

Научная статья

УДК 661.634.2.061

DOI: 10.53914/issn2071-2243_2022_2_79

Современные тест-методы и их использование в качестве контроля потребления фосфатов разной степени очистки в ходе вегетационного опыта

Наталья Леонидовна Багнавец^{1✉}, Алексей Валерьевич Жевнеров²,Марина Викторовна Григорьева³^{1, 2, 3}Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия¹nbagnavec@yandex.ru[✉]

Аннотация. Изучена возможность использования блистерно-колориметрического метода определения фосфат-ионов в блистерной ячейке, которая наполнена смесью сухих реагентов в виде россыпи. Данный метод позволяет полуколичественно определять содержание фосфора в различных объектах агросферы с использованием россыпи, упакованной в ампулу или блистер (без применения растворов реагентов). Простота и доступность метода позволяет использовать его для контроля потребления фосфора (в виде фосфатов) растениями, благодаря чему становится возможным регулировать внесение питательных веществ в виде подкормок на разных этапах вегетативного роста растений. Одним из обязательных условий применения минеральных удобрений является исполнение требований их безопасности для здоровья человека, животных и растений, а также окружающей среды. При производстве фосфорных удобрений часто используют фосфорную кислоту, полученную путем очистки с использованием органических растворителей. В лабораторных условиях авторами выделена очищенная экстракционным способом с использованием 100% трибутилфосфата фосфорная кислота. На ее основе и на основе химически чистой фосфорной кислоты было синтезировано концентрированное фосфорное удобрение магний-аммонийфосфат ($MgNH_4PO_4$), которое было использовано в технологии выращивания культуры томата. Внесение подкормок проводили под контролем потребления фосфатов в различные фазы вегетации томатов описанным выше тест-методом. Подобраны оптимальные условия фотометрирования – необходимое время выдержки 8–10 минут. Исследовано влияние мешающих ионов на точность экспресс-метода. Показано отсутствие токсического воздействия органического растворителя, который был применен для очистки фосфорной кислоты от примесей, на рост растений.

Ключевые слова: фосфорные удобрения, фосфорная кислота, экстракционная очистка, трибутилфосфат, определение фосфатов, тест-методы

Для цитирования: Багнавец Н.Л., Жевнеров А.В., Григорьева М.В. Современные тест-методы и их использование в качестве контроля потребления фосфатов разной степени очистки в ходе вегетационного опыта // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2021. Т. 15, № 2(73). С. 79–86. https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2022_2_79–86.

AGRICULTURAL CHEMISTRY (AGRICULTURAL SCIENCES)

Original article

Natalya L. Bagnavets^{1✉}, Aleksey V. Zhevnerov², Marina V. Grigorieva³

Russian Timiryazev State Agrarian University, Moscow, Russia

¹nbagnavec@yandex.ru[✉]

Modern test methods and their use for controlling the consumption of phosphates of various degrees of purification in a greenhouse trial

Natalya L. Bagnavets^{1✉}, Aleksey V. Zhevnerov², Marina V. Grigorieva³

Russian Timiryazev State Agrarian University, Moscow, Russia

¹nbagnavec@yandex.ru[✉]

Abstract. The authors have studied the possibility of using the blister colorimetric method for the determination of phosphate ions in a blister cell filled with a mixture of dry chemical agents in the form of placer. This method allows semi-quantitative determination of phosphorus content in various objects of the agrosphere using a placer packed in an ampoule or blister (without using chemical agents solutions). The simplicity and affordability of this method allow using it to control the consumption of phosphorus (in the form of phosphates) by plants, which makes it possible to regulate the application of nutrients in the form of supplementary fertilizers at different stages of plant vegetative growth. One of the prerequisites for the application of mineral fertilizers is the fulfillment of requirements for their safety for human, animal and plant health, as well as the environment. Production of

phosphate fertilizers often uses phosphoric acid obtained by purification using organic solvents. Under laboratory conditions, the authors have isolated phosphoric acid purified by extraction using 100% tributyl phosphate. Together with chemically pure phosphoric acid it was used as the basis to synthesize a concentrated phosphorus fertilizer magnesium ammonium phosphate ($MgNH_4PO_4$), which was used in the technology of growing tomato crops. Supplementary fertilizers were applied under the control of phosphates consumption in different phases of growing season of tomatoes by the test method described above. Optimum conditions for photometry have been selected with the required exposure time of 8-10 minutes. The authors have studied the effect of interfering ions on the accuracy of express method. It has been shown that there is no toxic effect of the organic solvent used to purify phosphoric acid from impurities on plant growth.

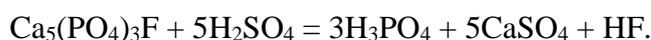
Key words: phosphorus fertilizers, phosphoric acid, solvent purification, tributyl phosphate, determination of phosphates, test methods

For citation: Bagnavets N.L., Zhevnerov A.V., Grigorieva M.V. Modern test methods and their use for controlling the consumption of phosphates of various degrees of purification in a greenhouse trial. Vestnik of Voronezh State Agrarian University. 2022;15(2):79-86. (In Russ.). https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2022_2_79-86.

Введение

Известно, что фосфор относится к невосполнимым компонентам питания растений, поэтому для выращивания многих сельскохозяйственных культур, прежде всего для повышения их урожайности, широко используют различные фосфорные удобрения, потребность в которых постоянно растет. Вместе с этим неуклонно повышаются требования к экологической безопасности применяемых удобрений. Фосфорные удобрения представляют собой минеральные вещества, как правило, кальциевые или аммонийные соли фосфорной кислоты. Эти вещества содержат фосфор в доступной для растений форме и обеспечивают растения этим элементом питания.

Сырьем для получения большинства фосфорных удобрений является фосфорная кислота (ФК), получаемая в результате сернокислотного вскрытия природных фосфоритов, содержащих, помимо фосфата кальция, примеси различной природы и состава [1].



Эта так называемая экстракционная фосфорная кислота (ЭФК) содержит множество примесей, которые должны быть полностью или частично удалены перед использованием ФК для производства фосфорных удобрений различного состава.

Существует несколько современных способов очистки ЭФК от примесей, одним из которых является очистка с применением органических растворителей (экстрагентов) различной природы. Одним из промышленных экстрагентов является трибутилфосфат (ТБФ), представляющий собой с химической точки зрения сложный эфир бутанола и фосфорной кислоты. ТБФ – это бесцветная жидкость, плохо растворимая в воде (0,39 г/л воды при 19 °С), но хорошо растворимая в органических растворителях. ТБФ устойчив к гидролизу, к действию кислот, оснований, окислителей и восстановителей. Он является доступным и недорогим экстрагентом.

Сущность метода экстракционной очистки органическими экстрагентами заключается в следующем: ЭФК приводят при перемешивании в тесный контакт с органическим растворителем (100% ТБФ), который практически не растворяется в воде. В органическую фазу экстрагируется большая часть фосфорной кислоты и незначительное количество примесей. Затем эмульсию разделяют. Водная фаза, которая получается после разделения органической и водной фаз, называется рафинат. Она содержит некоторое количество фосфорной кислоты и большую часть примесей. Рафинат часто используют для производства удобрений. Но качество получаемых удобрений не соответствует нормам экологической безопасности. В органическую фазу, экстракт, переходит большая часть фосфорной кислоты и незначительное количество разнообразных по химической природе примесей. Затем проводят процесс реэкстракции, приводя экстракт в контакт с водой или водными растворами других неорганических веществ. В результате реэкстракции получают ФК, которая отличается значительно большей степенью чистоты,

чем исходная ЭФК. Эта кислота может быть использована для синтеза фосфорных удобрений, а также для получения фосфатов пищевого качества.

Одним из обязательных условий применения минеральных удобрений является исполнение требований безопасности для здоровья человека, животных и растений, а также окружающей среды. Актуальное направление в этом плане – использование тест-методов для предварительной оценки содержания фосфатов в почве. Это способствует удешевлению и массовому распространению химического анализа как средства рационального решения задач контроля и экологического мониторинга экосистем [11].

Определение содержания фосфора в природных водоемах, в почве, различных физиологических жидкостях, в сырой и сухой биомассах [3] – один из наиболее необходимых и важных видов химического анализа в медицине, биологии и сельском хозяйстве [8, 9].

Предлагаемый экспрессный тест-метод определения фосфат-ионов позволяет полуколичественно оценивать содержание фосфат-ионов в почвенных вытяжках, природных водоемах и физиологических жидкостях. Особенность данного метода заключается в том, что показатели растворов молибденофосфорной сини могут быть достигнуты в тонком слое раствора [4]. В стандартном способе зрительный эффект при близкой к максимальной концентрации фосфат-ионов достигается при толщине оптического слоя 20 мм, в то время как в нашем случае толщина слоя в блистерной ячейке составляет менее 2 мм. При этом судить об окраске можно не по всей массе окрашенного вещества, а только по ее верхней части. Определенный практический интерес вызывает возможность использования данного тест-метода для контроля потребления фосфатов в вегетационном опыте по сравнению эффективности применения фосфорных удобрений, синтезированных с использованием ФК различной химической чистоты.

Для реализации цели исследования были поставлены и решены следующие задачи:

- проведение опыта по очистке экстракционной фосфорной кислоты с использованием в качестве экстрагента 100% трибутилфосфата (ТБФ);
- синтез магний-аммонийфосфата с использованием очищенной экстракционным способом фосфорной кислоты и химически чистой фосфорной кислоты;
- проведение вегетационных опытов по выращиванию культуры томатов с использованием синтезированного удобрения;
- сравнение урожайности культуры томата при использовании магний-аммонийфосфата, синтезированного на базе кислоты, очищенной экстракционным способом, и химически чистой ФК.
- определение возможной токсичности органического растворителя, следы которого оставались в ФК, полученной экстракционным способом, в ходе проведения вегетационных опытов;
- изучение возможности контроля потребления фосфатов с использованием экспрессных методов анализа фосфат-ионов.

Многозадачность проведенного исследования позволила на разных его этапах привлекать учащихся РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева для выполнения практических заданий. Подобная практика способствует повышению интереса учащихся к процессу обучения и мотивирует к получению навыков, необходимых для их дальнейшей профессиональной деятельности.

Материалы и методы

Методика очистки ЭФК 100% трибутилфосфатом. Водную фазу (ЭФК) и органическую фазу (100% ТБФ) приводили в контакт и эмульгировали с помощью магнитной мешалки ММ-5 (400–450 об/мин.). Время контакта фаз составляло 15 минут,

что соответствует достижению равновесия в процессе экстракции [2]. Разделение фаз на водную и органическую проводили в делительной воронке. Реэкстракцию фосфорной кислоты из органической фазы проводили дистиллированной водой. Реэкстракт с низким содержанием примесей использовали для получения фосфорного удобрения – магний-аммонийфосфата $MgNH_4PO_4$.

Методика получения магний-аммонийфосфата [5]. В стакан вместимостью 500 мл приливали 100 мл 10% раствора хлорида магния, прибавляли 60 мл 2 н. раствора HCl и 140 мл дистиллированной воды. В полученный раствор добавляли 40 г гидрофосфата натрия $Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O$ и нагревали до кипения. К горячему раствору приливали в присутствии фенолфталеина 10% раствор гидроксида аммония до щелочной реакции среды. Полученный отфильтрованный осадок высушивали и использовали в вегетационном опыте. Магний-аммоний фосфат синтезировали в двух вариантах:

- с использованием химически чистой ФК;
- с использованием ФК, очищенной с помощью экстрагента трибутилфосфата.

Методика проведения вегетационного опыта. В качестве опытной культуры использовали гибрид томата. Опыты проводили в 5-кратной повторности. В качестве субстрата использовали верховой и низинный торф, содержащий низкие количества доступных питательных веществ. В сосуды для посадки томатов набивали по 7 л смеси торфа с добавлением питательных веществ.

Схема вегетационного опыта. До высадки рассады в грунт вносили на одно растение: 5 г фосфора в пересчете на P_2O_5 , 0,5 г N, 1 г калия в пересчете на K_2O , 0,824 г магния и микроэлементы.

Опыты проводили по двум вариантам, выравненным по содержанию элементов питания:

- 1) магний-аммонийфосфат на основе очищенной ФК + преципитат + НК (с учетом N в фосфорсодержащем удобрении);
- 2) магний-аммонийфосфат на основе химически чистой ФК+ преципитат + НК (с учетом N в фосфорсодержащем удобрении).

В течение вегетационного опыта было внесено 11 подкормок, в результате которых на одно растение приходилось 14 г калия в пересчете на K_2O , 8 г азота, 0,176 г магния и микроэлементы.

В опыте использовались следующие соли: нитрат кальция $Ca(NO_3)_2$, нитрат калия KNO_3 , сульфат калия K_2SO_4 , нитрат аммония NH_4NO_3 , двойной суперфосфат $Ca(H_2PO_4)_2$, преципитат $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$, сульфат магния $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, а также соли, содержащие микроэлементы.

Исследования в ходе вегетационного опыта проводились в агрохимической лаборатории имени Д.Н. Прянишникова РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева.

Приготовление почвенной вытяжки для определения содержания фосфора тест-методом осуществляли следующим образом. Отобранный образец почвы высушивали в сушильном шкафу или на воздухе. К 2 г почвы, взвешенной на технических весах, добавляли 5 мл 1М раствора хлорида калия и перемешивали в течение 3–5 минут, после этого фильтровали. Почвенную вытяжку использовали для выполнения анализа на содержание фосфатов. При необходимости проводили разбавление почвенной вытяжки до необходимой концентрации PO_4^{3-} .

Определение фосфатов в почвенной вытяжке. С целью контроля внесения и содержания в почве фосфора в виде фосфат-ионов использовали полуколичественный тест-метод. В качестве тест-средства использована тест-россыпь и колористическая

шкала к ней. Визуально-колористическую реакцию проводили, добавляя 3 капли анализируемого раствора (почвенной вытяжки) в ячейку. Реакцию проводили в блистерной ячейке. Время, необходимое для развития окраски раствора, составляло примерно 8 минут. Интенсивность окраски была пропорциональна концентрации фосфат-ионов в растворе (рис. 1).

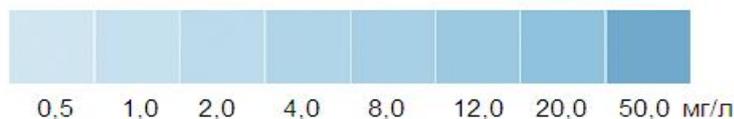


Рис. 1. Колористическая шкала для полуколичественного определения фосфат-ионов

Определение фосфора проводилось с использованием научного оборудования центра коллективного пользования «Сервисная лаборатория комплексного анализа химических соединений» ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева.

Результаты и их обсуждение

Вегетационный опыт носил поисковый характер и ставил своей задачей изучить сравнительное действие эквивалентных доз питательных веществ минеральных солей, полученных из фосфорной кислоты разной степени очистки. Результаты вегетационного опыта представлены в таблице 1.

Таблица 1. Сравнительное действие растворимых капсулированных удобрений с ограниченной растворимостью на урожай плодов томата

Вариант	Урожай плодов томата по повторностям, кг на одно растение					S	В среднем на растение
	1	2	3	4	5		
1. СаНРО ₄ + MgNH ₄ РО ₄ (на основе очищенной ФК) НКМг с микроэлементами в корневые подкормки	2,86	2,78	2,98	2,92	2,77	14,26	2,85
2. СаНРО ₄ + MgNH ₄ РО ₄ (на основе химически чистой) НКМг с микроэле- ментами в корневые под- кормки	2,93	2,85	2,79	2,91	2,87	14,35	2,87

Данные таблицы 1 свидетельствуют о том, что полученное с использованием очищенной 100% трибутилфосфатом удобрение магний-аммоний фосфат (вариант 1) не уступало по действию удобрению, полученному с использованием химически чистой фосфорной кислоты (вариант 2).

Средняя урожайность томата по вариантам отличается незначительно. Она колеблется от 2,77 до 2,98 кг с одного растения на варианте № 1 и от 2,79 до 2,93 кг на варианте № 2. Известно, что растения томата поглощают сравнительно небольшое количество фосфора, однако чувствительны к его недостатку в почве. Томат слабо усваивает фосфор из труднорастворимых соединений, что и определяет повышенные требования к обеспеченности почвы легкоусвояемыми формами фосфора [6, 7]. В нашем случае наличие хорошо растворимого магний-аммонийфосфата в смеси удобрений в обоих вариантах оказало стимулирующее воздействие на развитие томатов. Из множества овощных культур томат наиболее отзывчив на содержание легко усвояемых фосфатов в почве. Достаточное количество фосфора обеспечивает высокие прибавки урожая, ускоряет созревание и улучшает качество плодов томата. Подобная тенденция характерна для всех регионов с различными почвенными показателями.

Полученные результаты говорят об отсутствии угнетающего действия на рост растений томата растворенного экстрагента – трибутилфосфата, который в незначительном количестве все же остается в реэкстракте в процессе получения очищенной фосфорной кислоты.

Следует отметить, что на протяжении вегетационного опыта в почве была слабкокислотная среда ($\text{pH} \approx 5,5\text{--}6,0$), что, безусловно, способствовало гидролизу трибутилфосфата до нетоксичных продуктов. Также очевидно, что была достигнута достаточная степень очистки кислоты и от остальных катионных и анионных примесей в ЭФК при использовании в качестве экстрагента 100% ТБФ.

Уровень потребления фосфора определяли по содержанию фосфатов в почвенной вытяжке каждые 7 дней вегетационного опыта. В результате выявлено несколько особо активных периодов потребления фосфора растениями томатов (рис. 2).

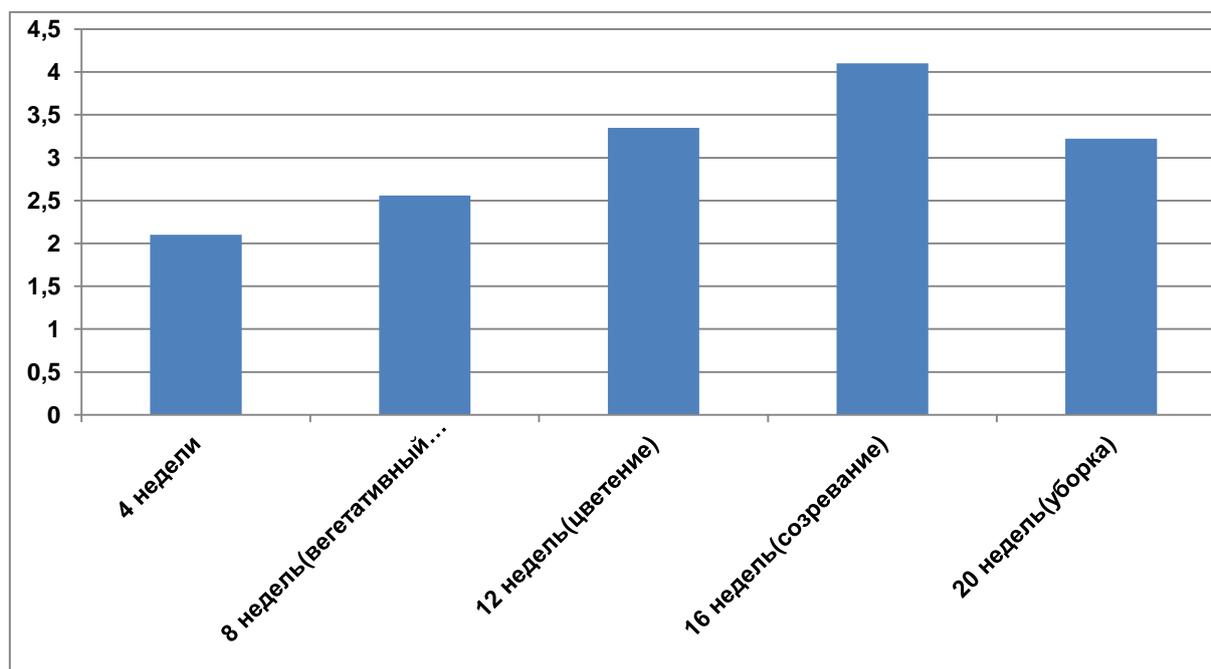


Рис. 2. Потребление фосфора растениями томата в ходе вегетационного опыта, г на 1 растение

Первые три недели после высадки рассады потребление фосфора было незначительным, менее 1 г на растение. Начиная с 4-й недели вегетации потребление фосфора значительно возрастало, более 2 г на растение. В начальный период развития растениям необходима хорошая обеспеченность фосфором. Это обуславливает высокую продуктивность и раннее образование плодов. Основной пик потребления фосфора приходится на период плодоношения, когда вынос фосфора максимален, более 4 г на растение.

Использование тест-метода полуколичественного определения фосфатов позволило оперативно контролировать потребление фосфора и своевременно вносить подкормки. Период между подкормками составил в среднем 10–12 дней.

При полуколичественном определении фосфат-ионов в виде восстановленной МФК следует исключать влияние мешающих ионов. Известно, что основной трудно устранимой примесью при очистке ФК с использованием органических растворителей является фтороводородная кислота. При концентрации фторидов выше 70 мг/л возможна ошибка при определении фосфатов. Однако в нашем случае такие концентрации фторидов в вытяжке не фиксировались. Оксид железа (III) в виде примеси до 20 мг/л незначительно влияет на интенсивность окраски (погрешность меньше 5%).

Результаты изучения селективности реакции определения фосфат-ионов с добавлением мешающих компонентов приведены в таблице 2.

Таблица 2. Влияние посторонних ионов на блистерно-колориметрическое определение фосфат-ионов (введено 2 мг/л PO_4^{3-} , $n = 3$, $P = 0,95$)

Посторонние ионы	Концентрация, мг/л	Найдено фосфат-ионов, мг/л	S_r
F^-	70,0	$1,90 \pm 0,10$	0,05
SiO_3^{2-}	5,0	$2,10 \pm 0,11$	0,05
Fe^{3+}	20,0	$2,10 \pm 0,11$	0,01

Выводы

1. Очищенную с помощью органического растворителя (100% трибутилфосфата) фосфорную кислоту можно использовать наряду с химически чистой кислотой для синтеза фосфорных удобрений, в частности магний-аммоний фосфата.

2. Урожайные данные при добавлении магний-аммоний фосфата, синтезированного на основе очищенной экстракционным способом фосфорной кислоты, практически не отличаются от результатов урожайности томатов при использовании MgNH_4PO_4 , полученного на основе химически чистой ФК.

3. Использование полуколичественного тест-метода определения фосфора позволило отследить потребление фосфора растениями в различные периоды вегетации и оптимизировать процесс внесения подкормок.

4. Были определены оптимальные условия использования тест-системы. Время реакции образования фосфорно-молибденовой сини в блистерной ячейке составляет около 8 минут. Это позволяет использовать данную тест-систему для полуколичественного определения фосфат-ионов с целью оперативного контроля за потреблением фосфора в условиях вегетационного опыта.

Список источников

1. Багнавец Н.Л., Чащина Е.С. Использование очищенной экстракционным способом фосфорной кислоты для получения чистых удобрений // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2010. № 5. С. 151–155.
2. Багнавец Н.Л., Клинский Г.Д., Смарыгин С.Н. Получение очищенной фосфорной кислоты // Промышленность Казахстана. Алматы, 2005. № 4. С. 60–62.
3. Золотов Ю.А., Иванов В.М., Амелин В.Г. Химические тест-методы анализа. Москва УРСС, 2002. 302 с.
4. Князев Д.А., Жевнеров А.В., Иванов В.М., Князев В.Д. Блистерно-колориметрическое определение фосфат-ионов в воде, сельскохозяйственных объектах и биологических жидкостях // Журнал аналитической химии. 2007. Т. 62, № 1. С. 45–49.
5. Лаврентьева О.В., Лисов Н.И., Данилушкина Е.Г. Неорганическая химия: лабораторный практикум. 3-е изд., доп. Самара: Самарский государственный технический университет, 2021. 167 с.
6. Минаков И.А., Бекетов А.В., Зюзя А.В. Эффективность производства овощей защищенного грунта // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2007. № 1. С. 103–111.
7. Полтораднев М.С., Бессарабенко И.В., Гребенникова Т.В. Технология выращивания томатов в открытом грунте в условиях засушливого климата с применением водорастворимых минеральных удобрений // Питание растений. Вестник Международного института питания растений. 2015. № 3. С. 9–10.
8. Bollinger D.W., Tsunoda A., Ledoux D.R., Ellersieck M.R., Veum T.L. A simple *in vitro* test tube method for estimating the bioavailability of phosphorus in feed ingredients for swine // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2004. Vol. 52(7). Pp. 1804–1809. DOI: 10.1021/jf0345907.
9. Mallarino A.P., Blackmer A.M. Comparison of Methods for Determining Critical Concentration of Soil Test Phosphorus for Corn // Agronomy Journal. 1992. Vol. 84(5). Pp. 850–856. DOI: 10.2134/AGRONJ1992.00021962008400050017X.
10. Sang J., Yu G., Zhang X., Wang Z. Relation between phosphorus and bacterial regrowth in drinking water // Huan Jing Ke Xue. 2003. Vol. 24(4). Pp. 81–84.
11. Sibbesen, E., Sharpley A.N., ..., Johnston A. Setting and justifying upper critical limits for phosphorus in soils. H. Tunney et al. (ed.). Phosphorus Loss from Soil to Water. CAB International, London, 1997.

References

1. Bagnavets N.L., Chashchina E.S. Ispol'zovanie ochishchennoj ekstraktsionnym sposobom fosfornoj kisloty dlya polucheniya chistyykh udobrenij [The use of phosphoric acid purified by the extraction method to obtain pure fertilizers]. *Izvestiya Timiryazevskoj sel'skokhozyajstvennoj akademii = Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2010;5:151-155. (In Russ.).
2. Bagnavets N.L., Klinskii G.D., Smarygin S.N. Poluchenie ochishchennoj fosfornoj kisloty [Obtaining purified phosphoric acid]. *Promyshlennost' Kazakhstana = Industry of Kazakhstan*. 2005;4:60-62. (In Russ.).
3. Zolotov Yu.A., Ivanov V.M., Amelin V.G. Khimicheskie test-metody analiza [Chemical test methods of analysis]. Moscow: URSS Press; 2002. 302 p. (In Russ.).
4. Knyazev D.A., Zhevnerov A.V., Ivanov V.M., Knyazev V.D. Blisterno-kolorimetriceskoe opredelenie fosfat-ionov v vode, sel'skokhozyajstvennykh ob"ektakh i biologicheskikh zhidkostyakh [Blister-colorimetric determination of phosphate ions in water, agricultural samples, and biological samples]. *Zhurnal analiticheskoy khimii = Journal of Analytical Chemistry*. 2007;62(1):50-53. (In Russ.).
5. Lavrentieva O.V., Lisov N.I., Danilushkina E.G. Neorganicheskaya khimiya: laboratornyj praktikum. 3-e izd., dop. [Inorganic chemistry: laboratory-based practical. 3rd edition, enlarged]. Samara: Samara State Technical University; 2021. 167 p. (In Russ.).
6. Minakov I.A., Beketov A.V., Zyuzya A.V. Effektivnost' proizvodstva ovoshchej zashchishchennogo grunta [Production efficiency of vegetables of a protective ground]. *Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of Michurinsk State Agrarian University*. 2007;1:103-111. (In Russ.).
7. Poltoradnev M.S., Bessarabenko I.V., Grebennikova T.V. Tekhnologiya vyrashchivaniya tomatov v otkrytom grunte v usloviyakh zasushlivogo klimata s primeneniem vodorastvorimykh mineral'nykh udobrenij [Technology of growing tomatoes in open ground in arid climates using water-soluble mineral fertilizers]. *Pitanie rastenij. Vestnik Mezhdunarodnogo instituta pitaniya rastenij = Plant Nutrition Today. A Publication of the International Plant Nutrition Institute*. 2015;3:9-10. (In Russ.).
8. Bollinger D.W., Tsunoda A., Ledoux D.R., Eilersieck M.R., Veum T.L. A simple *in vitro* test tube method for estimating the bioavailability of phosphorus in feed ingredients for swine. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2004;52(7):1804-1809. DOI: 10.1021/jf0345907.
9. Mallarino A.P., Blackmer A.M. Comparison of Methods for Determining Critical Concentration of Soil Test Phosphorus for Corn. *Agronomy Journal*. 1992;84(5):850-856. DOI: 10.2134/AGRONJ1992.00021962008400050017X.
10. Sang J., Yu G., Zhang X., Wang Z. Relation between phosphorus and bacterial regrowth in drinking water. *Huan Jing Ke Xue*. 2003;24(4):81-84.
11. Sibbesen, E., Sharpley A.N., ..., Johnston A. Setting and justifying upper critical limits for phosphorus in soils. H. Tunney et al. (ed.). *Phosphorus Loss from Soil to Water*. CAB International, London; 1997.

Информация об авторах

Н.Л. Багнавец – кандидат технических наук, доцент кафедры химии ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», nbagnavec@yandex.ru.

А.В. Жевнеров – кандидат химических наук, доцент кафедры химии ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», jevnerov@mail.ru.

М.В. Григорьева – кандидат педагогических наук, доцент кафедры химии ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», marina_gry@inbox.ru.

Information about the authors

N.L. Bagnavets, Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Chemistry, Russian Timiryazev State Agrarian University, nbagnavec@yandex.ru.

A.V. Zhevnerov, Candidate of Chemical Sciences, Docent, the Dept. of Chemistry, Russian Timiryazev State Agrarian University, jevnerov@mail.ru.

M.V. Grigorieva, Candidate of Chemical Sciences, Docent, the Dept. of Chemistry, Russian Timiryazev State Agrarian University: marina_gry@inbox.ru.

Статья поступила в редакцию 28.03.2022; одобрена после рецензирования 12.05.2022; принята к публикации 27.05.2022.

The article was submitted 28.03.2022; approved after revision 12.05.2022; accepted for publication 27.05.2022.

© Солопов В.А., Анциферова О.Ю., Акиндинов В.В., 2022