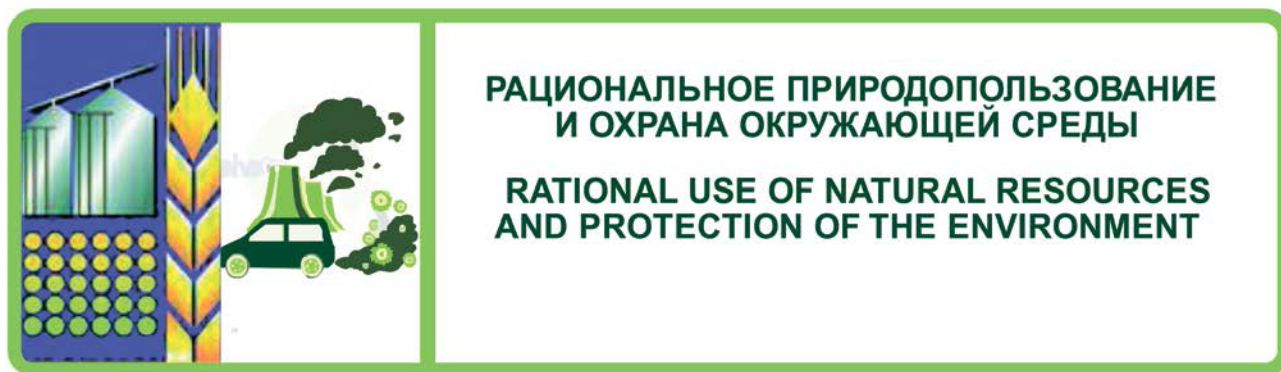




УДК 631.416.2 (571.1.5)

ИЗУЧЕНИЕ АГРОХИМИИ ФОСФОРА НА ПОЧВАХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

С. С. Аверкина, канд. с-х. наук, старший научный сотрудник

И. В. Науменко, канд. с-х. наук, старший научный сотрудник

Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН

E-mail: u_sekretar_ip@ngs.ru

Ключевые слова: доступный фосфор, фракция, провинции, удобрение, диагностика, методы, фосфатный фонд, шкалы.

Реферат. Изложены результаты исследований по агрохимии фосфора и действию фосфорных удобрений в почвах Западной Сибири и Красноярского края. Исследования потенциальных запасов фосфора были начаты одновременно с изучением почвенного покрова данной территории. Наиболее интенсивно они проводились в 50–60 г. прошлого столетия в связи с расширением сети научных учреждений и организацией в стране агрохимической службы. В результате накопленного эмпирического материала была установлена отзывчивость растений на внесение фосфорных удобрений, а также несоответствие в ряде случаев принятой в агрохимслужбе шкалы обеспеченности почв подвижным фосфором. Предложены принципы районирования почвенного покрова Сибирского региона по качественному составу фосфатного фонда на ландшафтно-геохимической основе. На изучаемой территории выделено несколько провинций, почвенный покров которых достоверно различается по запасам и соотношению форм фосфорных соединений. Указанная специфика фосфатного фонда почв должна учитываться при распределении туков и расчете затрат на сохранение и повышение плодородия почв. В работе обсуждается пригодность существующих методов определения подвижных фосфатов для оценки эффективного плодородия почв Сибирского региона. Исследования показали, что не существует универсального метода определения доступных растениям почвенных фосфатов. Стандартные методы определения фосфора имеют ряд значительных недостатков, что подтверждается многочисленными исследованиями научных и проектно-изыскательских учреждений. В качестве альтернативы предлагаются варианты коррекции стандартных шкал для отдельных регионов Сибири, а для определения легкоподвижного фосфора метод Скофилда как показатель интенсивности почвенных фосфатов. Итоги многолетних исследований по изучению фосфатного режима почв включены в методические рекомендации по агроэкологической оценке земель и основам проектирования адаптивно-ландшафтных систем земледелия. Авторы надеются, что предлагаемая работа может помочь при дальнейшей разработке качественного и количественного описания системы трансформации фосфора в агроэкосистемах и совершенствования нормативной базы.

HISTORY OF THE STUDY OF AGRICULTURAL CHEMISTRY OF PHOSPHORUS IN SOILS OF WESTERN SIBERIA

S. S. Averkina, Candidate of Agricultural Sciences, researcher

I. V. Naumenko, Candidate of Agricultural Sciences, researcher

Siberian Federal scientific center of agrobiotechnology the Russian Academy of Sciences

Key words: available phosphorus, fraction, province, fertilizer, diagnostics, methods, phosphate Fund, scale.

Abstract. *This review describes the results of researches of scientists-agro chemists at the agricultural chemistry of phosphorus and phosphate fertilizers in soils of Western Siberia and Krasnoyarsk region. Studies of potential reserves of phosphorus was started simultaneously with the study of the soil cover of this territory. Most intensively they were carried out in 50–60 years of the last century in connection with the expansion of the network of scientific institutions and organization in the country agrochemical service. In the result of accumulated empirical material was installed responsiveness of the plant to make phosphate fertilizers, as well as a mismatch, in some cases, adopted in agrochimie scale of soils phosphorus. Proposed principles for zoning of a soil cover of the Siberian region the composition of the phosphate of the Fund on a landscape-geochemical basis. In the study area highlighted in several provinces, the soil cover which varies significantly on reserves and balance of forms of phosphorus compounds. The specified specificity of the phosphate of the Foundation soil should be taken into account in the allocation of fertilizers and calculation of the normalized costs for the preservation and improvement of soil fertility. The paper discusses the suitability of existing methods for the determination of mobile phosphates for estimating effective soil fertility Siberian region. Studies have shown that there is no universal method for the determination of plant available soil phosphate. Standard methods for the determination of phosphorus have a number of significant shortcomings, which is confirmed by.*

Фосфор является одним из основных элементов питания растений. Ю. Либих называл его «ключом жизни», а Д. Н. Прянишников отводил ему главную роль в системе удобрений.

В истории изучения фосфора на почвах Сибирского региона и применения фосфорных удобрений можно выделить отдельные периоды, начиная с XIX в.

П. А. Словцов в своей книге «Историческое обозрение Сибири» [1] указывал, что «на левой стороне р. Тобол, в уезде Шадринском во многих местах есть земля селитренная и был построен завод для делания селитры».

Н. А. Крупенников [2] ссылается на труды А. Н. Радищева по агрономии и почвоведению, и отмечает, что, будучи в сибирской ссылке (1800–1801 гг.), он настаивал на широком применении золы, мергеля в качестве удобрений.

В исторической справке А. Е. Кочергин [3] подтвердил сведения о проведении первых опытов в 1909 г. на Омском опытном поле. Проверка эффективности малых доз фосфорных удобрений (в рядки) при недостатке фосфора в почве дала возможность широкого внедрения этого способа в сельскохозяйственное производство. Была установлена положительная роль азота почвы и удобрений в повышении эффективности фосфора для растений.

По данным Н. З. Милащенко, первые опыты с томасовым шлаком были заложены Л. А. Сладковым в 1909 г. на Омском опытном поле [4]. Несколько позднее здесь проводились опыты по влиянию суперфосфата на урожай зерновых культур и была установлена высокая эффективность фосфорных удобрений на черноземах. В 1910–1930 гг., проверкой отдельных видов удобрений, их норм и сочетаний занимались на Омской, Новосибирской, Красноярской, Барнаульской опытных станциях, а также Шадринском, Купинском и Славгородском опытных полях.

Некоторые элементы истории агрохимических исследований в Сибири были изучены И. И. Синягиным [5]. Он отмечает, что первые опыты с минеральными удобрениями были проведены на Омском опытном поле в 1894 г. Широкое изучение фосфорных удобрений на-

ряду с другими проводилось в 20–30-х гг. прошлого столетия. Опыты ставили буквально все опытные станции Западной Сибири и Северного Казахстана. В сводке Т.Ф. Антропова и С.Д. Ерофеева [6] обобщены данные 67 опытов. Причем многие из них были многолетние. Исследователи пришли к выводу, что в начале 30-х гг. прошлого столетия в изучаемых почвах в первом минимуме был фосфор, в дальнейшем наблюдался дефицит азота.

Наиболее широкие и глубокие для своего времени исследования почв были проведены в Алтайском округе И.П. Выдриным и З.И. Ростовским [7]. Авторы констатировали, что лесные земли Алтайского округа не отличаются от чернозёмов и богаче европейских аналогов. В результате проведения анализов была установлена прямая зависимость содержания валового фосфора от содержания гумуса в почвах чернозёмного типа. В среднем содержание гумуса колебалось от 4 до 18%, валового фосфора – от 0,14 до 0,23%.

В 20-х гг. прошлого столетия С.М. Антонов [8] провел фундаментальные исследования по степени доступности для растений фосфорнокислых соединений в почвах Омской области. Методом кривых растворимости автор обнаружил, что подвижный фосфор в столбчатом солонце присутствует в большем количестве, чем в чернозёме. Низкая концентрация фосфора в последнем свидетельствует о наличии труднорастворимых соединений этого элемента. При внесении фосфорных удобрений в почву автор впервые наблюдал процесс ретроградации фосфора.

У истоков формирования агрохимической науки в Сибири в первой половине XX в. стояли выдающиеся деятели отечественной науки – академик Д.Н. Прянишников, член-корреспондент К.П. Горшенин, профессора А.З. Ламбин, Н.В. Орловский. Наиболее активному становлению агрохимической науки в послевоенные годы способствовали профессора А.Е. Кочергин, Н.Д. Градобоев, Т.П. Славнина, П.С. Бугаков, А.Н. Угаров.

Эти ученые придавали огромное значение условиям питания сельскохозяйственных культур азотом, фосфором, калием и способам применения минеральных удобрений. За прошедшее столетие, руководствуясь системным подходом к методологии агрохимических исследований, предложенным академиком Д.Н. Прянишниковым, сибирские ученые провели большую исследовательскую работу по изучению фосфатного режима почв.

Глубокие фундаментальные исследования о закономерностях распределения фосфорных соединений в почвенном покрове, их трансформации в природных и окультуренных аналогах были проведены К.П. Горшениным, Н.И. Богдановым, Л.М. Бурлаковой, П.С. Бугаковым и Дугаровым, А.Е. Кочергиным, Л.П. Антипиной, П.И. Крупкиным, О.И. Антоновой, Э.В. Титовой, О.Т. Ермолаевым, О.П. Якутиной.

Формирование фонда доступных фосфатов, связанных с процессами хемосорбции и физической адсорбции, преобладание которых определяется уровнем насыщенности почвенного раствора фосфором в связи с внесением минеральных удобрений, изучали Л.А. Шамрай, Л.П. Антипина, О.В. Сдобникова, О.И. Антонова, Э.В. Титова, Ю.П. Танделов, О.Т. Ермолаев.

В сложные 1950–1960-е гг. активно шло послевоенное восстановление сельского хозяйства нашей страны, укрепление научного потенциала сельскохозяйственной науки, освоение целинных и залежных земель. В 1957 году приказом Министерства сельского хозяйства СССР научная сеть была расширена созданием 98 научно-исследовательских институтов, опытных станций и сельскохозяйственных учебных заведений. Это очень важное мероприятие послужило поворотным моментом в развитии сельскохозяйственной науки в Сибири, где были созданы новые зональные научно-исследовательские институты и опытные станции.

Одним из основных объектов научного поиска было изучение агрохимических свойств сибирских почв и эффективности применения удобрений. Многолетние исследования легли в основу системы применения удобрений и регулирования питания растений при освоении зональных, интенсивных и ландшафтных систем земледелия.

Обобщение и анализ экспериментальных данных географической сети опытов, разработка программы сплошной химизации земледелия и сохранения плодородия почв послужили основой для создания в 1964 г. 195 агрохимлабораторий в различных зонах страны на базе сельскохозяйственных опытных станций, зональных НИИ сельского хозяйства и сельскохозяйственных вузов [9]. В их задачу входило проведение агрохимического обследования почв, составление агрохимических картограмм, разработка рекомендаций по рациональному применению удобрений, проведение полевых опытов на полях хозяйств, а также определение химического состава кормов. Для разработки нормативов по применению удобрений была развёрнута широкая сеть опытов в производственных условиях. По данным В. Г. Сычева [9], за 1966–1990 гг. агрохимической службой России проведено 41280 краткосрочных и 663 стационарных опытов. В этот период широкое развитие получили работы по использованию методов почвенно-растительной диагностики для определения потребности растений в удобрениях.

Сложность природно-климатических условий и почвенного покрова Сибирского региона была одной из основных проблем сохранения потенциального и эффективного плодородия и рационального использования почв сельскохозяйственного назначения. При постановке диагностических опытов в системе агрохимической службы по проблеме фосфорного питания растений уже после первого тура обследования (1970 г.) в Сибири были получены данные, которые не соответствовали шкалам обеспеченности почв этим элементом. Установлено, что рекомендации по применению фосфорных удобрений, рассчитанные на основе принятых в агрохимслужбе шкал (градаций), приводили к ошибочному распределению туков и недобору зерна [10–15]. Ученые выяснили, что основной причиной этого является значительное содержание в структуре фосфатного фонда сибирских почв высокоосновных фосфатов кальция, магния и полуторных окислов, которые обнаруживаются в вытяжках различных методов определения фосфора.

Рост применения минеральных удобрений в 70-е и 80-е гг. послужил импульсом для дальнейшего развития исследований по диагностике минерального питания сельскохозяйственных культур.

Несмотря на довольно всестороннее изучение питательного режима почв, всё же имелось много нерешенных научных и производственных вопросов, связанных с закономерностями превращения питательных веществ в почве и выявлением путей их оптимального использования растениями в связи с применением органических и минеральных удобрений.

Поэтому важным этапом в развитии сельскохозяйственной науки на востоке нашей страны явилось создание Сибирского отделения ВАСХНИЛ с группой специализированных институтов (1969 г.).

Организатором отделения был назначен академик ВАСХНИЛ Ираклий Иванович Синягин. Ведущий ученый-агрохимик не только в нашей стране, но и на мировом уровне, он консолидировал научные силы для разработки и создания прогрессивных систем ведения сельского хозяйства. Особенно плодотворно его деятельность была связана с развитием агрохимических исследований. Одним из первых в Сибирском отделении был создан Сибирский научно-исследовательский институт химизации сельского хозяйства (СибНИИХим), в формировании которого, определении основных направлений его деятельности, организации исследований огромную помощь оказывал И. И. Синягин.

Трудность изучения фосфатного режима почв заключается в многообразии форм почвенных фосфатов, в различном качественном их состоянии, зависящем от типа почв, агроклиматических и агротехнических условий её использования. Понимание и управление равновесием системы в сторону образования доступных форм является основным вопросом агрохимии фосфора. Все превращения природного и внесенного фосфора рассматриваются с позиций термодинамических процессов. Потенциально доступные фосфаты почвы включают в себя минеральные, органические, органоминеральные и хемосорбированные комплексы, способ-

ные через совокупность взаимодействий и процессов обогащать почвенную систему фосфатами в формах доступных растениям (легкоусвояемых) [16].

Все формы потенциально доступных фосфатов отличаются друг от друга по растворимости и по отношению к гидролитическому распаду. Большинство из них являются труднодоступными соединениями. Поэтому важно установить их способность к увеличению концентрации продуктов расщепления и образованию различных по растворимости форм минеральных фосфатов почвы.

В агрохимической практике наибольший интерес представляет изучение качественного состава активных минеральных фосфатов, так как по их соотношению можно судить о направленности процессов превращения фосфора в почвах и о потенциальной их доступности растениям.

На основе существующей в природе связи между историей формирования рельефа, свойствами почвообразующих пород, содержанием в них фосфора были предложены принципы районирования почвенного покрова Западной Сибири по содержанию и качественному составу фосфатного фонда.

По диагностике фосфорного питания растений к настоящему времени мы считаем своевременным и целесообразным обобщить материал многолетних агрохимических исследований по сравнению методов определения подвижного (доступного) фосфора и коррекции шкал, показывающих оценку фосфатного состояния почв с целью рационального и экологически допустимого применения фосфорных удобрений.

Сравнительная оценка фосфатного состояния почв (Q) проводилась методами Чирикова, Кирсанова, Труога и Мачигина. Фактор интенсивности (I) определялся методом Скофилда [17].

На основании аналитических данных по определению общего и минерального фосфора, его фракционного состава методом многомерной статистики (метод главных компонент) Л. П. Антипиной с сотрудниками были выделены четыре провинции (рисунок). Почвы каждой провинции имели свой тип химизма превращения фосфора, что, по мнению автора, должно было учитываться при распределении туков внутри Западно-Сибирского региона [18, 19].

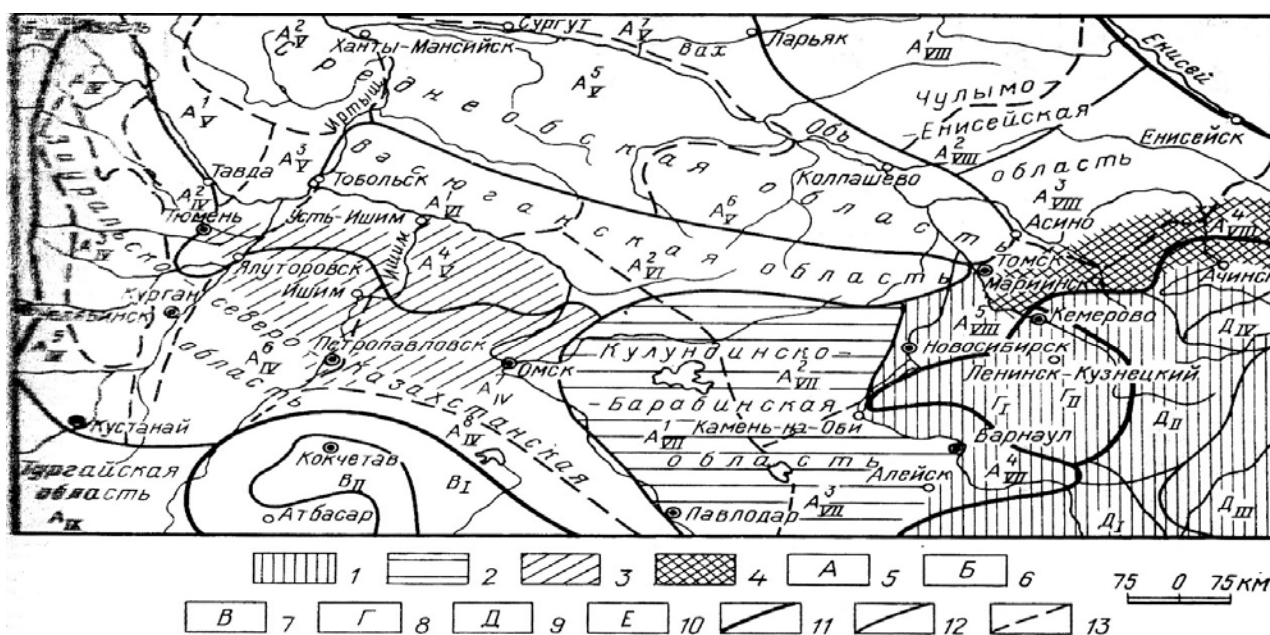


Схема структурно-геоморфологического районирования территории Сибири

1 – I провинция; 2 – II провинция; 3 – III провинция; 4 – IV провинция; 5 – Западно-Сибирская провинция; 6 – Уральская провинция; 7 – Центрально-Казахстанская провинция; 8 – Салаиро-Кузнецкая провинция;

9 – Алтай-Саянская провинция; 10 – Среднесибирская провинция; 11 – границы между провинциями; 12 – границы между областями; 13 – границы между районами

Первая провинция – юго-восточная возвышенная часть Западной Сибири. Она включает Присалаирскую дренированную равнину, Приобское и Алтайское плато, Кузнецкую и Назаровскую котловины и Минусинскую впадину Средней Сибири. Данная территория является зоной геохимического проявления апатитов и фосфоритов. Почвы отличаются повышенным содержанием валового фосфора, который на 52% представлен органическими фосфатами и на 48% минеральными. По мере удаления от предгорий снижается общее содержание P_2O_5 и удельный вес органических форм, а количество минерального фосфора, наоборот, увеличивается с востока на запад. Доля $Ca-P_3$ наиболее высока в Приобье (17%). Средневзвешенное содержание P_2O_5 по Чирикову (мг/100 г): Приобское плато – 16,4, Присалаирская дренированная равнина – 18,6, Кузнецкая котловина – 11,4. Эффективное плодородие почв по фосфору высокое, но доступность запасов очень низкая. В этой провинции велика роль локализации суперфосфата, необходима разработка приемов по мобилизации запасов природного фосфора. Параметры окультуренности почв определяются: по запасам доступного P_2O_5 $Q > 25$ мг/100 г (по Чирикову), показатель интенсивности (I) $> 0,1 - 0,13$ мг/л (по Скофилду). Для увеличения запасов доступного фосфора почв на 1 мг/100 г требуется внести 66–84 кг д. в./га удобрений. Прибавка урожая яровой пшеницы от фосфорных удобрений 30–50%.

Вторая провинция охватывает Предалтайскую сухостепную зону, которая отнесена к Кулундинско-Барабинской геоморфологической области, а также Восточно-Барабинский, Чановский и Славгородский районы. Запасы валового и доступного P_2O_5 по зонам неоднородны. Фосфатный фонд характеризуется преобладанием минеральных форм (56–64%) над органическими и невысокими валовыми запасами (0,105%). Особенно бедны валовым P_2O_5 почвы Чановского и Славгородского геоморфологических районов. За счет легкого гранулометрического состава, высокого удельного веса минеральных форм фосфатный фонд благоприятен для растений. Однако обнаружено обилие высокоосновных $Ca-P_3$ и $Fe-P$. Междуречье Оби и Иртыша рассматривается как переходная зона от I к III провинции по фосфору, поскольку Барабинская низменность является западным продолжением Приобья и имеет много общего с фосфатным фондом этого региона.

В среднем от Оби до Ишима в подтайге и северной лесостепи почвы содержат 61–79% органических фосфатов, 20–25% минеральных форм. Оптимальные параметры окультуренных почв составляют Q более 11 мг/100 г почвы, I 0,2 мг/л. Воспроизводство 1 мг запасов подвижного фосфора обеспечивается внесением удобрений 53–59 кг д. в. на 1 га. В целом концентрация фосфора от внесения удобрений в 3–4 раза выше, чем в I провинции.

Третья провинция – пониженная часть Западно-Сибирской равнины (Зауральско-Северо-Казахстанская геоморфологическая область). Почвы сформировались на флювиогляциальных отложениях. Провинция включает Обь-Иртышское, Ишим-Иртышское и Тобол-Ишимское междуречья. На этой территории преобладают гидроморфные и засоленные почвы. В Ишим-Иртышском междуречьи основная часть фосфора представлена органической формой и окклюдируемыми фосфатами. Четко проявляется зональность.

В составе минеральных форм преобладают одно- и двухосновные фосфаты кальция (11,4%). Норматив на воспроизводство 1 мг P_2O_5 обеспечивает 59–66 кг д. в./га. Урожай яровой пшеницы повышается на 70%.

Почвы южной лесостепи сформированы на зафосфаченных породах Казахского мелко-сопочника. В Тобол-Ишимском междуречьи удельный вес апатитовой фракции низкий, а содержание высокодоступных фосфатов повышено. Критерий окультуренности почв по запа-

сам доступного фосфора (по Чирикову) – более 20 мг/100 г. Показатель интенсивности по Скофилду равен 0,2 мг/л. В Тобол-Ишимском междуречьи эти величины соответственно равны 12–14 мг/100 г почвы и 0,2 мг/л.

Четвертая провинция расположена в северо-восточной части Западно-Сибирской равнины и занимает юг Чулымско-Енисейской области. Зона исследований охватывала Томско-Каменский и Присяянский геоморфологические районы с Тяжинским, Ачинско-Боготольским и Красноярским участками. Низкие отметки и слабая дренированность территории Тяжинского и Боготольского участков способствовали преобладанию в фосфатном фонде органических форм (57–66%). В почвах Красноярского и Томско-Каменского участков выше удельный вес минеральных фосфатов (55%). В целом для почв четвертой провинции установлено высокое содержание трудногидролизующихся окклюзированных форм. Содержание подвижного фосфора по Чирикову в почвах Боготольского участка – 7, Томско-Каменского – 8 мг/100 г почвы. Показатель интенсивности (I) равен 0,06–0,19 мг/л.

Природное соотношение форм минеральных и органических фосфатов дает представление о возможном характере превращений вносимых удобрений, так как фосфорные туки переходят в формы, характерные для данной почвы [19]. Л.П. Антипина с сотрудниками утверждают, что в почвах, отличающихся повышенным содержанием наиболее растворимых минеральных фосфатов, удобрения длительный срок сохраняются в доступном для растений состоянии и полнее используются.

При многолетнем изучении отзывчивости яровой пшеницы на внесение фосфорных удобрений Л.П. Антипиной был сформулирован определенный тип фосфатного состояния. Первый тип характеризуется высокими запасами P_2O_5 (Q), но слабой интенсивностью (I), связанными с богатством почвообразующих пород апатитами. В эту группу вошли котловины Средней Сибири, предгорная зона и юг Ишим-Иртышского междуречья. Для достижения максимального урожая здесь требуются высокие дозы фосфорных удобрений. Эти почвы тяжелого гранулометрического состава. Фосфатная емкость равна 42–48%. В Средней Сибири с преобладанием почв легкого гранулометрического состава наблюдается высокая положительная реакция на удобрения. Почвы Минусинской котловины, Алтайского Приобья, Обь-Иртышского и Ишим-Иртышского междуречий имели величину фосфатной емкости, равную 49–65%.

Второй тип характерен для каштановых почв, чернозёмов южных и обыкновенных Предалтайской степной и сухостепной зон. При внесении возрастающих доз фосфорных удобрений емкость быстро насыщается до оптимума.

Третий тип свойственен почвам Тобол-Ишимского и Шадрин-Туринского междуречий. При слабой обеспеченности почв P_2O_5 отзывчивость на внесение удобрений высокая. При насыщении почвы до 16% прибавка составляла до 40%, урожай пшеницы удваивался.

Четвертый тип характерен для почв Кемеровской области (Тяжинский и Боготольский участки). Почвы слабо насыщены P_2O_5 (емкость 12–13%), поэтому для получения значительной отзывчивости удобрений необходимо было довести фосфатную емкость почв до 42%.

Таким образом, исследованиями установлено, что доступность фосфора зависит от соотношения процессов мобилизации и иммобилизации, происходящих в почве.

Практически необходим метод, позволяющий учесть суммарный результат всех этих процессов. Многолетние данные научно-исследовательских учреждений и Государственной агрохимической службы Сибирского региона показали, что оценка нуждаемости почв в доступном (подвижном) фосфоре по существующим стандартным методикам и шкалам к ним не соответствует фактической обеспеченности этим элементом. Рекомендации по применению фосфорных удобрений, рассчитанные на основе этих шкал, приводят к ошибочному распределению туков [20–25].

На прошедшем в 1998 г. международном симпозиуме, посвященном этой проблеме, было отмечено, что на почвах, где откорректированные шкалы значительно отличаются от стандартных, необходима смена метода определения фосфора [26]. Однако категорический отказ от стандартных методов и обширной информационной базы по ним может иметь негативные последствия.

Нами были обобщены материалы многолетних агрохимических исследований по диагностике фосфорного питания растений яровой пшеницы Сибирского региона. Стандартные шкалы обеспеченности почв подвижным фосфором скорректированы эмпирически и установлены функциональные зависимости между урожаем и содержанием почвенных фосфатов в различных вытяжках.

В Челябинской области Ю.Д. Кушниренко и А.Ф. Федоровой предложено при определении запасов подвижного фосфора в выщелоченных черноземах за высокий уровень обеспеченности принимать для методов: Чирикова >50, Кирсанова >120, Трюга >80 мг/кг почвы, что ниже соответствующих значений стандартных шкал для этих методов [27]. С учетом таких корректировок площадь пашни с низким содержанием P_2O_5 может быть сокращена наполовину.

Исследования В.И. Волынкина с сотрудниками показали, что на почвах Курганской области за высокий уровень обеспеченности почвы подвижным фосфором (метод Чирикова) по разработанной авторами шкале принято 80 мг/кг почвы вместо 200 мг/кг по стандартной шкале [28].

По данным А.Х. Кольцова, в Тюменской области различия между откорректированной шкалой и стандартной возрастали при переходе от степи к северной лесостепи в диапазоне очень низкой и средней обеспеченности. На зональных почвах тайги и подтайги при определении P_2O_5 по Кирсанову получалась шкала со значениями в 1–1,5 раза выше стандартной [29]. Аналогичная картина наблюдалась на обыкновенных и выщелоченных черноземах Омской (С.М. Поставская и Г.П. Гамзиков) и серых лесных почвах Томской (Э.В. Титова) областей [30, 31].

По данным многолетних исследований Л.М. Бурлаковой на территории Алтайского края фактическое содержание P_2O_5 по откорректированным шкалам превысило показания стандартной в 2 раза и более [32].

П.И. Крупкиным в Красноярском крае установлено, что показания метода Мачигина на карбонатных черноземах совпадали по грациям со стандартной шкалой. В Канской лесостепи шкалы для метода Чирикова оказались по показаниям выше стандартных в 2 раза. На почвах Минусинской впадины эффективность фосфорных удобрений была устойчива и высока при наличии P_2O_5 по Чирикову 120–200 мг/кг [33]. Градации обеспеченности почв фосфором для Красноярского края совпадают с таковыми для Читинской области, Чулымо-Енисейской лесостепи Красноярского края, Бурятии и Тувы [33].

С.С. Аверкиной было показано, что на почвах Присалаирья и Новосибирского Приобья удобрения перестают действовать при содержании подвижного фосфора по Чирикову 200 и 160 мг/кг почвы [34]. Исследованиями Л.П. Антипиной с сотрудниками [35] установлено, что нижняя граница высокого содержания подвижного фосфора в Приобском Плато, в Присалаирьи и Северо-Кулундинской зоне составляло 190 мг/кг почвы. В Восточно-Барабинской части Кулундинско-Барабинской впадины эта величина была 200, а в центральной части – 120 мг/кг.

Границы шкалы обеспеченности почвы подвижным фосфором по Чирикову на территории Новосибирской области неоднозначны. Почвы со слабой растворимостью фосфора для создания эквивалентного урожая должны обладать более высокими запасами, чем почва с хорошей мобилизационной способностью, обусловленной работой системы почва ↔ растение. Переход ионов фосфора в раствор регулирует буферная способность почв.

Автор отмечает, что процессы мобилизации природных запасов почв зависят от насыщенности ёмкости почв фосфором. Наиболее высокая ёмкость почв Присалаирья, Барабы и Приобья (I провинция), меньше всего – у опесчаненных почв степи (II провинция) [36].

Многолетние исследования на почвах Новосибирской области позволили Л. П. Антипиной с сотрудниками [35] рекомендовать одновременно с выполнением метода Чирикова для контроля за фосфатным состоянием использование показания фосфатного потенциала (0,01 М CaCl₂). Оптимальные условия питания пшеницы достигаются при следующих показаниях этого метода (мг P₂O₅/л): в почвах Приобья и Присалаирья – 0,2–0,3; в Барабе – 0,3–0,4; в Северной Кулунде – 0,2–0,3.

Исследования Ю. И. Берхина и др. [37] подтвердили, что «балластная» составляющая фосфора (Са-Р₃) в почвах различного генезиса при сравнении метода Чирикова и фракционного состава минеральных фосфатов неодинакова. На чернозёмах, серой и тёмно-серой почве правобережья Оби она колеблется в пределах 17–18,5 мг/100 г. На южном чернозёме Кулунды и луговой почве северной части Барабинской низменности эта величина была 4–6 мг/100 г почвы.

Для изучения оптимальных параметров фосфорного питания сельскохозяйственных культур в Новосибирской области Ю. И. Берхин, Е. Г. Чагина и Е. Д. Янцен [23] предлагают применять в практике агрохимических исследований периодическую и оперативную диагностику. Авторы считают, что корректировка лимитов стандартной шкалы обеспеченности почв фосфором при проведении периодической диагностики даже в пределах одного административного района неперспективна. При определении фосфора по Чирикову имеет место частичная нейтрализация уксусной кислоты, и в результате – неполная экстракция фосфатов при pH > 7. В почвах, имеющих pH < 7, содержание P₂O₅ определяется величиной Са-Р₃ недоступной растениям, пятая фракция (r=0,93), и варьирует от 94 до 289 мг/кг. В пределах одного административного района содержание P₂O₅ колебалось от 63 до 189 мг/кг почвы.

Кроме вышеназванных, авторы апробировали семь методов определения фосфора с величиной pH от 3,7 до 9,0: Эгнера-Рима-Доминго – 3,7; ЛАК – 4,1; АМ – модифицированный метод Гинзбург-Артамоновой – 4,8; Николова – 5,7; Соколова – 6,3; Олсена – 8,5 и Мачигина – 9,0.

По воспроизводимости, простоте, разрешающей способности для последующей проработки было отобрано два метода: Николова (экстрагент – яблочно-кислый аммоний) и ЛАК-метод (экстрагент – ацетат-лактат кальция).

В полевых и вегетационных опытах с фосфорными удобрениями было проведено сопоставление продуктивности пшеницы и содержания P₂O₅ в соответствующих вытяжках [23]. Все испытанные методы, за исключением метода Чирикова, показали высокие коэффициенты корреляции (0,85–0,93) и оказались пригодными для периодической диагностики условий фосфорного питания растений в почвах Новосибирской области.

Авторы составили шкалы обеспеченности подвижным фосфором для зерновых культур (табл. 1, 2). На основании полученных результатов они рекомендуют дополнительно проведение оперативной диагностики по методу Карпинского-Замятиной. Определение фактора интенсивности (фосфатный уровень) по этому методу характеризует степень перехода фосфатионов в почвенный раствор и наличие в почве остаточных фосфатов.

Таблица 1

**Градации обеспеченности почв подвижным фосфором для зерновых культур, P₂O₅ мг/кг почвы
(Новосибирская область)**

Уровень обеспеченности почв	ЛАК-метод	АМ-метод и метод Николова
Низкий	>20	>20

Средний	21–40	18–35
Повышенный	41–60	36–52
Высокий	< 60	< 52

Таблица 2

**Оценка обеспеченности почв подвижным фосфором разными методами в хозяйствах
Новосибирской области**

Совхоз, поле	По Чирикову		По ЛАК-методу	
	P ₂ O ₅ мг/кг	Обеспеченность	P ₂ O ₅ мг/кг	Обеспеченность
Пролетарский	94	Средняя	6	Низкая
Верх-Ирменский (2-е поле)	114	Повышенная	15	Низкая
Шарапский	239	Очень высокая	9	Низкая
Верх-Ирменский (1 поле)	60	Средняя	22	Средняя
Рабочий	108	Повышенная	21	Средняя
Шарапский	198	Высокая	29	Средняя
Граничный	157	Высокая	58	Повышенная
Верх-Чикский	222	Очень высокая	58	Повышенная

На основе многолетних опытов, проведённых в основном на полях сортоучастков и в базовых хозяйствах Новосибирской области, предложена шкала обеспеченности почв легкоподвижным фосфором по Карпинскому-Замятиной (табл. 3).

Таблица 3

**Градация обеспеченности почв подвижным фосфором (мг/кг) по Карпинскому-Замятиной
для зерновых культур**

Уровень обеспеченности	Содержание P ₂ O ₅
Низкий	До 0,35
Средний	0,36–0,65
Повышенный	0,66–1,0
Высокий	1,1–1,5
Очень высокий	Более 1,5

Изучая подробно диагностические показатели по фосфору в почвах сортоучастков и базовых хозяйств, Е. Г. Чагина, Ю. И. Берхин и Н. В. Хацевич [38] пришли к выводу, что природный тип структуры фосфатного фонда обуславливает особенности трансформации фосфатов удобрений в конкретной почве.

В других исследованиях Ю. И. Берхин и Е. Г. Чагина [39] на основе сопоставления почв сортоучастков с их неокультуренными аналогами предлагают определять степень окультуренности почв (СОП) по формуле

$$\text{СОП} = \frac{\text{содержание P}_{205} \text{ по Карпинскому–Замятиной (мг/кг)}}{\text{содержание P}_{205} \text{ по Чирикову (мг/100г)} \cdot 10^{-3}}$$

Так называемый фосфатный индекс (отношение) представлен в виде шкалы где:

- <4 – неокультуренные почвы;
- 5–7 – слабоокультуренные почвы;
- >10 – высокоокультуренные почвы.

Параллельное определение P₂O₅ в почве по этим методам дает полную картину фосфатного состояния почв и их генетических особенностей.

Для характеристики фосфатного уровня на выщелоченных чернозёмах лесостепных зон Новосибирской области нами проведено определение легкоподвижного фосфора в 0,03 н K₂SO₄ вытяжке [40]. Для анализа были взяты 125 образцов из слоя 0–20 см в двух совхо-

зах (Тальменский и Красноярский) и почвы Новосибирской сельскохозяйственной опытной станции. Фосфатный уровень был неодинаков и колебался в пределах 0,048–0,097 мг/л (0,24–0,48 мг/кг). При сравнении этого показателя с методами Францесона и Чирикова обнаружен высокий коэффициент корреляции между первым методом ($r=+0,778 \pm 0,010$) и низкий и незначительный коэффициент со вторым ($r=+0,171 \pm 0,650$). Метод Францесона довольно близок по показателям и согласуется с фосфатным уровнем почвы. Были проведены специальные опыты по восстановлению фосфатного уровня [40]. Почвенные образцы (0–25 см), взятые осенью в хозяйствах Новосибирской области после уборки пшеницы паровались в искусственных условиях при оптимальной температуре и влажности в течение 21 дня. Два метода (Карпинского и Францесона) показали увеличение фосфора в 2–6 раз. При определении фосфора по Чирикову изменения были незначительными.

Освобождение фосфора из твёрдой фазы почвы и поглощение его растениями в течение вегетационного периода неизбежно должны снижать концентрацию фосфора в почвенном растворе. Эти изменения, кроме других факторов, происходят под влиянием повышения или снижения влажности. В полевых опытах сравнивались четыре метода определения P_2O_5 на почвах чернозёмного типа: Францесона, Эгнера-Рима, Чирикова и Труога. На протяжении 1962–1967 гг. для определения влажности почвенные образцы отбирали в течение всего вегетационного периода на глубине 0–20 и 20–40 см. Математическая проверка связи между количеством фосфора и продуктивной влаги для разных методов показала, что высокий обратный коэффициент корреляции выявлен при сравнении запаса продуктивной влаги и метода Францесона ($r=-0,923 \pm 0,080$).

Такая корреляция вполне согласуется с предположением, что формы фосфора, извлекаемые по Францесону, по своей растворимости и доступности для растений приближаются к водной вытяжке. Всякое повышение влажности почвы увеличивает поглощение фосфорной кислоты растениями, что приводит к уменьшению содержания её в почвенном растворе. Методы Эгнера-Рима и Чирикова не показали достоверной связи между этими величинами ($r=0,693 \pm 0,260$; $r=-0,238 \pm 0,510$).

Динамика подвижного фосфора в течение вегетационного периода, при определении его разными методами была также неодинакова. В разные годы методы Францесона и Эгнера-Рима показали постепенное снижение кривой динамики содержания P_2O_5 в почве или стабилизируемый её уровень. При методах Чирикова и Труога уровень кривой динамики решается вне прямой связи с питанием растений. При изучении диагностики фосфорного питания растений на чернозёмах Алтайского края Л. М. Бурлакова [32] также констатирует несоответствие показаний метода Чирикова с выносом фосфора растениями пшеницы и считает, что ведущую роль играют фосфаты, определённые по Францесону.

Фосфатный режим серых лесных почв Приобского плато в пределах Новосибирской области изучался Л. А. Сухиной [41]. Автор даёт оценку обеспеченности почв подвижным фосфором в соответствии с содержанием нитратного азота.

Обобщение результатов исследований по Новосибирской области показало, что агрохимические методы определения подвижной P_2O_5 извлекают различные формы фосфорных соединений. Для ряда методов разработаны шкалы потребности растений в этом элементе для зерновых культур.

Существующие шкалы обеспеченности почв подвижным фосфором по методам Чирикова и Труога не совпадают с величиной выноса фосфора растениями и требуют внесения поправочных коэффициентов.

Для оперативной диагностики фосфорного питания растений и определения концентрации фосфора в почвенном растворе можно использовать методы Францесона, Карпинского-Замятиной и Скофилда. Для почв чернозёмного типа Новосибирской области предложены

новые методы определения подвижного фосфора. Методы Николова, ЛАК-метод, с разработанной шкалой для них рекомендуется использовать для диагностики фосфорного питания растений вместо метода Чирикова.

Выше было отмечено, что с позиции обеспеченности растений фосфором важным является его качественный состав в почвах, одним из показателей которого может быть содержание минеральных фосфатов и их фракционный состав. Неоднородность солевого состава минерального фонда по растворимости отражается на показаниях и шкалах методов определения фосфора. Исследованиями Л.П. Антипиной установлено, что метод Чирикова извлекает часть недоступных растениям высокоосновных фосфатов кальция [42, 19].

Увеличение на 1 мг P_2O_5 в форме $Ca-P_3$ влечет за собой повышение показаний метода Чирикова на 0,4 мг. Практически все изменения показания этого метода на 74% обусловлены содержанием в почвах трехосновных фосфатов кальция. Фосфатный фонд определяет границы классов обеспеченности фосфором яровой пшеницы. Исследованиями Ю.И. Берхина, Е.Г. Чагиной и Е.Д. Янцен [43] установлено, что при сравнении фракционного состава с показаниями метода Чирикова была обнаружена тесная корреляционная связь (0,97) с пятой фракцией трехосновных фосфатов кальция на шести типах почв Западно-Сибирского региона.

Качественный состав фосфора на почвах Западно-Сибирского региона неоднороден. Л.П. Антипина утверждает, что по абсолютным показателям содержание одноосновных фосфатов кальция характеризует уровень обеспеченности растений легкодоступным фосфором [44].

Геоморфологические районы по наличию этой формы фосфорных соединений в верхнем слое 0–50 см на черноземах расположились в следующий убывающий ряд: Канская впадина > Барабинская низменность > Прииртышская равнина > Кузнецкая котловина > Ишим-Иртышская равнина > Приобское плато > Зауральское плато.

Фракция двухосновных фосфатов кальция является ближайшим резервом для питания растений. По ее наличию можно представить следующий убывающий ряд: Иртышская равнина > Барабинская низменность > Канская впадина > Кузнецкая котловина > Ишим-Иртышская равнина > Приобское плато > Зауральское плато.

Содержание труднодоступных фосфатов кальция ($Ca-P_3$) больше всего в почвах Приобского плато и меньше всего в почвах Зауральского плато. Содержание фосфатов полуторных окислов наиболее высокое в черноземах Канской впадины, Барабинской низменности и Приобского плато [43].

Одним из факторов, влияющих на подвижность почвенных фосфатов, является внесение фосфорных удобрений [45]. Исследования С.М. Поставской и Г.П. Гамзикова показали, что при взаимодействии суперфосфата с почвой черноземного типа происходит перераспределение фосфорных удобрений среди всех групп минерального фосфора в течение 30 дней. Количество фосфатов первой группы увеличилось в 2–2,5 раза, второй и четвертой группы – в 2 третьей группы – в 3–4 раза. Весь фосфор удобрений оставался в минеральной части почв, несмотря на длительное (более 30 дней) взаимодействие с почвой. Отсутствие закрепления фосфора в органической форме и слабое включение его в малоподвижные минеральные фосфаты свидетельствует об эффективном и длительном последствии фосфорных удобрений на черноземах Западной Сибири. Ход процессов трансформации фосфатов удобрений определяется главным образом свойствами почв и дозой вносимых удобрений.

Ю.И. Берхин с сотрудниками утверждают, что полной утилизации фосфора удобрений растениями не происходит. Даже в хорошо обеспеченных фосфором почвах наблюдается его переход в недоступные или слабодоступные формы [44].

А.Л. Иванов с сотрудниками считают, что основным источником фосфора для растений является сорбированный фосфор [16].

К работам, посвящённым рассматриваемому вопросу, относятся исследования Л. А. Шамрай [46], выполненные на выщелоченных чернозёмах Омской области. При внесении возрастающих доз суперфосфата (до 1500 кг/га P_2O_5) в течение четырёх лет не было отмечено перехода фосфора во фракции труднодоступных форм.

Ю. И. Берхин и другие [44] изучали величину сорбированного фосфора на основных типах почв Западной Сибири. О скорости поглощения фосфатов удобрений позволяет судить фракционный состав. По сорбционным свойствам изучаемые почвы были разделены на три группы, которые отличались между собой по содержанию гумуса, гранулометрическому составу. Опыты показали, что чем тяжелее гранулометрический состав и меньше подвижных фосфатов, тем большая доля внесённого фосфора поглощается почвой. Фосфор удобрений, сорбированный почвами региона, переходя в I – IV фракции минеральных фосфатов, может использоваться растениями практически полностью, сорбционные процессы не являются фактором, резко снижающим доступность фосфора растениям.

Определение остаточных фосфатов после 2- и 7-летнего взаимодействия суперфосфата с лугово-чернозёмной почвой в микрополевоомпыте с зерновыми культурами выявило их заметное количество в I – IV фракциях, несмотря на то, что эта почва принадлежала к числу обладающих высокой сорбционной способностью. В этом опыте выявлено длительное последствие суперфосфата. Слабо использовался фосфор там, где значительная доля его была связана с железом.

Приведённый материал свидетельствует об отсутствии перехода сорбированного почвами фосфора в формы, недоступные растениям. Этим объясняется равноценность запасного и ежегодного внесения удобрений [44].

Оценка растворимости продуктов взаимодействия почв и фосфорных удобрений по равновесной концентрации ионов фосфора в растворе изучалась Л. П. Антипиной и др. [47]. Влияние физико-химических свойств почв на интенсивность изменения фосфатного фонда при внесении фосфорных удобрений было рассчитано через коэффициенты сорбции по методу Лэнгмюра. В результате получена чёткая зависимость между дозами P_2O_5 и равновесной концентрацией почвенного раствора (с Р). Количественные связи этих величин резко отличались по провинциям Сибирского региона, т. е. по типам фосфатного состояния почв, установленным авторами. При его показаниях менее 250 от дозы 10 мг P_2O_5 концентрация фосфора в почвенном растворе повышается до 1–1,5 мг/л; при величине 200–250, равновесная концентрация устанавливается на 0,8–0,9 мг/л при коэффициенте сорбции более 300–0,3 мг/л.

Вышеизложенные экспериментальные материалы позволяют выяснить трансформацию фосфора в процессе почвообразования и изменение его при внесении удобрений. Однако пространственная дифференциация фосфатного фонда Сибири и его соответствие с агроэкологическими особенностями возможны лишь при детальном анализе природно-ландшафтных и административно-территориальных аспектов. Всё вышесказанное относится, в первую очередь, к рациональному использованию фосфорных удобрений в конкретных, отдельно взятых административных районах, что в последующем, может послужить основой для научно-производственных рекомендаций.

К настоящему времени в Сибирском регионе наиболее полно изучен фракционный состав почв Новосибирской области.

Формирование структуры фосфатного фонда области связано с проявлением местных условий почвообразования. На территории Новосибирской области были выделены: подтайга, северная лесостепь, южная лесостепь, Приобье, Присалаирье, Барабинская низменность и степь [48].

Многолетними исследованиями Л. П. Антипиной, Л. П. Малыгиной и С. С. Аверкиной установлено, что качественный состав фосфатного фонда пахотных горизонтов почв выше-

названных зон неодинаков. Почвы северной лесостепи Присалаирья, Приобья и Барабинской низменности исключительно богаты валовым фосфором (0,22–0,26%). Вдвое меньше запасы в степной зоне (0,10%). Минеральные соединения фосфора в почвах степи и лесостепи Приобья составляют 54–55% от валового содержания, а в более увлажнённых зонах – Присалаирье и Барабинской низменности – на 10–12% меньше.

Фракционный состав фосфатов также неоднороден. Фракция одно- и двухосновных фосфатов кальция была обнаружена в почвах степи (12% от валового содержания фосфора) и в Присалаирье 40%. Железо- и алюмофосфаты преобладали в степной зоне (15,2%). В Присалаирье эти фракции фосфатов обнаружены в меньшем количестве (4,3%). В распределении фракции трёхосновных фосфатов кальция обнаружена следующая закономерность: 16,2% – в степи, 9,0% – в северной и южной лесостепи Барабинской низменности.

Характер распределения минеральных фосфатов по профилю на почвах чернозёмного типа в Барабинской, Кулундинской степях и на Приобском плато также индивидуален [48].

Валовой фосфор в горизонте А выщелоченного чернозёма на 44–49% представлен минеральными формами, нижележащего горизонта – на 59%. Особенностью этих почв является преобладание фосфатов кальция в сумме фракций, а также железифосфатов.

Глубокая агрохимическая оценка почв различного генезиса была дана в исследованиях Ю. И. Берхина, Е. Г. Чагиной и Е. Д. Янцен [49]. Результаты определения фракционного состава минеральных фосфатов контрастных почв позволили систематизировать тип его структуры, который сложился в результате генезиса и процессов внутрипочвенного выветривания апатита и трансформации почвообразованных фосфатов. Авторы приводят описание отдельных типов структуры минеральных фосфатов (СМФ).

Кулундинский тип характерен для автоморфных малогумусных почв лёгкого гранулометрического состава. Доля высокоосновных фосфатов кальция составляет 60% от суммы минеральных фосфатов. Абсолютные значения остальных фракций очень малы.

Приобский тип. Доля фосфатов пятой фракции выше, а первых двух фракций – ниже, чем в почвах других типов.

Барабинский тип. Высокий процент фосфатов первой – четвертой фракций свидетельствует об интенсивной трансформации фосфатов материнской породы. Щелочная реакция среды, повышенные сорбционные свойства почв обусловили преобладание второй фракции над первой.

Кочковский тип. Структура минеральных фосфатов занимает промежуточное положение между приобским и барабинским типами.

Северный луговой тип. Соотношение фракций минеральных фосфатов в пахотном слое на одну треть представлено железифосфатами и менее половины приходится на долю труднодоступных фосфатов кальция. Количество Са – Р₁, низкое и находится в пределах 3,0–5,4 мг/100 г.

Северный подзолистый тип. Фракция трёхосновных фосфатов кальция составляет самое низкое значение (37–40%) от суммы минеральных фосфатов, но количество железифосфатов (четвертая фракция) здесь наибольшее (40–43%). Очень низкое содержание фосфатов второй фракции.

Авторы также отмечают, что районирование территории Новосибирской области, приведённое с целью дифференциации запасов подвижных фосфатов, определяемых по Чирикову, хорошо согласуется с материалами по структуре минеральных фосфатов.

Большой научно-практический интерес представляет изучение фосфатного фонда и трансформации различных форм фосфорных удобрений на почвах, подверженных ветровой и водной эрозии.

Нарушение питательного режима эродированных почв влечёт за собой изменение основных агрохимических свойств и значительное снижение урожая сельскохозяйственных культур.

Плодородие деградированных почв Западной Сибири и эколого-агрохимические аспекты применения минеральных удобрений были изучены в многолетних опытах О.П. Якутиной [50]. Автор отмечает, что под влиянием эрозии происходит снижение содержания валового фосфора, изменение количества минеральных фосфатов и распределения их по отдельным фракциям. При проведении мониторинга изменений фракционного состава фосфатов несмытых и смытых почв в течение двух лет обнаружено, что на удобренных вариантах содержание минеральных фосфатов (первая – пятая фракции) в несмытой почве возросло, в смытой – уменьшилось, что свидетельствует о снижении мобилизационной способности почвы. Внесение суперфосфата увеличивает содержание фосфатов первой и второй фракций минерального фосфора на всех изучаемых почвах.

Влияние удобрений и орошения на изменение фосфатного фонда выщелоченного чернозёма Новосибирской области изучалось Р.П. Макариковой и Г.П. Гамзиковым [51]. Чернозём характеризовался средним потенциальным плодородием. При определении фракционного состава обнаружена небольшая величина («1») отношения одно- и двухосновных фосфатов к фосфатам полуторных окислов, что указывает на слабую доступность для растений почвенных запасов минерального фосфора.

Влияние орошения на накопление в чернозёме фракций минеральных фосфатов существенно зависело от биологических особенностей возделываемых культур. В почве под злаковыми культурами содержание всех фракций увеличилось в основном в вариантах с орошением, а под бобовыми культурами произошло пополнение высокоосновных фосфатов кальция. Перераспределение фосфатных соединений (первая – четвертая фракции), мобилизованных из почвы и поступивших с удобрениями, произошло в гумусово-перегнойном горизонте.

Количество фосфатов щелочных и щелочно-земельных элементов возросло в 2,6 раза без орошения и в 2,1 раза при орошении.

Внесение фосфорных удобрений увеличивает содержание подвижного фосфора и степень подвижности фосфатов, улучшает структуру фосфатного фонда.

Исследованиями С.П. Попцова [52] в вегетационных опытах на выщелоченных чернозёмах Новосибирской области установлено, что оптимальный уровень обеспеченности фосфором может быть достигнут однократным единовременным внесением фосфорных удобрений. Сформированные фосфатные уровни сохраняются длительное время, так как фракции рыхлосвязанных одно- и двухосновных фосфатов кальция возрастают, при этом содержание фосфатов полуторных окислов также увеличивается. При повышении доз фосфорных удобрений сужается соотношение между фракциями полуторных окислов и рыхлосвязанных фосфатов кальция. Содержание апатитовой фракции ($\text{Ca}-\text{P}_3$) изменяется незначительно.

Предварительное и внесение фосфорных удобрений парование почвы в течение девяти месяцев перед посевом пшеницы показало, что содержание доступного фосфора практически не изменялось. Только при внесении 300 мг P_2O_5 на 1 кг почвы, отклонения в содержании первой фракции идут в пользу увеличения его количества, так как происходит накопление остаточного фосфора.

Автор в других исследованиях указал, что система «почва ↔ почвенный раствор» чернозёма выщелоченного работает на компенсацию ненасыщенности фосфором почвенного поглощающего комплекса [53].

Исследования С.С. Аверкиной [54] на чернозёмах выщелоченных и лугово-чернозёмной почве подтверждают, что регулярное применение фосфорных удобрений приводит к накоплению остаточных фосфатов, что является важным фактором формирования урожая пшеницы в последствии. Расчёт последствия фосфорных удобрений позволяет установить размеры

прямого действия и вычислить прибавку урожая при однократном и систематическом внесении (кумулятивный эффект), где однократная свежевнесённая доза служит фоном для выявления роли остаточных фосфатов. Последствие фосфорных удобрений (на фоне НК) часто превышает по эффективности прямое действие. Ежегодное внесение фосфорных удобрений не эффективно. Подсчёт кумулятивного эффекта в вегетационных опытах показал, что свежевнесённый фосфор не играет существенной роли в создании урожая яровой пшеницы.

Фосфатный режим луговых солонцов при гипсовании и внесении минеральных удобрений был изучен Н.В. Семендяевой, Л.П. Галеевой и С.С. Аверкиной [55].

Вегетационные опыты показали, что фосфорные удобрения, внесённые на фоне азотных, были эффективны не только в год внесения, но и в течение 5 лет последствия. Действие фосфорных удобрений на гипсованных луговых корковых солонцах зависело от времени и условий взаимодействия с гипсом, который ухудшает азотный режим, но практически не оказывает отрицательного влияния в последствии. Азотно-фосфорные удобрения, при оптимальном их соотношении, способствовали резкому росту урожая овса. Изучение фракционного состава фосфатов почв после уборки урожая в год прямого действия удобрений позволило выявить мобилизацию почвенного фосфора. В вариантах без удобрений содержание активных фосфатов (сумма первых трёх фракций) ко времени уборки было выше (12,6–19,0 мг/100 г) его исходного содержания (8,7–17,2 мг/100 г) и составляло 24–32% от суммы всех фракций. При внесении азотно-фосфорных удобрений количество активных фракций повышалось на 30–38% при дозе 150 мг/кг, а в чернозёмно-луговой почве при дозе 750 мг/кг – на 47% от суммы минерального фосфора.

После бессменного выращивания овса в течение 4 лет происходила перегруппировка фосфора из труднодоступных фракций в активные формы на всех почвах.

В настоящее время солонцы, вовлечённые в пашню в 90-х гг. прошлого века, перешли в разряд залежных земель, которые можно использовать как высокопродуктивные естественные кормовые угодья или опять вводить в пашню для производства зерна и кормов [56].

По исследованиям автора, самая высокая урожайность зелёной массы трав на залежи через 10 лет после внесения удобрений получена в вариантах N_{90} , N_{30} , P_{40} , прибавка к контролю составила 73, 69 и 57% соответственно.

Степень подвижности фосфора (I) и фосфатная ёмкость (Q) в почвах удобренной залежи превышали таковые в прежней залежи. Доля легкодоступного фосфора возрастала во всех вариантах, кроме P_{40} , P_{120} и $N_{30}P_{40}$. Залужение пашни повышало подвижность фосфатов апатитовой фракции $Ca-P_3$ и способствовало существенному росту за их счёт доступных фосфатов $Ca-P_1$ и $Ca-P_2$.

Таким образом, в представленном обзоре в историческом аспекте изложены основные этапы изучения агрохимии фосфора. Учёными Сибири разработаны компоненты почвенной системы потенциально и непосредственно доступных форм фосфатов, входящих в состав органических и минеральных его соединений. Это дало возможность характеризовать фосфатные фонды в конкретной почвенно-климатической зоне.

В связи с пестротой почвенного покрова территории Сибирского региона и разной степенью доступности фосфатов сельскохозяйственным растениям были испытаны традиционные методы определения подвижных форм и предложены к ним новые шкалы (градации) обеспеченности этим элементом. Причиной несоответствия местных (региональных) шкал с общероссийскими показателями является значительное количество в сибирских почвах высокоосновных фосфатов кальция и полуторных окислов, которые обнаруживаются при экстракции изучаемыми методами. Корректировка стандартных шкал для конкретных условий в первом приближении даёт основание рекомендовать эффективные и экологически выдержанные дозы фосфорных удобрений

Важным достижением по изучению фосфатного режима почв следует считать включение основных положений научных исследований в методические рекомендации по агроэкологической оценке земель и основам проектирования адаптивно-ландшафтных систем земледелия. Обобщение и анализ экспериментальных результатов позволил и учёным Сибири подготовить целый ряд крупных публикаций, монографий, статей в научных журналах в России и за рубежом. Большое внимание постоянно уделялось организации семинаров, симпозиумов и научно-производственных конференций. Анализ современного состояния научных исследований по воспроизводству плодородия почв подтверждает необходимость дальнейшего изучения проблемы фосфора.

Поэтому в НИИ земледелия и химизации Сибирского федерального научного центра агроботехнологий Российской академии наук будут продолжены исследования по обсуждаемой теме. Накопленный научный и практический опыт дает возможность для дальнейшего проведения комплексной оценки по рациональному экологически и экономически обоснованному применению фосфорных удобрений.

Новые исследования послужат основой для разработки инновационных технологий возделывания сельскохозяйственных культур.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Словцов П.А.* Историческое обозрение Сибири (1585–1823): в 2 т. СПб, 1838, 1844. – Кн. 2. С. 232–233.
2. *Крупенников И.А.* Труды Радищева А.Н. по почвоведению и агрономии и их значение в истории науки//Почвоведение. –1953. – № 7. – С. 52–54.
3. *Кочергин А.Е.* 150лет сельскохозяйственной науки в Сибири // Земля сиб. дальневост. – 1977. – № 5. – С. 55–57.
4. *Милащенко Н.З.* К истории развития основ сибирского земледелия// Сиб. вестн. с.-х. науки. – 1978. – № 3. – С. 6–12.
5. *Синягин И.И.* Некоторые элементы истории агрохимических исследований в Сибири// Сиб. вестн.с.-х. науки. – 1978. – № 3. – С. 4–6.
6. *Андропов Т.Ф., Ерофеев С.Д.* Удобрения в Западной Сибири//Новосибирск: ОГИЗ. Зап. Сиб.отделение. –1932.
7. *Выдрин И.П., Ростовский З.И.* Материалы по исследованию почв Алтайского округа. – Барнаул, 1899. – Т. 6. – 171 с.
8. *Антонов С.М.* О растворимости фосфорно-кислых соединений некоторых почв// Тр. Сиб. ин-та сел. хоз-ва и лесоводства. – Омск, –1928. – Т. 10, вып. 1–6.
9. *Сычёв В.Г.* Агрохимическая служба-50 лет на благо урожая // Агроэкологические основы применения удобрений в современном земледелии. – М. – ФГРНУ ВНИИА им. Прянишникова, 2014. – С. 3–13.
10. *Антипина Л.П.* Эффективность фосфорных удобрений в связи с содержанием подвижных фосфатов на чернозёмах лесостепной зоны Красноярского края: автореф. дис. ... канд.с.-х. наук. – М, 1966.
11. *Антипина Л.П.* Превращения фосфорных удобрений в чернозёмах и серых лесных почвах Тюменской области// Агрохимия. –1971. – № 7. – С.5–12.
12. *Аверкина С.С.* Определение обеспеченности растений фосфатами на выщелоченных чернозёмах методами агрохимического анализа// Пути химизации и интенсификации сельского хозяйства Новосибирской области. – Новосибирск, 1968. С.26–29.
13. *Аверкина С.С.* Сравнительная оценка методов определения фосфора в чернозёмах Приобья Новосибирской области в связи с применением удобрений: автореф. дис. ... канд.с.-х. наук. – Новосибирск, 1971, 25 с.
14. *Антонова О.И.* К вопросу о фосфорном режиме выщелоченных чернозёмовколючной степи и типичной лесостепи под влиянием удобрений// Сб.н.и. работ аспирантов и молодых учёных Алт. СХИ. – Барнаул, 1968. – вып. 6.

15. *Крестянинова Н.Г., Костюхин Н.Л.* Содержание подвижного фосфора в почвах и эффективность фосфорных удобрений в Иркутской области //Тр. Краснояр. НИИСХ. – Красноярск, 1969. – Т. 5. – С. 108–113.
16. *Агробιοгеохимический цикл фосфора* / А.Л. Иванов [и др.]; ред. А.Л. Иванов; Рос.акад. с.-х. наук. – М., 2012. – С. 88–115.
17. *Практикум по агрохимии: учеб. пособие.* / под ред. Акад. РАСХН В.Г. Минеева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – С. 185.
18. *Антипина Л.П.* Фосфор в почвах Сибири: автореф. дис... д-ра с.-х. наук. – Омск, 1991. – 32 с.
19. *Антипина Л.П., Малыгина Л.П., Потцов С.П.* Оценка фосфатного состояния и оптимальные параметры его в почвах Западной Сибири// Сиб.вестн. с.-х. науки. –1992. –№ 2. – С. 12–15.
20. *Аверкина С.С.* Методы определения подвижных фосфатов на чернозёмах Сибири// LapLambertAkademicPublishing. – 2012. – С. 56–92.
21. *Антипина Л.П., Пашкович Н.К., Малыгина Л.П.* Фосфор в почвенном покрове Западной Сибири// Агрохимия. – 1988. –№ 5. – С. 20–28.
22. *Аверкина С.С., Якутина О.П.* Методы определения подвижных фосфатов в почвах ЗападнойСибири и их диагностическая ценность//Проблемы агрохимии и экологии. 2013. –№ 2. – С. 53–60.
23. *Берхин Ю.И., Чагина Е.Г., Янцен Е.Д.* Проблемы диагностики фосфорного питания в условиях интенсивного земледелия//Почвенно-агрохимические проблемы интенсификации земледелия в Сибири. – Новосибирск, – 1989. – С. 128–138.
24. *Гамзиков Г.П., Поставская С.М.* Характеристика методов определения подвижного фосфора на черноземах Западной Сибири//Химия в сельском хоз-ве. –1975. – № 2. – С. 51–56.
25. *Агрохимическая характеристика почв СССР (районы Западной Сибири).* – М.: Наука, 1968. – С. 316–336.
26. Симпозиум «Совершенствование методологии исследований фосфатного режима почв, оптимизация фосфорного питания и баланса фосфора в агроэкосистемах» //Агрохимия. – 1999. – № 1. – С. 94–96.
27. *Кушниренко Ю.Д., Федорова А. Ф.* Оценка методов определения подвижных фосфатов в выщелоченных чернозёмах Южного Урала: метод. рекомендации. – Новосибирск, 1980. – 27 с.
28. *Плодородие полей и эффективность применяемых удобрений на чернозёмах Зауралья: метод. рекомендации.* В.И. Волынкин, О.В. Волынкина, В.А. Телегин [и др.]. – Курган, 2007. –77 с.
29. *Кольцов А.Х.* Эффективность удобрений по почвенно-климатическим зонам в условиях Западной Сибири// Пути повышения уровня земледелия на Южном Урале и Зауралье: сб. науч. тр./ ВАСХНИЛ Сиб. отд-ние – Новосибирск, – 1981. – С. 3–14.
30. *Поставская С.М., Гамзиков Г.П.* О минеральных фосфатах чернозёмов Западной Сибири, // Почвоведение. – 1975. – № 1. – С. 93–101.
31. *Титова Э.В.* Влияние различных факторов на эффективность фосфорных удобрений в нечернозёмной зоне Западной Сибири// Д.Н. Прянишников и развитие агрохимии в Сибири. – Новосибирск, 2003. – С. 79–96.
32. *Бурлакова Л.М.* Плодородие алтайских чернозёмов в системе агроценоза. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1984. – С. 111–124.
33. *Крупкин П.И.* Уточнение градаций обеспеченности почв Восточной Сибири фосфором//Химия в сел. хозяйстве. – 1971. – № 7. – С. 70–72.
34. *Аверкина С.С.* Определение подвижных фосфатов в почвах Новосибирской области// Плодородие почв и питание растений: – сб. науч.тр./ ВАСХНИЛ Сиб. отд-ние –Новосибирск, 1986. – С. 85–89.
35. *Оптимизация фосфатного режима почв Новосибирской области: метод. рекомендации* / Л.П. Антипина, Л.П. Малыгина, А.И. Южаков, С.П. Попцов-Новосибирск, 1990. – С. 6–13.
36. *Научное обоснование распределения и применения фосфорных удобрений по Новосибирской области: рекомендации/* ВАСХНИЛ. Сиб.отд-ние СибНИИЗХим; Л.П. Антипина, Н.К. Пашкович, С.С. Аверкина, А.С. Никитин – Новосибирск, 1986. –31 с.

37. Берхин Ю.И., Чагина Е.Г., Янцен Е.Д. О природе фосфатов, определяемых по методу Чирикова// Сиб.вестн. с.-х. науки. –1987. –№ 5. – С. 20–22.
38. Чагина Е.Г., Берхин Ю.И., Хацевич Н.В. Изменение плодородия почв при интенсивном земледелии. – Новосибирск: – Наука, – 1986. – С. 3–56.
39. Берхин Ю.И., Чагина Е.Г. Одновременное определение азота нитратов и фосфора в солевой калий-серноокислой вытяжке// Агрохимия. – 1983. –№ 1. – С. 119–121.
40. Аверкина С.С. Сравнительная оценка методов определения фосфора в черноземах Пробыя Новосибирской области в связи с применением удобрений: дис. ... канд. с.-х. наук. – Новосибирск, 1971. – С. 91–92.
41. Сухинина Л.А. Оценка обеспеченности серых лесных почв Приобского плато фосфором// Химизация сельского хозяйства Сибири. – Новосибирск, 1970. – С. 35–36.
42. Антипина Л.П. Характеристика фосфатного режима почв Сибири с помощью агрохимических методов// Сиб.вестн.с.-х. науки. – 1976. –№ 4. – С. 1–8.
43. Берхин Ю.И., Чагина Е.Г., Янцен Л.Д. Доступность продуктов трансформации суперфосфата зерновым культурам// Плодородие почв и питание растений: сб. науч. тр./ ВАСХНИЛ. Сиб. отд-ние. – Новосибирск, 1986. – С. 65–75.
44. Антипина Л.П. Фракционный состав минеральных фосфатов в чернозёмах Сибири// Агрохимия. –1978. – № 1. – С. 32–40.
45. Поставская С.М., Гамзиков Г.П.О минеральных фосфатах чернозёмов Западной Сибири// Почвоведение. – 1975. –№ 1. – С. 93–101.
46. Шамрай Л.А. Превращение фосфора суперфосфата в выщелоченном чернозёме// Использование фосфора удобрений пшеницей в Западной Сибири: науч-техн. бюл. № 17. ВАСХНИЛ. Сиб. отд-ние, СибНИИЗХим. – 1976. – С. 29–33.
47. Антипина Л.П., Пашиков Н.К., Малыгина Л.П. Оценка растворимости продуктов взаимодействия почв и фосфорных удобрений по равновесной концентрации ионов фосфора в растворе// Плодородие почв и питание растений: сб.науч.тр. / ВАСХНИЛ. Сиб. отд-ние: – Новосибирск, 1986. – С. 75–85.
48. Антипина Л.П., Малыгина Л.П., Аверкина С.С. О структуре фосфатного фонда почв Новосибирской области// Фосфор в почвах Сибири: сб. науч. Тр. ВАСХНИЛ. Сиб.отд-ние. – Новосибирск, 1983. – С. 32–39.
49. Берхин Ю.И., Чагина Е.Г., Янцен Е.Д. Фракционный состав минеральных фосфатов почв Западной Сибири// Агрохимия. –1984. – № 9. – С. 21–27.
50. Якутина О.П. Фонд минеральных фосфатов почв Присалаирья и эффективность фосфорных удобрений: автореф.дис. ... канд. биол.наук. – Новосибирск, 2004. – 19 с.
51. Макарикова Р.П., Гамзиков Г.П. Влияние удобрений и орошения на изменение режима минеральных фосфатов и продуктивность культур на выщелоченных чернозёмах Западной Сибири// Сохранение и развитие -агрохимического наследия академика Д.Н. Прянишникова. – Новосибирск. –2015. – Ч. 1. С. 262–268.
52. Потцов С.П. Влияние фосфорных удобрений на фосфатный режим почвы//Специфика фосфатного фонда почв и эффективность удобрений: науч -техн. бюл. – ВАСХНИЛ. Сиб.отд-ние. Новосибирск, 1989. – Вып. 5. – С. 15–18.
53. Потцов С.П. Трансформация фосфора почвы и удобрений при паровании//Регулирование фосфатного режима почв: науч-техн. бюл. ВАСХНИЛ. Сиб.отд-ние. – Новосибирск, 1990. – Вып. 3. – С. 8–11.
54. Аверкина С.С. Накопление в почве остаточных фосфатов удобрений //Фосфатный режим почв:, – сб. науч.тр./ ВАСХНИЛ, Сиб. отд-ние. Новосибирск, –1985. – С. 79–86.
55. Семендяева Н.В., Галеева Л.П., Аверкина С.С. Фосфатный режим луговых солонцов Барабы при гипсовании и внесении минеральных удобрений// Агрохимия. – 1992. – № 8. – С. 34–43.
56. Галеева Л.П. Свойства и плодородие антропогенно измененных почв солонцовых комплексов Барабы //Закономерности изменения почв при антропогенном воздействии и регулирование состояния и функционирования почвенного покрова: материалы Всерос. Конф./ РАСХН. Почв.инс-та им. Докучаева. – М., 2011. – С. 480–483.

REFERENCES

1. Slovtsov P. A. Historical review of Siberia (1585-1823): in 2 so-SPb, 1838,1844.-KN.2. P. 232-233.
2. Krupennikov I. A. The Works Of A. N. Radishchev. on soil science and agronomy and their importance in the history of science//soil science. -1953-No. 7.-P. 52-54.
3. Kochergin A. E. 150лет agricultural science in Siberia // Earth Sib. dal'nevost. - 1977.-№5. – P. 55-57.
4. Milashenko, N. Z. The history of the development of the foundations of Siberian agriculture// Sib. Vestn. S.-H. science.-1978. - No. 3.-S. 6-12.
5. Sinyagin, I. I. there were elements of agrochemical research in Siberia// Sib.Vestn.with.-agricultural science. – 1978. - No. 3. – P. 4-6.
6. Andropov T. F., Erofeev S. D. Fertilizer in Western Siberia//Novosibirsk: ogiz. Zap. Sib.office, -1932.
7. Vydrin I. P., Rostov Z. I. a survey of soils of the Altai region. - Barnaul, 1899.- 6.171 T. S.
8. Antonov S. M. the solubility of the phosphoric acid compounds of some soils, Proc. Sib. in-TA villages. khoz-VA, and forestry. - Omsk,-1928, respectively.-Vol. 10, issue.1-6.
9. Sychev V. G. agrochemical service-50 years for the benefit of the harvest.//Agroecological basis for the use of fertilizers in modern agriculture.-M.-PGRNU VNIIA them. Pryanishnikov, 2014.-S. 3-13.
10. Antipina L. P. the Efficiency of phosphate fertilizers in connection with the content of mobile phosphates in Chernozem forest-steppe zone of the Krasnoyarsk territory: author. dis. kand.with.-agricultural Sciences.-M, 1966.
11. Antipina L. P. the transformation of phosphorus fertilizers in Chernozem and gray forest soils of the Tyumen region].-1971.- No. 7.-S. 5-12.
12. Averkina S. S. Determination of availability of plant phosphates in leached chernozems of the methods of agrochemical analysis// Ways of chemicalization and intensification of agriculture in Novosibirsk region.- Novosibirsk, 1968. S. 26-29.
13. Averkina S. S. Comparative evaluation of methods for determination of phosphorus in Chernozem Ob in Novosibirsk region in connection with the application of fertilizers: author. dis. kand.with.-of agricultural Sciences. – Novosibirsk, 1971, 25C.
14. Antonova O. I. on the phosphorus mode of leached chernozemelskiy steppe and typical steppe under the influence of the fertilization// Proc.N. and. works of students and young scientists Alt. Agricultural Institute.- Barnaul, 1968-vol. 6.
15. Krestyaninova N. G.,Kostyukhin N. L. The content of mobile phosphorus in soils and phosphate fertilizer efficiency in Irkutsk region //Proc. Krasnoyar. Research Institute of agriculture. – Krasnoyarsk, 1969.- Vol. 5. -P. 108-113.
16. Agrobiologically cycle of phosphorus / by A. L. Ivanov[et al.]; edited by A. L. Ivanov; ROS.Acad. of agricultural Sciences. – M., 2012. – S. 88-115.
17. Workshop on agricultural chemistry: textbook. allowance. / under the editorship of Akad. RAAS V. G. Mineev. – 2nd ed. Rev. and extra - M.: Izd-vo MGU, 2001. – S. 185.
18. Antipina L. P. the Phosphorus in the soils of Siberia:author. dis... d-RA of agricultural Sciences.– Omsk, 1991. - 32C.
19. Antipina L. P., Malygina L. P., Poptsov S. P. the Assessment of phosphate status and optimal parameters in the soils of Western Siberia// Sib.Vestn. S.-H. science.-1992.-№2. - S. 12-15.
20. Averkina S. S. Methods for the determination of mobile phosphates in Chernozem Siberia// LapLambertAkademicPablishing. – 2012. - P. 56-92.
21. Antipina L. P., Pashkevich N. To., Malygina L. P. the Phosphorus in the soil cover of Western Siberia// Agrochemistry. – 1988. - No. 5. - P. 20-28.
22. Averkina S. S., Akhutina O. P. Methods for the determination of mobile phosphates in soil of Zapadnosibirsky and their diagnostic value//Problems of Agrochemistry and ecology. 2013-no. 2. - S. 53-60.
23. Berhin Y. I., Chagin E. G., Janzen, E. D. problems of diagnosis of phosphorus nutrition in conditions of intensive agriculture//Soil-and-agrochemical problems of intensification of agriculture in Siberia.- Novosibirsk - 1989. - S. 128-138.
24. Gomzikov G. P., Postavy, S. M. Characterization methods for the determination of phosphorus in chernozems of Western Siberia//Chemistry in agriculture-ve. -1975. - No. 2.- P. 51-56.

25. Agrochemical characteristics of soils of the USSR (West Siberia). - M.: Nauka, 1968. - С. 316-336.
26. Symposium "Improvement of methodology of studies of phosphate regime of soils, optimization of phosphorus nutrition and balance of phosphorus in agroecosystems". - 1999. - No. 1. - P. 94-96.
27. Kushnirenko Yu., Fedorov A. F. Evaluation of methods for the determination of mobile phosphates in leached chernozems of southern Ural: method. recommendations. - Novosibirsk, 1980. - 27 c.
28. The fertility of the fields and the efficiency of applied fertilizers on chernozems of Zauralye: the method. recommendations. Volinkin V. I., Volynkina O. V., Telegin V. A. [and others]. - Kurgan, 2007. - 77 c.
29. Koltsov A. H. the Efficiency of fertilizers according to soil-climatic zones in West Siberia// the Ways of raising the level of agriculture in the southern Urals and TRANS-Urals: collection of scientific works. Tr./ VASKHNIL Sib. otd-nie - Novosibirsk, - 1981. - С. 3-14.
30. Postavskaya S. M., Gomzikov G. P. On the mineral phosphates of chernozems of Western Siberia // soil science. - 1975. - No. 1. - P. 93-101.
31. Titova E. V. the Influence of various factors on the efficiency of phosphate fertilizers in the non-Chernozem zone of Western Siberia// D. N. Pryanishnikov and development of agricultural chemistry in Siberia. - Novosibirsk, 2003. - P. 79-96.
32. Burlakova L. M. Fertility of chernozems of the Altai in the system of agro-ecosystem. - Novosibirsk: Science. Sib. otd-nie, 1984. - S. 111-124.
33. Krupkin P. I. refinement of the gradations in the soils of Eastern Siberia phosphorus chemical villages. economy. - 1971. - №7. - P. 70-72.
34. Averkina S. S. Determination of mobile phosphates in soil of Novosibirsk region//soil Fertility and plant nutrition: - SB.nauch.Tr./ VASKHNIL Sib. otd-nie -Novosibirsk, 1986. - S. 85-89.
35. Optimization of the phosphate regime of soils of the Novosibirsk region: method. recommendations / L. P. Antipina, L. P. Malygin, A. I. Yuzhakov, S. P. Poptsov-Novosibirsk, 1990. - P. 6-13.
36. Scientific justification for the distribution and application of phosphate fertilizers in the Novosibirsk region: recommendations/ agricultural Sciences. Sib.otd-nie Sinishin; L. P. Antipina, N. To. Pascovici, S. S. Averkina, A. S. Nikitin, Novosibirsk, 1986. - 31s.
37. Berhin Y. I., Chahine G., Janzen, E. D. On the nature of the phosphate determined by the method of Chirikov// Sib.Vestn. S.-H. science.-1987.-No. 5. - S. 20-22.
38. E. G. Chagin, He Has Been Y. I., Hacevic N. In. The change in soil fertility under intensive agriculture. - Novosibirsk: Science, 1986. - Pp. 3-56.
39. Berhin Y. I., E. G. Chagin Simultaneous determination of nitrate nitrogen and phosphorus in the salt potassium sulfate hood// Agrochemistry. - 1983. - №1. - P. 119-121.
40. Averkina S. S. Comparative evaluation of methods for determination of phosphorus in black soil Probe Novosibirsk region in connection with the application of fertilizers: dis. kand. agricultural Sciences. - Novosibirsk, 1971. - S. 91-92.
41. Sukhinin, L. A. evaluation of the availability of gray forest soils of the Priobskoye plateau phosphorus// Chemicalization of agriculture of Siberia. - Novosibirsk, 1970. - P. 35-36.
42. Antipina L. P. Characterization of phosphate regime of soils of Siberia, agrochemical methods//Sib. Vestn.with.-agricultural science. - 1976-No. 4. - P. 1 -8.
43. Berhin Y. I., Chagin E. G., Janzen, L. D. Availability of products of transformation of superphosphate on cereal crops// soil Fertility and plant nutrition: collection of scientific works. Tr./ VASKHNIL. Sib. DEP.-nie. - Novosibirsk, 1986. - S. 65-75.
44. Antipina L. P. Fractional composition of mineral phosphates in Chernozem Siberia// Agrochemistry. - 1978.-No. 1. - P. 32-40.
45. Postavskaya S. M., Gomzikov G. P. On the mineral phosphates of chernozems of Western Siberia//soil science. - 1975. - No. 1.-P. 93-101.
46. Shamray L. A. the Transformation of phosphorus in superphosphate is leached Chernozem// Use of phosphorus fertilizer with the wheat in Western Siberia: the nauch-tekhn. bull. No. 17. VASKHNIL. Sib. otd-nie, Silneyshiy. - 1976. - P. 29-33.
47. Antipina L. P., Pashkevich N. To., Malygina L. P. estimation of the solubility products of interaction of soils and phosphate fertilizers on the equilibrium ion concentrations of phosphorus in solution// soil Fertility and plant nutrition: collection of scientific works.Tr. / VASHNIL. Sib. otd-nie: - Novosibirsk, 1986. - P. 75-85.

48. Antipina L. P., Malygina L. P., averkina S. S. On the structure of the phosphate of the Foundation soils of Novosibirsk region// Phosphorus in the soils of Siberia: collection of scientific works. Tr. VASKHNIL .Sib. otd-nie.- Novosibirsk, 1983.-P. 32-39.
49. Berhin Y. I., Chagin E. G., Janzen, E. D. Fractional composition of mineral phosphates of soils of Western Siberia// Agrochemistry.-1984.- No. 9.-P. 21-27.
50. Akutin O. P. Fund of mineral phosphates of the soil Prislair and efficiency of phosphoric fertilizers: author.dis. kand. Biol.Sciences. – Novosibirsk, 2004. – 19s.
51. Makarikova R. P., Gomzikov.P. Influence of fertilizers and irrigation to change the mode of mineral phosphate and crop productivity on leached Chernozem of West Siberia// Preservation and development -agrochemical heritage of academician D. N. Pryanishnikov.- - Novosibirsk.-2015. - part 1. S. 262-268.
52. Poptsov S. P. Effect of phosphate fertilizers on the phosphate regime of soils//the specificity of the phosphate of the Foundation soils and efficiency of fertilizers: nauch –tekhn. bull. -Of agricultural Sciences. Sib.otd-nie. Novosibirsk, 1989. - Vol.5. - P. 15-18.
53. Poptsov S. P. the Transformation of soil phosphorus and fertilizer in the fallowing//Regulation of phosphate regime of soils: nauch-tekhn. bull. VASKHNIL. Sib.otd-nie.- Novosibirsk, 1990.- Vol.3.- P. 8-11.
54. Averkina S. S. the Accumulation in soil of residual phosphate fertilizers //Phosphate regime of soil: collection of scientific.Tr./ Of agricultural Sciences,Sib. otd-nie. Novosibirsk, -1985. - P. 79-86.
55. Semendyaeva.In. L. P. Galeeva, S. S. averkina Phosphate regime of meadow solonetz baraby when gypsuming and mineral fertilizers// Agrochemistry. - 1992. - No. 8. - S. 34-43.
56. Galeeva L. P. Properties and the fertility of anthropogenically modified soils of solonetz complexes baraby //regularities of changes of soils under anthropogenic impact and regulation of state and functioning of soil cover: materials vseros. Conf./ RAAS. Soils.ins-TA im.Dokuchaeva.-M., 2011.- P. 480-483.