	2,80
4	$N_{60}P_{60}$	8,12	11,64	11,20	10,20	2,10	2,80	2,80	3,50
5	$N_{60}P_{90}$	5,74	11,20	11,76	10,64	1,80	2,80	2,80	2,50
6	$N_{90}P_{90}$	7,84	11,69	11,76	10,08	1,80	3,50	2,80	2,50
7	$N_{60}P_{120}$	8,52	11,76	11,20	10,20	2,10	2,80	2,80	4,10
8	$N_{120}P_{60}$	7,00	14,64	12,32	10,60	2,10	7,00	7,00	4,10

Изменение легкогидролизуемого азота при дозе P_{60} без азотного сочетания было невысоким, в пределах 7,40 - 8,08. К концу вегетации содержание азота снижается, на контроле до 5,60 (табл. 46).

На повышенных дозах азотного удобрения - 10,60 мг/100 г почвы - в два раза выше контрольного варианта.

Таблица 46 – Изменение содержания азота в среднедефлированных каштановых почвах в связи с применением минеральных удобрений (в мг/100 г почвы, в слое 0-20 см, опыт II б. Весеннее внесение удобрений)

№ п/п	Варианты опыта	Легкогидролизующий азот мг/100г почвы				Аммиачный азот мг/кг почвы			
		До внесения удобрений	Фазы развития			До внесения удобрений	Фазы развития		
			кущение	колошение	восковая спелость		кущение	колошение	восковая спелость
1	Контроль б/удобр.	5,74	8,00	6,52	8,40	1,80	2,80	2,10	2,10
2	N ₆₀	7,00	12,52	11,76	11,76	2,00	4,10	2,80	3,50
3	P ₆₀	7,02	9,08	10,20	9,08	2,00	2,80	2,80	2,80
4	N ₆₀ P ₆₀	7,00	12,08	11,76	10,32	2,20	7,00	4,10	3,50
5	N ₆₀ P ₉₀	7,12	11,76	11,20	10,76	2,20	9,20	4,10	3,50
6	N ₉₀ P ₉₀	7,00	14,32	12,44	10,60	2,40	4,90	3,50	3,50
7	N ₆₀ P ₁₂₀	7,00	11,76	11,82	10,88	2,20	4,10	4,10	4,10
8	N ₁₂₀ P ₆₀	7,12	17,36	14,88	12,36	2,20	7,80	4,90	7,20

При весеннем внесении содержание легкогидролизующего азота несколько выше, чем при осеннем. При фазе кущения пределы содержания их составляют от 8,0 (на контроле) до 17,36 мг/100 г почвы. На повышенных дозах азотного удобрения, при дозах N₆₀P₆₀, N₉₀P₉₀ соответственно 12,08 и 14,32 мг/100 г почвы, при высокой дозе N₁₂₀P₆₀ – 17,36 мг/100 г почвы.

К концу вегетации содержание легкогидролизующего азота снижается до 8,4-14,86. При осеннем внесении легкогидролизующего азота ниже, от 2 до 3 мг /100 г почвы, все-таки происходит потеря азота в результате дефляционных, эрозийных процессов, в период таяния снега.

В среднедефлированных каштановых почвах аммиачного азота содержится незначительное количество – от 1,80 до 2,20 мг/100 г почвы. Различия в содержании аммиачного азота при осеннем и весеннем внесении составляют соответственно 2,10 и 2,80-9,20 мг/100 г почвы при фазе кущения яровой пшеницы. При дальнейшем развитии яровой пшеницы их содержание постепенно уменьшается и к концу вегетации различия все же остались в пределах 2,00-4,10 и 2,10-7,20 мг/100 г почвы.

Содержание нитратов очень низкое при осеннем внесении удобрения и находится в пределах от 0,5 до 2,3 мг/100 г почвы (табл. 47). Хотя предшественник черный пар, на дефлированных почвах при низком содержании гумуса нитрификация понижена в связи с высокой температурой почвы и воздуха, с легким механическим составом и закреплением их, частично вымыванием талыми водами весной.

Содержание фосфора на среднедефлированных почвах низкое и находится в пределах 0,21 до 1,34 мг/100 г почвы. Их содержание несколько выше осенью от 1,61 до 2,26 мг/100 г почвы (табл. 48). Образцы были отобраны до внесения удобрений, осенью и весной. Между ними есть различия вследствие биологических процессов, происходящих в почве, которые оказали влияние на выветривание почвенных минералов за время парования.

За вегетационный период развития яровой пшеницы, сравниваемые варианты по срокам внесения были также различны. При осеннем внесении содержание P_2O_5 в фазу кущения яровой пшеницы было выше, чем при весеннем, соответственно равны 2,26-4,50 (осеннее внесение) и 0,98-2,78 мг/100 г почвы, весеннее внесение. В фазу колошения яровой пшеницы содержание подвижного фосфора увеличилось, несмотря на то, что период колошения является критическим. В этот период яровая пшеница усваивает питательные элементы в наибольшем количестве. В опыте с весенним внесением содержалось P_2O_5 – от 4,5 до 10,5 мг/100 г почвы, на вариантах с высокими дозами удобрения $N_{60}K_{60}$ – 9,48, $N_{90}K_{90}$ – 10,5 мг/100 г почвы.

При осеннем внесении высокие дозы P_2O_5 содержали $N_{60}K_{60}$ – 3,81, $N_{90}K_{90}$ – 4,25 мг/100 г почвы. По окончании вегетационного периода, при полной спелости зерна яровой пшеницы, на обоих опытах содержание подвижного фосфора понизилось. Показатели P_2O_5 были следующие: при осеннем внесении удобрений от 0,42 до 2,64, а при весеннем – от 0,64 до 4,37 мг/100 г почвы.

Снижение P_2O_5 шло за счет усвоения корневой системой пшеничного растения и формированием генеративных органов.

При осеннем внесении происходит потеря не только подвижного азота, но и подвижного фосфора на среднедефлированных каштановых почвах за счет внутрипочвенного стока, а также при дефляционных процессах, при таянии снега весной (табл. 49).

Таблица 47 – Изменение содержания элементов питания яровой пшеницы на среднедефлированных каштановых почвах в связи с применением минеральных удобрений
(в мг/100 г почвы, в слое 0-20 см, опыт II а. Осеннее внесение удобрений)

№ п\п	Варианты опыта	Нитраты				Фосфор				Калий			
		До внесения удобрений	Фазы развития			До внесения удобрений	Фазы развития			До внесения удобрений	Фазы развития		
			кущение	колошение	полная спелость		кущение	колошение	полная спелость		кущение	колошение	полная спелость
1	Контроль б/удобр.	0,5	0,5	0,5	0,5	1,61	2,26	2,78	0,42	11,5	10,5	10,9	10,8
2	N ₆₀	1,1	1,1	0,5	0,5	1,61	4,00	3,75	2,42	19,1	10,5	14,4	10,6
3	P ₆₀	0,5	0,5	следы	0,5	1,61	4,00	4,74	2,64	15,9	13,1	14,4	14,2
4	N ₆₀ P ₆₀	1,1	2,3	1,1	4,0	2,28	4,50	3,81	0,81	15,9	13,1	13,8	11,8
5	N ₆₀ P ₉₀	1,1	1,7	1,1	0,5	1,61	2,50	3,14	1,80	17,6	10,7	12,7	8,5
6	N ₉₀ P ₉₀	0,5	2,3	1,7	0,5	2,26	4,20	4,25	0,98	19,1	10,6	13,8	10,6
7	N ₆₀ P ₁₂₀	1,1	1,7	следы	следы	2,28	2,78	3,89	0,81	19,1	12,7	13,8	10,6
8	N ₁₂₀ P ₆₀	0,5	1,1	4,0	0,5	2,08	4,00	3,75	0,98	19,1	13,1	13,8	10,6

Таблица 48 – Изменение содержания элементов питания яровой пшеницы на среднедефлированных каштановых почвах в связи с применением минеральных удобрений (в мг/100 г почвы, в слое 0-20 см, опыт II б. Весеннее внесение)

№ п\п	Варианты опыта	Нитраты				Фосфор				Калий			
		До внесения удобрений	Фазы развития			До внесения удобрений	Фазы развития			До внесения удобрений	Фазы развития		
			кущение	колошение	полная спелость		кущение	колошение	полная спелость		кущение	колошение	полная спелость
1	Контроль б/удобр.	0,5	1,1	0,5	0,5	0,64	0,98	0,98	0,64	14,5	6,6	9,2	10,2
2	N ₆₀	0,5	2,3	1,7	1,7	0,42	1,34	4,80	3,62	17,5	10,5	9,2	10,7
3	P ₆₀	0,5	1,1	1,7	1,4	0,98	0,42	7,75	2,50	17,4	14,6	13,8	10,7
4	N ₆₀ P ₆₀	0,5	4,0	2,8	1,4	0,21	2,78	9,48	3,50	15,9	10,5	9,2	10,6
5	N ₆₀ P ₉₀	0,5	2,8	2,8	1,1	0,98	2,78	9,00	3,50	15,1	10,5	9,2	10,2
6	N ₉₀ P ₉₀	0,5	4,5	3,4	1,4	0,64	2,50	10,5	3,75	11,5	9,5	10,5	10,6
7	N ₆₀ P ₁₂₀	0,5	2,8	1,7	1,4	1,34	1,34	6,75	4,37	14,4	10,5	13,8	10,8
8	N ₁₂₀ P ₆₀	0,5	5,6	1,7	1,7	0,98	1,80	6,75	2,78	14,4	10,6	9,2	10,2

Таблица 49 – Изменение содержания элементов питания яровой пшеницы на среднедефлированных каштановых почвах в связи с применением минеральных удобрений (в мг/100 г почвы, в слое 0-20 см, опыт III)

№ п\п	Варианты опыта	Легкогидролизуемый азот мг/100 г почвы				Аммиачный азот мг/кг почвы			
1	Контроль б/удобр.	7,28	7,28	7,28	5,60	1,60	2,80	2,10	2,10
2	N ₆₀ K ₆₀ - фон	7,28	7,84	7,84	8,40	1,70	3,50	2,80	2,80
3	Фон + P ₆₀	7,28	8,40	10,64	8,40	1,60	4,10	2,80	4,10
4	Фон + P ₉₀	7,28	11,20	12,32	9,52	1,70	4,90	3,50	4,40
5	Фон + P ₁₂₀	7,84	10,08	11,76	14,00	1,80	4,90	3,50	4,90
6	Фон + P ₁₅₀	7,28	10,20	10,64	16,36	1,70	7,00	3,50	4,90

Калийное удобрение не вносилось. Динамика обменного калия показывает изменение первоначального содержания в течение вегетации яровой пшеницы и снижение при фазе полной спелости зерна. При повышенных дозах усвоение обменного калия было больше. На этих вариантах их содержание понизилось заметно.

Изучение доз нитрофоса на плодородие почвы

На среднедефлированных каштановых почвах, кроме вышеназванных опытов (I - III), был проведено изучение влияния нитрофоса на урожай яровой пшеницы сорта Бурятская. Были изучены три дозы нитрофоса N₄₀ P₄₀; N₆₀ P₆₀; N₈₀ P₈₀.

Внесенные удобрения повышали содержание легкогидролизуемого азота под посевами яровой пшеницы в фазу кущения – от 5,04 до 6,72 мг/100 г почвы, а в фазу полной спелости от 4,20-11,2 мг/100 г почвы (табл. 50).

Содержание аммиачного азота очень низкое и изменения были в пределах от 1,6 до 4,5 мг/кг почвы. Наибольшее содержание аммиачного азота было в фазу полной спелости 4,5 мг/кг почвы (N₈₀P₈₀).

Содержание нитратов в почве также повышалось. В фазу кущения повышалось до 12,2 мг/100 г почвы от дозы N₈₀P₈₀. В фазе колошения содержание нитратов имело максимальное увеличение 15,0-35,0 мг/100 г почвы.

Таблица 50 – Изменение содержание элементов питания яровой пшеницы на среднедефлированных каштановых почвах в связи с применением нитрофоса (мг/100г почвы, в слое 0-20 см, опыт V)

Варианты опыта	Легкогидролизуемый азот				Аммиачный азот (мг/кг почвы)				Нитраты				Фосфор			
	До внесения удобрений	Фазы развития пшеницы			До внесения удобрений	Фазы развития пшеницы			До внесения удобрений	Фазы развития пшеницы			До внесения удобрений.	Фазы развития пшеницы		
		кущение	колошение	полная спелость		кущение	колошение	полная спелость		кущение	колошение	полная спелость		кущение	колошение	полная спелость
Контроль б/удобр.	5,0	5,04	4,20	4,20	1,6	1,6	1,47	1,6	2,5	2,5	5,0	5,0	1,0	1,0	0,41	0,98
N40 P40	5,0	6,25	8,96	11,2	1,6	1,67	1,75	2,5	2,5	5,0	15,0	6,2	0,98	1,80	1,34	2,06
N60 P60	5,0	6,72	10,1	11,2	1,6	1,75	2,20	4,50	2,5	6,2	17,5	6,2	0,98	2,06	3,86	2,96
N80 P80	5,0	6,72	11,2	10,1	1,6	1,97	2,60	2,80	2,5	12,2	35,0	6,2	1,0	3,05	2,96	2,42

В фазу кущения содержание подвижного фосфора было на уровне 3,05 мг $N_{80}P_{80}$ по сравнению с контрольным вариантом, где содержание было равно 1,0 мг/100 г почвы.

В фазе колошения наибольшие показатели были при дозе $N_{60}P_{60}$ – 3,86 мг, а на контроле – 0,41 мг/100 г почвы. Те же тенденции прослеживаются и при фазе полной спелости на контроле 0,98 мг, дозы $N_{60}P_{60}$ увеличили P_2O_5 , до 2,96 мг/100 г почвы, а при дозе $N_{80}P_{80}$ показатели P_2O_5 ниже – 2,42 мг/100 г почвы.

Сложные удобрения экономичнее при внесении в почву, так как внесение удобрений разовое, а азотно-фосфорное вносится в почву отдельно.

Влияние сроков внесения удобрений на плодородие сильнодефлированных каштановых почв

На сильнодефлированных каштановых почвах был заложен опыт IVa и IVб. Опыт IVa – с осенним внесением минеральных удобрений, а в опыте IVб – с весенним внесением минеральных удобрений. В этом опыте добавлен вариант $N_{60}P_{150}$, так как содержание подвижного фосфора в сильнодефлированных почвах очень низкое. Внесенные удобрения повышали содержание питательных элементов в почве. Минеральные удобрения создавали благоприятные условия для роста и развития яровой пшеницы.

В таблице 51 приводятся данные по содержанию легкогидролизуемого и аммиачного азота до внесения удобрений, образцы почв отобраны осенью перед внесением минеральных удобрений. Содержание легкогидролизуемого азота в пределах 5,04-7,28 мг/100 г почвы. Содержание аммиачного азота – от 0,30 до 1,1 мг/кг почвы. Азотное удобрение на сильнодефлированных каштановых почвах в течение вегетации заметно повышало содержание легкогидролизуемого азота. В фазу кущения показатели варьировали в пределах 10,08-22,12, последнее при дозе $N_{120}P_{60}$. При фазе колошения значение легкогидролизуемого азота было на уровне 11,20-16,80 мг/100 г почвы. Содержание аммиачного азота было в почве до внесения очень мало (0,30-1,1 мг/кг почвы). В течение вегетации отмечено изменение в сторону увеличения.

В фазу колошения, в период критической фазы, их значение было наименьшим – 2,80-4,10, в фазу кущения – 3,50-6,10, в фазу спелости пшеничного растения содержание аммиачного азота немного изменилось в сторону увеличения 2,80-6,10 мг/кг почвы.

При весеннем внесении тех же доз удобрений на сильнодефлированных почвах содержание аммиачного азота было немного выше (табл. 52). В фазу кущения самые низкие значения при дозе P_{40} – 2,10, на остальных вариантах от 4,40, (на варианте $N_{60}P_{150}$) до 7,20 ($N_{60}P_{60}$), при дозе $N_{90}P_{90}$ – 7,90 мг/кг почвы. Содержание аммиачного азота снижается в фазу колошения от 2,80 до 4,40 мг/кг почвы в связи с усвоением элементов питания в критическую фазу развития пшеничного растения.

До внесения удобрений содержание легкогидролизуемого азота в сильнодефлированной каштановой почве находилось на том же уровне, что и на опыте IVa при осеннем внесении минеральных удобрений, а именно 6,15 - 6,72 мг/100 г почвы. После внесения минеральных удобрений, показатели легкогидролизуемого азота изменились значительно от 8,08 (на контроле) до 18,60 мг/100 г почвы (N₁₂₀P₆₀ на варианте 8).

Таблица 51 –Изменение содержания азота в сильнодефлированной каштановой почве в связи с применением минеральных удобрений под яровую пшеницу (в слое 0-20см, опыт IVa. Осеннее внесение удобрений)

№ п\п	Варианты опыта	Легкогидролизуемый азот мг/100г почвы				Аммиачный азот мг/кг почвы			
		До внесения удобрений	Фазы развития			До внесения удобрений	Фазы развития		
			кушение	колошение	восковая спелость		кушение	колошение	восковая спелость
1	Контроль б/удобр.	6,16	8,08	8,20	7,28	1,10	2,10	2,10	2,80
2	N ₆₀	6,44	11,20	14,60	12,32	1,10	4,10	4,10	4,10
3	P ₆₀	6,16	10,08	11,20	9,52	0,30	3,50	2,80	2,80
4	N ₆₀ P ₆₀	6,16	13,44	14,60	14,00	0,98	4,40	2,80	4,10
5	N ₆₀ P ₉₀	6,72	12,04	12,88	14,00	1,10	3,50	2,80	4,40
6	N ₉₀ P ₉₀	5,04	13,44	12,88	17,92	1,10	6,10	3,50	4,10
7	N ₆₀ P ₁₂₀	6,44	10,08	11,76	16,80	1,10	3,50	2,80	4,40
8	N ₁₂₀ P ₆₀	6,72	22,12	16,80	19,44	1,10	4,90	2,80	6,10
9	N ₆₀ P ₁₅₀	7,28	11,76	14,6	14,00	1,10	3,50	3,50	2,80

Таблица 52 – Изменение содержания азота в сильнодефлированной каштановой почве в связи с применением удобрений под яровую пшеницу (в слое 0-20см, опыт IV6. Весеннее внесение удобрений)

№ п\п	Варианты опыта	Легкогидролизуемый азот мг/100г почвы				Аммиачный азот мг/кг почвы			
		До внесения удобрений	Фазы развития			До внесения удобрений	Фазы развития		
			колошение	кущение	восковая спелость		колошение	кущение	восковая спелость
1	Контроль б/удобр.	5,83	8,80	9,20	7,28	0,30	2,10	2,10	2,10
2	N ₆₀	6,16	10,64	14,56	11,20	1,20	6,10	3,50	3,50
3	P ₆₀	6,72	8,08	10,20	8,40	1,10	2,10	2,80	2,80
4	N ₆₀ P ₆₀	6,60	12,88	14,00	12,00	1,70	7,20	4,40	4,90
5	N ₆₀ P ₉₀	6,16	14,00	11,20	10,08	1,40	6,10	4,40	4,10
6	N ₉₀ P ₉₀	6,60	12,88	14,56	12,90	1,20	7,90	3,50	4,90
7	N ₆₀ P ₁₂₀	6,15	12,88	11,76	11,20	1,10	6,10	2,80	4,10
8	N ₁₂₀ P ₆₀	6,16	14,56	18,60	12,90	0,38	6,10	3,50	4Д0
9	N ₆₀ P ₁₅₀	6,72	12,76	11,76	10,08	1,70	4,40	2,80	3,50

Содержание легкогидролизуемого азота изменялось по фазам развития растений и отличия от осенних внесений почти незаметны, кроме аммиачного азота. Содержание аммиачного азота до внесения минеральных удобрений (весеннее внесение) было в пределах 0,30-2,10 мг/кг почвы. Внесение азотных удобрений повышало их содержание от 3,50 до 7,90 мг/кг почвы в фазу кушения. Наибольшее значение наблюдались на вариантах с дозами, N₆₀P₆₀ и N₉₀P₉₀ (в фазу кушения). С наступлением критической фазы и к фазе спелости содержание аммиачного азота снижается до 3,5-4,10 мг/кг почвы.

Содержание нитратного азота в парующей сильнодефлированной почве находится на уровне 0,5-1,1 мг/100 г почвы. Образцы почв отобраны осенью, перед внесением удобрений, для анализа на содержание элементов питания.

Содержание нитратов было на одном уровне при осеннем и весеннем отборе образцов, показатели на уровне 0,5-1,1 мг/100 г почвы.

За вегетационный период их количество повышалось в фазу кушения яровой пшеницы при осеннем внесении удобрения от 1,7 до 6,8 мг/100 г почвы, исключая контрольный вариант. При весеннем внесении содержание нитратов было на уровне 2,0 до 8,3 мг/100 г почвы. В фазе колошения содержание нитратов более чем в два раза превышало контрольный вариант и к концу вегетации снизилось до уровня 0,5-2,1 мг/100 г почвы.

Содержание подвижного фосфора в каштановой сильнодефлированной почве имело некоторое отличие (табл. 53). Осенью подвижного фосфора было несколько больше (почва находилась под паром) 0,42-0,64 мг/100 г почвы, а весной его содержание понизилось (0,21-0,48 мг/100 г почвы), хотя показатели в обоих случаях низкие. Внесенные удобрения повысили содержание P_2O_5 в почве. За вегетационный период показатели были другие. При осеннем внесении, в фазу кущения яровой пшеницы, P_2O_5 было на уровне 2,50-5,25, в фазу колошения – 4,50-6,75, в фазе полной спелости содержание P_2O_5 понизилось почти в два раза – 2,08-2,78, на контроле показатели были на уровне 0,42-0,81 мг/100 г почвы.

При весеннем внесении содержание P_2O_5 повышалось в почве до уровня 4,00-9,48 мг/100 г почвы (табл. 54). Наибольшие значения были в фазе колошения при дозе $N_{90}P_{90}$ и при дозе $N_{120}P_{60}$. При наивысшей дозе фосфора – $N_{60}P_{150}$ содержание P_2O_5 было ниже 6,75 мг/100 г почвы.

При фазе полной спелости содержание P_2O_5 было немного выше, чем при осеннем внесении – 2,26-3,20 мг/100 г почвы. При осеннем внесении, вероятно, происходят потери не только азота, но и фосфора в дефлированных почвах.

Содержание калия в почве высокое – 18,3-27,5 мг/100 г почвы, весной их содержание немного выше, чем осенью. В течение вегетации их содержание постепенно снижается до 12,9-18,3 и при полной спелости находится на уровне 10,5-14,2 мг/100 г почвы.

На сильнодефлированных каштановых почвах в первом минимуме находится содержание фосфора и азота. Обычно существует мнение, что в почве под паром содержание азота достаточно для возделывания зерновых культур и не рекомендуется внесение азотных удобрений. В Центрально-Тувинской котловине в сухостепной, степной зоне в связи с тем, что зона аридная, мало выпадает осадков, растения развиваются ксерофитные и органической массы мало поступает в почву, поэтому содержание гумуса низкое. На дефлированных каштановых почвах, которые используются длительный период под пахотные угодья, содержание гумуса низкое и соответственно мало усвояемого азота, в период парования его содержание не повышается.

Таблица 53 – Изменение элементов питания яровой пшеницы на сильнодефлированных каштановых почвах
в связи с применением минеральных удобрений
(в слое 0-20 см, в мг/100 г почвы, опыт IV а. Осеннее внесение удобрений)

№ п\п	Варианты опыта	Нитраты				Фосфор				Калий			
		До внесения удобрений	Фазы развития			До внесения удобрений	Фазы развития			До внесения удобрений	Фазы развития		
			колошение	кущение	восковая спелость		колошение	кущение	полная спелость		колошение	кущение	полная спелость
1	Контроль б/удобр.	0,5	1,1	0,5	0,5	0,42	0,81	0,64	0,64	18,3	12,9	13,8	8,5
2	N ₆₀	0,5	2,8	2,7	2,1	0,42	5,25	4,75	2,48	18,3	15,9	11,4	10,6
3	P ₆₀	0,5	1,7	2,1	0,5	0,42	2,50	2,48	0,38	22,9	20,1	16,3	14,2
4	N ₆₀ P ₆₀	0,5	6,8	2,7	1,1	0,64	4,50	5,25	2,78	22,9	18,3	15,9	14,2
5	N ₆₀ P ₉₀	0,5	4,8	2,1	1,1	0,21	3,50	4,50	2,70	18,3	15,9	13,8	11,8
6	N ₉₀ P ₉₀	0,5	6,8	2,7	2,0	0,81	5,25	6,75	2,59	18,3	15,9	11,4	10,6
7	N ₆₀ P ₁₂₀	0,5	4,5	2,1	1,1	0,64	4,50	5,25	2,48	18,3	13,8	11,4	10,6
8	N ₁₂₀ P ₆₀	0,5	5,6	2,1	1,7	0,64	5,25	4,75	2,70	18,3	15,9	13,8	14,2
9	N ₆₀ P ₁₅₀	0,5	5,6	0,5	1,1	0,42	4,50	4,25	2,08	22,9	18,3	15,9	14,2

Таблица 54 – Изменение элементов питания яровой пшеницы на сильнодефлированных каштановых почвах в связи с применением минеральных удобрений
(в мг/100 г почвы, в слое 0-20 см, опыт IV б. Весеннее внесение удобрений)

№ п\п	Варианты опыта	Нитраты				Фосфор				Калий			
		До внесения удобрений	Фазы развития пшеницы			До внесения удобрений	Фазы развития пшеницы			До внесения удобрений	Фазы развития пшеницы		
			колошение	кушение	восковая спелость		колошение	кушение	восковая спелость		колошение	кушение	восковая спелость
1	Контроль б/удобр.	0,5	0,5	0,5	0,5	0,21	1,70	1,34	0,64	18,3	14,6	13,1	10,5
2	N ₆₀	0,5	3,8	2,7	1,1	0,21	3,50	4,25	2,89	18,3	15,6	13,1	10,5
3	P ₆₀	0,5	2,0	1,1	0,5	0,21	1,70	3,26	1,34	27,5	18,7	14,6	13,1
4	N ₆₀ P ₆₀	0,5	6,4	2,7	2,1	0,48	4,00	5,50	3,20	27,5	18,7	14,6	13,1
5	N ₆₀ P ₉₀	0,5	6,8	2,1	1,1	0,21	3,50	5,50	3,20	27,5	18,7	14,6	11,1
6	N ₉₀ P ₉₀	0,5	8,3	2,8	2,7	0,21	4,00	7,80	2,89	27,5	18,7	15,6	13,1
7	N ₆₀ P ₁₂₀	0,5	4,7	2,1	1,1	0,48	3,00	7,80	2,78	18,3	15,6	13,1	11,1
8	N ₁₂₀ P ₆₀	0,5	6,4	2,9	2,1	0,48	4,50	9,48	2,26	18,7	15,6	13,1	11,1
9	N ₆₀ P ₁₅₀	0,5	4,7	2,1	1,1	0,48	4,00	6,75	1,34	18,7	15,6	13,1	11,1

На сильнодефлированных каштановых почвах при изучении разных сроков внесения удобрений при малом количестве осадков осенью и зимой, внесённые удобрения сохраняют свои питательные элементы в почве, потери азота и фосфора составляет 7-9 %. До внесения удобрений, содержание подвижного фосфора в почве больше осенью, чем весной как на сильнодефлированных каштановых, так и на среднедефлированных каштановых почвах находящиеся под паром, вероятно, имеют значение разложение и минерализация органического вещества (биогенные процессы).

Влияние удобрений на содержание сухого вещества в яровой пшенице

Внесенные азотно-фосфорные удобрения повышают подвижные формы питательных элементов в дефлированных почвах, влияют на накопление сухого вещества в яровой пшенице за вегетационный период. По опыту I, проведенному на слабодефлированных каштановых почвах, накопление сухого вещества превышало контрольный от 5,1 до 10,6 % за период развития растений (фаза кущения и фаза колошения) по вариантам P_{60} , $N_{60}P_{60}$, $N_{60}P_{90}$ (табл. 55).

Азотное удобрение повышает подвижные формы азота на дефлированных почвах. Доза азотного удобрения N_{60} дала прирост сухого вещества до 8,0%. На сильнодефлированных каштановых почвах осеннее внесение азотного удобрения повышает накопление сухого вещества от 2,0 до 4,7%. Азотно-калийное удобрение в дозе $N_{60}K_{60}$ дали прибавку от контроля 1,2 %, а при добавлении P_{60} ($N_{60}P_{60}K_{60}$) прирост сухого вещества составил 9,2%, то есть фосфорное удобрение дало прирост сухого вещества на 8%. Сравнение прироста сухого вещества по срокам внесения доз удобрений $N_{60}P_{90}$ при осеннем составила 9,0%, а при весеннем внесении – 8,1%.

На сильнодефлированных каштановых почвах добавление дозы $N_{60}P_{150}$ тоже дало прирост сухого вещества до 11,4% при весеннем внесении, а при осеннем внесении – 28,8% от контроля. По вариантам опыта на среднедефлированных каштановых почвах прирост сухой биомассы был наибольший (28,8%) по срокам внесения удобрений.

На варианте $N_{90}P_{90}$ – 9,0% при осеннем и 8,1% при весеннем внесении.

На опыте V, проведенном на среднедефлированных каштановых почвах вносились две дозы суперфосфата P_{60} и P_{90} , без азотного удобрения прирост сухого вещества составил от дозы P_{60} – 15,4%, от P_{90} – 11,9%. На дефлированных почвах фосфорное удобрение предпочтительнее, чем азотные, реакция или отзывчивость растений дает ощутимые результаты по их развитию и накоплению сухого вещества.

Таблица 55 – Динамика накопления сухового вещества яровой пшеницы по вариантам опытов I-V, %

Варианты опыта	Опыт I		Опыт IIa		Опыт IIб		Варианты опыта	Опыт III		Опыт IVa		Опыт IVб		Варианты опыта	Опыт V	
	В среднем за вегетацию	Отклонение от контроля +, -	В среднем за вегетацию	Отклонение от контроля +, -	В среднем за вегетацию	Отклонение от контроля +, -		В среднем за вегетацию	Отклонение от контроля +, -	В среднем за вегетацию	Отклонение от контроля +, -	В среднем за вегетацию	Отклонение от контроля +, -		В среднем за вегетацию	Отклонение от контроля +, -
Контроль б/удобр.	36,3	-	38,3	-	40,05	-	контроль б/удобр.	30,7	-	35,5	-	35,4	-	контроль б/удобр.	26,2	-
N60	44,3	+8,0	40,3	+2,0	43,3	+3,2	N60K60 – фон	31,9	+1,2	40,2	+4,7	42,3	+6,9	P60	41,6	+15,4
P60	46,2	+9,9	45,2	+6,9	46,8	+6,7	фон + P60	39,9	+9,2	41,1	+5,6	43,1	+7,7	P90	38,1	+11,9
N60P60	45,9	+9,6	42,9	+4,6	44,05	+4,0	фон + P90	40,8	+10,1	44,0	+8,5	41,3	+5,9			-
N60P90	46,9	+10,6	41,7	+3,4	45,25	+5,2	фон + P120	40,15	+9,4	44,5	+9,0	43,5	+8,1			-
N90P90	42,7	+6,4	44,2	+5,9	44,9	+4,8	фон + P150	41,85	+11,2	41,1	+5,6	42,7	+7,3			-
N60P20	41,4	+5,1	43,0	+4,7	43,0	+2,9				42,7	+7,2	43,3	+7,9			-
N1 20P60	41,4	+5,1	39,1	+0,8	40,15	+0,1				41,0	+5,5	44,4	+9,0			-
N6 0P50		-		-						64,3	+28,8	46,8	+11,4			-

Изменение содержания элементов питания в органах яровой пшеницы от внесения минеральных удобрений

Яровая пшеница из всех зерновых культур наиболее требовательна к условиям произрастания. После всходов пшеница растет медленно. Это обуславливает чувствительность пшеницы к неблагоприятным факторам как отсутствие влаги, питательных элементов, к повышенной щелочности почв. Основная масса корневой системы располагается в пределах пахотного слоя, поэтому влагу и элементы питания использует с верхних горизонтов почвы. При росте и развитии яровой пшеницы в фазе кущения кроме тепла и влаги, на интенсивность развития влияет минеральное питание. На повышенном фоне пшеница кустится лучше. Зачаточный стебель с узлами и зачаточным колосом развивается в этот период, поэтому наличие достаточных элементов питания необходимо для формирования будущего урожая. Особенно необходимо минеральное питание на дефлированных каштановых почвах. Эффективность зависит от доз удобрений, видов удобрений и степени дефлированности почв, от которых зависит усвоение и содержание элементов питания в органах растений (табл. 56).

Таблица 56 – Содержание элементов питания в органах яровой пшеницы на слабдефлированных каштановых почвах в процентах (опыт I)

№ п/п	Варианты опыта	Азот			Фосфор			Калий		
		зерно	солома	корни	зерно	солома	корни	зерно	солома	корни
1	Контроль б/удобр.	2,00	0,32	0,55	0,30	0,09	0,05	0,35	0,38	0,34
2	N ₆₀	2,32	0,45	0,60	0,35	0,11	0,11	0,39	0,50	0,44
3	P ₆₀	2,00	0,38	0,50	0,39	0,13	0,13	0,58	0,42	0,38
4	N ₆₀ P ₆₀	2,60	0,63	0,63	0,39	0,18	0,17	0,56	0,55	0,75
5	N ₆₀ P ₉₀	2,42	0,55	0,57	0,35	0,14	0,13	0,58	0,45	0,93
6	N ₉₀ P ₉₀	2,50	0,58	0,77	0,46	0,20	0,17	0,64	0,75	0,82
7	N ₆₀ P ₁₂₀	2,32	0,55	0,67	0,35	0,27	0,18	0,94	0,77	0,94
8	N ₁₂₀ P ₆₀	2,45	0,63	0,70	0,39	0,20	0,12	0,58	0,60	0,85
	HCP ₀₅	17%			0,02%			0,34%		

Содержание азота в зерне изменилось при внесении удобрений от 0,32 до 0,60% от контроля. Наибольшее содержание отмечено при дозе N₆₀P₆₀ – 2,60% с увеличением доз азотных удобрений в сочетании с фосфорными (от N₆₀ до N₁₂₀P₆₀) содержание азота в зерне понижалось на 0,15% (N₆₀ – 2,32%, N₆₀P₆₀ – 2,60, N₉₀P₉₀ – 2,50 и N₁₂₀P₆₀ – 2,45%). На слабдефлированных каштановых почвах по содержанию азота в зерне – оптимальное сочетание доз – N₆₀P₆₀.

Наибольшее содержание фосфора в зерне по дозе $N_{90}P_{90}$ – 0,46% (на контроле 0,30%).

Содержание калия в зерне – 0,94% при дозе $N_{60}P_{120}$, азотные удобрения стимулируют повышение калия в зерне (P_{60} – 0,58%, $N_{60}P_{120}$ – 0,94%) при повышенных дозах фосфорного удобрения.

Содержание элементов питания в соломе также зависело от доз и их сочетаний. Содержание азота в соломе наибольшее при дозах $N_{60}P_{60}$ и $N_{120}P_{60}$ – 0,63%, $N_{90}P_{90}$ – 0,58%, на контроле – 0,32%. Наибольшее содержание фосфора в соломе по дозе $N_{60}P_{120}$ – 0,27%, а на контроле – 0,09%, при P_{60} – 0,13%. Содержание калия в соломе варьирует от 0,38 (на контроле) до 0,77%.

Усвоение калия идет более интенсивно, при наличии азотного удобрения (P_{60} – 0,42, $N_{60}P_{120}$ – 0,77%). При снижении доз фосфора $N_{120}P_{60}$ снижается содержание калия в соломе – 0,60%.

Содержание элементов питания в корневой системе также зависит от доз удобрений. Содержание азота в корневой системе выше, чем в соломе (на контроле 0,55%) при дозе $N_{90}P_{90}$ 0,77% – наибольшее содержание по вариантам опыта. Содержание фосфора в корневой системе низкое – 0,09% на контроле, наибольшее при дозе $N_{60}P_{120}$ – 0,27%, в остальных вариантах варьирует от 0,11 до 0,20%.

Содержание калия в корневой системе в некоторых вариантах выше, чем в соломе при высоких дозах азотно-фосфорных удобрений ($N_{60}P_{90}$ – 0,93, $N_{90}P_{90}$ – 0,82, $N_{60}P_{120}$ – 0,94, $N_{120}P_{60}$ – 0,85%, на контроле – 0,34%).

Применение азотно-фосфорных удобрений повышает усвоение обменного калия корневой системой яровой пшеницы, в результате чего повышается его содержание в стеблях и в зерне.

При изучении сроков внесения удобрений на среднедефлированных почвах было выявлено, что калийное питание растений яровой пшеницы выше при осеннем, чем при весеннем внесении удобрений (табл. 57).

Внесение азотно-фосфорных удобрений весной, перед посевом яровой пшеницы повышало содержание азота в зерне от 2,40 до 2,65% по сравнению с контролем (1,80%), при осеннем внесении. Содержание азота в зерне составляло от 1,90 до 2,30% при дозе $N_{90}P_{90}$ по сравнению с контрольным вариантом повышалось от 0,40 до 0,80%. Содержание азота ниже при осеннем внесении на 0,23-0,42% (табл. 58), по сравнению с весенним внесением удобрений. Содержание азота в соломе составляет от 0,30 до 0,45% при осеннем внесении, при весеннем – 0,60-0,75%.

Таблица 57 – Содержание элементов питания в органах яровой пшеницы на каштановых среднедефлированных почвах при весеннем внесении удобрений (в %)

№ п/п	Варианты опыта	Азот			Фосфор			Калий		
		зерно	солома	корни	зерно	солома	корни	зерно	солома	корни
1.	Контроль б/удобр.	1,80	0,35	0,33	0,25	0,14	0,14	0,50	0,51	0,31
2.	N ₆₀	2,50	0,65	0,78	0,35	0,17	0,17	0,52	0,52	0,34
3.	P ₆₀	2,37	0,60	0,70	0,39	0,14	0,14	0,55	0,62	0,44
4.	N ₆₀ P ₆₀	2,50	0,70	0,82	0,39	0,17	0,17	0,62	0,70	0,47
5.	N ₆₀ P ₉₀	2,42	0,62	0,70	0,35	0,17	0,14	0,55	0,53	0,42
6.	N ₉₀ P ₉₀	2,65	0,77	0,88	0,46	0,17	0,17	0,62	0,74	0,49
7.	N ₆₀ P ₁₂₀	2,40	0,60	0,70	0,46	0,17	0,17	0,59	0,73	0,48
8.	N ₁₂₀ P ₆₀	2,52	0,75	0,77	0,35	0,17	0,17	0,58	0,63	0,39

Таблица 58 – Содержание элементов питания в органах яровой пшеницы на каштановых среднедефлированных почвах при осеннем внесении удобрений (в %) (Опыт II)

№ п/п	Варианты опыта	Азот			Фосфор			Калий		
		зерно	солома	корни	зерно	солома	корни	зерно	солома	корни
1.	Контроль б/удобр.	1,50	0,20	0,30	0,30	0,09	0,09	0,52	0,86	0,45
2.	N ₆₀	2,08	0,30	0,40	0,30	0,13	0,13	0,59	0,91	0,52
3.	P ₆₀	1,90	0,20	0,35	0,38	0,09	0,17	0,52	0,90	0,49
4.	N ₆₀ P ₆₀	2,27	0,40	0,57	0,38	0,13	0,17	0,63	0,98	0,62
5.	N ₆₀ P ₉₀	2,20	0,23	0,57	0,34	0,13	0,15	0,59	0,91	0,55
6.	N ₉₀ P ₉₀	2,30	0,45	0,70	0,38	0,17	0,17	0,63	0,91	0,65
7.	N ₆₀ P ₁₂₀	2,12	0,28	0,57	0,34	0,13	0,16	0,56	0,91	0,58
8.	N ₁₂₀ P ₆₀	2,27	0,45	0,75	0,37	0,13	0,15	0,63	0,93	0,62

Те же тенденции наблюдаются и в корневой системе соответственно 0,35-0,75% и 0,70-0,88%.

По содержанию фосфора в органах яровой пшеницы различия небольшие, в пределах 0,05-0,14%, то же самое и в корневой системе, различия составляют 0,05-0,06%. Внесенные минеральные удобрения оказывали влияние на поступление обменного калия в органы растений

яровой пшеницы; в зерне от 0,52 до 0,63%, в соломе от 0,86 до 0,98%, в корневой системе от 0,45 до 0,65% - при осеннем внесении, при осеннем внесении содержание обменного калия поступало меньше, чем при весеннем внесении, хотя калийное удобрение не вносилось.

Внесение азотно-фосфорного удобрения активизировало усвоение обменного калия корневой системы растений яровой пшеницы. Так при весеннем внесении в зерне пшеницы содержалось от 0,50 до 0,62% калия, наибольшее количество при дозе $N_{60} P_{60}$ и $N_{90} P_{90}$, заметна тенденция увеличения калия при повышении доз фосфорного удобрения. Содержание калия в соломе немного выше, чем в зерне, от 0,51 до 0,74%. Доза $N_{60} P_{120}$ повысила содержание калия в соломе на 0,23%, а доза $N_{90} P_{90}$ – 0,24%, $N_{60} P_{60}$ – 0,19%, на контрольном варианте в соломе содержится 0,51%. Поступление обменного калия в корневую систему имеет различия от контрольного варианта от 0,34 до 0,49%, на контрольном варианте составляет 0,31%. Есть тенденция к повышению содержания калия с повышением доз фосфорных удобрений.

Действие сложных удобрений на среднедефлированных каштановых почвах и поступление элементов питания в органы яровой пшеницы

На среднедефлированных каштановых почвах проводилось изучение действия сложных удобрений на продуктивность яровой пшеницы в степной зоне.

Изучалось изменение содержания подвижных элементов питания в почве. Поступление элементов питания в органы растения яровой пшеницы, которые представлены в таблице 59.

Изучение действия нитрофоса на изменение содержания элементов питания в органах растения пшеницы выявили следующее; содержание элементов питания на контрольном варианте низкое, и внесенное сложное удобрение оказало значительное влияние на содержание азота в зерне. На варианте $N_{80} P_{80}$ содержание азота в зерне увеличилось в три раза, по сравнению с контрольным (2,70%, а на контроле 0,90%). При дозе $N_{40} P_{40}$ содержание азота в зерне увеличилось на 1,32% (2,22%), при дозе $N_{60} P_{60}$ – на 1,67%. Содержание азота в корневой системе повышалось, но не так значительно, от 0,78 до 1,05. Наименьшая доза $N_{40} P_{40}$ дала превышение над контролем всего 0,12%, самая высокая доза на 0,27%.

Таблица 59 – Содержание элементов питания в органах яровой пшеницы на среднедефлированных каштановых почвах при внесении нитрофоса, %

№ варианта	Варианты опыта	Азот			Фосфор			Калий		
		зерно	солома	корни	зерно	солома	корни	зерно	солома	корни
1.	Контроль без удобрений	0,90	0,57	0,78	0,25	0,14	0,09	0,58	0,41	0,34
2.	N ₄₀ P ₄₀	2,22	0,65	0,90	0,35	0,14	0,14	0,58	0,47	0,40
3.	N ₆₀ P ₆₀	2,57	0,70	1,00	0,39	0,16	0,17	0,63	0,55	0,40
4.	N ₈₀ P ₈₀	2,70	0,80	1,05	0,39	0,17	0,17	0,66	0,63	0,42

Содержание азота в соломе самое низкое от 0,57 до 0,80%, от доз нитрофоса прибавки составили с повышением доз удобрений от 0,08 до 0,23%.

Содержание фосфора повысилось незначительно 0,25 до 0,39% в зерне до 50% при дозах нитрофоса 60-80 кг д.в. В корневой системе повысилось содержание P₂O₅ от 0,09 до 0,17% при высоких дозах нитрофоса, изменения составляют от 0,05 до 0,08%. Содержание фосфора в соломе на одном уровне с корневой системой, варьирует в пределах – 0,14 до 0,17%.

Изменения в содержании калия также небольшие в зерне – от 0,58 до 0,66%, в соломе от 0,41 до 0,63%, в корневой системе от 0,34 до 0,42%. Повышение составляют соответственно от 0,05 до 0,08% в зерне, в соломе от 0,06 до 0,22%, в корнях от 0,06 до 0,08%.

Внесение сложного удобрения нитрофоса на среднедефлированных каштановых почвах показало, что реакция яровой пшеницы на усвоение в условиях степной зоны, при малом количестве осадков все-таки положительная. Особенно азота, так как почвы низкогумусны и дефлированы, внесенные удобрения восполняют дефицит питательных элементов в зерне и в побочной продукции в условиях степной зоны с малым количеством осадков.

Азотно-фосфорные удобрения и пищевой режим яровой пшеницы на сильнодефлированных каштановых почвах

На сильнодефлированных каштановых почвах, внесенные азотно-фосфорные удобрения оказывали влияние на содержание элементов питания в органах яровой пшеницы (табл. 60).

Таблица 60 – Содержание элементов питания в органах яровой пшеницы на сильнодефлированных каштановых почвах в % (удобрения внесены весной) Опыт IV6

№ варианта	Варианты опыта	Азот			Фосфор			Калий		
		зерно	солома	корни	зерно	солома	корни	зерно	солома	корни
1.	Контроль б/удобр.	1,75	0,38	0,40	0,21	0,13	0,09	0,52	0,57	0,64
2.	N ₆₀	2,20	0,55	0,55	0,34	0,13	0,13	0,52	0,65	0,64
3.	P ₆₀	2,07	0,53	0,45	0,46	0,26	0,17	0,64	0,91	1,06
4.	N ₆₀ P ₆₀	2,40	0,65	0,63	0,46	0,21	0,30	0,65	1,54	1,35
5.	N ₆₀ P ₉₀	2,25	0,57	0,50	0,38	0,27	0,36	0,68	1,45	1,21
6.	N ₉₀ P ₉₀	2,50	0,72	0,65	0,46	0,28	0,35	0,70	1,62	1,35
7.	N ₆₀ P ₁₂₀	2,17	0,57	0,50	0,48	0,23	0,26	0,65	1,37	1,20
8.	N ₁₂₀ P ₆₀	2,37	0,58	0,65	0,34	0,20	0,22	0,62	0,93	1,02
9.	N ₆₀ P ₁₅₀	2,15	0,58	0,50	0,42	0,24	0,21	0,64	1,21	1,21

На сильнодефлированных почвах внесенные азотно-фосфорные удобрения в дозе от 60 до 120 и 150 кг действующего вещества на гектаре изменяют содержание элементов питания не только в почве, соответственно и содержание их в органах яровой пшеницы. Содержание азота варьирует от 1,75% на контроле до 2,50% при дозе N₉₀ P₉₀, доза N₁₂₀ повысила соответственно – 2,37%. Доза N₆₀ дало повышение азота в зерне до 2,20%, доза P₆₀ увеличила усвоение азота растением до 2,07 или на 0,32%. Мало отличается содержание азота в соломе и в корневой системе (от 0,38 до 0,72% в соломе и в корневой системе от 0,40 до 0,65%) наивысшие значения при дозе N₉₀ P₉₀.

Отличия составляют содержание фосфора и калия в соломе и в корневой системе.

Содержание фосфора в корневой системе составляет 0,09 (на контрольном варианте) до 0,35% при высоких дозах – N₉₀P₉₀. Доза N₆₀P₁₅₀ увеличила содержание фосфора в зерне в два раза (0,42%) по сравнению с контрольным вариантом (0,21%). Доза P₆₀, N₆₀P₆₀, N₉₀P₉₀ повысили в зерне пшеницы содержание фосфора в два раза по сравнению с контролем.

Содержание фосфора в соломе увеличилось в некоторых вариантах почти в два раза – 0,13-0,28%. В корневой системе фосфора было немного выше, чем в соломе (0,09-0,36). Содержание обменного калия увеличилось в почвенном растворе при внесении минеральных удобрений в два раза.

В органах растений, в корневой системе и в соломе содержание калия находилось в пределах 0,64-1,62%. При дозе P_{60} , $N_{60}P_{60}$, $N_{90}P_{90}$ – показатели были высокие, соответственно 1,54, 1,62, при дозе $N_{60}P_{120}$ – 1,37%.

Содержание калия в зерне было в пределах 0,52-0,70%. Высокие дозы азотно-фосфорных удобрений повышали содержание калия в зерне.

На сильнодефлированных каштановых почвах применение минеральных удобрений перед посевом обогащает почву подвижными питательными элементами, которые усваиваются корневой системой растений, обогащая стебли и зерно необходимыми питательными элементами.

Проведено сравнительное изучение поступления элементов питания в зерне яровой пшеницы на слабо - и сильнодефлированных каштановых почвах, данные представлены в таблице 61.

Таблица 61 – Содержание элементов питания в зерне яровой пшеницы в зависимости от дефлированности каштановых почв (в %)

№ варианта	Варианты опыта	Слабодефлированная			Сильнодефлированная		
		азот	фосфор	калий	азот	фосфор	калий
1.	Контроль б/удобр.	2,42	0,25	0,46	2,40	0,20	0,40
2.	N_{60}	2,52	0,32	0,46	2,67	0,29	0,51
3.	P_{60}	2,50	0,42	0,47	2,50	0,36	0,47
4.	$N_{60}P_{60}$	2,57	0,46	0,49	2,60	0,40	0,53
5.	$N_{60}P_{90}$	2,55	0,39	0,48	2,55	0,39	0,51
6.	$N_{90}P_{90}$	2,60	0,42	0,49	2,65	0,42	0,51
7.	$N_{60}P_{120}$	2,57	0,39	0,49	2,60	0,40	0,53
8.	$N_{120}P_{60}$	2,59	0,39	0,48	2,62	0,38	0,52
9.	$N_{60}P_{150}$	-	-	-	2,55	0,39	0,47

Полученные результаты анализа отражают растворимость удобрений и переход питательных элементов в корневую систему, стебли и в зерно яровой пшеницы. На слабодефлированных каштановых почвах содержание калия по вариантам более стабильное в зерне от 0,46 (на контроле) и на остальных вариантах мало изменений 0,46-0,49%. На сильнодефлированной каштановой почве диапазон изменений больше от 0,40 (на контроле) до 0,53%, варьирует в пределах от 0,07 до 0,13%. Высокие значения на вариантах с высоким содержанием азота, рост и развитие растений требует большего усвоения калия из почвенного раствора в период формирования зерна пшеницы. Содержание фосфора меньше в органах растений, на сильнодефлированной каштановой почве и находится в пределах – 0,20-0,42%, при дозе $N_{60}P_{60}$ –

0,40%, $N_{90}P_{90}$ – 0,42%, $N_{60}P_{150}$ – 0,39%, P_{60} – 0,36%. Прибавки составили от 0,09 до 0,22%. На слабодефлированной почве, содержание фосфора находится в пределах 0,25-0,46%, прибавки составили от 0,07 до 0,21, при дозе N_{60} – 0,46%, $N_{90}P_{90}$ – 0,42%, при дозе $N_{60}P_{120}$ и $N_{120}P_{60}$ – 0,39%.

Содержание азота усвоено растениями пшеницы больше на сильнодефлированных почвах, прибавки составили на слабодефлированной каштановой почве от 0,10 до 0,18%, а на сильнодефлированной каштановой почве от 0,10 до 0,27%.

При дозе N_{60} – 0,32% на слабодефлированной каштановой почве, а на сильнодефлированных – 0,29%, соответственно прибавки составили от 0,10 до 0,27%. При дозе $N_{90}P_{90}$ разница между показателями азота в зерне на почвах разной степени дефляции составляет 0,05%, доза $N_{60}P_{120}$ и $N_{120}P_{60}$ – 0,03%. При высоких дозах, содержание азота в зерне мало отличаются при возделывании яровой пшеницы на каштановых почвах разной степени дефлированности.

Влияние минеральных удобрений на урожай яровой пшеницы на каштановых дефлированных почвах степной зоны

Результаты проведенных исследований по применению минеральных удобрений на каштановых дефлированных почвах выявили, что одни и те же дозы азотно-фосфорных удобрений по разному влияли на рост урожая яровой пшеницы. Эффективность минеральных удобрений зависела от степени дефлированности почв. Чем больше степень дефлированности, тем меньше было прибавки урожая яровой пшеницы от малых доз удобрений. Низкий эффект от действия калийных удобрений. Эффективность внесенных удобрений связана с погодными условиями в сухостепной зоне в Центрально-Тувинской котловине.

По данным таблицы 62 на каштановых слабодефлированных почвах азотно-фосфорные удобрения повышали урожай яровой пшеницы при дозе $N_{60}P_{60}$ - $N_{90}P_{90}$. Прибавки яровой пшеницы составили от 2,5 до 6,7 ц/га, а дозы более повышенные, а именно $N_{60}P_{120}$ - $N_{120}P_{60}$ соответственно 4,9 и 9,9 ц/га (опыт I). Дефлированные почвы малогумусные, содержание аммиачного и нитратного азота очень низкое, поэтому более эффективны азотные удобрения в сочетании с фосфорными. В каштановой почве, подверженной дефляционным процессам, подвижный фосфор находится в минимуме, степень подвижности находится на уровне 0,029 мг/л. Только при внесении высокой дозы фосфорного удобрения (P_{120}) степень подвижности фосфатов возрастает до 0,061-0,101 мг/л. Поэтому повышение урожая яровой пшеницы происходит при оптимальном содержании, как фосфора, так и легкоусвояемого азота (17 мг/100 г почвы) в почве, а калия содержится на достаточно высоком уровне (10-25 мг/100 г почвы), остальные дозы и их сочетания дали невысокие прибавки, от 0,5 до 2,1 ц/га. Посев яровой пшеницы по зяби (просо) дал очень низкие урожаи, хотя удобрения были внесены по той же схеме.

Сроки внесения удобрений

В степной зоне с пониженным количеством осадков осеннее внесение удобрений могло бы обеспечить большую их растворимость. Но исследования показали, что азотно-фосфорные удобрения, внесенные осенью, были менее эффективны, чем удобрения, внесенные весной, вследствие их потерь, которые связаны с дефляцией и частично фиксацией, а также выносом в нижележащие горизонты. Так на среднедефлированных почвах (опыт Па) прибавки в пределах 1,4 ц/га получены только от высоких доз – $N_{90}P_{90}$, $N_{60}P_{120}$, $N_{120}P_{60}$, при внесении удобрений осенью. Средние дозы не оказали существенного влияния на урожай яровой пшеницы. При весеннем внесении азотно-фосфорных удобрений в тех же дозах, на среднедефлированной почве дозы $N_{60}P_{60}$, $N_{90}P_{90}$ дали прибавки от 1,3 до 2,1 ц/га, доза $N_{120}P_{60}$ – 3,1 ц/га. Разница в урожае от осеннего и весеннего внесения минеральных удобрений составила от 10 до 22,3% на среднедефлированных каштановых почвах. Причина снижения действия осеннего внесения удобрений - потеря питательных элементов в связи с дефляцией и вымыванием в нижележащие горизонты.

Влияние нитрофоса на урожай яровой пшеницы

На среднедефлированных почвах было проведено изучение влияния доз $N_{40}P_{40}$, $N_{60}P_{60}$ и $N_{80}P_{80}$ нитрофоса (сложного удобрения) на урожай яровой пшеницы сорта Бурятская (табл. 63).

Выявлена высокая эффективность повышенных доз нитрофоса на урожай яровой пшеницы.

С увеличением доз нитрофоса изменилось содержание подвижных форм азота в почве. Так, в фазе колошения на контроле было 15, а на варианте $N_{60}P_{60}$ – 17,5, $N_{80}P_{80}$ – 35 мг/100 г почвы. Отмечено некоторое повышение подвижного фосфора – от 0,80 до 2,06 мг/100 г почвы.

Таблица 62 – Зависимость урожая яровой пшеницы от доз минеральных удобрений на дефлированных каштановых почвах, в ц/га

Варианты опыта	Опыт I		Опыт IIa		Опыт IIб		Опыт III			Опыт IVa		Опыт IVб		Опыт V		
	Средний урожай	Отклонение от контроля +, -, %	Средний урожай	Отклонение от контроля +, -, %	Средний урожай	Отклонение от контроля +, -, %	Варианты опыта	Средний урожай	Отклонение от контроля +, -, %	Средний урожай	Отклонение от контроля +, -, %	Средний урожай	Отклонение от контроля +, -, %	Варианты опыта	Средний урожай	Отклонение от контроля +, -, %
Контроль б/удобр	6,7	-	6,0	-	6,8	-	Контроль б/удобр.	6,2	-	5,5	-	5,6	-	Контроль б/удобр	7,4	-
N ₆₀	7,2	<u>+0,5</u>	6,3	<u>+0,3</u>	7,7	<u>+0,9</u>	N ₆₀ K ₆₀ - фон	7,3	<u>+1,1</u>	5,6	<u>+0,1</u>	7,4	<u>+1,6</u>	P ₆₀	9,1	<u>+1,7</u>
	7,4		5,0			13,2			17,7		1,8		19,7			23,0
P ₆₀	7,5	<u>+0,8</u>	6,5	<u>+0,5</u>	7,5	<u>+0,7</u>	Фон + P ₆₀	7,7	<u>+1,5</u>	7,7	<u>+2,2</u>	8,5	<u>+2,9</u>	P ₉₀	10,1	<u>+2,7</u>
		12,0		8,3		10,3			24,2		22,9		33,3			36,5
N ₆₀ P ₆₀	9,3	<u>+2,5</u>	6,5	<u>+0,5</u>	8,1	<u>+1,3</u>	Фон + P ₉₀	7,4	<u>+1,2</u>	8,4	<u>+2,9</u>	8,1	<u>+2,5</u>			
		37,2		8,3		19,1			19,3		32,2		31,6			
N ₆₀ P ₉₀	8,8	<u>+2,1</u>	6,9	<u>+0,9</u>	8,1	<u>+1,3</u>	Фон + P ₁₂₀	7,1	<u>+0,9</u>	7,4	<u>+2,4</u>	8,4	<u>+2,8</u>			
		31,3		15,0		19,1			12,9		27,9		31,8			
N ₉₀ P ₉₀	13,4	<u>+6,7</u>	7,4	<u>+1,4</u>	8,9	<u>+2,1</u>	Фон + P ₁₅₀	7,3	<u>+1,1</u>	7,5	<u>+2,0</u>	8,7	<u>+3,1</u>			
		00,0		3,3		0,8			7,7		5,0		5,2			
N ₆₀ P ₁₂₀	11,6	<u>+4,9</u>	7,3	<u>+1,3</u>	8,3	<u>+1,5</u>				7,6	<u>+2,1</u>	8,1	<u>+2,5</u>			
		73,1		21,6		22,0					22,1		30,4			
N ₁₂₀ P ₆₀	16,6	<u>+9,9</u>	7,4	<u>+1,4</u>	9,9	<u>+3,1</u>				7,1	<u>+1,6</u>	8,1	<u>+1,5</u>			
		147,7		23,3		45,6					20,0		30,8			
N ₆₀ P ₁₅₀										6,5	<u>+1,0</u>	8,2	<u>+2,6</u>			
											16,6		33,7			
НСР ₀₉₅	1,7ц/га		2,02ц/га		1,8ц/га		0,91 ц/га			1,4 ц/га		1,03 ц/га		1.4 ц/га		

Применение нитрофоса оказало заметное влияние на структуру урожая пшеницы, от увеличения дозы удобрения возростала длина колоса на 2,7-4,8 см, количество колосков на 5-10 шт., зерен в колосе на 12-23 шт., масса 1000 зерен – на 2 грамма, масса зерна с одного колоса 0,3-0,6 гр.

Дозы нитрофоса повысили урожай яровой пшеницы от 24,0 до 59,1% от контроля. Наибольшая прибавка 4,2 ц/га получена от доз $N_{60}P_{60}$. При увеличении дозы нитрофоса до $N_{80}P_{80}$ урожай получен на 4,6 % ниже. В данном случае оптимальной дозой внесения нитрофоса под яровую пшеницу можно считать $N_{60}P_{60}$.

Таблица 63 – Действие доз нитрофоса на урожай яровой пшеницы на среднедефлированных каштановых почвах

Варианты опыта	Средняя урожайность ц/га	Прибавка	
		ц/га	%
Контроль без удобрения	7,1	-	-
N40 P40	8,8	1,7	24,0
N60 P60	11,2	4,2	59,1
N80 P80	10,3	3,2	44,5
HCP095		1,38	

Влияние доз фосфорного удобрения на урожай яровой пшеницы

На среднедефлированных каштановых почвах было проведено исследование по отзывчивости яровой пшеницы на калийное удобрение, хотя калия в каштановых почвах достаточное количество. В почве калия находится в нескольких формах: в виде растворимых солей, в обменно и необменно-поглощенном состоянии, в составе кристаллических решеток первичных и вторичных минералов и в органических остатках. В каштановых почвах Центрально-Тувинской котловины обменного калия находится в пределах от 10-27 мг/100 г почвы, так как почвы содержат значительное количество кальция и магния в сумме поглощенных оснований, есть основание полагать, что преобладают растворимые формы карбонатов калия, в почвенном растворе. При внесении калийных удобрений урожай яровой пшеницы повышался незначительно. На фоне азотно-калийного удобрения внесение доз фосфорного удобрения P_{60} , P_{90} , P_{120} , P_{150} , урожай яровой пшеницы повышался в пределах 12,0-24,2%.

При увеличении доз фосфорных удобрений изменилась длина колоса, вес зерен в колосе при дозе $N_{60}P_{90}K_{60}$, вес 1000 зерен до 3,6 грамма при дозе $N_{60}P_{120}K_{60}$. Содержание элементов питания в почве за вегетацию изменялось по фазам развития яровой пшеницы. При высоких дозах фосфора в фазе кущения содержание калия резко снизилось, и было на уровне 6,6 мг/100 г

почвы. В фазе колошения заметно увеличение калия за счет удобрений и почвы, к концу вегетации его количество было на уровне 10,6-14,2 мг/100 г почвы, при полной спелости содержание P_2O_5 снизилось до 0,6-2,4 мг/100 г почвы. Внесенные удобрения повышают содержание питательных элементов в среднедефлированной почве, но урожаи яровой пшеницы зависят кроме элементов питания и от содержания влаги в сухостепной зоне, которых выпадает недостаточно.

На сильнодефлированных каштановых почвах изучены сроки внесения удобрений. В опыте IVa были изучены осеннее внесение азотно-фосфорных удобрений, в опыте IVб - весеннее внесение минеральных удобрений.

При осеннем внесении доза P_{60} дала прибавку урожая яровой пшеницы 2,2 ц/га, при весеннем внесении – 2,9 ц/га. От дозы N_{60} не получено изменения в урожае при осеннем внесении, а в опыте IVб получена прибавка 1,8 ц/га от весеннего внесения.

При осеннем внесении минеральных удобрений наибольшая прибавка получена – 2,9 ц/га при дозе $N_{60}P_{60}$, остальные дозы дали увеличение урожая в пределах от 1,0 до 2,4 ц/га или прибавки составили от 16,6 до 27,9%, от дозы $N_{90}P_{90}$ – 2,0 ц/га (25%), $N_{60}P_{90}$ – прибавка составила – 2,4 ц/га (27,9%).

При весеннем внесении минеральных удобрений наибольшая прибавка в урожае яровой пшеницы составила 3,1 ц/га от дозы $N_{90}P_{90}$, доза $N_{60}P_{90}$ – дала прибавку 2,8 ц/га, 2,6 ц/га получено от дозы $N_{60}P_{150}$. Невысокие дозы минеральных удобрений не возмещали дефицита, как фосфора, так и азота в почве, где органическое вещество не восполняло потери гумуса за период использования почв под пахотное угодие, при отвальной вспашке.

Период парования тоже обедняет почву органическим веществом, происходит выветривание почвенных минералов и минерализация органического вещества. Внесенные минеральные удобрения, как P_{60} , повышали фосфатный уровень на 0,002-0,008 мг/л, а доза P_{120} соответственно повышала степень подвижности до 0,032-0,072 мг/л.

В этом случае фосфатный уровень приближался к оптимальному для питания растений яровой пшеницы в этих условиях.

При минимальном содержании нитратного и аммиачного азота при внесении дозы N_{60} их содержание повышалось незначительно (1,1-2,6 мг/100 г почвы).

На сильнодефлированных каштановых почвах был проведен опыт V, в котором испытывались фосфорные удобрения по схеме: 1) контроль без удобрений, 2) P_{60} , 3) P_{90} (табл. 64).

Таблица 64 – Влияние фосфорных удобрений на урожай яровой пшеницы, ц/га

Варианты опыта	Повторности				Средн. урожай	Прибавка	
		I	II	V		ц/га	%
Контроль без удобрений	7,9	1,0	6,8	7,0	7,4	-	-
P ₆₀	9,7	9,0	9,8	8,0	9,1	+1,7	23,0
P ₉₀	10,0	9,8	10,5	10,0	10,1	+2,7	36,5

M = 0,33 ц/га

M% = 2,4

HCP_{0,95} = 1,4 ц/га

Урожай яровой пшеницы на сильнодефлированных каштановых почвах повышался от доз фосфорных удобрений. В связи с изменением элементов структуры урожая, длина колоса увеличилась (4-4,2 см), количество колосков в колосе (от 6 до 7), от количества зерен на одном колосе (от 13 до 15), вес зерен с одного колоса (от 0,44 до 0,55 г), от веса 1000 зерен (от 34 до 37,9 г).

Наибольшая прибавка урожая получена по дозе P₉₀ до 2,7 ц/га или повышении урожая от 23 до 36,5%.

Доза P₆₀ дала такую же прибавку, как почти во всех опытах (1,7 ц/га) проведенных на дефлированных каштановых почвах.

Для восстановления плодородия почв необходимы органические удобрения. При уменьшении содержания гумуса только на 1% требуется компенсировать его потери, внесением в почву 100 т/га органических удобрений, или 130 т/га торфо-минерально-аммиачных удобрений (ТМАУ) (Прянишников, 1965).

Внесенные удобрения оказывают влияние на химический состав и качество урожая и, следовательно, на вынос питательных веществ, которые концентрируются в урожае и побочной продукции (табл. 65).

Удобрения, внесенные весной перед посевом, хорошо растворяются в почве и с увеличением их дозы повышают содержание азота в зерне.

При раздельном применении азотных и фосфорных удобрений в дозе 60 кг действующего вещества, содержание азота в зерне повышалось на 15,8%, по сравнению с контролем. Равное соотношение азотного и фосфорного удобрения повышало содержание азота на 27%, по сравнению с контролем. При дозе N₆₀P₉₀ содержание азота в зерне было высоким – на 48,9% выше, чем контрольный вариант, но при дозе N₁₂₀P₆₀ заметно снижение усвоения азота растением и в зерне на 15,8% было меньше, чем на варианте N₆₀P₉₀. Содержание азота в соломе по вариантам опыта было на одном уровне – 0,41%.

Таблица 65 – Вынос питательных элементов яровой пшеницы
(% от контроля)

№ п/п	Варианты опыта	Действие удобрений			Последствие удобрений		
		Азот	Фосфор	Калий	Азот	Фосфор	Калий
1.	Контроль б/удобр.	-	-	-	-	-	-
2.	N ₆₀	29,0	16,6	10,5	111,1	66,3	11,0
3.	P ₆₀	22,3	70,0	13,0	107,0	4,8	17,4
4.	N ₆₀ P ₆₀	63,3	28,3	15,5	121,5	37,1	17,7
5.	N ₆₀ P ₉₀	83,2	16,0	11,8	106,9	47,6	23,9
6.	N ₉₀ P ₉₀	57,0	65,8	23,2	150,0	4,8	24,79
7.	N ₆₀ P ₁₂₀	79,0	63,0	19,5	125,1	10,0	22,39
8.	N ₁₂₀ P ₆₀	62,2	17,0	25,3	67,5	13,1	16,42

В последствии удобрений содержание азота в зерне и побочной продукции значительно выше, чем на контрольном варианте, но ниже, чем оно было в действии. Только на вариантах с внесением высоких первоначальных доз содержание азота и фосфора в последствии превышают показатели их прямого действия.

Минеральные удобрения, внесенные на дефлированных каштановых почвах, оказывают влияние на качество зерна яровой пшеницы (табл. 66).

Азотно-фосфорные удобрения, примененные под посев яровой пшеницы, влияли на рост и развитие растений, на урожай и качество, на структуру зерна.

Таблица 66 – Влияние минеральных удобрений на качество зерна яровой пшеницы

Варианты опыта	Натура, г/л	Вес 1000 зерен, г	Стекловидность %	Содержание, %	
				Сырая клейковина	Протеин
Контроль без удобрений	732	24,0	72	26,8	9,9
N ₆₀	733	23,5	71	28,5	10,7
P ₆₀	742	23,6	77	29,6	8,8
N ₆₀ P ₆₀	737	27,0	77	31,3	13,9
N ₆₀ P ₉₀	737	29,6	76	30,5	13,8
N ₆₀ P ₁₂₀	739	28,1	81	30,3	14,5
N ₉₀ P ₉₀	742	27,5	78	30,1	14,8
N ₁₂₀ P ₆₀	747	27,8	79	32,0	16,2

Масса 1000 зерен была наибольшей при дозе удобрений $N_{60}P_{90}$, на варианте $N_{60}P_{120}$, соответственно показатели составляют 29,6 и 28,1, на контроле 24 г. Отдельно внесенные дозы N_{60} и P_{60} выявили некоторое снижение на 0,4-0,5 г. Изменялась стекловидность зерна от 5 до 9%, на вариантах с дозами удобрений P_{60} , $N_{60}P_{60}$, $N_{120}P_{60}$, $N_{60}P_{120}$, $N_{90}P_{90}$ – повышение натуры зерна от 1 до 15 г/л, на тех же вариантах опыта. Наибольшее повышение на варианте $N_{120}P_{60}$ – 15 г/л и по дозе удобрений $N_{90}P_{90}$ – 10 г/л.

Минеральные удобрения повышали содержание сырой клейковины от 1,7 до 5,2%, при дозе N_{60} – 1,7%, $N_{60}P_{60}$ – 4,5% и $N_{120}P_{60}$ – 5,2%. Азотно-фосфорные удобрения повышали содержание протеина в зерне от 4 до 6,3%, доза $N_{90}P_{90}$ – 4,9%, $N_{60}P_{60}$ – 4,0%, наибольшее повышение получено при дозе $N_{120}P_{60}$ – 6,3%.

Эффективность возделывания яровой пшеницы на дефлированных каштановых почвах степной зоны.

Значение чистого пара в повышении урожайности яровой пшеницы

В степной зоне, где осадков выпадает недостаточное количество за вегетационный период, особенно в начальный период развития зерновых культур, чистый пар имеет положительное значение. При полосной системе земледелия в зоне дефляционных процессов, безотвальная обработка предусматривает оставление стерни, на высоком срезе на зяби, для сохранения снега зимой. Стерня защищает почвенные, илстые частицы от выдувания весной, но посев зерновых по зяби дает очень низкие урожаи 2-4 ц/га. Стерневой покров предохраняет почву от водной эрозии при большом уклоне 2-5 и более градусов.

С помощью чистого пара решаются главные вопросы земледелия: накопление влаги и питательных веществ в почве, борьба с сорняками, вредителями и болезнями растений. Наличием воды в почве, в период вегетации колосовых культур, определяется уровень урожайности в степной зоне, где нет возможности для орошения. Для удовлетворения потребности растений в воде, в степных неорошаемых условиях, нет иного пути, кроме накопления в почве атмосферных осадков с помощью чистого пара.

Исследованиями установлено (Черепанов, 1976; 1982; Посыпанов и др., 1997; Власенко и др., 2000; Капинос, 2000), что за период парования, которое продолжается более 20 месяцев сохраняется 22% выпадающих осадков за это время. Эти запасы 100-120 мм имеют большое значение для урожая зерна яровой пшеницы. Даже при отсутствии осадков в течение вегетационного периода, чистые пары гарантируют урожайность 6-8 ц/га, которые мы получаем в нашей зоне. Наблюдения показали, что для образования урожая зерна яровой пшеницы 10 ц/га требуется около 250 мм осадков или 25 мм на 1 ц зерна, на увеличение последующего центнера затрачивается только 8-10 мм воды или в 2-3 раза меньше. Таким образом, влага, накопленная парами, является основой урожая к тому количеству осадков, которые выпадают за вегетационный период. Урожаи яровой пшеницы по парам в два раза выше,

чем по зяби. Пшеница, выращенная по чистым парам, содержит больше протеина, чем по зяби.

Благодаря накоплению питательных веществ в почве, в чистом пару уменьшается затрата воды пшеницей на образование единицы урожая. Канадскими учеными установлено, что транспирационный коэффициент пшеницы по чистому пару равен 507, тогда как по стерне он поднимается до 766, или увеличивается на 50% (Хорошилов, 1966). Эта особенность чистых паров имеет большое значение для районов с недостатком осадков, как в Центрально-Тувинской котловине.

Влияние минеральных удобрений и их эффективность, и энергоемкость при возделывании яровой пшеницы на каштановых почвах разной степени дефляции

Возделывание яровой пшеницы на дефлированной каштановой почве имеет несколько иные условия. Предшественник яровой пшеницы – черный пар, но содержание питательных элементов недостаточное, так как почвы подвержены дефляции. Применение минеральных удобрений под яровую пшеницу изменяли содержание подвижных элементов в почве, в органах растения, влияли на урожай и его качество. На каштановых почвах при разной степени дефлированности действие удобрений было различным.

В таблице 67 отражена прибавка урожая по вариантам и по степеням дефлированности. Прибавка в среднем по вариантам составляет 0,26 т/га на слабдефлированных каштановых почвах, а на средне и сильнодефлированных прибавки от минеральных удобрений ниже (0,16 т/га). В процентном отношении соответственно - 45,5 и 12,9; 13,8%. Наибольшие прибавки получены по дозам $N_{90}P_{90}$, $N_{60}P_{120}$, $N_{120}P_{60}$, которые составили от 0,19 (на сильнодефлированной почве при дозе $N_{60}P_{120}$), на среднедефлированной – 0,31 (доза $N_{120}P_{60}$). На слабдефлированной почве наибольшая прибавка составила 0,47 т/га, при дозе $N_{120}P_{60}$, процент прибавки – 82,4 – наивысший по опыту. Окупаемость 1 кг, внесенных минеральных удобрений (в действующих веществах) полученным дополнительным урожаем (прибавкой), выраженного в 1 кг зерна яровой пшеницы, была разной и зависит от доз минеральных удобрений и от степени дефляции почв.

Наибольшая отдача или окупаемость урожаем или кг зерна на 1 кг (действующего вещества удобрений) на слабдефлированных каштановых почвах составили 2,6 кг при дозе $N_{120}P_{60}$. На варианте с азотным удобрением в дозе N_{60} окупаемость составила на среднедефлированной 1,5 кг, на слабдефлированной – 1,2, а на сильнодефлированной – 1 кг. При дозе P_{60} – окупаемость была наивысшей на сильнодефлированных почвах – 2,33 кг. На среднедефлированных почвах окупаемость дозы P_{60} была ниже (1,16), чем при N_{60} (1,5 кг). Здесь оказал влияние дефицит азота в почве, несмотря на то, что это поле было под паром.

**Таблица 67 – Эффективность возделывания яровой пшеницы
на дефлированных каштановых почвах**

Варианты опыта	Каштановые слабодефлированные				Каштановые среднедефлированные				Каштановые сильнодефлированные			
	Прибавка урожая в т/га	Прибавка в %	Окупаемость 1 кг (д.в.) удобрений зерном, кг	Обменная энергия Мд ж/га	Прибавка урожая в т/га	Прибавка в %	Окупаемость 1 кг (д.в.) удобрений зерном, кг	Обменная энергия Мд ж/га	Прибавка урожая в т/га	Прибавка в %	Окупаемость 1 кг (д.в.) удобрений зерном, кг	Обменная энергия Мд ж/га
N ₆₀	0,07	12,3	1,2	680	3,09	8,4	1,5	882	3,06	5,8	1,0	588
P ₆₀	0,14	24,5	2,3	1372	0,07	6,0	1,16	680	0,14	13,7	2,33	1372
N ₆₀ P ₆₀	0,22	38,6	1,8	2156	0,13	12,3	1,1	1274	3,12	11,7	1,0	1176
N ₆₀ P ₉₀	0,20	35,0	1,3	1960	0,13	12,3	0,9	1274	0,12	11,7	3,8	1176
N ₆₀ P ₁₂₀	0,35	61,4	1,9	3430	0,21	16,5	1,17	2058	0,16	15,6	3,88	1568
N ₉₀ P ₉₀	0,35	64,4	1,9	3430	0,15	12,5	1,83	1470	0,19	18,4	1,1	1862
N ₁₂₀ P ₆₀	0,47	82,4	2,6	4606	0,31	22,4	1,72	3038	0,18	17,6	1,0	1764
N ₆₀ P ₁₅₀									0,17	16,6	0,94	1666
средние показатели по вариантам	0,26	45,5	1,86	2519	0,16	12,9	1,2	1525	0,16	13,8	1,13	1396

Окупаемость удобрений урожаем была разной по вариантам опыта. На слабодефлированной каштановой почве показатели были следующие, от 1,2 до 2,6 кг зерна; на среднедефлированной – 0,83-1,72 кг, на сильнодефлированной от 0,80 до 2,33. В среднем показатели следующие: на слабодефлированной – 1,86, на среднедефлированной – 1,2 и сильнодефлированной 1,1 кг. С повышением дефляции почв эффективность действия удобрений, в некоторой степени есть тенденция к снижению. Несмотря на то, что содержание подвижных элементов повышается в почве, в некоторой степени изменяется состав элементов питания растений, урожайность повышается на 18,4-22,4%, а окупаемость зерна невысокая.

Расчет обменной энергии по урожаю без учета побочной продукции (солома, полова, корневая система) выявил следующие показатели по степеням дефляции; 2519, 1525, 1396 МДж/га (усредненная по вариантам опыта).

Высокая концентрация обменной энергии в полученной прибавке урожая зерна пшеницы на слабодэфлированных почвах составил – 4606 МДж/г при дозе $N_{120}P_{60}$, на среднедефлированных почвах – 3038 МДж/га при той дозе ($N_{120}P_{60}$), на сильнодефлированных почвах – 1862 МДж/га получено дозе $N_{60}P_{120}$.

На дефлированных почвах в дефиците находится как подвижный фосфор, так и азот. Азотное удобрение дает прибавку зерна от 6 до 12,3%, почти 50% прибавки составили от дозы P_{60} . Эта особенность отличает дефлированные каштановые почвы от почв с ненарушенным физическим и химическим составом. В зоне с недостаточным количеством осадков, в раннелетнее время вегетации яровой пшеницы, внесенное минеральное удобрение обеспечивает в данных экологических условиях рост и развитие и повышает засухоустойчивость и оптимальный урожай зерна.

9.6 Влияние фосфорных удобрений на плодородие почвы

Опыт III был заложен также на среднедефлированных каштановых почвах (табл. 68). В этом опыте изучалось действие доз фосфорных удобрений на фоне азотно-калийных в дозе $N_{60}K_{60}$. Внесенные дозы в качестве фона оказали влияние на содержание легкогидролизуемого азота по всем фазам развития яровой пшеницы от 7,84 до 8,40 мг/ 100 г почвы. Внесение доз фосфорных удобрений стимулировало повышение легкогидролизуемого азота от 10,20 до 16,36 мг/100 г почвы. Дозы фосфора P_{90} , P_{120} , P_{150} повысили при фазе восковой спелости зерна яровой пшеницы содержание в почве P_2O_5 соответственно от 9,52; 14,00; 16,36 мг/100 г почвы.

Содержание аммиачного азота в фазу кущения тоже имеет ту же тенденцию к увеличению по мере повышения дозы фосфора от 2,80 до 7,00 мг/ 100 г почвы. Содержание аммиачного азота снижается по мере развития яровой пшеницы, при фазе колошения от 2,10 до 3,50, при фазе полной спелости от 2,10 до 4,90 мг/100 г почвы. Наибольшие показатели по повышенным дозам фосфорных удобрений.

В среднедефлированной каштановой почве содержание нитратного азота было очень низким до внесения удобрений. Его значения составляли 0,5мг/100г почвы, и в течение вегетации повышалось от 1,1 до 2,8 мг/100 г почвы при дозе $N_{60}P_{60}K_{60}$ в фазу колошения пшеницы. При фазе кущения изменения находились в пределах 1,1-1,8, самые низкие значения при полной спелости зерна яровой пшеницы 1,1-0,5 мг/100 г почвы. Повышенные дозы фосфорных удобрений, примененные в опыте III, оказали влияние на содержание подвижного фосфора по всем фазам развития яровой пшеницы.

Наибольшее количество P_2O_5 в почве в фазу колошения и при дозе P_{90} – 8,5 мг/100 г почвы, при дозе P_{150} содержание P_2O_5 снизилось до 6,3 мг/100 г почвы.

Таблица 68 – Изменение элементов питания яровой пшеницы на среднедефлированных каштановых почвах в связи с применением минеральных удобрений (в мг/100 г почвы, в слое 0-20 см, опыт III)

№ п/п	Варианты опыта	Нитраты				Фосфор				Калий			
		До внесения удобрений	Фазы развития пшеницы			До внесения удобрений	Фазы развития пшеницы			До внесения удобрений	Фазы развития пшеницы		
			кушение	колошение	полная спелость		кушение	колошение	полная спелость		кушение	колошение	полная спелость
1	Контроль б/удобр.	0,5	0,5	0,5	0,5	0,98	1,41	1,61	0,98	10,6	8,7	6,6	6,6
2	N ₆₀ K ₆₀ - фон	0,5	1,1	2,4	1,1	0,80	1,78	2,75	0,78	10,6	14,6	9,3	10,6
3	Фон + P ₆₀	0,5	1,4	2,8	1,1	0,60	4,00	7,00	2,47	11,8	18,6	14,3	12,2
4	Фон + P ₉₀	0,5	1,8	1,7	1,1	0,98	2,78	8,5	2,60	11,8	18,3	15,3	13,8
5	Фон + P ₁₂₀	0,5	1,4	2,3	1,1	0,80	2,50	7,6	2,40	11,8	18,3	15,3	11,8
6	Фон + P ₁₅₀	0,5	1,1	1,1	0,5	0,80	2,50	6,3	2,60	10,6	16,8	15,3	11,8

К полной спелости зерна яровой пшеницы содержание подвижного фосфора в почве по вариантам опыта выровнялось, и находилось в пределах от 2,40 до 2,60 мг/100 г почвы. На фоновом варианте N₆₀K₆₀ содержание P₂O₅ низкое, 0,78 мг/100 г почвы.

Внесение калийного удобрения в дозе K₆₀ повысило содержание обменного калия при фазе кушения с 11,8 до 18,3 мг/100 г почвы. Повышение произошло в пределах от 4 до 6,5 мг/100 г почвы. Содержание обменного калия без внесения фосфорного удобрения составляет 9,3-14,6 мг/100 г почвы, а при полном внесении удобрений (N₆₀P₆₀K₆₀) – 12,2-18,6 мг/100 г почвы.

При фазе полной спелости зерна яровой пшеницы содержание обменного калия понизилось до 10,6-13,8 мг/100 г почвы, в связи с усвоением питательных элементов яровой пшеницей для формирования урожая.

Изучение влияния доз фосфорных удобрений на фоне азотно-калийного питания яровой пшеницы

На среднедефлированных каштановых почвах было изучено действие доз фосфорных удобрений на продуктивность яровой пшеницы, так как содержание подвижного фосфора очень низкое (0,5-1 мг/100 г почвы), низка и степени их подвижности (0,021 мг/л). Внесенные удобрения оказали изменение на динамику подвижных элементов в почве и содержание их в органах растений пшеницы (табл. 69).

Таблица 69 – Содержание элементов питания в органах яровой пшеницы на каштановых среднедефлированных почвах (в %) Опыт III

№ п\п	Варианты опыта	Азот			Фосфор			Калий		
		зерно	солома	корни	зерно	солома	корни	зерно	солома	корни
1.	Контроль б/удобр.	1,85	0,32	0,20	0,27	0,13	0,13	0,59	0,79	0,31
2.	N ₆₀ K ₆₀ - фон	1,87	0,50	0,45	0,42	0,17	0,17	0,73	1,32	0,62
3.	Фон + P ₆₀	1,87	0,45	0,63	0,34	0,21	0,17	0,62	1,20	0,76
4.	Фон + P ₉₀	2,22	0,48	0,63	0,46	0,21	0,21	0,62	1,32	0,62
5.	Фон + P ₁₂₀	2,30	0,55	0,49	0,55	0,22	0,21	0,62	1,36	0,78
6.	Фон + P ₁₅₀	2,32	0,32	0,55	0,50	0,23	0,17	0,62	1,52	0,70

Содержание элементов питания в органах яровой пшеницы изменяются, в зависимости от внесения доз фосфорных удобрений на фоне азотно-калийных в дозе N₆₀P₆₀, которые являлись фоном для изучения влияния фосфорного удобрения на содержание фосфора в растении. Повышение доз фосфорных удобрений повысило содержание калия в соломе от 0,79 до 1,52%. На варианте N₆₀P₆₀, который являлся фоном, содержание калия в соломе составило 1,32%, понизилось до 1,20%, при дозе N₆₀P₆₀K₆₀. Наибольшее содержание выявлено при дозе N₆₀P₁₅₀K₆₀ – 1,52%, а на контрольном варианте содержание калия в соломе довольно низкое – 0,79. С внесением доз удобрений содержание калия в корнях повысилось в два раза на варианте P₁₂₀ – 0,78, внесение фонового удобрения (N₆₀K₆₀) показатели удвоились – 0,62% (на контроле 0,31%). При высокой дозе P₁₅₀ – 0,70%, превышение от фонового варианта незначительное – 0,08%. Содержание калия в зерне было наибольшим на фоновом варианте – 0,73 на остальных вариантах было чуть выше контрольного (0,03%).

Повышенные дозы фосфора увеличили содержание фосфора в зерне на варианте P₁₂₀ – в два раза по сравнению с контрольным вариантом – 0,55% (на контрольном 0,27%).

Доза P₁₅₀ повысила содержание фосфора в зерне на 0,23%, при дозе P₆₀ повышение незначительное – 0,07%. Содержание фосфора в соломе повышалось от 0,04 до 0,10%, наибольшее при дозе P₁₅₀. В корневой системе содержание фосфора почти идентично соломе, изменения составили от 0,04 до 0,08%. Наибольшее содержание фосфора в органах растения при высоких дозах фосфорного удобрения (P₉₀-P₁₅₀). По содержанию азота есть изменения, хотя доза азота не увеличилась, была фоном – N₆₀.

Содержание азота в зерне было на варианте N₆₀ K₆₀ – 1,87 и на варианте N₆₀K₆₀P₁₅₀ – 2,32, превышение дала доза P₁₅₀ – на 0,47%. В соломе содержание азота было небольшим от 0,32 до 0,55%, изменения составили от 0,07 до 0,23%, доза N₆₀K₆₀, дала превышение над контрольным 0,18% и доза P₁₂₀ –

0,23%, на остальных вариантах от 0,13 до 0,16% повысилась от доз фосфорных удобрений. Содержание азота в корневой системе было выше, чем в соломе и варьирует от 0,20 до 0,63%. Наибольшее содержание при внесении дозы $P_{60} - P_{90}$. Содержание азота в корневой системе увеличилось на 0,43% (на контроле 0,20%).

Доза P_{150} повысила содержание азота в корнях до 0,35%, в результате увеличилось содержание азота в зерне до 0,47%, хотя в соломе его содержание низкое – 0,32% за счет оттока в генеративные органы.

Внесение фосфорных удобрений на фоне азотно-калийного повышает поступление питательных элементов в органы растения.

Фосфорное питание повышается по сравнению с контрольным вариантом более чем на 50% при дозе P_{120} .

Содержание калия в зерне остается почти на уровне контрольного. В корневой системе содержание калия повысилось в 2 раза в соломе по всем вариантам более 50%.

Содержание азота в зерне выше на 25%, чем на контроле. В корневой системе азота увеличилось в два-три раза, а в соломе более 60% по сравнению с контрольным вариантом.

9.7 Изменение содержания обменного калия

По содержанию калия каштановые почвы имеют повышенное количество (25-30 мг/100 г почвы), поэтому на слабдефлированных почвах калийное удобрение не вносилось. В течение вегетации яровой пшеницы содержание калия в почве уменьшалось в связи с их усвоением. Особенно в фазу полной спелости, связанное с формированием генеративных органов и показатели были на уровне 10,6-14,2 мг/100 г почвы (табл. 70).

По данным таблицы 70 можно сделать некоторые выводы по изменению содержания обменного калия под посевами яровой пшеницы на слабдефлированных каштановых почвах, хотя калийное удобрение не вносилось, но выявляются следующие закономерности: содержание обменного калия понижалось за вегетацию более чем в два раза, и усвоение калия было больше при высоких дозах азотно-фосфорных удобрений и преимущественно – при азотном.

Изменение при дозе N_{60} больше, чем при P_{60} . Первоначальное содержание было 30,9 (на контроле), а затем понизилось в фазу кущения соответственно по вариантам – 13,1 и 18,7 мг/100 г почвы. Наибольшее потребление в последнюю фазу, формирование и созревание зерна (11,8 мг/100 г почвы) при дозе $N_{120}P_{60}$.

Таблица 70 – Изменение содержания обменного калия под яровой пшеницей на слабодифлированных каштановых почвах (в слое 0-20 см в мг/100 г почвы)

№ п/п	Варианты опыта	До внесения удобрений	Фазы развития растений		
			кущение	колошение	полная спелость
1	Контроль б/удобр.	25,2	10,5	15,3	10,6
2	N ₆₀	30,9	13,1	22,9	11,8
3	P ₆₀	30,9	18,7	9,2	11,8
4	N ₆₀ P ₆₀	25,2	17,5	15,3	14,2
5	N ₆₀ P ₉₀	28,6	13,1	15,3	10,6
6	N ₉₀ P ₉₀	25,2	13,1	22,9	11,8
7	N ₆₀ P ₁₂₀	28,6	10,5	11,0	10,6
8	N ₁₂₀ P ₆₀	30,6	16,6	18,3	11,8

Внесенные удобрения оказывали влияние на динамику обменного калия на слабодифлированных каштановых почвах. Повышенные дозы стимулировали интенсивное развитие растений пшеницы и усвоению обменного калия из почвы.

9.8 Влияние органических удобрений на содержание питательных элементов каштановых почв

Изменение подвижных элементов питания в сильнодефлированной каштановой почве в связи с внесением органического вещества. При использовании под пахотное угодие сильнодефлированных каштановых почв необходимо обогащение гумусового горизонта органическим веществом. Так как дефляционные процессы подвергли разрушению гумусовый горизонт, многолетняя отвальная вспашка маломощных каштановых почв ухудшала состояние пахотных угодий.

Органическое вещество, внесенное в почву, проходит процесс распада и изменения химического состава остатков, как главного источника гумуса (Мюллер, 1897; Тюрин, 1937; Ваксман, 1937; Рамезов, 1958; Соколов, 1959; Козловская, 1978; Умаров, 1983). Распад органических компонентов – длительный процесс, включающий механическое или физическое разрушение, биологическую или биохимическую трансформацию и химические процессы (Александрова, 1970; Дюшофур, 1972). Наряду с процессами распада происходит синтез подвижных элементов питания в почве при внесении удобрений под возделываемые сельскохозяйственные культуры. На каштановых сильнодефлированных почвах применен перепревший овечий навоз (30- и 40-летней давности) в дозах от 10, 15, 20, 30 т/га под посев зерновых культур: яровой пшеницы, овса, проса и кукурузы на силос. Органическое вещество вносилось на сильнодефлированных каштановых почвах ранней весной при первой культивации почв. При безотвальной обработке почв внесение органического вещества в почву

имеет проблемы с заделкой удобрений. При отвальной вспашке навоз или перегной запахивается при перепахке зяби или пара.

На дефлированных почвах применение минерального удобрения не возмещает потери гумуса, поэтому нами изучено влияние органического вещества на изменение подвижных элементов в почве и в органах растений.

Влияние органических удобрений на содержание питательных элементов под посевами яровой пшеницы

Яровая пшеница относится к ранним яровым хлебам, характеризуется слабым развитием корневой системы и соответственно усвоение питательных элементов в ранние фазы развития невысокое (табл. 71). Образование узловых корней и интенсивное кущение зависит от достаточного количества легкоусвояемых питательных веществ при наличии влаги в этот период.

Таблица 71 – Влияние элементов питания на сильнодефлированных каштановых почвах в связи с внесением органических удобрений под посевами яровой пшеницы

№ варианта	Варианты опыта	Глубина взятия образца в см.	Мг/100 г почвы			
			Нитраты	Аммиачный азот	Фосфор	Калий
1	Контроль без удобрений	0 - 10	5,5	1,25	0,42	17,97
		10 - 20	6,6	1,5	1,34	18,40
2	Овечий перегной 10 т/га	0 - 10	16,5	3,5	2,42	18,48
		10 - 20	11,0	3,0	1,80	18,40
3	Овечий перегной 15 т/га	0 - 10	18,7	4,25	3,00	19,17
		10 - 20	13,2	3,0	1,80	18,48
4	Овечий перегной 20 т/га	0 - 10	20,9	4,75	3,25	19,26
		10 - 20	15,2	3,0	2,10	19,00
5	Овечий перегной 30 т/га	0 - 10	22,0	5,0	3,50	19,08
		10 - 20	18,7	4,25	2,42	19,17

Внесенные органические удобрения ранней весной при влажной, сырой почве, оказали влияние на содержание подвижных элементов по вариантам опыта, в пахотном и подпахотном горизонте. Содержание обменного калия изменилось незначительно в пахотном горизонте (от 17,97 до 19,26) и в подпахотном горизонте (от 18,48 до 19,17 мг/100 г почвы), наибольшие значения по варианту 20 т/га.

Содержание подвижного фосфора увеличилось от 0,42 (на контроле) до 3,50 (на варианте с 30 т/га), изменения произошли и в подпахотном горизонте от 1,34 до 2,42 мг/100 г почвы.

Содержание аммиачного азота в пахотном горизонте изменилось от 1,25 (на контроле) до 5,0 мг/100 г почвы на варианте с дозой органического вещества 30 т/га. В пахотном горизонте изменения составили в пределах от 1,5 до 3,0 мг/100 г почвы. Содержание нитратов в пахотном горизонте изменилось значительно от 5,5 (на контроле) до 22,0 мг/100 г почвы, а в подпахотном от 6,6 до 18,7 мг/100 г почвы.

Наиболее интенсивно поглощение азота происходит в период от кущения до колошения, фосфора - от кущения до выхода в трубку. Калий поступает в растения более равномерно, в течение вегетации до цветения. Растворимость различных элементов органического удобрения была не одинакова, легко подвергается выделению в почвенный раствор азотные соединения, чем фосфорные, аммиачные легко улетучиваются, меньше закрепляются в почве. Также различны содержания элементов питания под разными культурами.

Влияние органических удобрений на содержание питательных элементов под посевами овса

Несмотря на то, что почвы имеют один и тот же тип, разновидность и одинаковые испытываемые дозы органических удобрений, влияют по-разному на содержание питательных элементов под посевами возделываемых культур.

В таблице 72, где отражены изменения элементов питания на сильнодефлированных каштановых почвах в связи с внесением органических удобрений под посевами овса, возделываемого на зерно.

Содержание обменного калия варьирует от 19,0 до 19,68 мг/100 г почвы в пахотном горизонте. В подпахотных немного ниже – от 19,08 до 19,34 мг/100 г почвы, но не снижается менее 19,0 мг/100 г почвы. Содержание подвижного фосфора ниже, чем под посевами яровой пшеницы и составляет от 0,69 (на контрольном варианте) и наибольшее содержание на вариантах с дозами органического удобрения – 2,55; 2,42; 2,78 мг/100 г почвы, в подпахотном горизонте варьирует от 1,34 до 2,15 мг/100 г почвы. Содержание аммиачного азота находится в пределах 1,0-2,75 в пахотном горизонте и в подпахотном от 1,0 до 1,25 мг/100 г почвы. Содержание нитратов повышалось в два раза на варианте с 20 т/га, по сравнению с контрольным. Дозы – 10 и 15 т/га повышали содержание нитратов на 1,1 мг/100 г почвы, а доза 30 т/га на 3,3 мг/100 г почвы. В подпахотном горизонте нитраты изменялись незначительно (от 4,6 до 5,9) от 0,4 до 1,3 мг/100 г почвы.

Таблица 72 – Изменение элементов питания на сильнодефлированных каштановых почвах в связи с внесением органических удобрений под посевами овса

№ варианта	Варианты опыта	Глубина взятия образца в см.	Мг/100 г почвы			
			Нитраты	Аммиачный азот	Фосфор	Калий
1	Контроль без удобрений	0 – 10	4,4	1,0	0,69	19,00
		10 – 20	4,6	1,0	1,34	19,08
2	Овечий перегной 10 т/га	0 – 10	5,5	1,25	2,10	19,34
		10 – 20	4,9	1,0	1,34	19,08
3	Овечий перегной 15 т/га	0 – 10	5,5	2,0	2,55	19,43
		10 – 20	4,4	1,25	2,02	19,34
4	Овечий перегной 20 т/га	0 – 10	8,8	2,0	2,42	19,43
		10 – 20	5,9	1,25	2,15	19,08
5	Овечий перегной 30 т/га	0 – 10	7,7	2,75	2,78	19,68
		10 – 20	5,4	1,25	2,10	19,08

Овес имеет хорошо развитую мочковатую корневую систему и проникает на глубину до 120 см, хорошо усваивает труднорастворимые элементы питания, по сравнению с другими ранними яровыми культурами, как яровая пшеница, ячмень и др., но он более влаголюбивый. Несмотря на высокое содержание элементов питания, продуктивность овса может быть ниже из-за высокой температуры воздуха и суховея.

Влияние органических удобрений на содержание питательных элементов под посевами просо. Содержание элементов питания под посевами проса иные. Просо характеризуется высокой засухоустойчивостью, хорошо переносит ранневесеннюю засуху, которая характерна для Тувы. В Туве просо сеяли издавна, есть сорт (Тувинское серое), который выведен веками, древними племенами тувинцев. Из проса изготавливали национальную пищу (жареное, толченое просо, в которую добавляют молочные продукты). Жаровыносливость проса высокая. В этом отношении просо превосходит все хлеба. В начальные фазы развития, при засухе, просо может находиться в состоянии анабиоза, при выпадении осадков развитие продолжается. При фазе выхода в трубку до конца выметывания необходимо растению максимальное количество влаги для формирования будущего урожая. Внесенные органические удобрения на сильнодефлированных каштановых почвах с низким содержанием органического вещества оказали влияние на содержание элементов питания под посевами проса.

Содержание калия в почве почти стабильное и находится в пределах от 18,40 (на контроле) до 19,68 мг/100 г почвы, на варианте с дозой органического вещества 30 т/га (табл. 73). На остальных вариантах изменения

небольшие 19,00-19,46 мг/100 г почвы, в подпахотном горизонте варьирует от 18,70 до 18,91. Калием растения обеспечено оптимально. Содержание нитратов в почве, изменяется при высоких дозах органического удобрения и более, чем в два раза в горизонте 0-10 см., а в горизонте 10-20 см их содержание немного выше контрольного – 0,6 мг/100 г почвы, также возможно за счет усвоения элементов питания растением проса.

Таблица 73 – Изменение элементов питания в связи с применением органических удобрений на сильнодефлированных каштановых почвах под посевами проса

№ п/п	Варианты опыта	Глубина взятия образца, см.	мг/100 г почвы			
			Нитраты	Аммиачный азот	Фосфор	Калий
1	Контроль без удобрений	0-10	3,3	0,75	0,60	18,40
		10-20	3,8	0,82	1,34	18,40
2	Овечий перегной 10 т/га	0-10	4,9	1,12	2,10	19,00
		10-20	4,4	1,0	1,34	18,40
3	Овечий перегной 15 т/га	0-10	4,4	1,12	1,42	19,00
		10-20	4,4	1,0	1,50	18,83
4	Овечий перегной 20 т/га	0-10	6,6	1,5	2,70	19,46
		10-20	4,4	1,0	1,50	18,57
5	Овечий перегной 30 т/га	0-10	7,7	1,75	3,25	19,68
		10-20	4,4	1,0	1,80	18,91

Содержание подвижного фосфора низкое, несмотря на внесение органических удобрений и находится от 0,60 (на контроле) до 3,25 мг/100 г почвы.

В горизонте 10-20 см изменения незначительные от 1,34 до 1,80 мг/100 г почвы. Высокие дозы (30 т/га) дали прибавку подвижного фосфора на 1,15 мг/100 г почвы. Содержание аммиачного азота изменяется незначительно от 0,75 (на контроле) до 1,75 мг/100 г почвы (при дозе 30 т/га). В горизонте 10-20 см изменения почти нет, возможно, за счет усвоения корнями растений, так как просо усваивает элементы питания больше, чем другие хлеба, кроме яровой пшеницы.

Содержание элементов питания в органах растений, возделываемых с применением органических удобрений на сильнодефлированной каштановой почве

Применение овечьего перегноя на сильнодефлированных каштановых почвах было необходимостью. Количество пожнивных и корневых остатков ежегодно поступающее в пахотный слой в зависимости от возделываемых культур колеблется от 0,3 до 1,0 т/га сухого вещества. Однолетние и многолетние травы в степной зоне выращиваются в Центрально-Тувинской

котловине только на опытном поле. Основная масса пожнивных и корневых остатков ежегодно минерализуется, а коэффициент гумификации не превышает 25% (Александрова, 1982; Гамзиков, 1984), поэтому на фоне минеральных удобрений снижается запас гумуса, вследствие недостаточного ежегодного поступления гумусообразователей в почву. К тому же небольшие запасы гумуса уносятся дефляционными процессами. Причем на каждые 10 т гумусообразователей количество вносимого углерода не превышает 0,1 %, к массе сухой почвы. Поэтому для изучения изменения плодородия каштановых, сильнодефлированных почв применяли перепревший 30- и 40-летней давности овечий перегной в дозе от 10 до 30 т/га.

Влияние органического вещества на элементы плодородия были приведены выше. Изменения содержания подвижных элементов в почве оказывали влияние на содержание в органах яровой пшеницы (табл. 74).

Содержание азота в зерне яровой пшеницы на контроле составляет 2,21%, по вариантам его содержание повышается до 2,58 при дозе 30 т/га органического вещества. Увеличилось содержание азота от 0,04 до 0,37%. Содержание белка в зерне от 0,16 (доза 10 т/га) до 1,06% при дозе 30 т/га. Остальные дозы дали небольшое повышение 0,16 до 0,57%, так как содержание азота в зерне повышалось незначительно. Содержание азота в соломе тоже изменялось в пределах 0,58 до 0,83, более значительные изменения произошли в корневой системе от 0,41 до 1,25% при более высоких дозах 20-30 т/га органического вещества. Увеличение азота в корневой системе составили от 0,22 до 0,84%, наибольшее значение – при дозе 20-30 т/га. Содержание фосфора в корневой системе изменилось незначительно от 0,016 до 0,025%. Это объяснимо оттоком элементов питания в репродуктивные органы. В соломе и в зерне более заметное увеличение, особенно в зерне – от 0,100 до 0,179%, повышение составило на вариантах с дозами органических удобрений от 0,067 до 0,079%. Содержание фосфора в соломе варьирует в небольших пределах от 0,012 до 0,048%, увеличение от 0,002 до 0,036 %. В каштановых сильнодефлированных почвах содержание подвижного фосфора очень низкое. Поэтому внесенные удобрения все-таки оказали изменения на содержания фосфора в органах пшеницы.

Таблица 74 – Содержание элементов питания в органах яровой пшеницы на сильнодефлированных каштановых почвах в связи с применением органических удобрений

№ варианта	Варианты опыта	Азот, %			Содержание белка в зерне, %	Фосфор, %		
		Зерно	Солома	Корни		Зерно	Солома	Корни
1	Контроль без удобрений	2,21	0,58	0,41	8,57	0,100	0,012	0,016
2	Овечий перегной 10 т/га	2,25	0,63	0,63	8,73	0,167	0,014	0,018
3	Овечий перегной 15 т/га	2,33	0,65	0,63	9,06	0,167	0,017	0,018
4	Овечий Перегной 20 т/га	2,50	0,72	1,05	9,14	0,179	0,022	0,022
5	Овечий Перегной 30 т/га	2,58	0,83	1,25	9,63	0,176	0,048	0,025

Органическое удобрение и содержание элементов питания в органах растений овса. Изменение содержания элементов питания в почве оказали влияние на их содержание в органах растений овса. Содержание азота в соломе и в корнях овса значительно ниже, чем в зерне пшеницы, так как биологические особенности рассматриваемых культур различны (табл. 75). В пожнивных остатках и в корневой системе их количество низкое в связи с оттоком в репродуктивные органы и с дефляционными процессами, а также пониженной влажностью почвы и низким содержанием их в почвах Центрально-Тувинской котловины. Хотя выращены на одной и той же каштановой почве, сильнодефлированной с низким содержанием азота и фосфора. Содержание белка в зерне овса низкое от 7,91 до 8,42%. С повышением доз органических удобрений отклонения незначительные от 0,31 до 0,51 %. В зерне содержание азота варьирует от 1,05 до 1,86 %, хотя содержание в соломе и корневой системе невысокое. В соломе - 0,31% на контрольном варианте, а при дозе 30 т/га увеличилось в два раза, до 0,63 %, отклонения по остальным дозам находятся в пределах 0,10 - 0,22 %.

Содержание азота в корневой системе составляет от 0,36 до 0,52%, различия варьируют в пределах от 0,05 до 0,16%, повышаются при повышении дозы органических удобрений от 10 до 30 т/га. Содержание фосфора в органах растений овса несколько выше как в корневой системе, так и в соломе, но значительно меньше, чем в зерне пшеницы – 0,037 (зерно овса) и 0,100% (зерно пшеницы). Содержание фосфора в зерне овса на контрольном варианте 0,037 с повышением доз органических удобрений до 30 т/га повышается до 0,163 %.

Таблица 75 – Содержание элементов питания в органах растения овса на сильнодефлированных каштановых почвах в связи с применением органических удобрений

№ варианта	Варианты опыта	Белок, %	Азот, %			Фосфор, %		
			Зерно	Солома	Корни	Зерно	Солома	Корни
1	Контроль без удобрений	7,91	1,05	0,31	0,36	0,037	0,026	0,037
2	Овечий перегной 10 т/га	8,22	1,68	0,41	0,41	0,092	0,052	0,049
3	Овечий перегной 15 т/га	8,35	1,75	0,49	0,45	0,126	0,055	0,052
4	Овечий перегной 20 т/га	8,41	1,80	0,52	0,49	0,152	0,60	0,060
5	Овечий перегной 30 т/га	8,42	1,86	0,63	0,52	0,163	0,067	0,071

Корневая система овса интенсивно усваивала элементы питания, которые обеспечивали рост и развитие всего растения и обеспечивали формирования зерна и в целом продуктивность растения.

Органическое удобрение и содержание элементов питания в органах растений проса

На каштановых сильнодефлированных почвах степной зоны просо возделывалось на зерно. Изменение питательных элементов в почве в связи с применением органических удобрений оказывало влияние на содержание питательных элементов в органах растений проса (табл. 76).

Содержание элементов питания в органах растений проса к концу вегетационного периода. В зерне проса сорта Иртышское содержание белка низкое. На контроле 7,73%, с повышением доз органических удобрений повысилось содержание белка от 0,59 до 1,24% (при дозе 30 т/га). Содержание азота в соломе от 0,30 до 0,41%, повышается на 0,11% при дозе 20-30 т/га. Корневая система - основной источник формирования всего растения и урожая зерна. Через корневую систему проходят труднодоступные элементы питания и вода. Содержание азота в корнях составляет от 0,28 до 0,63%. Овечий перегной оказывал влияние на поступление азота в корневую систему. Изменения составили от 0,11 до 0,35%. Наибольшее содержание фосфора выявлено в зерне и находится в пределах от 0,116 до 0,162%. Хотя содержание фосфора в почве низкое, в зерне растения проса достаточно высокое, по сравнению с пожнивными остатками, и в корневой системе. Содержание фосфора в органах проса также имеет зависимость от доз органических удобрений.

Таблица 76 – Содержание элементов питания в органах растения проса на сильнодефлированных каштановых почвах в связи с применением органических удобрений

№ варианта	Варианты опыта	Белок, %	Азот, %			Фосфор, %		
			Зерно	Солома	Корни	Зерно	Солома	Корни
1	Контроль без удобрений	7,73	1,68	0,30	0,28	0,116	0,026	0,030
2	Овечий перегной 10 т/га	8,32	1,86	0,35	0,39	0,132	0,034	0,036
3	Овечий перегной 15 т/га	8,81	1,96	0,40	0,42	0,138	0,034	0,038
4	Овечий перегной 20 т/га	8,89	2,06	0,41	0,48	0,148	0,037	0,039
5	Овечий перегной 30 т/га	8,97	2,15	0,41	0,63	0,162	0,052	0,037

Органическое удобрение и содержание элементов питания в органах растений кукурузы (табл. 77). Содержание питательных элементов в органах растений кукурузы зависело от содержания доз органических удобрений в почве по вариантам опыта. Содержание азота и фосфора в органах растения кукурузы отличается от вышеописанных культур.

Мощная многоярусная корневая система, проникающая в глубокие горизонты почв, усваивала труднодоступный фосфор почвы и фосфор, внесенных удобрений. Во второй половине вегетации, когда кукуруза усиленно набирает вегетативную массу, совпадает с июльскими осадками и питательные элементы усваиваются в этот период. Содержание фосфора низкое, только в корневой системе от 0,39 до 0,83%, в стеблях от 0,73 до 1,49%, в листьях от 1,25 до 1,58%. Самое высокое содержание фосфора в метелке от 1,86 до 2,52%, при дозе органических удобрений в 30 т/га. Содержание азота высокое в метелке от 0,80 до 0,168%, в листьях немного меньше от 0,078 (на контрольном варианте) до 0,118%, также при дозе органических удобрений в 30 т/га.

Меньше азота в стеблях кукурузы и содержание находится в пределах 0,044 (на контрольном варианте) до 0,075% (при дозе 30 т/га). В корневой системе несколько выше, чем в стеблях и варьирует от 0,060 до 0,085%.

Кукуруза в Центрально-Тувинской котловине возделывается на силос, интенсивное развитие вегетативной массы во второй половине лета при наличии осадков повышает продуктивность этой культуры.

Таблица 77 – Содержание элементов питания в органах растения кукурузы на сильнодефлированных каштановых почвах в связи с применением органических удобрений

№ варианта	Варианты опыта	Азот, в %				Фосфор, в %			
		Метелка	Листья	Стебли	Корни	Метелка	Листья	Стебли	Корни
1	Контроль без удобрений	0,080	0,078	0,044	0,060	1,86	1,25	0,73	0,39
2	Овечий перегной 10 т/га	0,105	0,096	0,055	0,063	2,21	1,36	0,83	0,49
3	Овечий перегной 15 т/га	0,159	0,096	0,063	0,071	2,30	1,45	1,05	0,67
4	Овечий перегной 20 т/га	0,159	0,109	0,067	0,080	2,41	1,49	1,46	0,75
5	Овечий перегной 30 т/га	0,168	0,118	0,075	0,085	2,52	1,58	1,49	0,83

Скашивается кукуруза в степной зоне до наступления морозов в третьей декаде августа. Органические удобрения, внесенные под зерновые культуры на сильно дефлированных каштановых почвах, оказывали влияние на изменение элементов питания.

В степной зоне применяемые органические удобрения повышали содержание подвижных питательных элементов в почве, которые оказывали влияние на их поступление в органы возделываемых культур.

Влияние органических удобрений на продуктивность культур на каштановой почве степной зоны

В засушливой степной зоне, при современном уровне агротехники возделывания сельскохозяйственных культур и дороговизне гербицидов, обеспечить чистоту полей от сорных растений возможно при наличии чистых паров. Считается, что чистые пары являются надежным средством борьбы с вредителями и болезнями, сорняками и накопления влаги в почвенном слое. Наряду с этим наличие чистых паров не является средством интенсивного использования земли. Для степной зоны имеют место дефляционные процессы. Главная задача земледельца - сохранение плодородия почвы, которые используются под пахотное угодие. Органические удобрения могут являться этим звеном в цепи агротехнических мероприятий.

Применение минеральных удобрений улучшало агрохимические свойства и продуктивность яровой пшеницы, возделываемой на каштановых почвах разной степени дефлированности. Урожай яровой пшеницы зависит от доз минеральных удобрений и степени дефлированности почв. Применение органического вещества в виде перепревшего овечьего навоза, который длительное время (20-40 летней давности) подвергался внешним воздействиям, и превратилось в темное перепревшее органическое вещество,

оказывало влияние на изменение подвижных форм в почве и в растении зерновых культур. Перегной, внесенный в дозах 10, 15, 20, 30 т/га, на каштановых сильнодефлированных почвах повышал урожайность зерновых культур: яровой пшеницы, овса, проса и зеленую массу кукурузы.

Доза 10 т/га перегноя повышала урожайность яровой пшеницы и проса на 90 кг/га (табл. 78). Тонна перегноя дала прибавку зерна пшеницы и проса 9 кг с одного гектара. Прибавки от контроля составили 12,4%. Продуктивность овса была немного выше – 11 кг/га или 11,9% от контрольного варианта.

Наибольшие прибавки зерна яровой пшеницы были при дозе 20 т/га, которые увеличили прибавку до 13 кг зерна от одной тонны перегноя. В данном варианте прибавка от контроля составила 18,1%. Доза перегноя 30 т/га снизила продуктивность и урожайность, она была почти на уровне варианта с 10 т/га, прибавка составила 10 кг зерна с одного гектара. Продуктивность овса была наивысшей при дозе перегноя 20 т/га. От одной тонны перегноя получено 21 кг зерна овса с гектара. Прибавка от контрольного варианта составила 36,8%. При дозе 30 т/га урожай овса был 0,70 т/га, почти на уровне третьего варианта с дозой 15 т/га. Прибавка зерна овса получена 13 кг/га или 22,8% от контрольного варианта.

Просо более отзывчиво на удобрение. Отзывчивость обусловлена высокой засухоустойчивостью и жаровыносливостью и превосходит хлеба первой группы. Транспирационный коэффициент 200-300.

Потребности влаги у проса в два раза меньше, чем у яровой пшеницы и овса (400-600). Наибольшее количество питательных веществ усваивает за короткий период развития от кущения до цветения. Корневая система характеризуется невысокой способностью усваивать элементы питания из почвы, поэтому отзывчиво на внесение удобрений. Прибавки от внесения органических удобрений составили от 9 до 35 кг зерна от одной тонны с гектара. Наибольшие прибавки получены при дозе 30 т/га. Процент прибавки от контрольного варианта составил 84,2%. Остальные дозы (10, 15, 20 т/га) дали превышение от контроля соответственно 23,6; 42,1; 68,4%.

Таблица 78 – Действие органических удобрений на продуктивность культур возделываемых на сильнодефлированных сельскохозяйственных каштановых почвах

№ варианта	Варианты опыта	Яровая пшеница			Овес			Просо			Кукуруза, зеленая масса		
		Средний урожай в т/га	Отклонение от контроля, +, -	Прибавка в %	Средний урожай в т/га	Отклонение от контроля, +, -	Прибавка в %	Средний урожай в т/га	Отклонение от контроля, +, -	Прибавка в %	Средний урожай в т/га	Отклонение от контроля, +, -	Прибавка в %
1	Контроль без удобрений	0,72	-	-	0,57		-	0,38			1,75		
2	Овечий перегной 10 т/га	0,81	+0,09	12,5	0,68	0,11	19,3	0,47	0,09	3,6	3,50	1,75	4,9
3	Овечий перегной 15 т/га	0,84	+0,12	16,6	0,69	0,12	21,05	0,54	0,16	2,1	5,22	3,47	9,5
4	Овечий перегной 20 т/га	0,85	+0,13	18,1	0,78	0,21	36,8	0,63	0,25	8,4	6,60	4,25	6,1
5	Овечий перегной 30 т/га	0,82	+0,10	13,9	0,70	0,13	22,8	0,70	0,32	4,2	7,20	5,45	6,2
	НСР ₀₉₅	0,09 т/га			0,06 т/га			0,08 т/га			0,3 т/га		

Возделывание кукурузы на силос на каштановых сильнодефлированных почвах с применением органического вещества в тех же дозах получен урожай зеленой массы от 11,75 до 17,20 т/га.

Органическое вещество повышало урожайность зеленой массы от 1,75 (доза 10 т/га) до 5,45 (доза перегноя 30 т/га). Прибавки составили от контрольного варианта от 14,9 до 46,2%.

Применение органического вещества на сильнодефлированных каштановых почвах повышало урожайность зерновых культур. Наиболее отзывчивы просо и кукуруза, возделываемая на зеленую массу. При одинаковых почвенно-климатических условиях получены различные результаты. Действие органического вещества на сильнодефлированных каштановых почвах было наиболее эффективным при выращивании кукурузы на силос и проса на зерно. Наибольшие прибавки получены от доз 30 т/га.

У яровой пшеницы и овса в условиях степной зоны при выращивании на сильнодефлированных каштановых почвах отзывчивость на внесение органического удобрения была ниже - от 12,5 до 36,8%.

При дозе 30 т/га органического вещества урожай яровой пшеницы и овса снижается.

9.9 Экономическая эффективность и энергоемкость культур, возделываемых на сильнодефлированных каштановых почвах с применением органических удобрений

При возделывании сельскохозяйственных культур на растения воздействуют факторы как механическая обработка почвы, тепловые и водные режимы, и режим питания. Продуктивность зависит как от почвенного плодородия, так и от внесенных удобрений и от отзывчивости растений к элементам питания.

Возделывание сельскохозяйственных культур на дефлированных почвах затруднено в связи с понижением почвенного плодородия. С уменьшением гумусового горизонта снижается содержание элементов питания, необходимых для роста и развития, формирования будущего урожая.

Отзывчивость растений на внесенные удобрения может быть очень низкой, так как влагообеспеченность степной зоны недостаточная – это зона рискованного земледелия.

Изучение влияния органического вещества на продуктивность зерновых культур на сильнодефлированных каштановых почвах показало разную прибавку в урожае зерна пшеницы, овса, проса и зеленой массы кукурузы.

По данным, предоставленным в таблице 80, где приведены расчеты по окупаемости одной тонны овечьего перегноя и обменной энергии в МДж/га, наблюдается уменьшение окупаемости с увеличением доз органического вещества. Яровая пшеница дала прибавку от 12,5 до 18,1%, наибольшая прибавка составила 0,13 т/га.

Окупаемость одной тонны перегноя составила 9 кг зерна при дозе 10 т/га, дальнейшее повышение доз перегноя (15-30 т/га) снизило окупаемость до 3,3 кг. Соответственно снизилась обменная энергия от 88,2 до 32,3 МДж/га.

Овес сформировал урожай зерна по вариантам опыта больше, чем яровая пшеница. Овес менее требователен к почвенным условиям, но действие органических удобрений на урожай заметно. Доза перегноя 30 т/га снизила окупаемость до 4,3 кг зерна на 1 тонну внесенного органического вещества.

Урожайность овса на контроле составила 0,57 т/га, при внесении органического вещества урожай зерна увеличился от 0,68 до 0,78 т/га. За счет прибавок зерна от доз органических удобрений увеличилось

фотосинтетическая активность и аккумуляция обменной энергии от 42,1 до 107,8 МДж/га.

Просо – высокоурожайная, засухоустойчивая культура, имеет короткий период вегетации и по своим биологическим особенностям относится к поздним яровым культурам. Урожай зерна проса получен низкий, на контроле – 0,38 т/га. На вариантах с органическим веществом урожай возрос до 0,70 т/га, прибавки от 23,6 до 84,2%. Окупаемость составила от 9,0 до 16,6 кг зерна на 1 тонну органического вещества при дозе 15 т/га. При дозе 30 т/га окупаемость 1 тонны перегноя составила 10,7 кг зерна - меньше на 5,9 кг, чем при дозе 15 т/га. Коэффициент водопотребления проса в 1,5-2 раза ниже, чем у зерновых колосовых культур (180-280), поэтому отзывчивость выше на органическое удобрение, хотя влагообеспеченность почв была одинакова (10-12%). Обменная энергия варьировала в пределах от 88,2 до 162,7 МДж/га.

Фотосинтез – основной и решающий процесс питания растений, в результате которого аккумулируется вся химическая энергия различных органических соединений. Минеральное и водное питание рассматривается и оценивается лишь в той мере, в какой они обеспечивают оптимальную фотосинтетическую деятельность растений кукурузы в посевах различной продуктивности при различном уровне питания. Зеленой массы кукурузы на контрольном варианте получено 11,75 т/га. Внесение органических удобрений изменило урожайность зеленой массы. Прибавки составили от 1,75 до 5,45 т/га. Окупаемость одной тонны органических удобрений составила от 175 до 231,3 кг зеленой массы. Наибольшая прибавка была при дозе 15 т/га. При дозе 30 т/га окупаемость ниже на 49,6 кг зеленой массы на одну тонну органического вещества.

Таблица 80 – Экономическая эффективность и энергоемкость культур, возделываемых на сильнодефлированных каштановых почвах с применением органических удобрений

№ п/п	Варианты опыта	Яровая пшеница				Овес				Просо				Кукуруза, зеленая масса			
		Прибавка урожая в т/га	Прибавка в %	Окупаемость 1 кг (д.в.) удобрений зерном, кг	Обменная энергия Мд ж/га	Прибавка урожая в т/га	Прибавка в %	Окупаемость 1 кг (д.в.) удобрений зерном, кг	Обменная энергия Мд ж/га	Прибавка урожая в т/га	Прибавка в %	Окупаемость 1 кг (д.в.) удобрений зерном, кг	Обменная энергия Мд ж/га	Прибавка урожая в т/га	Прибавка в %	Окупаемость 1 кг (д.в.) удобрений зерном, кг	Обменная энергия Мд ж/га
1	Контроль без удобрений	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Овечий перегной 10 т/га	0,09	12,5	9,0	88,2	0Д1	19,3	11,0	107,8	0,09	23,6	9,0	88,2	1,75	14,9	175	3,17
3	Овечий перегной 15 т/га	0,12	16,6	8,0	117,6	0Д2	21,1	8,0	117,6	0,16	42,1	16,6	156,8	3,47	29,5	231,3	6,3
4	Овечий перегной 20 т/га	0,13	18,1	6,5	127,4	0,21	36,8	10,5	205,8	0,25	68,4	12,5	245,0	4,25	36Д	212,5	7,71
5	Овечий перегной 30 т/га	0,10	13,9	3,3	98,0	0,13	22,8	4,3	127,4	0,32	84,2	10,7	313,6	5,45	46,2	181,7	9,89
	Средние показатели по вариантам	0,11	15,3	6,7	107,8	0,14	25,0	8,5	137,2	0,21	54,6	12,2	205,8	3,48	31,7	200,2	6,29

В полученном урожае зеленой массы кукурузы аккумулировано обменной энергии от 0,32 до 0,42 ГДж/га. Наибольшее значение также при дозе 15 т/га органического вещества.

Проведенный опыт по применению органического вещества на сильнодефлированных каштановых почвах выявил экономическую эффективность по культурам; овса и яровой пшеницы при дозе – 10 т/га. Окупаемость составила соответственно 11 и 9 кг зерна на одну тонну органического вещества.

При возделывании проса можно применять 15 т/га органического удобрения. Окупаемость в данном случае составляет 16 кг зерна на одну тонну органического удобрения.

При выращивании кукурузы на зеленую массу на сильнодефлированных каштановых почвах, возможно применение 15 т/га органических удобрений, окупаемость составляет 231,3 кг на одну тонну удобрения.

Высокие дозы органического вещества снижают экономическую эффективность, и окупаемость одной тонны удобрения снижается в два раза, особенно у хлебов первой группы. Ранние яровые культуры (овса и яровой пшеницы) имеют низкую эффективность по причине низкой влагообеспеченности сильнодефлированных каштановых почв, особенно в годы с малым количеством осадков в условиях сухостепной зоны в Центрально-Тувинской котловине.

9.10 Воспроизводство плодородия каштановых дефлированных почв Центрально-Тувинской котловины

При использовании почв в сельскохозяйственном производстве, в процессе обработки и дефляционных процессов, пахотные угодия снизили свое естественное плодородие, которое связано с процессами превращений, аккумуляции и выноса веществ. Формирование плодородия почвы ниже первоначального уровня означает неполное воспроизводство или приближение к исходному уровню, означает простое воспроизводство. Создание почвенного плодородия выше исходного уровня представляет расширенное воспроизводство (табл. 81). На основе опытных данных составлена интегрированная модель обеспечения расширенного воспроизводства плодородия каштановых в разной степени дефлированных почв для получения наивысшего урожая в данных условиях, которые включают основные элементы плодородия, влияющие на урожай сельскохозяйственных культур. Дозы удобрений зависят от степени дефляции.

Таблица 81 – Интегрированная модель обеспечения расширенного воспроизводства плодородия каштановых дефлированных почв Центрально-Тувинской котловины

Показатели состояния плодородия	Оптимальные значения параметров	Приемы, обеспечивающие оптимальные свойства почв.	Нормативы затрат на изменения свойства почвы
1	2	3	4
Технологические свойства			
Контурность в связи с дефляцией	Топографический контур поля 5-15 га	Полосная система, обработка почв – безотвальная, плоскорезная	
Морфологические признаки			
Мощность гумусового горизонта, слабдефлированной каштановой почвы.	Пахотный горизонт 18-20 см, карбонатный Вса отсутствует	Органические удобрения в дозе 10 т/га, (овечий перегной).	
Водно-воздушный режим			
Запас продуктивной влаги в слое 0-50 см перед посевом	Коэффициент использования годовых осадков 0,6-0,7; запас продуктивной влаги к началу вегетации 100-130мм.	Своевременное закрытие влаги, кольчато-шпоровыми катками (апрель, II декада) почва л/суглинистая.	
Агрохимические показатели			
Гумус каштановых почв Слабдефлирован. Среднедефлирован. Сильнодефлирован	2,0-2,5% Запас 60-70 т/га Соотношение $C_{гк}:C_{фк}=1,1-1,1-1,2$	Органические удобрения 10 т/га, 15 т/га, 20 т/га в зависимости от дефляции почв	0,025-0,036% гумуса от 10 т/га органического вещества
Содержание азота	Доступные формы ($NO_3 + NH_4$); 3,0-4,5 мг/100г почвы. Запасы 100-120 кг/га, 50-60 кг/га за счет почвенных ресурсов	Внесение минеральных удобрений N_{60-120} или органические удобрения - 10-20 т/га в зависимости от дефляции	
Запасы подвижных фосфатов	Содержание фосфора 12,5-13,5 мг/100 г почвы (по Мачигину); 100-150 кг/га.	Внесение удобрений, органических 10-20 т/га в зависимости от степени дефляции	P_2O_5 -60-120 кг/га (суперфосфат). Для увеличения на 1 мг 100 г

	Возможно потребление из почвенных ресурсов за вегетацию 60-70 кг/га.		почвы 40-45 кг/га Р-удобрений
Запасы обменного калия	20-25 мг/100г почвы, 450-500 кг/га, возможно потребление из почвенных ресурсов за вегетацию 60-70 кг/га	Внесение органических удобрений с расчетом на создание положительного баланса	60-70 кг/га К-удобрения для увеличения на 1 мг/100 г почвы
Реакция почвенного раствора	$\text{pH}_{\text{ксл}}$ не выше 7,0-7,5	При обработке не подпахивать горизонт B_{ca}	- '
Состояние почвенно - поглощающего комплекса	Сумма обменных оснований 20-25 мг-экв/100 г почвы. Степень насыщенности 80-90%, соотношение Ca и K 15-17	При обработке пахотный горизонт не углублять (B_{ca}) не вовлекать в пахотный слой	

Таким образом, можно сделать следующие выводы и практические предложения:

1. Территория Республики Тува занимает центральную часть азиатского материка, 82% территории занято горами, 18% приходится на долю пониженных и горных котловин. Характерными особенностями котловин, где сосредоточены сельскохозяйственные районы, проявляется дефицит атмосферной влаги в первой половине лета, короткий безморозный период. Усиленный тепловой и ветровой режимы, резкие колебания температуры днем и ночью, наличие суховейных явлений в весеннее время развивает процессы эрозии и дефляции. Преобладают материнские породы легкого гранулометрического состава, которые обуславливают большую скважность, водопроницаемость и пониженное содержание влаги в почве.

2. Равнинные и межгорные котловинные земли составляют 2588 тыс. га. Преобладает тип каштановых почв, которые занимают 1195 тыс. га или 27,4% от котловинных земель, черноземы – 151 тыс. га или 3,4% от почв Республики Тува.

3. В годы освоения целинных и залежных земель были вовлечены под пахотное угодие каштановые маломощные почвы с легким гранулометрическим составом. В связи с отвальной обработкой, почвы подверглись эрозионным и дефляционным процессам.

4. Проведенные исследования по влиянию органических и минеральных удобрений на повышение плодородия южного деградированного чернозема и на продуктивность севооборота показали, что

внесение органического вещества в дозе 30 т/га способствует поддержанию содержания гумуса на прежнем уровне в пахотном горизонте. На варианте с минеральным удобрением содержание гумуса снижается на 10-15% , а валовой азот на 12 мг, а на фоне органического удобрения произошло снижение до 69 мг/100г почвы в связи с переходом в более усвояемые формы, а также в результате эрозионных и дефляционных процессов при обработке почвы. Разница достоверна при 5% значении по критерию Стьюдента.

В маломощных южных черноземах валовой фосфор составляет – 232 мг, а в почвообразующей породе – 125 мг/100 г субстрата. Количество подвижного фосфора составляет до 3 мг/100 г почвы, степень подвижности фосфатов находится в пределах 0,36-0,11 мг/л раствора. Внесенные удобрения повышали степень подвижности фосфатов от 187 до 233%, наибольшие показатели – при органическом удобрении. Органические и минеральные удобрения оказали влияние на изменение во фракции воднорастворимых и рыхлосвязанных фосфатов в пределах 5-10% от исходного содержания, а также в группе железо-фосфатов.

В южных черноземах содержание валового калия выявлено в пределах – 1,46-1,63%, обменного калия довольно высокое – 15-23 мг/100 г почвы и более. Внесение органических удобрений повышало содержание обменного калия по всему профилю почвы от 7 до 47 мг/кг (горизонт ВС – 40-80см), а при минеральном – от 9 до 39 мг/кг почвы.

Применение органических удобрений оказало влияние на поглотительную способность почвы и емкость катионного обмена.

Изменение поглощенного кальция составили от 60 до 84 кг на гектаре. В связи с изменением содержания кальция заметно некоторое повышение pH от 6,8 до 7,0. По содержанию поглощенного магния отмечено некоторое снижение.

5. Повышение элементов плодородия, содержания питательных элементов в почве в связи с внесением органических и минеральных удобрений в севообороте способствовало интенсивному поступлению элементов питания в органы яровой пшеницы. В течение вегетации (в критическую фазу) выявлено повышение содержания азота от 30 до 70% по сравнению с контролем на фоне органического удобрения (в дозе 30 т/га).

6. Применение минеральных удобрений на дефлированных каштановых почвах повышало содержание подвижных элементов:

- легкогидролизуемого азота повышалось от 8,40 до 12,88 мг/100 г почвы при дозе N_{60-120} , на фоне высоких доз ($N_{90}P_{90-120}$) – до 14,60 мг/100 г почвы;

- нитратного и аммиачного азота повышалось в почве в 2-3 раза при равных соотношениях доз ($N_{60}P_{60}$, $N_{90}P_{90}$) азотно-фосфорных удобрений;

- наибольшее содержание подвижного фосфора в почве выявлено (10,40-12,00 мг/100 г) при равных сочетаниях азотно-фосфорного удобрения;

- содержание обменного калия в каштановых почвах было на уровне 11-20 мг/100г почвы, при внесении в почву калийной соли в дозе 60кг д.в., повышалось на 20мг/кг почвы.

7. Для установления связи между показателями отдельных методов определения P_2O_5 и урожаем яровой пшеницы проведено сравнительное изучение пяти методов: Чирикова, Гинзбург-Артамоновой, Францессона, Мачигина, Труога и степени подвижности фосфатов по Карпинскому-Замятиной. Коэффициенты корреляции между методами Мачигина и другими – находится в пределах $+0,74-0,81 \pm 0,24-0,27$ и несколько ниже коэффициенты корреляции по Карпинскому-Замятиной ($R=+0,69 \pm 0,29$). Высокие коэффициенты корреляции свидетельствуют, что они, по сравнению со стандартным методом Мачигина, применяемого в Туве при определении P_2O_5 содержащих карбонаты кальция, не имеют особых различий. Установлена тесная связь урожая яровой пшеницы и P_2O_5 в почве определенного разными методами ($R=+0,88-0,72 \pm 0,19-0,31$). Основываясь на показателях корреляции, полученных по методу Мачигина, рассчитано уравнение регрессии, которое имеет вид $Y=4,1+0,52 \cdot X$, несколько иной вид имеет уравнение регрессии $Y=2,5+0,64 \cdot X$, где P_2O_5 определено по методу Гинзбург-Артамоновой. Пользуясь уравнением регрессии, можно определить величину урожая яровой пшеницы (ц/га) зависящую от содержания подвижной фосфорной кислоты по методу Мачигина ($Y=4D+0,52 \cdot X$).

Внесенные дозы (P_{120}) фосфорных удобрений повышали интенсивность перехода фосфат-ионов в почвенный раствор (0,061-0,101 мг/л, на контроле – 0,025 мг/л раствора). При внесении дозы P_{60} изменения были незначительные (0,002-0,008 мг/л). Низкое содержание P_2O_5 в почвах Центрально-Тувинской котловины обусловлено низким содержанием гумуса, а также легким механическим составом почв и дефляционными процессами.

11. Внесенные минеральные удобрения оказали влияние на химический состав, качество урожая и вынос питательных веществ, которые концентрируются в урожае и в побочной продукции. При дозе 60 кг азотных удобрений, повышалось содержание азота на 15,8%, количество азота в зерне превышало контрольный вариант и достигало до 2,65%. При дозе $N_{60}P_{60}$ содержание азота в почве повышалось на 48,9%, при дозе $N_{120}P_{60}$ содержание азота в зерне было на 33,1% выше, чем на контроле. По вариантам опыта содержание азота в соломе было на одном уровне – 0,41%. Внесенные минеральные удобрения повышали содержание протеина – на 5-6%, сырой клейковины – на 3-5%, стекловидность – на 5-9%, вес 1000 зерен – от 1,5 до 5,6 грамма, натура зерна повышалась от 10 до 15г, по сравнению с контролем.

Окупаемость минеральных удобрений по степеням дефлированности каштановых почв разная и варьирует от 13,8 до 45,5%. Чем выше дефлированность, тем ниже окупаемость внесенных удобрений. На слабдефлированной почве – 2,3 кг на 1 кг д.в. удобрений, на среднедефлированных – 1,72 кг зерна с гектара, на сильнодефлированных – 1,1 кг/га при дозе N_{60} . Расчеты обменной энергии по прибавке урожая зерна

без учета побочной продукции (солома, солоха, корневая система) выявили следующие показатели соответственно по степеням дефляции: 2519, 1525, 1396 МДж/га.

При дозе $N_{120}P_{60}$ получена высокая концентрация обменной энергии на слабдефлированной каштановой почве – 4606 МДж/га, на среднедефлированных каштановых почвах – 3038 МДж/га, на сильнодефлированных каштановых почвах – 1862 МДж/га.

На дефлированных каштановых почвах в дефиците находится как подвижный фосфор, так и азот. Азотное удобрение дает прибавку зерна от 6 до 12,3%, почти 50% прибавки составляют от дозы P_{60} .

12. На сильнодефлированных каштановых почвах было применено органическое удобрение для выявления продуктивности возделываемых культур и влияния на плодородие почвы. В качестве органического удобрения был использован овечий перегной 30-40-летней давности, в дозах 10, 15, 20, 30 т/га, под посев культур; яровой пшеницы, овса, проса и кукурузы. Внесенное органическое вещество повышало содержание подвижных элементов в пахотном горизонте. Содержание нитратов, аммиачного азота, фосфора, калия повышалось в 2 и более раз, в зависимости от внесенных доз органического вещества.

Содержание элементов питания повышалось в органах возделываемых культур. В соломе и корневой системе повышалось до 50% и более. Содержание белка в зерне яровой пшеницы повышалось на 1,06 %, в зерне овса – на 0,51%, в зерне проса – на 1,24%.

Органическое вещество повышало продуктивность возделываемых культур. Доза 10 т/га повышала урожайность яровой пшеницы и проса на 90 кг/га, тонна перегноя дала прибавку 9 кг/га или 12,4% от контрольного варианта.

Продуктивность овса была немного выше – 11 кг/га с одной тонны перегноя. Наибольшие прибавки зерна яровой пшеницы были при дозе 20 т/га. Получено 13 кг зерна от 1 тонны перегноя, прибавка составила 18,1% от контроля. Доза перегноя 30 т/га снизила продуктивность и урожайность Яровой пшеницы до уровня варианта с дозой 10 т/га. Продуктивность овса была наивысшей при дозе 20 т/га. От 1 тонны перегноя получено 21 кг зерна, прибавка составила 36,8% от контроля. При дозе 30 т/га урожай овса был получен на уровне с дозой 15 т/га, прибавка зерна составила 13кг/га или 22,8% от контрольного варианта.

Просо более отзывчиво на органическое удобрение в связи с ее биологической особенностью: высокая засухоустойчивость и жаровыносливость, низкий транспирационный коэффициент (180-280). Прибавка от доз органического удобрения составила от 9 до 35 кг зерна от одной тонны. Наибольшие прибавки получены от дозы 30 т/га перегноя (84,2% от контроля). Остальные дозы 10, 15, 20 т/га дали соответственно следующие прибавки – 23,6; 42,1; 68,4%.

На основе опытных данных составлена интегрированная модель обеспечения расширенного воспроизводства плодородия каштановых дефлированных почв Центрально-Тувинской котловины, обеспечивающие оптимальные физико-химические свойства с учетом технологии возделывания культур, морфологических признаков, водно-воздушного режима, запасов питательных элементов, содержания гумуса, применение органических и минеральных удобрений в зависимости от степени дефляции почв.

Практические рекомендации

1. На пахотных каштановых дефлированных почвах необходимо применение почвозащитных севооборотов с включением многолетних трав при полосной системе земледелия. Для повышения плодородия сильнодефлированных каштановых почв применять органические удобрения в дозе 10-20 т/га, содержание подвижных элементов повышается в два раза. Продуктивность зерновых культур возрастает до 36,8%.

2. Для повышения плодородия старопахотных южных черноземов, подверженных дефляционным процессам, применять органические удобрения в севообороте. При внесении дозы 30 т/га, получена прибавка кормовых единиц 20,2 ц/га, повышается содержание элементов питания: легкогидролизуемого азота до 50%, фосфора в два раза, калия до 30% от контроля.

3. Применять минеральные удобрения в севообороте в дозе $N_{120}P_{120}K_{120}$, окупаемость которых выше, чем органические удобрения, получена прибавка до 30,1 ц/га кормовых единиц, повышаются элементы плодородия до 30%, по сравнению с контрольным вариантом.

4. На среднедефлированных каштановых почвах рекомендуется применение нитрофоса в дозе $K_{60}P_{60}$. Урожай яровой пшеницы повышается на 59,1%, за счет изменения структуры урожая: возрастает длина колоса на 2 см, количество колосков – на 5 штук, зерен в колосе – на 10-11 штук, масса зерна с одного колоса – на 0,3-0,6 г, масса 1000 зерен – на 2 г, в связи с повышением элементов питания в каштановых дефлированных почвах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Адерихин П.Г. Поглощение фосфат-ионов почвами и растениями. – Почвоведение. – 1957. – №5.
2. Адерихин П.Г. Энергия, скорость и ход поглощения фосфорной кислоты почвами. // Труды Воронежского государственного университета, 1958. – Т. 45, вып. 2.
3. Адерихин П.Г., Титова Е.П., Чурилина Ю.Г. Формы фосфатов в почвах центральных черноземных областей. – Почвоведение. – 1964. – №7.
4. Адерихин П.Г., Чурилина Ю.Г. Изменения содержания минеральных фосфатов при высушивании почвы. // Научные доклады высшей школы. Биологические науки. – 1965. – №4.
5. Антипов-Каратаев И.Н., Бруновский Б.К. Химическое и рентгенографическое исследование коллоидных фракций некоторых почвенных разностей СССР. – Коллоидный журнал. – 1936. – №5. – Т.2, вып.5.
6. Антипина Л.П. Диагностика действия фосфорных удобрений в Тюменской области. – Труды ВНИИ удобрения и агропочвоведения, 1973. – вып. 21.
7. Алямовский Н.И. Результаты испытаний химических методов диагностирования отзывчивости овса на фосфорные удобрения. – Химизация соц. земледелия. – 1932. – №8.
8. Аскинази Д.Л., Ярусов С.С. Известкование как фактор мобилизации фосфорной кислоты на подзолистой почве. – Труды НИУИФ, 1928. – С. 57.
9. Аскинази Д.Л., Хейфец Д.М. Фосфаты железа и алюминия как источник P_2O_5 для растений. // Труды НИУИФ, 1938. – С. 141.
10. Аскинази Д.Л. О формах поглощения P_2O_5 в почвах в связи с ее доступностью растениям. – Химизация соц. земледелия. – 1941. – №1.
11. Аскинази Д.Л. О применении щелочных вытяжек для определения минеральных форм почвенных вытяжек. // Труды Юбилейной сессии АН СССР, посвященные столетию со дня рождения В.В. Докучаева. – М.: Изд. АН СССР, 1949.
12. Аскинази Д.Л. Фосфатный режим и известкование почв с кислой реакцией. – М.: Изд. АН СССР, 1949.
13. Аскинази Д.Л., Гинзбург К.Е. Роль глинистых минералов почвы в поглощении ионов фосфорной кислоты. // Труды Почв. Ин-та АН СССР. – М.: Изд. АН СССР, 1950. – Т. 33.
14. Аскинази Д.Л., Гинзбург К.Е., Лебедева Л.С. Минеральные формы фосфора в почве и методы их определения. – Почвоведение. – 1963. – №5.
15. Аскинази Д.Л., Гинзбург К.Е. Применение радиоизотопа P^{32} для оценки метода определения минеральных форм фосфора по Чангу и Джексону. // В сб.: Плодородие и мелиорация почв СССР. – М., 1964.
16. Бабарина Э.А. Формы фосфорных соединений в почвах разного типа при длительном применении суперфосфата и фосфорной муки. – Агрохимия. – 1968. – №4.

17. Бабарина Э.А. Влияние систематического применения навоза и минеральных удобрений на распределение форм фосфорных соединений по профилю различных почв. – *Агрохимия*. – 1971. – №6.
18. Басистый В.П. Сезонная динамика процессов почвообразования и их г И.Н- влияние на фосфатный режим буро-подзолистых почв Приамурья: дис...канд. с.-х. наук. – Хабаровск, 1967.
19. Басистый В.П. Буро-подзолистые почвы Хабаровского края, их строение и свойства. // *Почвенные и агрохимические исследования на Дальнем Востоке*. – Владивосток, 1970.
20. Басистый В.П. Агрохимическая характеристика почв Хабаровского края и эффективность удобрений. // *Агрохимическая характеристика почв СССР*. – М.: Изд. АН СССР, 1971.
21. Белик В.Ф. Методика физиологических исследований в овощеводстве и бахчеводстве. – М., 1970.
22. Береза К.Ф. Биологические процессы превращения минеральных форм фосфатов в почве. // *Докл. советских почв, в VII межд. конгрессу в США*. – М.: Изд. АН СССР, 1960.
23. Бобко Е.В. Доступность фосфорита растениям в зависимости от свойства почвы. // *Культура засоленных и орошаемых земель*. – М.: Инст. агропочвоведения ВАСХНИЛ, 1931.
24. Бурангулова М.Н. О составе фосфорорганических соединений некоторых почв Башкирии. // *Сб: Материалы по изучению почв Урала и Поволжья*. – Уфа, 1960.
25. Бурангулова М.Н. Формы фосфорноорганических соединений и их источники в серых лесных почвах. // *Сб.: Серые лесные почвы Башкирии*. – Уфа, 1963.
26. Бурангулова М.Н. Фосфорный режим почв Башкирии: автореф. дис...докт. наук. – Воронеж, 1967.
27. Варнавский В.Г. Геоструктурное положение и особенности строения Средне-Амурской впадины. // В кн.: *Геология, геоморфология, полезные ископаемые Приамурья*. Сб. статей. – Л., 1969.
28. Векус В.Г. Основные этапы формирования рельефа Амуро-Зейской и Средне-Амурской депрессий Дальнего Востока. // *Докл. По геоморфологии и палеогеографии Дальнего Востока*. – 1964. – Вып. 1.
29. Вильямс В.Р. Избранные сочинения. – М., 1941. – Т. 1, Т. 2.
30. Возбуцкая А.Е. Химия почвы. – М.: Изд. «высшая школа», 1968.
31. Волковинцер В.И. О закономерностях гумусообразования и природа гумуса каштановых почв горного Алтая. // *Тр. конф. почвов. Сибири и Дальнего Востока*. – Новосибирск, 1964.
32. Войкин Л.М. Вопросы фосфатного режима почв Татарии. // *Тр. Горьковского СХИ*, 1972. – Т. 49.
33. Гедройц К.К. Учение о поглотительной способности почв. – М.: Сельхозгиз, 1932.
34. Гедройц К.К. Учение о поглотительной способности почв. // *Избр.*

сочинение. – М.: Сельхозгиз, 1955. – Т. 1.

35. Геммерлинг В.В. Поглощение фосфорной кислоты почвой. // Труды НИУ, 1925, вып. 34.

36. Гинзбург К.Е. Поглощение фосфора глинистыми минералами. // Тр. почв инст. им. В.В. Докучаева. – М.: Изд. АН СССР, 1960. – Т. 5.

37. Гинзбург К.Е. Щеглова Г.М., Вульфус. Ускоренный метод сжигания почв и растений. – Почвоведение. – 1963. – №5.

38. Гинзбург К.Е., Лебедева Л.С. Методика определения минеральных форм фосфатов почвы. – Агрохимия. – 1971. – №1.

39. Глазунова Н.М. Концентрация фосфат-ионов в солевой вытяжке из почвы как показатель подвижности почвенных фосфатов и факторы ее определяющие: автореф. дис...канд. наук. – М., 1963.

40. Глазунова Н.М., Похлебкина Л.П. Кривицкая Е.Ф. Сравнение методов определения подвижных фосфатов в почвах. – Химия в сельском хозяйстве. – 1962. – №6. – С.12.

41. Глинка К.Д. Краткая сводка данных о почвах Дальнего Востока. – Спб, 1910.

42. Голов Г.В. Поглощение фосфора пшеницей при различных способах внесения суперфосфата. // В кн.: Наука - сельскому хозяйству. – Хабаровск: Хабаровское кн. изд., 1965.

43. Голов Г.В. Эффективность и приемы использования удобрений на основных типах почв Зейско-Буреинской равнины. // В кн.: Агрохимическая характеристика почв Зейско-Буреинской равнины и эффективность удобрений на них. – Хабаровск: Хабаровское кн. изд., 1967.

44. Голов Г.В. Фосфатный режим луговых черноземных почв в связи с применением удобрений и питанием растений: автореф. дис...канд. наук. – Владивосток, 1968.

45. Горбунов Н.И. Поглощительная способность почв и ее природа. – М.: Сельхозгиз, 1948.

46. Горбунов Н.И. Закономерности распространения глинистых минералов в главнейших типах почв СССР. // Доклады VI межд. конгр. почвовед. II комиссия, химия почв. – М., 1956.

47. Горбунов Н.И. Минералогия и ее связь почвоведением и агрохимией. – Почвоведение. – 1970. – №2.

48. Горбунов Н.И., Шурина Г.Н. Значение химического состава дисперсности и структуры минералов для поглощения фосфатов. – Почвоведение. – 1970. – №12.

49. Гриндель Н.М., Зырин И.Г. Метод определения и динамика органических соединений фосфора в пахотном горизонте дерново-подзолистой почвы. – Почвоведение. – 1965. – №12.

50. Грицун А.Т. Применение удобрений в Приморском крае. – Владивосток, 1964.

51. Гурмаза В.А. Влияние влажности и форм внесения суперфосфата на подвижность фосфора в почве. // Тр. Кишиневского с.-х. инст., 1972.

52. Давтян Г.С. Фосфорный режим почв Армении. – Ереван, 1946.
53. Дмитриенко П.А. О формах фосфатов и их учете в основных типах почв УССР. – Почвоведение. – 1946. – №8.
54. Дмитренко П.А. Содержание фосфора в органической части почв. – Почвоведение. – 1948. – №8.
55. Дмитренко П.А. Фосфатный режим почв Украинской ССР и пути ее улучшения. // Тр. почв. инст. им. В.В. Докучаева, 1957, т. 50.
56. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. – М., 1965.
57. Душечкин А.И. О биологическом поглощении фосфорной кислоты в почве. – Оп. агрономии, 1911. – Т. 12.
58. Душечкин А.И. Формы фосфора в почве и отзывчивость почв на фосфорные удобрения. – Удобрение и урожай. – 1929. – №4.
59. Душечкин А.И. единовременное обогащение черноземных и темносерых суглинистых почв фосфатами, как путь к коренному улучшению элементов их плодородия. // Тр. АН СССР, инст. физиологии растений и агрохимии, 1948. – Т. 1-2.
60. Дюшофур Ф. Основы почвоведения. – М.: Изд. «Прогресс», 1970.
61. Егоров М.А. Формы фосфорной кислоты в растениях и методы их определения. // Известия Московского с.-х. инст. – М., 1913. – №19.
62. Егоров М.А. Известь и фосфорная кислота в почве. // Тр. НИУ, 1926. – Вып. 34.
63. Животовская А.И. О «бурых глинах» южного Приморья и третично-четвертичной границе. // Материалы ВСЕГЕИ, новая серия, т. 74, вып. 1, 1956.
64. Жукова М.А. О бурых лесных почвах Приморья. – Вестник ДБФ СО АН СССР, 1935. – №14.
65. Журек И.К. О доступности поглощения почвой фосфатов. – Агрохимия. – 1969. – №5.
66. Жуланова В.Н., Чупрова В.В. Агропочвы Тувы: свойства и особенности функционирования. – Красноярск: Изд-во КрасГАУ, 2010. – 155 с.
67. Жуланова В.Н., Кураченко Н.Л. Современное физическое состояние агропочв Тувы // Вестник КрасГАУ. – 2010. - №5. – С. 18-23.
68. Жуланова В.Н. Агроэкологическая оценка почв Тувы: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. – Москва, 2013. – 46 с.
69. Замятина В.Б. Методика определения фосфорной кислоты в 0,03 н K_2SO_4 вытяжке из почвы. // Методические указания, вып. 3, 1960.
70. Зенкова Р.А. Фосфатный режим почв долин Южного Сахалина. // В кн.: Тр. Конф. почвовед. Сибири и Дальнего Востока. – Новосибирск, 1964.
71. Иванов Г.И. Почвы Приханкайской равнины и долины р. Усури, их освоение и использование. // III сессия Объединенного Советско-китайского ученого совета по проблеме р. Амур. – М., 1959.
72. Иванов Г.И. Почвы Приморского края. – Владивосток, 1964.
73. Иванов Г.И. Классификация почв Приморья и Приамурья. – Владивосток, 1966.

74. Иванов Г.И. Географические закономерности распространения почв в Приморье. // В кн.: Особенности почвообразования в зоне бурых лесных почв. – Владивосток, 1967.
75. Иванов Г.И. О некоторых особенностях химизма почв равнин Приамурья и Приморья. // В кн.: Почвенные и агрохимические исследования на Дальнем Востоке. – Владивосток, 1970.
76. Иванов Г.И. Почвы Приамурья и Приморья. // В кн.: Агрохимическая характеристика почв СССР. Дальний Восток. – М.: Изд. «Наука», 1971.
77. Иванов Г.И. Особенности почвообразования на юге дальнего Востока: автореф... докт. дис. – Новосибирск, 1973.
78. Иванов С.Н. Применение метода изотопного обмена к исследованию механизма поглощения почвами анионов. – Почвоведение. – 1955. – №7.
79. Иванов С.Н. Применение радиоактивного фосфора при изучении обменных реакций между поглощенными фосфат-ионами и ферроцианид-ионами. – Почвоведение. – 1957. – №7.
80. Иванов С.П., Столярова Т.Ф. Физико-химический режим фосфатов в дерново-подзолистых почвах, различных по окультуренности и плодородию. – Почвоведение. – 1973. – №2.
81. Казаков Е.И. Поглощение фосфорной кислоты болотными почвами. – Почвоведение. – 1934. – №4.
82. Калинина Н.А., Басистый В.П. Влияние удобрений на качество семян сои, выращенной на буро-подзолистых почвах Хабаровского края. // В кн.: Почвенные и агрохимические исследования на Дальнем Востоке. – Владивосток, 1970.
83. Карпинский Н.П., Замятина В.Б. Фосфорная кислота, связанная с органическим веществом почвы. // Тр. ВИУАА, 1933, вып. 2.
84. Карпинский Н.П., Замятина В.Б. Подвижность фосфорной кислоты подзолистых почв в зависимости от их генезиса. – Труды ВИУА. – М.: Сельхозгиз, 1940.
85. Карпинский Н.П., Замятина В.Б. Фосфатный уровень почвы. – Почвоведение, – 1958. – №2.
86. Карпинский Н.П., Замятина В.Б., Глазунова Н.М. Подвижный фосфор почвы и использование его растениями. // Доклады советских почвоведов к VII междунар. конгрессу в США. – М.: Изд. АН СССР, 1960.
87. Карпинский Н.П., Глазунова Н.М. Величина концентрации фосфата в солевой вытяжке из почвы как показатель уровня подвижных фосфатов. // VII междунар. конфесс почвоведов. – Аделаида, 1968.
88. Качияни А.И. Почвы земледельческих районов Дальнего востока. – Хабаровск, 1954.
89. Кедров-Зихман О.К. О влиянии извести на процесс мобилизации фосфорной кислоты в почве. – Научно-агрономический журнал. – 1928. – №3.
90. Кирсанов А.Т. Поглощение фосфорной кислоты почвою. – Химизация соц. Земледелия. – 1932. – №3-4.
91. Кирсанов А.Т. Упрощенное химическое определение потребности почв в

- фосфорных удобрениях. – Бюллетень ЛОВИУАА. – 1931. – Вып. 38.
92. Клечковский В.М., Жердецкая Г.Н. К вопросу о роли обменного кальция в связывании фосфат-ионов в почвах. // Докл. АН СССР, 5, т.79, 1951.
93. Кобзаренко В.И. К оценке методов определения содержания подвижных фосфатов в дерново-подзолистых и серых лесных почвах. // Научн. докл. высш. школы. Биол.н., 1973. – №3.
94. Колесников Б.П. Очерк растительности Дальнего Востока. – Хабаровск, 1955.
95. Кононова М.М. Органическое вещество почвы. – М.: Изд. АН СССР, 1963.
96. Костычев П.А. Почвоведение. Курс лекций, прочитанный в 1886-1887 гг. – М.-Л.: Сельхозгиз, 1940.
97. Короткий А.М., Кулаков А.П., Никонова Р.И. основные черты рельефа юга Дальнего Востока. // В кн.: Особенности почвообразования в зоне бурых лесных почв. – Владивосток, 1967.
98. Корнблюм Э.А., Зимовец Б.А. Происхождение почв Приамурья с белесым горизонтом. – Почвоведение. – 1961. – №6.
99. Крейда Н.А. Состав вторичных минералов некоторых почв Приморья. // Уч. записки Дальневосточного университета, 1969.
100. Крупский Н.К., Левенец П.П., Юрко Е.П. и др. Сравнение методов определения подвижных форм фосфора и калия в почвах УССР и их усовершенствование. – Химия в сельском хозяйстве. – 1968. – №12.
101. Кудзин Ю.К. Сравнительное изучение методов определения растворимых фосфатов в черноземе. // Методическое указание по Географической сети опытов с удобрениями. – М., 1960. – Вып.4.
102. Кузнецова Г.Э. Растительность Приморья и Южного Приамурья. // В кн.: Особенности почвообразования в зоне бурых лесных почв. – Владивосток, 1967.
103. Куркаев В.Г. К методике определения подвижного фосфора. // Труды Амурской с.-х. опытной станции, 1965, вып.1.
104. Кьельдаль. Определение общего содержания азота в растениях. // В кн.: Практикум по агрохимии. – М.: Изд. «Колос», 1965.
105. Лазарев А.П. Физико-химическая и производственная характеристика основных типов почв Средне-Амурской равнины: дис... канд. с.-х. наук. – Хабаровск, 1974.
106. Лазарев И.П. Генетические особенности почв на ленточных глинах. // В кн.: Почвы Карелии и пути повышения их плодородия. – Петрозаводск: Изд. «Карелия», 1971.
107. Ливеровский Ю.А. Почвы Амурской лесостепи. – Почвоведение. – 1947. – №7.
108. Ливеровский Ю.А., Колесников Б.П. Природа южной половины советского Дальнего Востока. – М.: АН СССР, инст. географии, 1949.
109. Ливеровский Ю.А., Рубцова Л.П. Схема классификации почв равнинных территорий Дальнего Востока. – Почвоведение. – 1959. – №4.

110. Ливеровский Ю.А. Основные особенности географии и генезиса почв южной половины Дальнего Востока. // В кн.: Особенности почвообразования в зоне бурых лесных почв. – Владивосток: СА АН СССР, 1967.
111. Любарская Л., Шевцова Л., Гришина И. Накопление и превращение фосфора в почвах при длительном применении навоза и минеральных удобрений. – Вестник с.-х. наук. – 1963. – №5.
112. Маркова Л.С. Реакция химических методов определения подвижного фосфора на удобренность дерново-подзолистой почвы суперфосфатом. // Тр. Перм. с.-х. инст., 86, 1971.
113. Маркова Л.С. Сравнение методов определения подвижного фосфора на дерново-среднеподзолистой почве в разной степени, удобренной суперфосфатом. // Тр. Перм. с.-х. инст., 86, 1971.
114. Мусабекова Э.С. Фосфаты в почвах Азербайджана: автореф... докт. наук. – Баку, 1970.
115. Назын-оол О.А. Степень подвижности фосфатов в южных черноземах и содержание фосфора в растениях. //Тезисы совещания работников НИУ и вузов по с.-х. Сибири и ДБ. – Новосибирск, 1975. – С.53-65.
116. Назын-оол О.А. Влияние органических и минеральных удобрений на формы фосфора в южных черноземах Тувинской АССР. // Труды ТГСХОС. Вып. 5. – Кызыл: Тув. книжн. изд-во, 1976. – С. 155-162.
117. Назын-оол О.А., Назын-оол В.Д. Влияние минеральных удобрений на повышение плодородия эродированных почв. // Инф. листок №448-78. – Красноярск, 1978. – 2 с.
118. Назын-оол О.А., Назын-оол В.Д. Влияние минеральных удобрений на повышение плодородия каштановых дефлированных почв Тувинской АССР. // Тезисы докладов IV Республ. конф. почвоведов Казахстана. Алма-Ата. – М.: Изд-во «Наука», 1978. – С.55-57.
119. Назын-оол О.А. Влияние применения удобрений в севообороте на питательный режим почвы в Республике Тыва. // Природные условия, история и культура Западной Монголии и сопредельных регионов. – Ховд, 1997. – С. 171-173.
120. Неунылов Б.А. Повышение плодородия почв рисовых полей Дальнего Востока. – Владивосток: Приморское кн. изд., 1961.
121. Неунылов Б. А. Агрохимические методы диагностики потребности посевов в минеральных удобрениях. // В сб.: Проблемы биологии на Дальнем Востоке. – Владивосток, 1966.
122. Неунылов Б.А., Стрельченко Н.Е., Карпова Л.И. Применение радиоизотопа и фосфора (p^{32}) для определения усвояемых фосфатов в почвах рисовых полей. – Агрохимия. – 1968. – №1.
123. Новиков М.Н. Изменение фосфатного режима лугово-бурых почв при использовании удобрений. // Тр. ДВНИИСХ. – Хабаровск, 1970. – Т. 11.
124. Новиков М.Н. Лугово-бурые почвы правобережья р. Уссури и применение удобрений на них под полевые культуры: дис... канд. с.-х. наук. – Хабаровск, 1970.

125. Никольская В.В. Дальний Восток. – М.: Географгиз, 1962.
126. Никольская В.В. К геоморфологии аллювиальных равнин бассейна Амура. //Тезисы докладов совещания по геоморфологии и неотектонике Сибири и Дальнего Востока. – Новосибирск, 1965.
127. Омельченко И.К. Сравнение методов определения подвижных фосфатов в буроземно-подзолистых почв Карпат. – Агрохимия. – 1969. – №10.
128. Петербургский А.В. Корневое питание растений. – М.: Россельхозиздат, 1964.
129. Петербургский А.В. Практикум по агрохимии. – М.: Изд-во «Колос», 1968.
130. Печерин А.И. К вопросу о геоморфологии Нижнее-Амурской равнины. //Амурский сборник, вып. 1. – Хабаровск, 1959.
131. Прянишников Д.Н. О влиянии аммиачных солей на усвоение фосфорной кислоты малорастворимых фосфатов. – М.: Изв-во Москов. с.-х. инст., 1905.
132. Прянишников Д.И. Опыты по влиянию CaCO_3 на усвояемость различных фосфатов кальция. // Из результатов вегетац. опытов и лабор. работ, 1909.
133. Прянишников Д.И. Агрохимия. – М.: Изд-во АН СССР, 1940.
134. Рамазанов Ф.И. Кинетика сорбции фосфат-иона удобрений в выщелоченном сверхмощном черноземе, в зависимости от влажности почвы. // Сб. научно-исслед. работ по масличным культурам. – Краснодар, 1971.
135. Ратнер Е.И. Подвижность алюминия в почве и фосфорно-кислое питание растений. – Почвоведение. – 1946. – №2.
136. Ремезов Н.П. Почвенные коллоиды и поглощательная способность почв. – М.: Сельхозгиз, 1957.
137. Росликова В.И. О методах определения подвижных форм P_2O_5 в почвах Дальнего Востока. // Тезисы докладов на 1 совещании агрохимиков и почвоведов Дальнего Востока. – Хабаровск, 1967.
138. Росликова В.И., Сохина Э.Н. О генетических особенностях некоторых почв Дальневосточной муссонной фации. // В кн.: Особенности почвообразования в зоне бурых лесных почв. – Владивосток, 1967.
139. Рыдкий С.Г. Фосфотазная сорбционная способность почвы. // Доклады ВАСХНИЛ, 1938, вып. 10/19.
140. Савич В.И., Жуланова В.Н., Кашенко В.С., Якимов С.Н. Агроэкологическая оценка почв Тувы (1970-2010). – М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2012. – 440 с.
141. Смирнов В.П. Приханкайский район Приморской области. // В кн.: Предварительный отчет об организации и выполнению работ по исследованию почв Азиатской России в 1913 г. – Спб, 1914.
142. Соколовский А.Н. Из области явлений, связанных с коллоидной частью почвы. – Изв. Петровской с.-х. академии. – 1919. – Вып. 1-4.
143. Соколов А.В. Агрохимия фосфора. – М.: Сельхозгиз, 1950.

144. Соколов А.В. Запасы в почвах усвояемых фосфатов и их накопление при внесении фосфорных удобрений. – Почвоведение. – 1958. – №2.
145. Соколов А.В. Определение точности опыта. // В кн.: Л.Агрохимические методы исследования почв. – М.: Изд. АН СССР, 1960.
146. Соколов А.В. Определение запаса в почве усвояемых фосфатов их состав и степени подвижности. – Почвоведение. – 1968. – №8.
147. Стебут И.А. Известкование почв. – М., 1865.
148. Степанов А.Н. основные принципы и схемы осушения тяжелых минеральных почв Приамурья и Приморья: дис... канд. техн. наук. – Хабаровск, 1969.
149. Стокозов И.П., Носов П.В. Сравнение методов определения подвижных форм фосфора в почвах Краснодарского края. – Химия в с.- х. – 1972. – №10, 9.
150. Стрельченко Н.Е., Щукина Л.А. О методах определения подвижных соединений фосфора в почвах Приморья. // В кн.: Почвенные и агрохимические исследования на Дальнем Востоке, вып. 1. – Владивосток, 1970.
151. Стрельченко Н.Е., Щукина Л.А. Групповой состав фосфатов пахотных почв Приморья. // Тр. Биол.-почв. инст. Дальневосточн. научн. центр. АН СССР. – 10. – Владивосток, 1972.
152. Стрельченко Н.Е. Формы фосфатов и их распределение по профилю почв Приморья. – Агрохимия. – 1973. – №10.
153. Тюлин А.Ф., Маломахова Т.А. О коллоидно-химическом поглощении фосфорной кислоты почвами и глинистыми минералами. – Почвоведение. – 1952. – №6.
154. Туева О.Ф. Фосфор в питании растений. – М.: Изд. «Наука», 1966.
155. Тюрин И.В. Органическое вещество почв. – М.: Изд. «Наука», 1966.
156. Угаров А.Н. Питание растений и удобрения. – Иркутск, 1951.
157. Фомин А.Е. Научный отчет института земледелия Юго-Востока, 1953.
158. Фомин А.Е., Астахова Н.К., Гвоздева С.В. Изотопы в микробиологии. – М.: АН СССР, 1955.
159. Хантулев А. А. Материалы к характеристике почв земледельческих районов Приморского края. // Уч. Записки ЛГУ, 1956, 221.
160. Хейфец Д.М. Методика определения и содержания минеральных и органических соединений фосфора в некоторых почвах Советского Союза. – Почвоведение. – 1948. – №2.
161. Хейфец Д.М. Запасы фосфора в различных почвах Советского Союза. // Тр. Почв. Инст. АН СССР, т. 33, 1950.
162. Хейфец Д.М. Сравнение методов определения легкорастворимых фосфатов в почвах различных зон Советского Союза. – Агрохимия. – 1964. – №4.
163. Чемяков Ю.Ф. Морфология, генезис, возраст и условия формирования древних поверхностей денудационного выравнивания на юге Дальнего Востока СССР. //Материалы ВСЕГЕИ, новая серия, т.90, в. 5, 1963.
164. Чириков Ф.В. К методике учета форм фосфатов в почве. – Химизация

соц земледелия. – 1939. – №10-11.

165. Чириков Ф.В. Александровская В.А. Превращение фосфатов суперфосфата в почвах. – Почвоведение. – 1952. – №6.

166. Чириков Ф.В. Агрохимия калия и фосфора. – М.:Сельхозгиз, 1956.

167. Чириков Ф.В. К методике учета форм фосфатов в почвах. – Хим. соц. земледелия, – 1969. – № 10, 11.

168. Чумаченко И.Н., Сиротин Ю.П., Базегский З.П. Формы фосфорных удобрений и условия их эффективного применения. // Тр. ВИУА. – М., 1970.

169. Чуприков Ю.К. Влияние извести на превращения минеральных фосфатов в дерново-подзолистой почве при различных увлажнениях. // Докл. Моск. с.-х. акад. инст. им. К.А. Тимирязева, вып. 183, 1972.

170. Шконде Э.И. Система удобрения и фосфатный режим черноземных почв УССР. – Почвоведение. – 1952. – №8.

171. Шулова И.С. Исследования в области физиологии питания высших растений. – М., 1913.

172. Шепкина Е.Н. Агрохимические картограммы и их использование в Сахалинской области. Тезисы докладов на первом совещании агрохимиков и почвоведов Дальнего Востока. – Хабаровск, 1967.

173. Шурина Г.Н. Поглощение и прочность связи фосфора с минералами и почвами: автореф... канд. дис. – М., 1973.

174. Юрлова О.В. Некоторые особенности почвообразования в Тувинских степных котловинах. – Почвоведение. – 1959. – №7. – С. 53-60.

175. Barber S.A. Soil Sci., Soc. Amer. Proc., 25, 1961.

176. Chang a Jackson. Fractionation of the soil phosphorus. Soil Sci., v.84, N2, 1957.

177. Cooke J.W. The control of the soil fertility. London, 1967.

178. Debnath N.C., Hajra I.N. Inorganic transformation of added phosphorus in soil in relation to soil characteristics and moisture regime. I. Indian Soc. Soil Sci, 1972, 20, N4.

179. Ivanov P., Sauerbeck D. Phosphatumwandlung und Pflanzenverfiigbarkeit anorganischer Phosphatfraktionen in verahiedentn Boden. Landwirt Forsch. 1972, 25, Sonderh. 27\1.

180. Larsen S a. Widdowson A.E. Effekt of soil/solution ratio on determiming the chemical potentials of phosphate ions in soil solutions. Nature, august 29, v.203, 1964.

181. Moreno E.C., Lindsay W.L., Osborne Q., Reactions of decalcium phosphate dehydrate in soils, Soil Sci., 90, 1960.

182. Misra S.Q., Gupta B.P. Disrtibution of added P in soils (as influenced by Fe^{+3} and Al^{+3} ions). An INIA. Ser Qen, 1971, N 1.

183. Perkins A.T., Wagoner C.E., King H.H. Phosphorus fixation by soil separates and fractions, Soil Sci., 53, 1942.

184. Pichot J., Truong D., Burdin S. Evolution du phosphore dans un sol ferrallitique soumis a differenzs traitements agronomiques. "Agron. Trop.", 2,28,1973.

185. Salmon R. C. Effects of initial phosphate intensity and sorption or buffering capacity of soil on fertilizer requirements of different crops grown in pots in the field "J. Agr. Sci.", 1, 81, 1973.
186. Seatz L. and Stanberry C.J. Fertilizer technology and usage. Soil science of America Madison 11. Wisconsin, 1963.
187. Schofield R.K., Taylor A.W. Measurement of the activities of basis in VI soils. Chemical analysis. 1955.
188. Schofield R.K., Soils FertiL, 18, 373-375, 1955.
189. Tisdal S.L, Nelson W.L. Soil Fertility and Fertilizers. The Mac Millon Co. New lork. 1956.
190. Vdo E.L, Vzu F.O. Characteristics of phosphorus adsorption by some III Nigerian soils. Soil Sci. Soc. Amer Proc., 1972, 36, N 6.
191. Way J. Th 1. On the power of soils to adsorvmanure. Joum. Roy I Agric. Soc. Of England vol. 11, 1850.
192. Wrenshall Q.I. a. Mckibbian R.R. The nature of organic phosphorus in soils. Canad. Journal of Research. 1, v. 15, 1939.

Приложение 1

Изменение содержания валового фосфора в почвенном профиле в процессе почвообразования

Почва	Горизонт	Глубина, см	Объемный вес, г/см ³	Вес, т/га		Валовой фосфор, т/га		Изменение P ₂ O ₅ , т/га
				Исходный почвообр.		почвообразов		
				породы	почвы	в породе	в почве	
Бурая лесная	A	0-26	1,40	4600	3620	1,78	4,37	+2,59
	A ₂ B	27-40	1,58	2480	2200	1,25	1,89	+0,64
	B	41-90	1,66	8850	8300	4,41	7,37	+2,96
Итого по профилю				15930	14120		13,59	+5,25
Буро- подзолистая	A _{пах}	0-20	1,16	3000	2320	3,27	4,20	+0,93
	A ₂	21-45	1,56	3760	3900	4,10	2,96	-1,14
	B ₁	46-70	1,49	3760	3720	4,10	3,82	-0,22
	B ₁ B ₂	71-100	1,59	4500	4760	4,90	4,90	-
Итого по профилю				15020	14700	16,37	15,88	-0,43
Лугово- бурая	A _{пах}	0-23	1,18	3400	2700	5,3	6,75	+1,45
	A ₂ g	24-65	1,52	6300	6400	9,8	9,77	-0,03
	Bg	66-100	1,39	5250	4900	8,1	7,00	-1,10
Итого по профилю				14950	14000	23,2	23,52	+0,32
Лугово- глеевая	A _{пах}	0-18	1,08	2610	1940	4,90	2,55	-1,45
	A ₂ g	19-40	1,52	3200	3340	4,90	3,40	-1,50
	Bg	41-100	1,53	8700	9200	14,10	8,20	-5,90
Итого по профилю				14510	14480	23,00	14,15	-8,85
Дерново- аллювиаль- ная	A _{пах}	0-22	1,17	3250	2570	4,1	3,54	-0,56
	A ₁ B	23-35	1,50	1920	1950	2,4	1,44	-0,96
	B ₁	36-60	1,47	3680	3680	4,6	4,90	+0,30
	B ₂	61-100	1,47	5900	5900	7,4	7,90	+0,50
Итого по профилю				14750	14100	18,5	17,78	-0,72

Приложение 2

Запасы органического фосфора в метровом слое основных типов почв Средне-Амурской равнины

Почва, разрез	Горизонт	Глубина, см	Органический фосфор		Всего в метровом слое	
			т/га	% от валового	т/га	% от валового
Бурая, лесная, р. 17	A _{пах}	0-22	1,35	30,8	1,55	11,4
	A ₂ B	30-35	0,13	6,7		
	B	60-85	0,07	1,6		
	C	150-165				
Буро- подзолистая, р.8	A _{пах}	0-20	0,86	20,5	0,96	6,0
	A ₂	27-42	0,03	1,1		
	B	52-63	0,07	0,8		
	c	163				
Лугово- бурая, р.1	A _{пах}	0-23	2,2	32,6	3,12	13,3
	A ₂ g	35-60	0,62	6,4		
	Bg	71-96	0,30	4,3		
	B/C	105-120				
Лугово- глеевая, р. 19	A _{пах}	2-15	0,73	28,6	0,93	6,6
	A ₂ g	18-40	0,05	1,5		
	B ₁ g	45-60	0,15	1,8		
	C	160-175				
Дерново- аллювиальная, р.35	A _{пах}	0-22	0,95	26,8	2,14	12,0
	A ₂ B	25-35	0,14	9,8		
	B ₁	65-75	1,05	8,8		
	C	125				

Приложение 3

Групповой состав фосфатов в почвах Средне-Амурской равнины

Почва, разрез	Горизонт	Глубина Взятия образца, см	Группы фосфатов			
			I		II	
			мг/100 г почвы	% от валового Р	мг/100 г почвы	% от валового Р
Бурая лесная, р.20	A _{пах}	0-29	5,2	4,3	5,2	4,3
	A ₂ B	32-37	6,2	7,2	5,2	6,0
	C	50-60	3,9	5,6	4,6	6,7
Бурая лесная, р.17	A _{пах}	0-22	6,2	5,2	5,2	4,3
	A ₂ B	30-35	9,6	11,2	6,8	7,8
	B	60-85	7,6	8,5	7,6	8,5
	C	150-165	3,9	7,8	2,6	5,2
Бурая лесная оподзоленная, р.9	A _{пах}	0-17	2,6	2,1	2,6	2,1
	A ₂	17-37	4,7	10,8	3,9	9,0
	B	37-56	6,2	10,7	3,9	6,7
	CD	61-75	6,2	9,7	4,7	7,3
Бурая лесная слабо- оподзоленная, р.25	A _{пах}	0-23	6,2	3,1	10,9	5,6
	A ₂ B	40-70	3,9	4,3	5,7	6,2
	B ₁	80-102	7,6	6,1	7,6	6,1
	CD	110-125	9,6	6,3	7,6	4,9
Буро- подзолистая р.8	A _{пах}	0-20	7,6	4,2	3,1	1,7
	A ₂	27-42	5,2	6,8	2,6	3,4
	B	52-63	10,9	10,6	6,2	6,0
	C	163-184	14,3	13,1	8,3	7,6
Буро- подзолистая, р.33	A _{пах}	0-15	3,8	2,7	3,1	2,3
	A ₂	25-35	7,2	11,2	5,2	7,7
	B ₁	50-65	14,8	15,4	6,8	7,1
	C	170-180	13,5	12,4	7,6	7,0
Лугово-бурая, р.1	A _{пах}	0-23	5,7	2,3	5,2	2,1
	A ₂ g	35-60	10,4	6,8	6,2	4,1
	Bg	71-96	6,2	4,3	9,6	6,7
	BC	105-120	7,6	4,8	12,1	7,7
Лугово-бурая, р.7	A _{пах}	0-25	4,7	2,5	4,7	2,5
	A ₂ g	46-71	5,7	5,5	4,7	4,5
	B ₁ g	79-94	9,6	8,8	7,6	7,0
	C	198-211	13,0	10,2	11,4	9,0
Лугово- глеевая, р. 19	A _{пах}	2-5	5,2	3,9	4,7	3,6
	A ₂ g	18-40	5,2	5,7	4,7	5,1
	B ₁ g	45-60	10,9	12,2	5,2	5,8
	C	160-175	13,5	8,8	14,8	9,7
Лугово-глеевая, р.37	A _{пах}	0-13	6,2	3,4	3,2	1,7
	A ₂ g	15-35	6,2	5,5	5,2	4,5
	B ₁ g	40-60	7,6	6,4	5,2	4,3
	C	160-170	12,1	9,9	9,6	7,9
Дерново- аллювиальная, р.35	A _{пах}	0-22	4,7	3,4	5,2	3,7
	A ₂ B	25-35	1,1	1,5	2,6	3,5
	B ₁	65-75	5,2	3,9	5,7	4,3
	C	125-135	5,2	4,1	5,2	4,1

Приложение 4

Фракции фосфатов в почвах Средне-Амурской равнины

Почва, разрез	Генетический гори- зонт	Глубина взятия образца, см	Фракция P ₂ O ₅ % от валового Р						Ca - P
			Al-P		Fe-P		Ca-P		
			мг/100 г почвы	%	мг/100 г почвы	%	мг/100 г почвы	%	Al - P + Fe - P
Бурая лесная, р.20	A _{пах}	0-29	2,6	2,2	26,0	21,8	5,2	4,3	0,13
	A ₂ B	32-37	3,6	4,1	16,0	18,7	2,6	3,0	0,13
	C	50-60	2,6	3,7	22,0	31,5	2,6	3,7	0,11
Бурая лесная, р.17	A _{пах}	0-22	2,6	2,2	26,0	21,8	3,7	4,7	0,19
	A ₂ B	30-35	3,1	3,7	16,0	18,6	3,9	4,5	0,20
	B	60-85	4,2	4,7	32,5	36,5	3,9	4,4	0,10
	C	150-165	4,4	8,8	13,0	26,0	6,2	12,4	0,35
Бурая лесная оподзоленная, р.9	A _{пах}	0-17	13,0	10,4	59,0	47,6	3,10	2,5	0,04
	A ₂	17-37	3,6	8,4	28,0	65,2	0,5	1,2	0,02
	B	37-56	3,6	6,2	40,0	70,0	2,6	4,4	0,06
	CD	61-75	3,6	5,6	46,0	71,9	1,1	1,7	0,02
Бурая лесная слабо- оподзоленная, Р-25	A _{пах}	0-23	4,4	2,3	55,0	28,2	16,4	8,4	0,27
	A ₂ B	40-70	4,4	4,8	32,5	35,8	11,4	12,6	0,31
	B ₁	80-102	4,4	3,5	57,5	46,0	11,4	9,1	0,18
	CD	110-125	12,5	8,2	62,5	40,8	36,4	23,8	0,48
Буро- подзолистая, р.8	A _{пах}	0-20	10,4	5,9	101,0	56,1	13,0	7,2	0,11
	A ₂	27-42	11,2	14,7	53,5	70,4	2,6	3,4	0,04
	B	52-63	4,4	4,3	69,0	67,0	4,7	4,5	0,06
	C	163-184	4,7	4,3	70,0	64,2	5,7	5,2	0,07
Буро- подзолистая, р.33	A _{пах}	0-15	7,8	5,7	69,0	50,7	6,2	4,6	0,08
	A ₂	25-35	2,6	3,9	48,0	71,6	0,8	1,2	0,02
	B ₁	50-65	3,6	3,7	65,0	67,8	2,7	2,8	0,04
	C	170-180	4,7	4,3	75,0	68,8	3,7	3,4	0,05
Лугово-бурая, Р.1	A _{пах}	0-23	13,6	5,4	50,0	20,0	11,4	4,6	0,17
	A ₂ g	35-60	8,4	5,4	46,0	30,1	6,2	4,1	0,11
	Bg	71-96	3,9	2,7	46,0	32,0	3,9	2,7	0,07
	BC	105-120	4,2	2,6	44,0	28,2	5,2	3,3	0,10
Лугово-бурая, Р.7	A _{пах}	0-25	17,5	9,6	40,0	22,0	6,2	3,4	0,11
	A ₂ g	46-71	19,6	18,8	30,0	28,7	2,6	2,5	0,05
	B ₁ g	79-94	19,6	18,0	35,0	32,1	3,1	2,8	0,06
	C	198-211	18,3	14,4	50,0	39,3	10,4	8,2	0,15
Лугово- глеевая, р. 19	A _{пах}	2-5	20,8	15,9	35,0	26,7	10,9	8,3	0,19
	A ₂ g	18-40	15,4	16,7	31,0	33,7	2,6	2,8	0,06
	B ₁ g	45-60	15,4	17,3	31,0	34,8	3,1	3,5	0,07
	C	160-175	21,6	14,1	62,5	40,8	14,8	9,7	0,18
Лугово- глеевая, р.37	A _{пах}	0-13	22,9	12,4	38,0	20,7	3,9	2,1	0,06
	A ₂ g	15-35	12,1	10,6	32,5	28,5	2,6	2,3	0,05
	B ₁ g	40-60	2,6	2,2	35,0	29,4	2,6	2,2	0,06
	C	160-170	2,6	2,1	35,0	28,7	2,6	2,1	0,06
Дерново- аллювиальная, р.35	A _{пах}	0-22	4,4	3,2	50,0	36,3	13,5	9,8	0,24
	A ₂ B	25-35	4,4	5,9	15,6	21,1	4,6	6,2	0,23
	B ₁	65-75	4,4	3,3	33,2	24,9	8,9	6,7	0,23
	c	125-135	1,6	1,3	45,5	36,4	4,1	3,3	0,08

**Превращение монофосфата калия в основных типах почв после
годового компостирования**

Почва	Вариант опыта	Фракция P_2O_5 % от валового Р					Извлечено, % от внесен- ного Р	Перешло в трудно- раств., % от внесен. Р	$Ca - P$
		I	II	Al- Р	Fe- Р	Са- Р			$Al - P + Fe - P$
Бурая лесная	1	11,8	4,8	29,1	56,3	6,8	108,8	-	0,08
	2	13,3	4,1	29,9	61,0	3,9	112,2	-	0,04
Бурая лесная оподзоленная	1	7,2	3,1	10,7	61,6	6,4	89,0	11,0	0,09
	2	3,6	4,1	15,9	69,8	2,5	95,9	4,1	0,03
Буро подзолистая	1	5,9	2,4	7,7	45,5	3,9	65,4	34,6	0,07
	2	9,6	5,9	8,2	39,5	3,1	66,3	33,7	0,07
Лугово-бурая	1	6,1	4,7	10,4	59,0	л л	83,5	16,5	0,05
	2	7,2	6,3	20,8	52,5	4,8	91,6	8,4	0,07
Лугово- глеевая	1	4,8	5,0	12,1	51,5	2,7	76,1	23,9	0,04
	2	9,6	7,8	8,6	56,5	4,7	87,2	12,8	0,07
Дерново- аллювиальная	1	16,4	5,9	44,6	44,2	3,5	114,6		0,04
	2	31,1	6,4	46,4	34,0	2,8	120,7		0,03

Примечание: 1 вариант - P_2O_5 100 мг на 100 г почвы;

2 вариант - P_2O_5 100 мг на 100 г почвы + известь в дозе 1 г.к.

Содержание подвижных форм P_2O_5 (после сроков компостирования), определенных разными методами

Почва	Вариант опыта	Методы определения подвижных форм P_2O_5 , мг /100 г почвы														
		Кирсанова			Гинзбург-Артамоновой			Эгнера-Рима			Чирикова			Карпинского-Замятиной		
		Время компостирования			Время компостирования			Время компостирования			Время компостирования			Время компостирования		
		6 мес	12 мес	18 мес	6 мес	12 мес	18 мес	6 мес	12 мес	18 мес	6 мес	12 мес	18 мес	6 мес	12 мес	18 мес
Бурая лесная	Контроль P_2O_5 100 мг/100 г почвы + известь 1 г. к.	1,70	2,2	0,66	9,8	12,2	13,0	-	0,86	3,5	0,73	1,4	0,71	0,026	0,031	0,03
		23,1	27,2	17,77	31,5	30,9	27,37	6,94	14,9	19,6	5,9	18,0	7,84	0,33	0,97	0,662
		31,9	23,1	22,31	36,0	47,9	25,4	23,1	18,6	28,7	6,3	22,8	11,22	0,74	1,02	0,837
Бурая лесная оподзоленная	Контроль P_2O_5 100 мг/100 г почвы + известь 1 г. к.	0,33	0,37	0,27	5,6	1,2	2,47	0,15	0,83	0,51	0,25	0,42	0,37	0,005	0,002	0,029
		11,0	10,0	2,87	28,3	13,6	18,69	5,10	4,07	0,87	0,15	2,83	1,78	0,008	0,066	0,076
		10,2	16,7	5,56	31,6	17,8	20,5	7,60	9,63	9,85	0,72	6,6	4,47	0,084	0,170	0,131
Буро подзолистая	Контроль P_2O_5 100 мг/100 г почвы + известь 1 г. к.	0,50	0,86	0,25	10,9	3,81	4,22	0,8	0,87	0,99	0,18	0,8	0,61	0,005	0,002	0,006
		11,0	10,3	4,35	16,9	17,2	24,44	3,8	5,3	1,47	0,54	3,4	2,5	0,26	0,240	0,128
		6,80	9,8	5,22	22,5	26,6	25,38	3,4	6,07	1,38	0,27	2,5	1,56	0,065	0,067	0,092
Лугово-бурая	Контроль P_2O_5 100 мг/100 г почвы + известь 1 г. к.	0,97	1,7	0,8	6,3	6,1	8,41	0,9	1,23	0,51	0,23	0,04	0,65	0,005	0,003	0,008
		10,7	11,5	3,99	27,5	18,1	18,95	3,5	6,43	9,97	0,36	2,6	1,57	0,055	0,086	0,092
		8,4	13,4	4,42	21,2	22,5	25,49	14,2	5,96	7,09	0,51	4,4	2,77	0,163	0,240	0,169
Лугово-глеевая	Контроль P_2O_5 100 мг/100 г почвы + известь 1 г. к.	0,95	1,2	0,39	8,6	4,3	6,6	0,9	1,2	0,82	0,13	0,04	0,17	0,006	0,002	0,008
		8,01	11,12	5,06	18,6	13,1	13,05	4,9	5,4	1,16	0,16	0,66	1,06	0,016	0,026	0,02
		9,30	10,9	6,25	30,2	20,2	19,25	7,0	5,83	6,70	0,26	0,64	1,47	0,021	0,058	0,032
Дерново аллювиальная	Контроль P_2O_5 100 мг/100 г почвы + известь 1 г. к.	3,74	4,8	2,67	7,8	4,3	8,35	1,92	2,16	0,64	0,2	2,8	1,84	0,016	0,025	0,025
		19,7	9,88	14,99	26,7	28,8	22,77	7,5	9,7	19,92	15,3	29,2	16,31	1,36	1,52	0,975
		10,5	10,5	20,78	35,6	37,4	30,37	20,5	12,5	26,87	22,5	35,3	19,21	1,43	1,79	1,37

Приложение 7

Коррелятивная зависимость между содержанием подвижного фосфора, определенного разными методами и группами фракции фосфора в основных типах почв (почва компостировалась 6 месяцев)

Методы определения подвижного фосфора	Группа фракции P_2O_5 по Гинзбург-Лебедевой									
	I		II		Al-P		Fe-P		Ca-P	
	ч±мф	P	ч±мф	P	ч±мф	P	ч±мф	P	ч±мф	P
Кирсанова	+0,75±0,16	0,999	+0,61±0,19	0,999	+0,59±0,2	0,999	+0,47±0,20	0,95	+0,38±0,23	0,95
Гинзбург-Артамоновой	+0,64±0,08	0,999	+0,70±0,17	0,999	+0,69±0,17	0,999	+0,56±0,20	0,999	+0,61±0,18	0,999
Эгнера-Рима	+0,45±0,22	0,95	+0,62±0,19	0,999	+0,75±0,16	0,999	+0,33±0,23	0,68	+0,76±0,19	0,999
Чирикова	+0,44±0,22	0,95	+0,68±0,17	0,999	+0,96±0,07	0,999	+0,36±0,23	0,68	+0,66±0,18	0,999
Карпинского-Замятиной	+0,49±0,21	0,95	+0,77±0,15	0,999	+0,96±0,07	0,999	+0,35±0,23	0,68	+0,65±0,19	0,999

Приложение 8

Коррелятивная зависимость между содержанием подвижного фосфора, определенного разными методами и группами фракции фосфора в основных типах почв (почва компостировалась 12 месяцев)

Методы определения подвижного фосфора	Группа фракции P_2O_5 по Гинзбург-Лебедевой									
	I		II		Al-P		Fe-P		Ca-P	
	ч±мф	P	ч±мф	P	ч±мф	P	ч±мф	P	ч±мф	P
Кирсанова	+0,51±0,12	0,999	+0,56±0,20	0,99	+0,61±0,19	0,99	+0,74±0,17	0,999	+0,56±0,20	0,99
Гинзбург-Артамоновой	+0,81±0,14	0,999	+0,86±0,12	0,999	+0,79±0,15	0,999	+0,69±0,17	0,999	+0,65±0,19	0,999
Эгнера-Рима	+0,74±0,16	0,999	+0,68±0,18	0,999	+0,61±0,19	0,999	+0,66±0,18	0,999	+0,62±0,19	0,999
Чирикова	+0,91±0,10	0,999	+0,76±0,19	0,999	+0,92±0,09	0,999	+0,46±0,22	0,95	+0,70±0,17	0,999
Карпинского-Замятиной	+0,91±0,10	0,999	+0,76±0,19	0,999	+0,65±0,19	0,999	+0,45±0,22	0,95	+0,66±0,18	0,999

Приложение 9

Сравнение методов определения подвижной фосфорной кислоты (в микрополевом опыте, в среднем за два года)

Методы определения подвижной фосфорной кислоты	Сравниваемые методы			
	Кирсанова		Карпинского-Замятиной	
	ч±тф	Р	ч±тф	Р
Кирсанова (0,2н. HCl)	-	-	+0,99±0,02	0,999
Чирикова (0,5 н. 1 CH ₂ COOH)	+0,97±0,05	0,999	+0,88±0,09	0,999
Эгнера-Рима (лактатная вытяжка)	+0,94±0,06	0,999	+0,94±0,06	0,999
Гинзбург- Артамоновой (молибдатная вытяжка)	+0,82±0,08	0,999	+0,84±0,09	0,999
Карпинского- Замятиной (0,03 н. K ₂ SO ₄)	+0,99±0,02	0,999	-	-

Приложение 10

Содержание подвижного фосфора, определенного разными методами

Вариант опыта	Фоны (содержание P ₂ O ₅ , мг/100 г почвы)									
	2,5		5,0		11,0		25,0		50,0	
	1972	1973	1972	1973	1972	1973	1972	1973	1972	1973
По методу Кирсанова										
Контроль без удобр.	1,16	0,96	2,26	2,38	3,2	4,07	10,09	13,94	33,63	40,35
N ₃₀ K ₃₀ фон	0,88	0,79	1,74	2,05	3,05	3,48	10,47	12,31	29,55	38,05
Фон+P ₃₀	2,00	1,03	3,73	2,52	2,75	3,93	11,97	14,18	31,66	38,6
Фон+P ₆₀	3,10	1,38	3,75	3,27	4,42	4,99	14,59	16,23	34,13	44,4
Фон+P ₉₀	4,28	1,95	5,93	3,46	6,66	6,32	18,31	14,21	32,99	44,21
По методу Чирикова										
Контроль без удобр.	0,13	0,24	0,29	0,57	0,48	1,28	1,39	3,04	3,91	10,7
N ₃₀ K ₃₀ фон	0,12	0,17	0,26	0,48	0,43	1,09	1,17	3,51	3,74	11,3
Фон+P ₃₀	0,17	0,25	0,55	0,57	0,58	1,00	1,73	3,98	4,14	10,53
Фон+P ₆₀	0,31	0,33	1,03	0,72	0,73	1,28	1,9	4,05	5,13	11,8
Фон+P ₉₀	0,46	0,33	1,03	1,81	1,08	1,74	2,06	3,91	5,6	11,71

Приложение 11

Содержание подвижного фосфора, определенного разными методами

Вариант опыта	Фоны (содержание P_2O_5 , мг/100 г почвы)									
	2,5		5,0		11,0		25,0		50,0	
	1972	1973	1972	1973	1972	1973	1972	1973	1972	1973
По методу Гинзбург-Артамоновой										
Контроль без удобр.	13,27	16,04	12,87	20,24	19,7	21,35	21,32	33,2	22,77	42,56
$N_{30}K_{30}$ фон	18,1	16,25	14,62	25,55	16,3	21,46	19,50	28,58	25,92	44,52
Фон+ P_{30}	15,61	17,32	15,74	19,62	24,23	25,13	23,92	28,3	30,15	14,29
Фон+ P_{60}	12,27	18,42	15,69	24,53	15,59	27,78	36,86	2941	32,03	42,14
Фон+ P_{90}	16,57	18,77	21,57	25,74	25,6	31,15	43,61	34,97	39,53	42,9
По методу Эгнера-Рима										
Контроль без удобр.	2,24	1,4	6,99	3,8	8,2	2,86	15,09	20,3	37,98	37,16
$N_{30}K_{30}$ фон	2,23	1,31	5,89	2,7	8,39	3,34	4,69	11,56	35,39	17,07
Фон+ P_{30}	4,67	1,55	7,19	2,84	8,94	3,94	18,13	12,73	36,67	22,46
Фон+ P_{60}	6,24	2,5	8,9	4,59	10,8	4,64	18,98	14,69	42,97	24,15
Фон+ P_{90}	6,91	3,13	11,25	4,46	11,37	4,3	18,71	15,39	43,47	28,53

Приложение 12

Содержание степени подвижности фосфатов по методу

Карпинского-Замятиной

Вариант опыта	Фоны (содержание P_2O_5 , мг/100 г почвы)									
	2,5		5,0		11,0		25,0		50,0	
	1972	1973	1972	1973	1972	1973	1972	1973	1972	1973
По методу Гинзбург-Артамоновой										
Контроль без удобр.	0,028	0,013	0,020	0,016	0,033	0,027	0,151	0,162	0,560	0,637
$N_{30}K_{30}$ фон	0,012	0,005	0,018	0,016	0,036	0,023	0,156	0,137	0,540	0,568
Фон+ P_{30}	0,027	2,024	0,031	0,018	0,048	0,036	0,198	0,163	0,650	0,713
Фон+ P_{60}	0,044	0,024	0,042	0,018	0,085	0,043	0,250	0,167	0,710	0,818
Фон+ P_{90}	0,051	0,025	0,086	0,023	0,107	0,044	0,290	0,177	0,720	0,806

Приложение 13

Корреляционная зависимость (ч) между урожаем сои и содержанием подвижной фосфорной кислоты в почвенных фонах (в среднем за 2 года)

Почвенные фоны P_2O_5 , мг/100 г почвы	Методы определения фосфорной кислоты									
	Кирсанова		Чирикова		Гинзбург-Артамоновой		Эгнера-Рима		Карпинского-Замятиной	
	ч±тф	P	ч±тф	P	ч±тф	P	ч±тф	P	ч±тф	P
2,5	+0,66±0,19	0,999	+0,71±0,18	0,999	+0,34±0,25	0,68	+0,72±0,17	0,999	+0,69±0,219	0,99
5,0	+0,66±0,20	0,99	+0,72±0,18	0,999	+0,45±0,23	0,95	+0,56±0,21	0,99	+0,67±0,21	0,99
11,0	+0,66±0,20	0,99	+0,54±0,20	0,99	+0,56±0,22	0,95	+0,71±0,15	0,999	+0,77±0,16	0,999
25,0	+0,45±0,23	0,95	+0,52±0,23	0,95	+0,42±0,24	0,95	+0,49±0,24	0,95	+0,68±0,19	0,99
50,0	+0,19±0,26	0,68	+0,57±0,22	0,95	0,33±0,21	0,68	+0,41±0,24	0,68	+0,57±0,22	0,95

Научное издание

Назын-оол Ольга Александровна

**ИЗМЕНЕНИЕ ФОСФОРА В ПОЧВЕ В ЗАВИСИМОСТИ
ОТ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ**

Монография

Редактор *М.Н. Донгак*
Дизайн обложки *К.К. Сарыглар*

Сдано в набор: 07.11.2017

Подписано в печать: 28.12.2017

Формат бумаги 70×100 ¹/₁₆ Бумага офсетная.

Физ. печ.л. 15,1. Усл. печ.л. 19,5.

Заказ № 1355. Тираж 300 экз.

667000, г. Кызыл, Ленина, 36
Тувинский государственный университет
Издательство ТувГУ