

Оригинальная статья

УДК 502/504:631.4:626.8

DOI: 10.26897/1997-6011-2022-2-48-55

ТЕСТ-РОССЫПИ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОЙ КОСТРЫ КОНОПЛИ ДЛЯ ЭКСПРЕССНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОДВИЖНЫХ ФОРМ ФОСФОРА И СУЛЬФИТОВ В ПОЧВАХ И ВОДНЫХ ПРОБАХ

ЖЕВНЕРОВ АЛЕКСЕЙ ВАЛЕРЬЕВИЧ[✉], канд. хим. наук, доцент
jevnerov@mail.ru

БЕЛОПУХОВ СЕРГЕЙ ЛЕОНИДОВИЧ[✉], д-р с.-х., наук, профессор,
директор Института агробиотехнологий
belopuhov@mail.ru

БАГНАВЕЦ НАТАЛЬЯ ЛЕОНИДОВНА, канд. техн. наук, доцент
nbagnavec@yandex.ru

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Москва, ул. Тимирязевская, 49. Россия

Оптимизированы методы изготовления тест-россыпей и составы для визуально-блистерного колориметрического определения концентраций фосфат-ионов и сульфит-ионов для их количественного определения в почвах и водных объектах. Тест-россыпь содержит все реагенты для аналитической реакции. Россыпи позволяют количественно определять фосфаты и сульфиты в водных пробах без предварительного приготовления растворов реагентов. В блистерной ячейке диаметром 6 мм гораздо более интенсивная окраска достигалась при слое раствора не более 2 мм. Нанесение на поверхность гомогенизированной и обесцвеченной костры конопля реagens позволяет избежать их контакта до момента протекания химической аналитической реакции. Состав россыпей и условия нанесения реагентов оптимизированы. Достаточно высокую кислотность способны обеспечить гидросульфат-ионы при добавлении нескольких капель раствора. Реакция протекает в объеме добавляемого испытуемого раствора, который составляет 2-3 капли.

Ключевые слова: водные ресурсы, водоемы, почвы, тест-методы анализа, костра конопля, фосфаты, сера, сульфиты, концентрации, оценка содержания

Формат цитирования: Жевнеров А.В., Белопухов С.Л., Багнавец Н.Л. Тест-россыпи на основе модифицированной костры конопля для экспрессного определения подвижных форм фосфора и сульфитов в почвах и водных пробах // Природообустройство. – 2022. – № 2. – С. 48-55. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-48-55.

© Жевнеров А.В., Белопухов С.Л., Багнавец Н.Л., 2022

Scientific article

TEST PLACES BASED ON MODIFIED HEMP BONFIRES FOR EXPRESS DETERMINATION OF MOBILE FORMS OF PHOSPHORUS AND SULFATES IN SOILS AND WATER SAMPLES

ZHEVNEROV ALEXEY VALERIEVICH[✉], candidate of chemical sciences, associate professor,
associate professor of the department of chemistry
jevnerov@mail.ru

BELOPUKHOV SERGEY LEONIDOVICH[✉], doctor of agricultural sciences, professor,
Director of the Institute of Agro-Biotechnology
belopuhov@mail.ru

BAGNAVETS NATALYA LEONIDOVNA, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
nbagnavec@yandex.ru

Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after C.A. Timiryazev; 127434, Moscow, Timiryazevskaya, 49. Russia

The methods of manufacturing test placers and compositions for visual-blister colorimetric determination of concentrations of phosphate ions and sulfite ions for their quantitative determination

in soils and water bodies have been optimized. The test placer contains all the reagents for the analytical reaction. Placers allow the quantitative determination of phosphates and sulfides in aqueous samples without prior preparation of reagent solutions. In a blister cell with a diameter of 6 mm, a much more intense color was achieved with a solution layer of no more than 2 mm. The application of reagents to the surface of homogenized and discolored hemp awns avoids their contact until the chemical analytical reaction takes place. The composition of placers and the conditions for applying reagents are optimized. Sufficiently high acidity can be provided by hydrosulfate ions with the addition of a few drops of solution. The reaction proceeds in the volume of the added test solution, which is 2-3 drops.

Keywords: water resources, reservoirs, soils, test methods of analysis, hemp awns, phosphates, sulfur, sulfites, concentrations, content assessment

Format of citation: Zhevnerov A.V., Belopukhov S.L., Bagnavets N.L. Test placers based on modified hemp awn for express determination of mobile forms of phosphorous and sulfites in soils and water samples // Prirodoobustrojstvo. 2022. – № 2. – S. 48-55. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-2-48-55.

Введение. Будучи одним из главных элементов питания живых организмов растений, фосфор усваивается в виде солей ортофосфорной кислоты, а также солей полифосфорных кислот [1-6]. Таким образом, в растениях наряду с органическим фосфором присутствуют неорганические фосфорные соединения для обеспечения роста и жизнедеятельности клеток и для резерва фосфора. Именно в таких формах этот элемент широко распространен в воде водоемов, почвах, в горных породах, в живых клетках, пищевых продуктах, а также во многих искусственно полученных материалах. Накопление в воде биогенных элементов под действием антропогенных

и естественных факторов ведет к их эвтрофикации.

Соединения серы являются одними из основных веществ, загрязняющих гидросферу [7]. По степени воздействия на человеческий организм сернистый ангидрид относится к III классу опасности как умеренно-опасное химическое вещество. Вместе с тем сера – биогенный элемент, необходимый для живых организмов, и обязательный элемент питания растений. Контроль за содержанием этих элементов в почве и водоемах представляет большой интерес с точки зрения как лабораторных методов, так и тест-методов анализа. В таблице 1 приведены ПДК стоков для сброса в канализацию.

Таблица 1

ПДК стоков для сброса в канализацию

Table 1

MPC of effluents for discharge into sewerage

	Ед. изм Units	ПДК сточных вод MPC of effluents
Фосфор общий ПДК сточных вод на сброс в бытовую систему канализации населенных пунктов <i>Phosphorus total MPC of effluents for discharge into the household sewerage system of settlements</i>	мг/л mg/l	12
Фосфор фосфатов ПДК сточных вод ливневой канализации населенных пунктов <i>Phosphorus of phosphates MPC of effluents of storm sewerage of settlements</i>	мг/л mg/l	12
Фосфор общий ПДК сточных вод на сброс в общесплавную или бытовую систему канализации <i>Phosphorus total MPC of effluents for discharge into the combined or household sewerage system</i>	мг/л mg/l	1,5
Сульфиды ПДК сточных вод ливневой канализации населенных пунктов <i>Sulfides MPC of effluents of storm sewerage of settlements</i>	мг/л mg/l	1,5
ПДК сточных вод на сброс в ливневую систему канализации <i>MPC of effluents for discharge into the storm sewerage system</i>	мг/л mg/l	1,5

Поиск оптимальных методов оценки фосфатного режима в водоемах, а также других агрохимических показателей продолжает оставаться актуальной задачей [1, 2, 5, 7-12].

В анализируемом растворе фосфор может присутствовать в виде трех основных форм [1, 5, 7]. Такими формами являются ортофосфат-ионы, органический фосфор и конденсированный

фосфор. Общим фосфором называется сумма этих форм. К таким параметрам, как предел обнаружения, воспроизводимость и экспрессность методов анализа, предъявляются повышенные требования, что стимулирует в аналитической химии фосфат-ионов, так же, как и в химии других ионов, преимущественное развитие инструментальных и автоматизированных методов [6, 7, 13, 14]. Особое внимание обращается на тест-методы [15].

Физические и химические (ковалентное закрепление или иммобилизация) – это два основных способа нанесения компонентов аналитической реакции на поверхность носителя [16-19]. Подобные методы не закреплены ГОСТами. При разработке химических тест-методов предлагают различные способы закрепления реагентов, разнообразны также и методы их изготовления. В качестве носителей используют целлюлозу, полиуретан, неорганические адсорбенты и другие материалы. Таким образом, тест-методы можно классифицировать в основном по способам изготовления.

В литературе приводятся различные экспрессные способы и тест-системы для контроля качества водных ресурсов [1, 2, 5, 7-10, 20-23]. Используя предлагаемый нами метод, удается достичь более высоких оптических плотностей окрашенных растворов. При этом существенно снижается и объем, необходимый для проведения аналитической реакции. В стандартных методиках визуальное тестирование при максимальном содержании фосфат-ионов достигается при толщине оптического слоя около 20 мм [5, 7, 8, 20, 21]. Минимальный диаметр ячейки составляет 4-10 мм, и синяя окраска развивалась при слое раствора до 2 мм [24].

Материалы и методы исследований. Синий цвет при определении фосфатов в водных пробах и почвенных вытяжках и фиолетовый цвет при определении сульфитов предлагаемым способом развивается быстрее и интенсивнее за счет весьма высоких концентраций веществ, в частности, за счет максимальных концентраций гептамолибдат-ионов. Гептамолибдат-анионы $[Mo_7O_{24}]^{6-}$ имеют значительный высокий отрицательный заряд в начальный момент времени. С этим связаны очень большая ионная сила раствора и активность всех ионов. Корректная количественная оценка этого эффекта сильно затруднена ввиду отсутствия соответствующей теории для концентрированных растворов сильных электролитов [7]. Для достижения необходимого уровня pH подобраны кристаллические вещества, обеспечивающие необходимую кислотность (выбор производился эмпирически).

Активные концентрации веществ, образующих синь, были значительно увеличены. Производился поиск кристаллического и негигроскопического вещества, способного обеспечить приемлемую кислотность в объеме нескольких капель раствора и подходящего восстановителя. Объем добавляемого (анализируемого) раствора составляет 0,2-0,3 мл [7].

Свойства предложенной россыпи не изменяются при комнатной температуре, если она герметически закрыта. Хранится она в течение 3 мес. Тест-россыпь пригодна для тестирования водных растворов, а также почвенных вытяжек и природных вод. Диапазон определяемых концентраций составил от 0,5 до 100 мг/л в пересчете на фосфат-ионы и 0,08-1 мг/л в пересчете на сульфит-ионы. В блистерной ячейке получены результаты с экспозицией 3-5-10-20-30 мин. Ход изменения окраски (оттенков синего цвета) монотонен и почти одинаков для концентраций фосфат-ионов и сульфит-ионов. При $[PO_4^{3-}]$ ниже 10 мг/л оттенки хорошо различаются лишь при 2-3-кратном изменении концентрации исследуемых растворов [7]. При концентрациях фосфат-ионов выше 10 мг/л наблюдалось более четкое различие. Цветовую шкалу составляли эмпирически, а также переводили ее в цифровой вид через приложение Litur, выдающее обозначение цвета в HEX-формате, который можно поменять на RGB или HSB. С этой целью были проведены массовые испытания (тестирование) [25].

В ходе испытаний тест-россыпями исследовали сорбент растительного происхождения: конопляную костру, целлюлозу, а для сравнения с ранее изученными тест-системами – алюмогель и силикагель. Важно было, чтобы все нанесенные химические реактивы (реагенты) были, с одной стороны, надежно изолированы друг от друга, с другой стороны, в момент прибавления испытуемого раствора быстро и в стехиометрических соотношениях переходили бы в раствор.

Испытаны несколько типов силикагелей и других сорбентов (носителей). Хорошие результаты показали целлюлоза, измельченная и отбеленная костра. Приведены исследования сорбентов (носителей) на предмет их модифицирования для использования в различных областях [5, 8-10]. В работе [20] отражено то, как силикагель был использован в таблетках различного состава для полуколичественного определения NO_3^- и NO_2^- . Для нанесения реагентов важными факторами являются правильный выбор температуры и время вакуумирования, время сорбирования.

Первоначально исследовали россыпи, содержащие парные реагенты. Так, исследовали оптимизированные по составу реагентов и носителей россыпи (табл. 2) [2, 7].

Таблица 2

Состав тест-россыпей с различными сорбентами и реагентами

Table 2

Composition of test-placers with various sorbents and reagents

	Компоненты <i>Components</i>	Обозначение тест-россыпи / <i>Test placer designation</i>			
		В-а ^а	В-а	В-б ^б	В-в
		массовая доля, % / <i>mass fraction, %</i>			
Реактивы <i>Reagents</i>	$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1.4-3.4	1.0-2.2	1.4-4.4	4.0-8.0
	$\text{K}(\text{SbO})\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$	0.08-0.2	0.08-0.6	0.2-0.8	0.2-0.6
	KHSO_4	0.0	8-20.0	11.0-16.5	8.0-14.2
	$\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6$	0.8-1.25	1.2-1.6	0.8-1.6	0.0
	$\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$	0.8-2.0	0.8-2.0	1.0-4.0	0.5-2.0
Сорбенты <i>Sorbents</i>	Костра конопли <i>Hemp awn</i>	60.0	65.0	0.0	52.4
	Алюмогель (альфа-форма окси алюминия) <i>Alumagel (alfa form of aluminum oxide)</i>	0.0	0.0	48.2	0.0
Расплывание / <i>Diffusion</i>		присут <i>present</i>	отсутст <i>absent</i>	присут <i>present</i>	отсутст <i>absent</i>
Кислотность / <i>Acidity</i>		1.2-2.4	1.2-2.4	1.6-2.2	1.2-2.0
Окраска с 3 каплями раствора PO_4^{3-} , 80 мг/л <i>Coloration with 3 drops of solution PO_4^{3-}, 80 mg/l</i>		серо- синяя <i>grey-blue</i>	серо- синяя <i>grey-blue</i>	черно-синяя <i>black and blue</i>	синяя <i>blue</i>
Окраска с 3 капли испытываемой воды <i>Coloration with 3 drops of tested water</i>		бледно- голубая <i>pale blue</i>	голубая <i>light blue</i>	серо- голубая <i>blue-gray</i>	голубая <i>light blue</i>

Примечание. ^а сероватый оттенок, ^б взвесь. *Note. ^а grayish hue, ^б suspension.*

Количество носителя (сорбента) подбирали для каждого типа индивидуально. Цветометрические и спектрофотометрические характеристики тест-системы оптимизировали с привлечением массовых измерений. В таблице 2 приводится состав по реагентам для фотометрической реакции. Необходимая кислотность pH 1.4-2.8 обеспечивалась за счет внесения гидросульфата калия [7].

Нами был предложен вариант определения фосфат-ионов и сульфит-ионов в водных пробах над поверхностью тест-системы – россыпью, содержащей смесь реагентов [2, 7]. Метод – экспрессный, то есть время для развития окраски составляет не более 2 мин. При этом возможно как качественное, так и полуколичественное и количественное определение фосфатов и сульфатов. В связи с отсутствием различий гранулометрических характеристик и физических свойств различных компонентов россыпи с нанесенными реагентами гомогенизация россыпей упрощается. Оптимизированы процессы смешивания высушенных компонентов в единую россыпь. Все реагенты индивидуально

наносили на гомогенизированную и отбеленную костру из водных растворов с концентрациями, которые составляли 85-90% от насыщенных. Оптимизировали время выдерживания растворов в контакте с кострой. Далее россыпи на основе костры просушивали при температуре 40°C.

Для обеспечения лучших аналитических качеств тест-системы для сульфит-ионов количество носителя и содержание компонентов оптимизировали опытным путем. В таблице 3 приводятся составы россыпей с действующими веществами для аналитической реакции.

Приоритетными характеристиками разработанной тест-россыпи являются постоянство химических и физических свойств, гомогенность и отсутствие гигроскопичности. Процесс достижения однородности микрообъемов по реагентному составу представляет собой смешение отдельных россыпей. Гомогенизацию осуществляли после высушивания. Контроль гомогенизации осуществляли с помощью микроскопа. Влажность контролировали с помощью влагоанализатора ОНАУСМВ25.

**Основные варианты составов россыпей для определения сульфит-ионов
на основе гомогенизированных смесей для определения сульфит-ионов в водных пробах**

Table 3

**Main variants of placer compositions for the determination of sulfite ions
based on homogenized mixtures for the determination of sulfite ions in aqueous samples**

	Компоненты / свойства <i>Components/ properties</i>	1	2	3	4
Реактивы <i>Reagents</i>	Фосфорная кислота / Phosphoric acid	2	3.0	4.0	
	Фуксин основной / Fuchsin basic	0.2	0.44	0.60	
	Формальдегид, 12% раствор <i>Formaldehyde, 12% solution</i>	4.5	8.5	12.5	
Сорбент <i>Sorbent</i>	Костра конопля / Hemp awn	64.3	66.5	58.2	52.4
Наблюдения <i>Observations</i>	Экспозиция, сутки / Exposure, day	21	21	21	60
	Распыливание / Diffusion	нет	нет	нет	да
	pH	2.4-2.6	2.4-2.8	2.8-3.2	2.8-3.5
	3 капли испытуемого раствора SO₃²⁻, 120 мг/л <i>3 drops of tested solution SO₃²⁻, 120 mg/l</i>	серо-розовая <i>grey-pink</i>	темно-фиолетовая <i>dark purple</i>	темно-фиолетовая <i>dark purple</i>	розовая <i>pink</i>
	3 капли испытуемого раствора SO₃²⁻, 0 мг/л <i>3 drops of tested solution SO₃²⁻, 0 mg/l</i>	бледно-розовая <i>pale pink</i>	слабая темно-фиолетовая <i>weak dark purple</i>	светло-бурая <i>light brown</i>	бледно-розовая <i>pale pink</i>

Тест-система в виде россыпи не должна заметно изменять свою массу и не должна проявлять гигроскопичность в нормальных условиях. Для изучения гигроскопичности комбинированных россыпей изготовили 8 одинаковых образцов. Выдерживали образцы в различных условиях: в вакуумированных емкостях при комнатной температуре, в среде с повышенным влажностью, а также герметично закрытыми при температуре 6-8°C.

Каждые 4 дня в течение 6 недель исследовали изменение физических свойств россыпей. Наилучшие результаты проявляли россыпи, хранившиеся в холодильнике, герметично упакованные. Россыпи, хранившиеся при повышенной влажности, приобрели серо-синюю окраску и теряли сыпучесть. Герметично закрытые порции россыпи открывали, описывали внешние изменения и проводили тест-определение фосфат-ионов с применением тест-шкалы, цифровой шкалы (с использованием цифрового анализатора цвета), изучали спектральные характеристики россыпей при различных концентрациях с использованием спектрофотометра (рис. 1).

При использовании россыпей, хранящихся при комнатной температуре, отклонения наблюдались через 4 мес. со дня изготовления. Россыпи, хранившиеся в холодильнике, воспроизводили одинаковые результаты и после 6-месячного эксперимента. Отсутствие света являлось главным условием при хранении тест-россыпи. Россыпи следует хранить в темной упаковке.

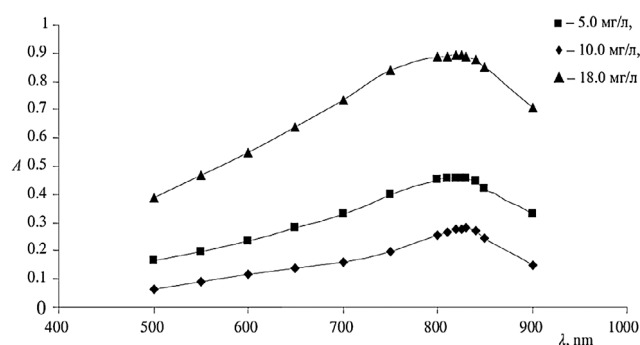


Рис. 1. Оптическая плотность растворов фосфат-ионов в зависимости от концентрации фосфат-ионов с применением россыпи на основе гомогенизированных смесей

Fig. 1. Optical density of solutions depending on the concentration of phosphate ions with the use of placer based on homogenized mixtures

Визуально-колористическую реакцию необходимо проводить в условиях, когда прибавляют 3 капли анализируемого раствора. При этом реакцию проводят в блистерной ячейке в течение необходимого времени, требуемого для развития окраски раствора. В ходе экспериментов были получены результаты с различной экспозицией. Очевидно, что они существенно зависят от временной выдержки. Ход изменений монотонен и приблизительно одинаков для всех концентраций. После построения и корреляции колористической шкалы и стандартизации изготовления тест-россыпи была проведена

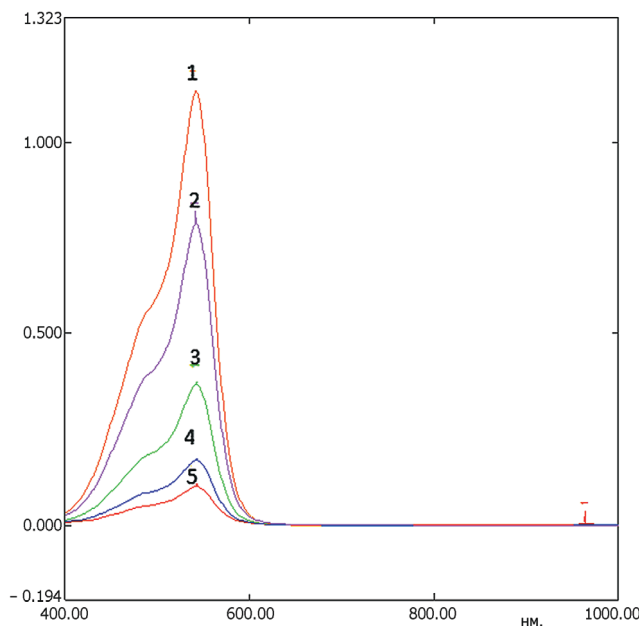


Рис. 2. Спектр поглощения раствора в зависимости от концентрации сульфит-ионов с применением россыпи на основе гомогенизированных смесей с костью конопли в качестве носителя: 1-5,0 мг/л; 2-10,0 мг/л; 3-20,0 мг/л; 4-50 мг/л; 5-100 мг/л (двухлучевой сканирующий спектрофотометр UV-1900i (Shimadzu))

Fig. 2. The spectrum of absorption of the solution depending on the concentration of sulfite ions using a placer based on homogenized mixtures with hemp awn as a carrier: 1-5.0 mg/l, 2-10.0 mg/l, 3-20.0 mg/l, 4-50 mg/l, 5-100 mg/l (two-beam scanning spectrophotometer UV-1900i (Shimadzu))

Исследования проводились при поддержке и с использованием научного оборудования учебно-методического центра коллективного пользования «Сервисная лаборатория комплексного анализа химических соединений» РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.

Библиографический список

1. Иванова Г.Г., Иванов А.А., Шпигун О.А. Определение форм фосфора в природных водах // Вестник МГУ. Серия 2 «Химия». – 1999. – Т. 40, № 2. – С. 118-123.
2. Жевнеров А.В. Реагентная смесь для блистерного экспресс-тестирования и фотометрического определения фосфат-ионов из малых объемов водных проб: дис. ... канд. хим. наук. – М., 2006. – 135 с.
3. Блистерно-колориметрическое определение фосфат-ионов в воде, сельскохозяйственных объектах, биологических жидкостях / Д.А. Князев и др. // Журнал аналитической химии. – 2007. – Т. 62, № 1. – С. 45-49. doi: 10.1134/S106193480701008X.
4. Simoni R.D., Hill R.L., Vaughan M. The determination of phosphorus and the discovery

Zhevnerov A.V., Belopukhov S.L., Bagnavets N.L.

Test placers based on modified hemp awn for express determination of mobile forms of phosphorous and sulfites in soils and water samples

серия испытаний тест-метода с использованием массовых измерений с привлечением «наивных наблюдателей» [7, 25].

Выводы

Разработанный экспрессный тест-метод определения фосфат-ионов и сульфат-ионов позволяет полуколичественно оценивать их содержание в природных водоемах. В качестве тест-средства предложены тест-россыпь и колористическая шкала или приложение. Свойства россыпи не изменяются при комнатной температуре, если она герметически закрыта. Хранится она в течение 3 мес. при температуре 8-10°C.

Предложены оптимизированные варианты россыпей, которые подверглись тщательному статистическому анализу. Выявлено, что более надежно как для приготовления, так и для хранения и использования тест-системы, вносить каждый компонент по отдельности на носитель. Это позволяет исключить возможность нежелательного контакта реагентов и тем самым исключить протекание нежелательных (побочных) реакций. Исследовали лишь тест-россыпи, составленные из индивидуальных компонентов. В процессе исследований также разработана уникальная методика хранения микроколичеств реактивов на поверхности различных сорбентов – как минеральных, так и растительных. Это открывает широкие возможности для унификации методики для изготовления других тест-систем как для химического, так и для других видов анализа и тестирования.

The research was carried out with the support and with the use of scientific equipment of the educational and methodological center for collective use "Service Laboratory of Complex analysis of Chemical Compounds" of the Russian State Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev.

References

1. Ivanova G.G., Ivanov A.A., Shpigun O.A. Opredelenie form fosfora v prirodnyh vodah. Vestnik MGU. Serija 2: himija. – 1999, T. 40, № 2, SS. 118-123.
2. Zhevnerov A.V. Reagentnaya smes dlya blisternogo expressa testirovaniya i fotometricheskogo opredeleniya fosfat-ionov iz malyh objemov vodnyh prob: dis. kand. him. nauk. – M., 2006. – 135 s.
3. Blisterno-kolorimetriceskoe opredelenie fosfat-ionov v vode, selskhozajstvennyh objektah, biologicheskikh zhidkostyah / Knjazev D.A. [i dr.] // Zhurnal analiticheskoy himii. – 2007. – T. 62. № 1. – S. 45-49. doi: 10.1134/S106193480701008X
4. Simoni R.D., Hill R.L., Vaughan M. The determination of phosphorus and the discovery of Phosphocreatine and ATP: the Work of Fiske

of Phosphocreatine and ATP: the Work of Fiske and Subba Row // *J. Biol. Chem.* – 2002. – Vol. – 277(32) p. e21. doi:10.1016/S0021-9258(20)70222-X.

5. Analysis of river watersamples utilizing a prototype industrial sensing system for phosphorus based on micro-system technology / M. Bowden et al. // *J. Environ. Monit.* – 2002. – Vol. 4(5). – Pp. 767-771. doi:10.1039/B200330A.

6. Relation between phosphorus and bacterialregrowth in drinking water / J. Sang et al. // *Huan Jing KeXue.* – 2003. – Vol. 24(4). – Pp. 81-84.

7. **Акимов В.С.** Диоксид серы и основные источники загрязнения атмосферы диоксидом серы // *Научный журнал.* – 2017. – № 6-1(19). – С. 18-20.

8. **Пучков Е.М., Галкин А.В., Ущাপовский И.В.** Технология производства сорбентов из костры масличного льна // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока.* – 2019. – Т. 20, № 5. – С. 517-525. doi: 10.30766/2072-9081.

9. Phosphorus analysis an early predictive factor inpatients with acute liver failure /A. Baquerizoet al. // *Transplantation.* – 2003. – Vol. 75(12). – Pp. 2007-2014. doi:10.1097/01.TP.0000063219.21313.32.

10. **Золотов Ю.А., Иванов В.М., Амелин В.Г.** Химические тест-методы анализа. – М.: УРСС, 2002. – 304 с.

11. A simple in vitrotest tube method for estimating the bioavailability of phosphorus in feed ingredientsfor swine / D.W. Bollingeret et al. // *J. Agric. Food Chem.* – 2004. – Vol. 52(7). – Pp. 1804-1809. doi:10.1021/jf0345907.

12. Predicting the potential of soils to supply phosphorus by integrating soil chemical processes and standard soil tests/A.Rotterdam et al. // *Geoderma.* – 2012. – Vol. 189. – Pp. 617-626. doi:10.1016/J.GEODERMA.

13. Spectrophotometric determination of iron, aluminium and phosphorus in soil and sediments extracts after their nitric and perchloric acid digestion /J.Kopaceket al. // *Communic. in Soil Science and Plant Analysis.* – 2001. – Vol. 32(9, 10). – Pp. 1431-1443. doi:10.1081/CSS-100104203.

14. **Zalba P., Galantini J.A.** Modified soil-test methods for extractable phosphorus in acidic, neutral and alkaline soils // *Communic. in Soil Science and Plant Analysis.* – 2007. – Vol. 38. – Pp. 1579-1587. doi:10.1080/00103620701378508.

15. **Subba Rao A., Sammi Reddy K., Takkar P.N.** Malachite Green Method Compared to Ascorbic Acid for Estimating Small Amounts of Phosphorus in Water, 0.01M Calcium Chloride and Olsen Soil Extracts // *Communic. in Soil Science and Plant Analysis.* – 1997. – Vol. 26(6-8). – Pp. 589-601.

16. Разработка тест-росыпей для блистерно-колориметрического анализа фосфат-ионов / А.В. Жевнеров и др. // *Мелиорация и водное хозяйство.* – 2020. – № 4. – С. 24-29.

17. **Тертых В.А., Белякова Л.А.** Химические реакции с участием поверхности кремнезема. – Киев: Наукова думка, 1991. – 264 с.

and Subba Row. *J. Biol. Chem.*, 2002, Vol. 277(32). pp. e1-e2. doi:10.1016/S0021-9258(20)70222-X

5. **Bowden M.,** et al. Analysis of river water samples utilizing a prototype industrial sensing system for phosphorus based on micro-system technology. *J. Environ. Monit.*, 2002, Vol. 4(5), pp. 767-771. doi:10.1039/B200330A

6. **Sang J.,** et al. Relation between phosphorus and bacterial regrowth in drinking water. *Huan Jing KeXue*, 2003, Vol. 24(4), pp. 81-84.

7. **Akimov V.S.** Диоксид серы и основные источники загрязнения атмосферы диоксидом серы // *Научный журнал [Scientific journal],* – 2017. no. 6-1(19), – S. 18-20.

8. **Puchkov E.M., Galkin A.V., Ushhapovskij I.V.** *Technologiya proizvodstva serbentov iz kostry maslichnogo ljna // Agrarnaya nauka Euro-Severo-Vostoka.* – 2019. – Т. 20. No. 5. – S. 517-525. doi: 10.30766/2072-9081.

9. **Baquerizo A., et al.** Phosphorus analysis an early predictive factor in patients with acute liver failure. *Transplantation.* – 2003. – Vol. 75(12). – pp. 2007-2014. doi:10.1097/01.TP.0000063219.21313.32

10. **Zolotov Ju.A., Ivanov V.M., Amelin V.G.** *Himicheskie test-metody analiza.* – М.: URSSPubl., 2002. – 304 s.

11. **Bollinger D.W.,** et al. A simple in vitro test tube method for estimating the bioavailability of phosphorus in feed ingredients for swine. // *J. Agric. Food Chem.* – 2004. – Vol. 52(7). – pp. 1804-1809. doi:10.1021/jf0345907

12. **Rotterdam A.,** et al. Predicting the potential of soils to supply phosphorus by integrating soil chemical processes and standard soil tests. // *Geoderma.* – 2012. – Vol. 189. – pp. 617-626. doi:10.1016/J.GEODERMA.2012.07.003

13. **Kopacek J.,** et al. Spectrophotometric determination of iron, aluminium and phosphorus in soil and sediments extracts after their nitric and perchloric acid digestion. *Communic. in Soil Science and Plant Analysis.* – 2001. – Vol. 32(9, 10). – pp. 1431-1443. doi:10.1081/CSS-100104203

14. **Zalba P., Galantini J.A.** Modified soil-test methods for extractable phosphorus in acidic, neutral and alkaline soils. // *Communic. in Soil Science and Plant Analysis.* – 2007. – Vol. 38. pp. 1579-1587. doi:10.1080/00103620701378508

15. **Subba Rao A., Sammi Reddy K., Takkar P.N.** Malachite Green Method Compared to Ascorbic Acid for Estimating Small Amounts of Phosphorus in Water, 0.01M Calcium Chloride And Olsen Soil Extracts. *Communic. in Soil Science and Plant Analysis.* – 1997. – Vol. 26(6-8). – pp. 589-601.

16. *Razrabotka test-rossypej dlja blisterno-kolorimetriceskogo analiza fosfat-ionov. / A.V. Zhevnerov i dr. // Melioratsija i vodnoe hozjajstvo.* – 2020. – № 4. – S. – 24-29.

17. **Tertyh V.A., Beljakova L.A.** *Himicheskie reaktsii s uchastiem poverhnosti kremnezema.* – Kiev: Naukova dumka Publ., 1991. – 264 s.

18. **Микленеа Я.** Адсорбция малых ионов. Адсорбция из растворов на поверхности твердых тел. – М.: Мир, 1986. – С. 261-272.

19. **Eskandari B., Samavati M., Peikam E.N.** Evaluation of absorbable phosphorus in some of soil samples from the county of bahar using various extractants // Intern. J. of Agronomy and Agricultural Research. – 2015. – Vol. 7(2). – Pp. 210-217.

20. **Mallarino A.P., Blackmer A.M.** Comparison of Methods for Determination Critical Concentration of Soil Test Phosphorus for Corn // Argon. J. – 1992. – Vol. 84(5). – Pp. 850-856.

21. **Bolland M.D.A., Wilson I.R.** Comparison of Standart and total Colwell Procedures for Measuring Soil Test Phosphorus // Communic. in Soil Science and Plant Analysis. – 1994. – Vol. 25(13-14). – Pp. 2395-2407.

22. **Амелин В.Г.** Индикаторные бумаги в тест-методах визуальной колориметрии // Журнал аналитической химии. – 2002. – Т. 57, № 8. – С. 867-873. doi:10.1023/A:1016834211704.

23. **Ghanei A.H., Hosseinpour A.** Evaluation of paper strips covered with iron oxide in determination of absorbable phosphorus in a number of soils of Hamedan // Water and Soil Sciences. – 2004. – Vol. 8. – Pp. 95-105.

24. Модифицированные кремнеземы в сорбции, катализе и хроматографии / Г.В. Лисичкин, А.А. Сердан, Г.В. Кудрявцев и др.; Под ред. Г.В. Лисичкина. – М.: Химия, 1985. – 246 с.

25. Коррекция градуировочной шкалы для визуального полуколичественного экспресс-определения фосфат-ионов в сельскохозяйственных объектах / Д.А. Князев и др. // Аналитическая химия. – 2006. – Т. 61, № 12. – С. 1149-1153. doi: 10.1134/S1061934806120045.

Критерии авторства

Жевнеров А.В., Белопухов С.Л., Багнавец Н.Л. выполнили теоретические и экспериментальные исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись. Имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов

Статья поступила в редакцию 28.12.2021 г.

Одобрена после рецензирования 18.04.2022 г.

Принята к публикации 25.04.2022 г.

18. **Mycleneа Ya.** Adsorbtsiya malyh ionov. Adsorbtsiya iz rastvorov na poverhnosti tverdyh tel. – М.: Мир, 1986. – С. 261-272.

19. **Eskandari B., Samavati M., Peikam E.N.** Evaluation of absorbable phosphorus in some of soil samples from the county of bahar using various extractants. Intern. J. of Agronomy and Agricultural Research. – 2015. – Vol. 7(2), pp. 210-217.

20. **Mallarino A.P., Blackmer A.M.** Comparison of Methods for Determination Critical Concentration of Soil Test Phosphorus for Corn. Argon. J., – 1992. – Vol. 84(5). – pp. 850-856.

21. **Bolland M.D.A., Wilson I.R.** Comparison of Standart and total Colwell Procedures for Measuring Soil Test Phosphorus. Communic. in Soil Science and Plant Analysis, 1994, Vol. 25(13-14), pp. 2395-2407.

22. **Amelin V.G.** Indikatornye bumagi v test-metodah vizualnoj kolorimetrii // Zhurnal analiticheskoy himii. – 2002. – Т. 57. № 8. – С. 867-873. doi:10.1023/A:1016834211704

23. **Ghanei A.H., Hosseinpour A.** Evaluation of paper strips covered with iron oxide in determination of absorbable phosphorus in a number of soils of Hamedan // Water and Soil Sciences. – 2004. – Vol. 8. – pp. 95-105.

24. Modifitsirovannyye kremnezemy v sorbtsii, katalize i hromatografii. / Lisichkin G.V., Serdan A.A., Kudryavtsev G.V. i dr. / Pod red G.V. Lisichkina. – М.: Himki, 1985. 246 s.

25. **Knyazev D.A.** Korrektsiya graduirovочноj shkaly dlja vizualnogo polukolichestvennogo ekspress-opredelenija fosfat-ionov v selskohozjajstvennyh objektah / D.A. Knyazev [i dr.] Zhurn. analit. Himii. – 2006. – Т. 61, no. 12. – С. 1149-1153. doi: 10.1134/S1061934806120045

Criteria of Authorship

Zhevnerov A.V., Belopukhov S.L., Bagnavets N.L. carried out theoretical and experimental studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. Zhevnerov A.V., Belopukhov S.L., Bagnavets N.L. have copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare that there are no conflicts of interests

The article was submitted to the editorial office 28.12.2021

Approved after reviewing 18.04.2022

Accepted for publication 25.04.2022