

УРОВЕНЬ ПРИМЕНЕНИЯ АГРОХИМИКАТОВ И ФОСФАТНЫЙ РЕЖИМ ПАХОТНЫХ ПОЧВ ПРЕДВОЛЖЬЯ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН**М. Ю. Гилязов, А. А. Лукманов, Д. Ф. Зарипов**

Реферат. Целью исследования являлась оценка динамики фосфатного режима почв и установление её зависимости от уровня применения удобрений и химических мелиорантов. Объектом исследования стали пахотные почвы Предволжья Республики Татарстан (РТ), расположенные на правом берегу р. Волга. Данный регион занимает северо-восточную часть Приволжской возвышенности и составляет около 15 % от площади республики. Находясь в переходной полосе между таёжно-лесной и степной зонами Предволжье республики характеризуется широким распространением серых лесных почв и лесостепных черноземов. Анализированы материалы агрохимической службы по РТ (ФГБУ ЦАС «Татарский») за 1965-2022 года. Подвижные формы фосфора определены стандартными методами в зависимости от типовых особенностей почв: по Кирсанову в модификации ЦИНАО (ГОСТ Р 54650-2011), Чирикову (ГОСТ 26204-91), Мачигину (ГОСТ 26205-91). Установлено, что по циклам агрохимического обследования содержание подвижных форм фосфора в почвах пашни Предволжья заметно колебалось: если в течение первого периода (1965-2000 года) происходило уверенное повышение подвижных форм фосфора (с 93 до 161 мг/кг), то в дальнейшем (2000-2022 года) происходит снижение (с 161 до 137 мг/кг). Все агрохимические приемы – внесение минеральных и органических удобрений, фосфоритование и известкование на накопление подвижных форм фосфора оказали положительное влияние. По значимости положительного влияния на средневзвешенное содержание подвижных форм фосфора в почвах Предволжья исследованные агрохимические приемы расположились в следующий убывающий ряд: внесение минеральных удобрений, затем известкование, далее фосфоритование и, наконец, внесение органических удобрений.

Ключевые слова: агрохимическое обследование почв, подвижный фосфор, корреляция, минеральные удобрения, органические удобрения, известкование, фосфоритование.

Для цитирования: Гилязов М.Ю., Лукманов А.А., Зарипов Д.Ф. Уровень применения агрохимикатов и фосфатный режим пахотных почв Предволжья Республики Татарстан // Агробиотехнологии и цифровое земледелие. 2024. № 4 (12). С. 18-24

Введение. Фосфор – абсолютно необходимый макроэлемент для всех живых организмов, в том числе для высших растений. Фосфор принимает деятельное участие во всех жизненно важных обменных процессах веществ и энергии в организме растений и недостаток его очень часто становится лимитирующим фактором величины и качества урожая сельскохозяйственных культур [1]. Поэтому обеспеченность почв доступными формами фосфора является важнейшим критерием плодородия почв сельскохозяйственных земель как в целом РФ [2, 3, 4, 5], так и РТ [6].

Общие запасы фосфора в пахотных слоях почв существенно меньше почвенных запасов азота и калия [5, 6]. Кроме того, «для питания растений важно содержание не валового, а подвижных форм фосфора, ибо именно они являются доступными растениям. К сожалению, основное количество общего почвенного фосфора малодоступно растениям» [6,7]. Для оценки обеспеченности почв различных типов и подтипов доступными формами фосфора агрохимическая служба страны в основном использует методы Кирсанова, Чирикова и Мачигина [8], которые «в основном адекватно отражают динамику содержания подвижных фосфатов при применении различных доз удобрений, позволяют правильно прогнозировать эффективность фосфорных удобрений и определить их потребность для получения планируемой урожайности сельскохозяйственных культур» [9].

«Содержание подвижных фосфатов в почве зависит от многих факторов, таких как типовое и подтиповое положение почв, гранулометрический состав, гумусированность, кислотность, водный и температурный режимы, содержание подвижных соединений железа и алюминия и др.» [10, 11]. Немаловажную роль в обеспечении растений подвижными формами фосфора играют многочисленные почвенные микроорганизмы [12]. Они, с одной стороны, поглощают минеральные формы фосфора и превращают их в органические вещества, которые непосредственно растения не поглощают. С другой стороны, минерализуя органические соединения, микроорганизмы делают фосфор доступным для растений [13]. Понятно, что активность микроорганизмов в огромной степени обуславливается температурным и водным режимами, поэтому эти режимы многими исследователями рассматриваются как фактор мобилизации почвенных запасов фосфора [14, 15].

В нынешних условиях острого дефицита промышленных фосфорных удобрений основными источниками фосфорного питания сельскохозяйственных культур стали местные фосфорсодержащие агоруды и запасы самой почвы [16]. Данное обстоятельство является ещё одним аргументом необходимости чрезвычайно внимательного изучения характера и темпов изменения подвижных запасов почвенного фосфора. Таким образом, можно констатировать, что обеспеченность почв

сельскохозяйственных земель подвижными формами фосфора является важным агрохимическим показателем уровня почвенного плодородия и нередко становится лимитирующим фактором продуктивности сельскохозяйственных культур.

Цель исследования - оценка зависимости динамики фосфатного режима почв пахотных земель Предволжья Республики Татарстан от уровня применения минеральных и органических удобрений, а также химических мелиорантов.

Условия, материалы и методы. В работе обобщены результаты агрохимических обследований почв Предволжья Республики Татарстан, которые демонстрируют сопоставительную динамику изменения уровня применения агрохимикатов и содержания подвижных форм фосфора в пахотных почвах муниципальных районах региона за 1965-2022 года.

Предволжье РТ расположено на правом берегу р. Волга и занимает северо-восточную часть Приволжской возвышенности [17]. Территория Предволжья равна 1014,3 тыс. га, что составляет около 15% от площади Республики. От общей площади земель региона сельскохозяйственные угодья занимают 739,2 тыс. га, в т. ч. пашня - 565,3 тыс. га или 55,7% [18].

В пределах Татарстана «Предволжье характеризуется как умеренно-теплый регион: продолжительность периода с температурой выше 5°C более 170 дней, сумма среднесуточных активных температур выше 10°C – 2200°C. Годовая сумма осадков колеблется в пределах 440-445 мм, в том числе в теплом периоде – 275 мм» [19].

Агрохимические анализы выполнены сотрудниками ФГБУ ЦАС «Татарский», используя общепринятые методы определения подвижных форм фосфора: в дерново-подзолистых и серых лесных почвах по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО (ГОСТ Р 54650-2011); в некарбонатных чернозёмах – по методу Чирикова в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26204-91); в карбонатных почвах – по методу Мачигина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26205-91) [20, 21, 22].

Результаты и обсуждение. Материалы на рисунке 1 демонстрируют распределение площадей пахотных почв по обеспеченности почв подвижными формами фосфора в Предволжье РТ по циклам агрохимического обследования. Они свидетельствуют о том, что в начале анализируемого периода (1965-1970 года) обеспеченность почв исследуемого региона подвижными формами фосфора была наихудшей за весь период наблюдений. Как видно, 24% пахотных почв имели низкую и очень низкую обеспеченность фосфором, менее половины (48 %) площадей – среднюю.

Во второй срок наблюдения (1971-1979 года) обнаружилось заметное

улучшение обеспеченности почв подвижным фосфором: площадь почв, имеющих очень низкое и низкое содержание фосфора, уменьшилась на 5% при одновременном увеличении на 4% площади почв, обеспеченность которых оценивается как высокая и очень высокая. Увеличилась также доля почв, характеризующихся повышенным содержанием подвижных форм фосфора, что, возможно, произошло за счет сокращения доли среднеобеспеченных почв.

Особенно заметное обогащение пахотных почв подвижными формами фосфора произошло за годы третьего и четвертого туров агрохимического обследования. Так, по результатам четвертого цикла обследования 2/3 почв пашни имели повышенное, высокое и очень высокое содержание подвижного фосфора.

За годы пятого и шестого туров обследования произошло дальнейшее улучшение обеспеченности пахотных почв Предволжья фосфором, о чем свидетельствует возрастание сегмента почв, имеющих повышенное, высокое и очень высокое содержание подвижных форм фосфора, соответственно до 76 и 83% от общей площади пашни.

Таким образом, максимальная обеспеченность почв пашни исследуемой зоны республики была достигнута к концу XX века (1996-2000 года).

Результаты седьмого цикла обследования показали существенное ухудшение обеспеченности почв подвижными формами фосфора почти во всех группах. Буквально за пять лет суммарная доля почв, имеющих очень низкое, низкое и среднее содержание фосфора увеличилась в два раза (с 17 до 34%). Одновременно в 1,6 раза уменьшился сегмент высоко и очень высоко обеспеченных фосфором почв (с 58 до 36%). Лишь доля почв, отнесенных к повышенной группе обеспеченности, увеличилась на 5%.

Обеспеченность почв подвижными формами фосфора, установленная по итогам восьмого цикла агрохимического обследования почв Предволжья, существенно не отличалась от результатов предыдущего цикла. Можно было заметить лишь переход незначительной части (1%) почв, имеющих повышенную обеспеченность, в группу очень высоко обеспеченных.

Результаты двух последних циклов обследований, проведенных в 2011-2020 года, существенных изменений в обеспеченности пахотных почв подвижными формами фосфора не выявили: доли отдельных групп обеспеченности фосфором изменились в пределах не более 1-2%.

Как известно, обобщающим показателем обеспеченности почв подвижными формами фосфора представляется его средневзвешенное содержание.

АГРОНОМИЯ



Рис. 1 - Изменение обеспеченности пахотных почв Предволжья Республики Татарстан подвижными формами фосфора в 1965-2020 годах

По итогам первого цикла агрохимического обследования средневзвешенное содержание подвижных форм фосфора составило 93 мг/кг, что соответствует средней степени обеспеченности (рис. 2). Линия тренда показывает, что с первого по шестые циклы обследования наблюдалось устойчивое повышение подвижного фосфора, благодаря чему по итогам VI цикла обследования средневзвешенное содержание фосфора достигло 161 мг/кг, то есть произошло 1,7 кратное повышение подвижного фосфора. Благодаря этим изменениям почвы пашни исследуемого региона в конце XX века (VI цикл, 1996-2000 года) перешли в категорию высокообеспеченных подвижными формами фосфора.

Однако такая степень обеспеченности фосфором продержалась недолго. Результаты VII цикла обследования показали резкое снижение содержания подвижных форм фосфора -

до 141 мг/кг, что соответствует повышенной степени обеспеченности.

В 2005-2020 годах средневзвешенное содержание фосфора в пахотных почвах осталось практически неизменным, ибо оно варьировало в пределах 141-143 мг/кг.

Данные последнего срока наблюдения (2022 год) опять показали негативную тенденцию: за достаточно короткий период средневзвешенное содержание подвижных форм фосфора снизилось на 6 мг/кг почвы.

Характер изменения средневзвешенного содержания подвижных форм фосфора за весь период наблюдений хорошо описывался полиномиальным уравнением третьей степени ($R^2=0,8907$). Если же рассмотреть общую динамику изменения содержания подвижных форм фосфора во времени разделив на два периода, то обнаруживается разнонаправленная динамика:

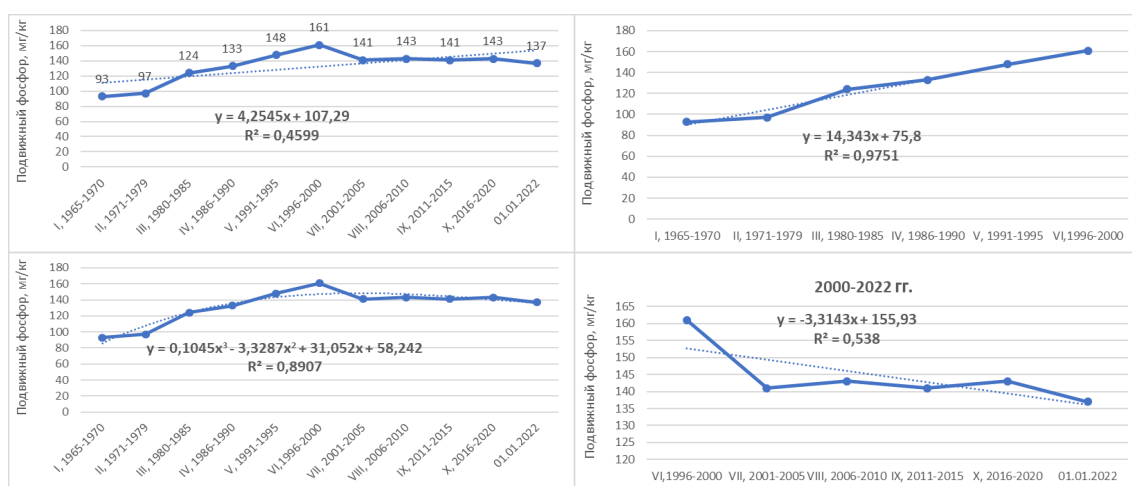


Рис. 2 - Характер изменения в почвах пашни Предволжья республики средневзвешенного содержания подвижного фосфора в 1965-2022 года

Если в течение первого периода (1965-2000 годах) происходило уверенное повышение подвижных форм фосфора

($R^2=0,9751$), то в дальнейшем (2000-2022 годах) - скачкообразное снижение ($R^2=0,538$).

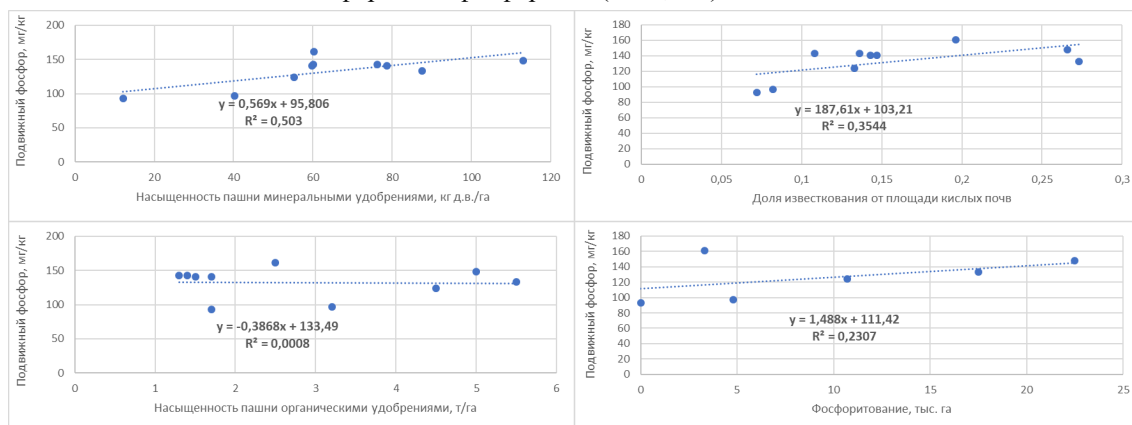


Рис. 3 - Характер влияния агрохимических факторов интенсификации земледелия на средневзвешенное содержание подвижного фосфора в почвах пашни Предволжья (1965-2020 годах)

Зависимость средневзвешенного содержания подвижного фосфора (Y, мг/кг почвы) от временного фактора (x, циклы агрохимического

обследования почв) в течение 1965-2000 годах описывалась линейным уравнением (1):

$$Y = 14,343 \cdot x + 75,8 \quad (1)$$

Линии тренда средневзвешенного содержания подвижных форм фосфора в пахотных почвах исследуемой зоны от агрохимических факторов интенсификации земледелия указывают на главенствующую роль уровня применения минеральных удобрений (рис. 3). Корреляционная зависимость (r) средневзвешенного показателя подвижного фосфора от среднегодовой нормы внесения минеральных удобрений (кг д.в./га), рассчитанная исходя из коэффициента детерминации ($R^2=0,503$), равнялась 0,71, то есть была высокой.

Регрессионная связь средневзвешенного содержания подвижного фосфора (Y , мг/кг) от насыщенности пашни минеральными удобрениями (x , кг д.в./га) описывалась уравнением (2):

$$Y=0,569 \cdot x+95,806 \quad (2)$$

Влияние уровня применения органических удобрений на содержание подвижных форм фосфора оказалось статистически недостоверным ($R^2=0,0008$). Примерно аналогичное явление нами было обнаружено ранее в условиях Балтасинского муниципального района республики [23].

Значимое влияние на динамику подвижного фосфора почв пашни исследуемой зоны оказало известкование кислых почв. Коэффициент детерминации (R^2) средневзвешенного содержания подвижного фосфора от интенсивности известкования (доля произвесткованных почв от общей площади кислых почв), равнялся 0,3544, что указывает на наличие заметной, согласно шкале Чеддока [24], парной корреляции ($r=0,60$). Данное

обстоятельство является хорошей иллюстрацией того, что устранение избыточной кислотности почв способствует переходу фосфора почв и удобрений в подвижное состояние.

Положительное влияние на обеспеченность почв подвижными формами фосфора проявило также фосфоритование ($R^2=0,2307$), однако сила воздействия этого агрохимического приема оказалась ниже действия интенсивности применения известковых и минеральных удобрений. Сравнительно слабое влияние фосфоритования на фосфатный режим почв, возможно, объясняется небольшой продолжительностью этого мелиоративного приема (1971-2000 годах).

Выводы. Таким образом, в динамике содержания подвижных форм фосфора обнаружилось два периода, резко отличающиеся по направленности: если в течение первого периода (1965-2000 годах) происходило уверенное повышение подвижных форм фосфора ($R^2=0,9751$), то в дальнейшем (2000-2022 годах) - скачкообразное снижение ($R^2=0,538$). Все агрохимические приемы – внесение минеральных и органических удобрений, фосфоритование и известкование на накопление подвижных форм фосфора оказали положительное влияние. По значимости положительного влияния на средневзвешенное содержание подвижных форм фосфора в почвах Предволжья исследованные агрохимические приемы расположились в следующий убывающий ряд: внесение минеральных удобрений ($R^2=0,5030$) > известкование ($R^2=0,3544$) > фосфоритование ($R^2=0,2307$) > внесение органических удобрений ($R^2=0,0008$).

Литература

1. Шафран С.А. Вклад минеральных удобрений в формирование урожайности полевых культур (сообщение 2). Фосфорные и калийные удобрения // Агрохимия. 2021. № 8. С. 9–16. doi: 10.31857/S0002188121080123.
2. Изучение фосфорных удобрений и фосфатного состояния почв / В.И. Титова, Л.Д. Варламова, Е.В. Дабахова и др. // Агрохимический вестник. 2011. № 2. С. 3-6.
3. Гинзбург К.Е. Фосфор основных типов почв СССР. М.: Наука, 1981. 244 с.
4. Руководство по проектированию применения удобрений в технологиях адаптивно-ландшафтного земледелия. Под ред. А. Л. Иванова, Л.М. Державина. М.: РАСХН, 2008. 392 с.
5. Сычев В.Г. Современное состояние плодородия почв и основные аспекты его регулирования. - М.: Российская академия наук, 2019. 328 с.
6. Давлятшин И.Д., Лукманов А.А., Маметов М.И. Источники фосфора и оценка их вклада в подвижный фонд этого элемента в пахотных почвах в лесостепной зоне // Достижения науки и техники АПК. 2018. № 32(4). С. 21-24. doi: 10.24411/0235-2451-2018-10404.
7. Ваулин А.В., Коваленко А.А., Варламов В.А. Изменение фосфатного режима дерново-подзолистой среднесуглинистой окультуренной почвы без внесения фосфорных удобрений // Агрохимический вестник. 2013. №3. С. 8-10.
8. Копосов Г.Ф. Определение в почвах содержания азота, фосфора и калия. - Казань: Изд-во Казанского ун-та, 2011. 362 с.
9. Адрианов С.Н. Оценка методов определения подвижных фосфатов в почве // Плодородие. 2008. № 2. С. 14-17.
10. Кулаковская Т.Н. Оптимизация агрохимической системы почвенного питания растений. М.: Агропромиздат, 1990. 218 с.
11. Волынкина О.В. Влияние применения фосфорного удобрения на варьирование прибавок урожайности сельскохозяйственных культур в условиях Зауралья // Агрохимия. 2023. № 5. С. 27–33. doi: 10.31857/S0002188123050113
12. Чайковская Л. А., Овсиенко О. Л. Фосфатмобилизирующие микроорганизмы: Биоразнообразие, влияние на минеральное питание растений и их продуктивность // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 4 (28). С. 159–182. doi: 10.33952/2542-0720-2021-4-28-159-182.
13. Ahmed N., Shahab S. Phosphate solubilization: their mechanism genetics and application // The Internet Journal of Microbiology. 2011. Vol. 9(1). P. 4408–4412. doi: 10.5580/2327.

14. Минеев В.Г., Ремпе Е.Х. Агрохимия, биология и экология почвы. М: Росагропромиздат, 1990. 206 с.
15. Совершенствование системы обработки почвы в агроландшафтах Среднего Поволжья / Р.В. Миникаев, Ф.Ш. Шайхутдинов, И.Г. Манюкова и др. Казань: Изд-во Казанского ГАУ, 2021. 400 с.
16. Лукманов А.А. Оценка вклада факторов в почвенный фонд фосфора в лесостепных черноземах Республики Татарстан // Агрохимический вестник. 2019. № 5. С. 3-7. doi: 10.24411/0235-2516-2019-10066.
17. Природа и природные ресурсы Республики Татарстан: иллюстрированная энциклопедия. Казань: Ин-т татарской энциклопедии и регионоведения АН РТ, 2019. 584 с.
18. Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и об охране окружающей среды Республики Татарстан в 2021 году. Казань, 2022. 490 с.
19. Трофимов Н. В., Сочнева С. В., Панасюк М. В. Методика разделения территории Республики Татарстан на агроландшафтные районы на основе зонирования природно-климатических ее условий // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2020. №. 4. С. 127-131. doi: 10.12737/2073-0462-2020-127-131
20. ГОСТ Р 54650-2011. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО.
21. ГОСТ 26204-91. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Чирикова в модификации ЦИНАО.
22. ГОСТ 26205-91. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Мачигина в модификации ЦИНАО.
23. Гилязов М.Ю., Лукманов А.А., Муратов М.Р. Длительное применение удобрений и продуктивность пашни. Казань: Изд-во Казанского ун-та, 2016. 220 с.
24. Котеров А.Н., Ушенкова Л.Н., Зубенкова Э.С., Калинина М.В., Бирюков А.П., Ласточкина Е.М., Молодцова Д.В., Вайнсон А.А. Сила связи. Сообщение 2. Градации величины корреляции // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2019. Т. 64. № 6. С. 12–24. doi: 10.12737/1024-6177-2019-64-6-12-24

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Финансирование работы отсутствовало.

Сведения об авторах:

Гилязов Миннегали Юсупович - доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры агрохимии и почвоведения, e-mail: mingilyazov@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0009-1077-8311>

Казанский государственный аграрный университет, г. Казань, Россия

Лукманов Анас Ахтямович – доктор сельскохозяйственных наук, директор, e-mail: Anas-Lukmanov@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-9709-8883>

Зарипов Дайнис Фаритович – аспирант, e-mail: zaripov122@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-2985-4088>
ФГБУ ЦАС «Татарский», г. Казань, Россия.

THE LEVEL OF AGROCHEMICALS APPLICATION AND PHOSPHATE REGIME OF ARABLE SOIL OF VOLGA REGION OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN

M. Yu. Gilyazov, A. A. Lukmanov, D. F. Zaripov

Abstract. The aim of the study was to assess the dynamics of the phosphate regime of soil and to establish its dependence on the level of application of fertilizers and chemical ameliorants. The object of the study was arable soils of Volga region of the Republic of Tatarstan (RT), located on the right bank of the Volga River. This region occupies the north-eastern part of the Volga Upland and makes up about 15% of the republic's area. Situated in the transition zone between the taiga-forest and steppe zones, Volga region of the republic is characterized by a wide distribution of gray forest soils and forest-steppe chernozems. The materials of the agrochemical service of the Republic of Tatarstan (FSBI CAS "Tatar") for 1965-2022 are analyzed. Mobile phosphorus forms were determined by standard methods depending on typical soil characteristics: according to Kirsanov in the modification of TsINAO (GOST R 54650-2011), Chirikov (GOST 26204-91), Machigin (GOST 26205-91). It was found that according to the cycles of agrochemical survey, the content of phosphorus mobile forms in the arable soils of Volga region fluctuated significantly: if during the first period (1965-2000) there was a confident increase in mobile forms of phosphorus (from 93 to 161 mg / kg), then later (2000-2022) there was a decrease (from 161 to 137 mg/kg). All agrochemical techniques - the introduction of mineral and organic fertilizers, phosphorization and liming had a positive effect on the accumulation of mobile forms of phosphorus. In terms of the significance of the positive impact on the average weighted content of mobile forms of phosphorus in the soils of Volga region, the studied agrochemical methods were arranged in the following descending order: application of mineral fertilizers, then liming, then phosphorization, and finally application of organic fertilizers.

Key words: agrochemical soil survey, mobile phosphorus, correlation, mineral fertilizers, organic fertilizers, liming, phosphorization.

For citation: Gilyazov M.Yu., Lukmanov A.A., Zaripov D.F. The level of agrochemicals application and phosphate regime of arable soil of Volga region of the Republic of Tatarstan. *Agrobiotechnology and Digital Agriculture*. 2024; 4(12). 18-24 p.

References

1. Shafran SA. [Contribution of mineral fertilizers to the formation of field crop yields (message 2). Phosphorus and potassium fertilizers]. *Agrokhimiya*. 2021; 8. 9-16 p. doi: 10.31857/S0002188121080123.
2. Titova VI, Varlamova LD, Dabakhova EV. [Study of phosphorus fertilizers and phosphate status of soils]. *Agrokhimicheskiy vestnik*. 2011; 2. 3-6 p.
3. Ginzburg KE. Fosfor osnovnykh tipov pochv SSSR. [Phosphorus of the main types of soils of the USSR]. Moscow: Nauka. 1981; 244 p.
4. Ivanov AL, Derzhavin LM. *Rukovodstvo po proektirovaniyu primeneniya udobreniy v tekhnologiyakh adaptivno-landshaftnogo zemledeliya*. [Methodological guidelines for the design of fertilizer application in adaptive landscape farming technologies]. Moscow: RASKhN. 2008; 392 p.
5. Sychev VG. *Sovremennoe sostoyanie plodorodiya pochv i osnovnye aspekty ego regulirovaniya*. [Current state of soil fertility and the main aspects of its regulation]. Moscow: Rossiyskaya akademiya nauk. 2019; 328 p.
6. Davlyatshin ID, Lukmanov AA, Mametov MI. [Sources of phosphorus and assessment of their contribution to the mobile fund of this element in arable soils in the forest-steppe zone]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2018; 32(4). 21-24 p. doi: 10.24411/0235-2451-2018-10404.

7. Vaulin AV, Kovalenko AA, Varlamov VA. [Changing the phosphate regime of sod-podzolic medium loamy cultivated soil without applying phosphorus fertilizers]. *Agrokhimicheskiy vestnik*. 2013; 3. 8-10 p.
8. Kuposov GF. *Opreделение v pochvakh sodержaniya azota, fosfora i kaliya*. [Determination of nitrogen, phosphorus and potassium content in soils]. Kazan: Izd-vo Kazanskogo un-ta. 2011; 362 p.
9. Adrianov SN. [Evaluation of methods for determining mobile phosphates in soil]. *Plodorodie*. 2008; 2. 14-17 p.
10. Kulakovskaya TN. *Optimizatsiya agrokhimicheskoy sistemy pochvennogo pitaniya rasteniy*. [Optimization of the agrochemical system of soil nutrition of plants]. Moscow: Agropromizdat. 1990; 218 p.
11. Volynkina OV. [Effect of phosphorus fertilizer application on variation in crop yield increases in the Trans-Urals region]. *Agrokhimiya*. 2023; 5. 27-33 p. doi: 10.31857/S0002188123050113
12. Chaykovskaya LA, Ovsienko OL. [Phosphate-mobilizing microorganisms: Biodiversity, influence on mineral nutrition of plants and their productivity]. *Tavricheskiy vestnik agrarnoy nauki*. 2021; 4 (28). 159-182 p. doi: 10.33952/2542-0720-2021-4-28-159-182.
13. Ahmed N, Shahab S. Phosphate solubilization: their mechanism genetics and application. *The Internet Journal of Microbiology*. 2011; Vol.9(1). 4408-4412 p. doi: 10.5580/2327.
14. Mineev VG, Remp EKh. *Agrokhimiya, biologiya i ekologiya pochvy*. [Agrochemistry, biology and ecology of soil]. Moscow: Rosagropromizdat. 1990; 206 p.
15. Minikaev RV, Shaykhutdinov FSh, Manyukova IG. [Improving the soil cultivation system in the agrolandscapes of the middle Volga region]. Kazan: Izd-vo Kazanskogo GAU. 2021; 400 p.
16. Lukmanov AA. [Assessment of the contribution of factors to the soil phosphorus fund in forest-steppe chernozems of the Republic of Tatarstan]. *Agrokhimicheskiy vestnik*. 2019; 5. 3-7 p. doi: 10.24411/0235-2516-2019-10066.
17. *Priroda i prirodnye resursy Respubliki Tatarstan: illyustrirovannaya entsiklopediya*. [Nature and natural resources of the Republic of Tatarstan: illustrated encyclopedia]. Kazan: In-t tatarskoy entsiklopedii i regionovedeniya AN RT. 2019; 584 p.
18. *Gosudarstvennuy doklad o sostoyanii prirodnkh resursov i ob okhrane okruzhayushchey sredy Respubliki Tatarstan v 2021 godu*. [State report on the state of natural resources and environmental protection of the Republic of Tatarstan in 2021]. Kazan. 2022; 490 p.
19. Trofimov NV, Sochneva SV, Panasyuk MV. [Methodology for dividing the territory of the Republic of Tatarstan into agro-landscape regions based on zoning of its natural and climatic conditions]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2020; 4. 127-131 p. doi: 10.12737/2073-0462-2020-127-131
20. GOST R 54650-2011. *Pochvy. Opreделение podvizhnykh soedineniy fosfora i kaliya po metodu Kirsanova v modifikatsii TsINAO*. [Soil. Determination of mobile phosphorus and potassium compounds by Kirsanov method as modified by TsINAO].
21. GOST 26204-91. *Pochvy. Opreделение podvizhnykh soedineniy fosfora i kaliya po metodu Chirikova v modifikatsii TsINAO*. [Soil. Determination of mobile phosphorus and potassium compounds by Chirikov method as modified by TsINAO].
22. GOST 26205-91. *Pochvy. Opreделение podvizhnykh soedineniy fosfora i kaliya po metodu Machigina v modifikatsii TsINAO*. [Soil. Determination of mobile compounds of phosphorus and potassium by Machigin method modified by TsINAO].
23. Gilyazov MYu, Lukmanov AA, Muratov MR. *Dlitelnoe primeneniye udobreniy i produktivnost pashni*. [Long-term use of fertilizers and arable land productivity]. Kazan: Izd-vo Kazanskogo un-ta. 2016; 220 p.
24. Koterov AN, Ushenkova LN, Zubenkova ES, Kalinina MV, Biryukov AP, Lastochkina EM, Molodtsova DV, Vaynson AA. [Strength of connection. Message 2. Gradations of the correlation value]. *Meditsinskaya radiologiya i ratsionnaya bezopasnost*. 2019; Vol.64. 6. 12-24 p. doi: 10.12737/1024-6177-2019-64-6-12-24

Conflict of interest

The author declares that there is no conflict of interest. There was no funding for the work.

Authors:

Gilyazov Minnegali Yusupovich - Doctor of Agricultural Sciences, Professor of Agrochemistry and soil science Department, e-mail: mingilyazov@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0009-1077-8311>
Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.
Lukmanov Anas Akhtyamovich – Doctor of Agricultural Sciences, director, e-mail: Anas-Lukmanov@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-9709-8883>
Zaripov Daynis Faritovich – postgraduate student, e-mail: zaripov122@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-2985-4088>
FSBI TsAS “Tatarskiy”, Kazan, Russia.