

Научная статья

УДК 542.61+547.775

<http://doi.org/10.17072/2223-1838-2022-1-17-24>

## Разработка метода прямого экстракционно-спектрофотометрического определения молибдат-ионов в системе антипирин – сульфосалициловая кислота – вода

Виктория Павловна Кузалбаева, Александра Александровна Юминова

Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

**Аннотация.** Расслаивающаяся система антипирин – сульфосалициловая кислота – вода исключает применение токсичных органических растворителей, позволяет проводить групповое выделение макро- и микроколичеств элементов в небольшую по объему (~2 мл) водно-органическую фазу; в указанной фазе легко растворяются многие фотометрические реагенты. Разработан экстракционно-спектрофотометрический способ определения молибдат-ионов с фенилфлуороном. Определены оптимальные условия образования окрашенного соединения с органическим реагентом: максимумы светопоглощения; оптимальное время развития окраски; количество фотометрического реагента, диапазон линейности градуировочного графика. В оптимальных условиях комплексообразования фенилфлуорона с  $\text{MoO}_4^{2-}$  ( $\lambda = 526$  нм,  $\tau = 20$  мин,  $C_R = 5 \cdot 10^{-5}$  моль/л) построен градуировочный график. Закон Бугера–Ламберта–Бера выполняется в интервале от 10–60 мкг Мо(VI)/20 мл. Рассчитан молярный коэффициент светопоглощения, который составил  $9,2 \cdot 10^4$ . Изучено влияние мешающих ионов на прямое экстракционно-спектрофотометрическое определение молибдат-ионов. Установлено, что определению 50,0 мкг молибдена (VI) не мешают: 5000-кратный мольный избыток Ni(II), Co(II), Cr(III), Mn(II), Cd(II), Zn(II), Pb(II); 500-кратный мольный избыток Re(VII); 1-кратный мольный избыток In(III), W(VI).

**Ключевые слова:** расслаивающиеся системы; молибдат-ионы; фенилфлуорон; спектрофотометрия.

**Для цитирования:** Кузалбаева В.П., Юминова А.А. Разработка метода прямого экстракционно-спектрофотометрического определения молибдат-ионов в системе антипирин – сульфосалициловая кислота – вода // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2022. Т. 12, № 1. С. 17–27. <http://doi.org/10.17072/2223-1838-2022-1-17-24>.

Original Article

<http://doi.org/10.17072/2223-1838-2022-1-17-24>

## Development of extraction-spectrophotometric method of molybdate ions determination of in the antipyrine – sulfosalicylic acid – water system

Viktoriya P. Kuzalbaeva, Aleksandra A. Yuminova

Perm State University, Perm, Russia

**Abstract.** The stratified system antipyrine – sulfosalicylic acid – water eliminates the use of toxic organic solvents, allows for the group extraction of macro- and micro-quantities of elements into a small volume (~ 2 ml) water-organic phase, in this phase many photometric reagents are easily dissolved. The extraction-spectrophotometric method for the determination of molybdate-ions with phenylfluorone has been developed. The optimal conditions for the formation of a colored compound with an organic reagent have been determined: light absorption maximums; optimal time for color development; photometric reagent amount, linearity range of the calibration graph. In optimal conditions for the complexation of phenylfluorone with  $\text{MoO}_4^{2-}$  ( $\lambda = 526$  nm,  $\tau = 20$  min,  $C_R = 5 \cdot 10^{-5}$  mol/l), a calibration graph is constructed. The Bouguer-Lambert-Beer's law is fulfilled in the range from 10 to 60  $\mu\text{g}$  Mo(VI)/20 ml. The molar coefficient of light absorption is calculated, which is  $9.2 \cdot 10^4$ . The effect of interfering ions on the direct extraction-spectrophotometric determination of molybdate ions is studied. It is found that the determination of 50.0  $\mu\text{g}$  of molybdenum(VI) does not interfere with: 5000 - fold molar excess of Ni(II), Co(II), Cr(III), Mn(II), Cd(II), Zn(II), Pb(II); 500 - fold molar excess of Re(VII); 1 - fold molar excess of In(III), W(VI).

**Key words:** stratified systems, molybdate ions, phenylfluorone, spectrophotometry

**For citation:** Kuzalbaeva, V.P. and Yuminova, A.A. (2022) “Development of extraction-spectrophotometric method of molybdate ions determination of in the antipyrine – sulfosalicylic acid – water system”, *Bulletin of Perm University. Chemistry*, vol. 12, no. 1, pp. 17–24. (In Russ.). <http://doi.org/10.17072/2223-1838-2022-1-17-24>.



Для определения молибдат-ионов в водных средах большое практическое значение имеют фотометрические методы, в силу большой точности, чувствительности, доступности необходимых реагентов [1]. Избирательность реагентов существенно повышается при экстракции окрашенных соединений органическими растворителями [2]. И.М. Кутырёвым с сотрудниками разработана методика спектрофотометрического определения молибдена в экстракте с использованием фенилфлуорона [3]. Предлагаемая авторами экстракционная система триоктиламин (ТОА) – винная кислота – толуол имеет существенный недостаток, поскольку предполагает использование толуола в качестве растворителя [4]. В настоящей работе предложена простая и доступная расслаивающаяся система на основе антипирина (АП), сульфосалициловой кислоты (ССК) и воды, которая исключает применение токсичных растворителей [5, 6]. Расслаивание в системе АП – ССК –  $H_2O$  в значительной степени зависит от температуры, соотношения и концентрации органических компонентов и высаливателя, оптимальным является случай, когда концентрация АП превышает концентрацию ССК в два раза [7, 8]. Установлено, что экстракция макроколичеств молибдат-ионов из раствора в расслаивающейся системе АП – ССК –  $H_2O$  не превышает 92,1%, введение азотной кислоты до концентрации 0,025 моль/л увеличивает степень извлечения до 93,6%, а если оно сопровождается добавлением высаливателя ( $Na_2SO_4$ ) до концентрации 1,0 моль/л, то извлечение становится количественным при однократной экстракции. (99,2%) [9]. Также система позволяет проводить избирательное извлечение молибдена, что особенно актуально, поскольку в некоторых

случаях устранить влияние таких элементов как Cr, Cu, Co не представляется возможным [10]. В статье [11] приведены условия количественного извлечения микроколичеств  $MoO_4^{2-}$  в органическую фазу:  $C_{АП} = 0,6$  моль/л,  $C_{ССК} = 0,3$  моль/л,  $C_{HNO_3} = 0,025$  моль/л,  $C_{Na_2SO_4} = 1,0$  моль/л,  $pH_{равн} = 1,52$ .

В развитие этих работ исследовано комплексобразование молибдат-ионов с органическими реагентами для разработки экстракционно-спектрофотометрического определения, основанного на прямом фотометрировании образующегося окрашенного комплекса.

#### Объекты и методы исследования

Экстракцию микроколичеств молибдат-ионов ( $\leq 100,0$  мкг) в водной расслаивающейся системе АП – ССК –  $H_2O$  проводили в делительных воронках на 50 мл с притертыми пробками. Объем водной фазы был постоянным – 20,0 мл. В воронку помещали раствор молибдата аммония, приливали 2,0 моль/л растворы АП и ССК до достижения концентрации 0,6 и 0,3 моль/л соответственно, вносили высаливатель – сульфат натрия (1,0 моль/л) и дистиллированную воду до 20 мл. Для создания определенного значения pH среды (1,5–1,6) дополнительно вводили в воронки азотную кислоту до достижения концентрации 0,025 моль/л.

*Влияние избытка реагента* изучали в условиях количественного извлечения молибдат-ионов [11]. В воронки вводили переменное количество раствора реагента – фенилфлуорона ( $C_{исх}(R) = 2 \cdot 10^{-3}$  моль/л) и молибдат-ионы до достижения концентрации  $C_{Mo} = 2,5 \cdot 10^{-5}$  моль/л, создавая соотношения  $[Mo] : [R]$ , равные 2 : 1; 1 : 1; 1 : 1,5; 1 : 2; 1 : 3. Доводили до 20 мл дистиллированной водой и выдерживали систему до полного расслоения. Оптическую плотность

экстрактов измеряли на фоне холостого опыта при длине волны  $\lambda = 526$  нм.

*Построение градуировочного графика.* В делительные воронки вносили 10–60 мкг раствора молибдата аммония (0,001 моль/л), 0,5 мл  $2 \cdot 10^{-3}$  моль/л раствора фенилфлуорона. Экстракцию проводили в оптимальных условиях. Оптическую плотность органической фазы (ОФ) измеряли на фоне холостого опыта при длине волны  $\lambda = 526$  нм.

*Изучение влияния мешающих ионов.* Условия экстракционно-спектрофотометрического определения ионов Mo(VI) с фенилфлуороном (R) в модельных растворах:  $C_{АП} = 0,60$  моль/л,  $C_{ССК} = 0,30$  моль/л,  $C(\text{HNO}_3) = 0,025$  моль/л,  $C(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 1,0$  моль/л,  $C_R = 5 \cdot 10^{-5}$  моль/л, 50,0 мкг Мо и аликвоты растворов предполагаемых мешающих ионов; объем системы доводили до 20 мл дистиллированной водой. После расслаивания измеряли оптическую плотность экстрактов на фоне холостого опыта.

*Методика определения.* В делительную воронку приливали 2,0 моль/л растворы АП и ССК до достижения концентрации 0,6 и 0,3 моль/л соответственно, анализируемый раствор, содержащий 10–60 мкг Мо, вводили 0,5 мл  $2 \cdot 10^{-3}$  моль/л раствора фенилфлуорона, навеску сульфата натрия до концентрации 1,0 моль/л и дистиллированную воду до 20 мл. Для создания оптимального значения pH среды (1,5–1,6) в воронки также вводили азотную кислоту до концентрации 0,025 моль/л. Делительные воронки встряхивали на шейкере LOIPLS-220 (300 об/мин) в течение 5–7 мин и оставляли до полного расслоения и просветления фаз на 40 мин. После расслаивания органическую фазу переносили в кювету, и измеряли оптическую

плотность экстракта на фоне холостого опыта при длине волны 526 нм.

### Результаты и их обсуждение

Анализ литературных данных показывает, что для молибдена характерно комплексообразование с триоксифлуородами [12–15], пирокатехином и азопроизводными пирокатехина [16–18]. Пирогаллоловый красный (пирогаллолсульфоталеин), пирокатехиновый фиолетовый, ТАП (4-(2-тиазолилазо)пирокатехин), тирон (3,5-пирокатехиндисульфокислота натрия соль моногидрат), исключены на первом этапе исследования, поскольку контрастность комплексных соединений молибдена с данными реагентами на фоне самих реагентов очень низкая.

ФАП (4-(фенилазо)пирокатехин), БеТАП (4-(2-бензтиазолилазо)пирокатехин) и фенилфлуорон (9-фенил-2,3,7-триокси-6-флуорон) далее исследовали на пригодность в экстракционной системе. После расслаивания водная фаза была неокрашенная, а органическая фаза (ОФ) приобретала соответствующий цвет (табл. 1).

Были сняты спектры поглощения комплексных соединений на фоне раствора реагента. В случае ФАПа наблюдался батохромный сдвиг в 29 нм, а БеТАПа батохромный сдвиг составил 25 нм. Также отчетливо наблюдается перекрывание спектров данных органических реагентов с молибдат-ионами. Можно отметить, что наиболее подходящим органическим реагентом для определения молибдена(VI) является фенилфлуорон, так как его комплексообразование с молибдат-ионом сопровождается наиболее контрастной цветной реакцией и наблюдается батохромный сдвиг в 55 нм (рис. 1).

Скрининг органических реагентов для определения молибдат-ионов

Фотометрический реагент	АП+ССК+MoO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> +R	АП+ССК+R
ФАП БеТАП Фенилфлуорон	Оранжевая Винно-красная Красная	Желтая Оранжевая Желтая

На полноту образования КС и светопоглощение фотометрируемого раствора влияют избыток реагента, скорость образования соединения и время. Количество фенилфлуорона, необходимое для полного связывания анализируемого молибдата, определено по максимальному выходу продукта реакции, т.е. по максимальному светопоглощению (рис. 2).

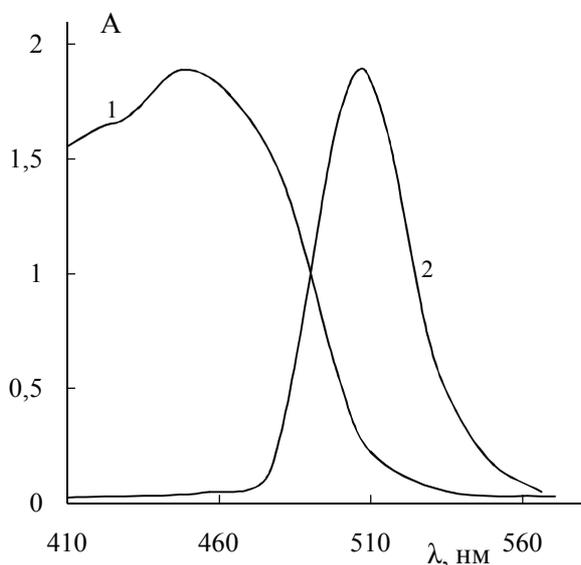


Рис. 1. Спектр поглощения растворов фенилфлуорона (1) и комплексного соединения в фазе (2):  $C_{Mo} = 5 \cdot 10^{-5}$  моль/л,  $C_R = 5 \cdot 10^{-5}$  моль/л,  $V = 20$  мл,  $l = 0,3$  см, СФ-2000

Исходя из полученных данных, можно заметить, что образуется два участка плато, соответствующих комплексным соединениям двух составов соотношения металл : реагент. При соотношении 1 : 2 оптическая плотность КС существенно выше при одной и той же концентрации молибдат-ионов. Поэтому дальнейшее исследование проводилось при данном соотношении концентраций молибдат-ионов и фенилфлуорона.

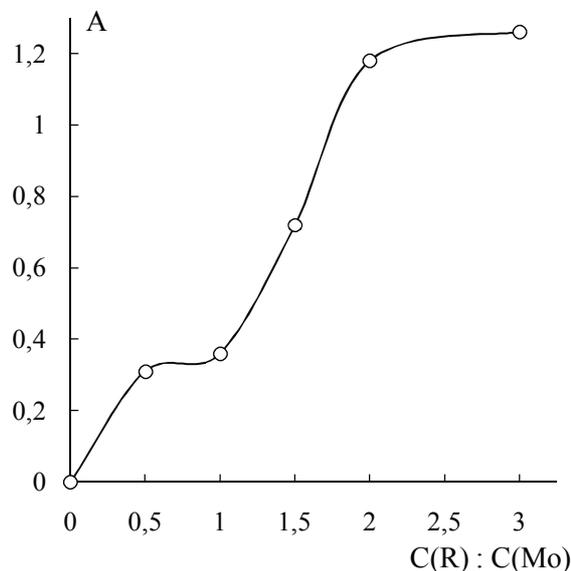


Рис. 2. Зависимость оптической плотности от соотношения  $C_R:C_{Mo}$ :  $C_{Mo} = 2,5 \cdot 10^{-5}$  моль/л,  $V = 20$  мл,  $\lambda = 526$  нм,  $l = 0,3$  см, СФ-2000

Для выяснения устойчивости величины светопоглощения фотометрируемого соединения измеряли оптическую плотность ОФ с комплексным соединением на фоне реагента через некоторые промежутки времени и фиксировали зависимость оптической плотности от времени. Для последующей работы выбран интервал времени, равный 20 мин, в течение которого максимальное значение  $A$  раствора сохраняется неизменным. Комплексообразование молибдат-ионов с фенилфлуороном устойчиво и меняется незначительно в течение 60 минут.

В выбранных оптимальных условиях построен градуировочный график в диапазоне концентраций молибдат-ионов 10–60 мкг/20 мл (рис. 3).

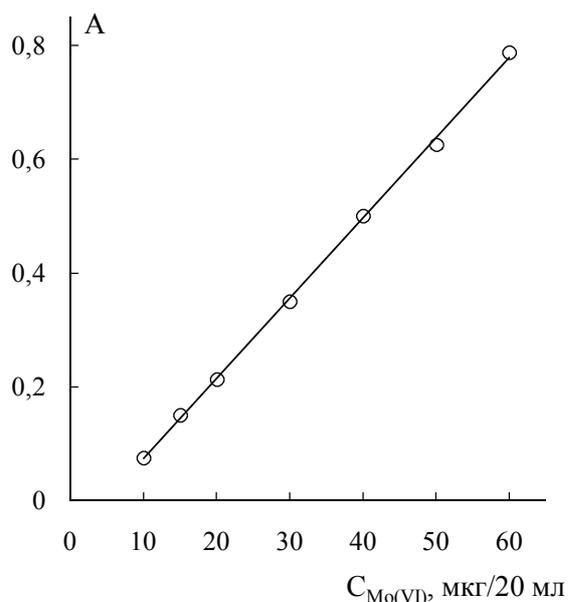


Рис. 3. Градуировочный график:  
 $C_R = 5 \cdot 10^{-5}$  моль/л,  $V = 20$  мл,  $\lambda = 526$  нм,  
 $l = 0,3$  см, ЮНИКО-1201

По градуировочному графику устанавливали пределы выполнения закона Бугера–Ламберта–Бера и определяли кажущийся молярный коэффициент светопоглощения. Линейность графика наблюдается в диапазоне 10–60 мкг/20 мл,  $\varepsilon = 9,2 \cdot 10^4$ .

В исходных условиях изучено влияние мешающих ионов на прямое экстракционно-спектрофотометрическое определение молибдат-ионов. За критерий мешающего влияния принято отклонение оптической плотности на 5% от ее значения, измеренного при определении оптической плотности органической фазы с молибдатом, но без постороннего иона. Определению 50,0 мкг молибдена(VI) не мешают: 5000 – кратный мольный избыток Ni, Co, Cr, Mn, Cd, Zn, Pb; 500 – кратный мольный избыток Re; 1 – кратный мольный избыток In,  $WO_4^{2-}$ .

### Заключение

Экстракционно-спектрофотометрический метод позволяет определять молибден(VI) в присутствии больших избытков элементов, которые часто встречаются с ним в природных объектах. Из приведенных данных можно сделать вывод, что максимальное мешающее влияние на определение молибдат-ионов оказывают ионы  $In^{3+}$  и вольфрамат-ионы, так как именно эти металлы взаимодействуют с фенолфлуороном и дают окрашенные комплексные соединения.

### Список источников

1. Бусев А.И. Аналитическая химия молибдена. М.: Академия наук СССР, 1962. 301 с.
2. Чупахин М.С., Сухановская А.И., Красильщик В.З. Методы анализа чистых химических реактивов. М.: Химия, 1984. 280 с.
3. Кутырёв И.М., Нечепуренко Г.Н., Дедюлин А.А. Экстракционно-спектрофотометрический метод определения молибдена в сплавах // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2013. № 1 (170). С. 109–111.
4. Кутырёв И.М., Чернышева Г.М., Басаргин Н.Н., Чеботникова Ю.А. Одновременное экстракционно-фотометрическое определение Zr и Mo в многокомпонентных сплавах // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2000. Т. 66, № 9. С. 11–12.
5. Петров Б.И., Калиткин К.В., Наземцева К.А. Экстракционная система без органического растворителя вода – антипирин – сульфосалициловая кислота // Известия Алтайского государственного университета. 2013. № 3–2 (79). С. 198–208. [http://doi.org/10.14258/izvasu\(2013\)3.2-42](http://doi.org/10.14258/izvasu(2013)3.2-42).

6. Дёгтев М.И., Юминова А.А., Попова О.Н., Копылова М.Д. Расслаивающаяся система с антипирином и сульфосалициловой кислотой для экстракции ионов металлов // Вестник Пермского университета. Серия Химия. 2014. № 1(13). С. 28–39.
7. Дёгтев М.И., Юминова А.А., Аманджанов А.А., Максимов А.С. Расслаивающиеся системы антипирина, сульфосалициловой кислоты, сульфата натрия и воды для извлечения макроколичеств ионов металлов // Доклады АН Республики Таджикистан. 2014. Т. 57, № 4. С. 315–320.
8. Юминова А.А., Дёгтев М.И. Расслаивающиеся системы на основе антипирина для извлечения макро- и микроколичеств ионов металлов. Пермь: ПГНИУ, 2020. 108 с.
9. Дёгтев М.И., Юминова А.А., Кузалбаева В.П. Экстракция макроколичеств молибдена (VI) в системах без органического растворителя // Вестник Пермского университета. Серия Химия. 2019. Т. 9, № 4. С. 342–350.
10. Умланд Ф., Янсен А., Тириг Д., Вюниш Г. Комплексные соединения в аналитической химии: теория и практика применения. М.: Мир, 1975. 531 с.
11. Дёгтев М.И., Юминова А.А., Кузалбаева В.П., Контиев А.Д. Экстракция молибдат и вольфрамат-ионов в системе без органического растворителя // Вестник Пермского университета. Серия Химия. 2020. Т. 10, № 2. С. 150–158. <https://doi.org/10.17072/2223-1838-2020-2-150-158>.
12. Назаренко В.А., Антонович В.П. Триоксифлуороны М.: Наука, 1973. 182 с.
13. Назаренко В.А., Новоселова М.М., Чернобережный Ю.М. Взаимодействие молибдена (6+) с триоксифлуоронами в присутствии ПАВ // Журнал аналитической химии. 1980. Т. 35, № 12. С. 2331.
14. Пешкова В.М., Громова М.И. Методы абсорбционной спектроскопии в аналитической химии. М.: Высшая школа, 1976. 280 с.
15. Руденко Э.И., Петухова С.Л., Устьянцева К.А., Данилина Е.И. Равновесие в системе молибден (VI) – салицилфлуорон – КПАВ в сильноокислых средах // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия Химия. 2010. № 11 (187). С. 36–43.
16. Барбалат Ю.А., Иванов В.М., Поленова Т.В., Федорова Н.В. Сорбция комплекса пирокатехинового фиолетового с молибденом (VI) на анионите АВ-17хВ // Вестник Московского университета. Серия 2: Химия. 1998. Т.39, № 3. С. 174–177.
17. Загрузин А.Н., Иванов В.М., Бусев А.И. Азопроизводные пирокатехина как реагенты на молибден // Журнал аналитической химии. 1978. Т.33, № 12. С. 2395–2401.
18. Ivanov V.M., Kochelaeva G.A. Pyrocatechol violet in new optical methods for determining molybdenum(VI) // Journal of Analytical Chemistry. 2003. Vol. 58. P. 31–37.

#### Информация об авторах

**Виктория Павловна Кузалбаева**, выпускник кафедры аналитической химии и экспертизы, Пермский государственный национальный исследовательский университет (614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15), [vkuzalbaeva@gmail.com](mailto:vkuzalbaeva@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-7154-0886>.

**Александра Александровна Юминова**, кандидат химических наук, доцент кафедры аналитической химии и экспертизы, Пермский государственный национальный исследовательский университет (614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15), [aleks3004@list.ru](mailto:aleks3004@list.ru), <https://orcid.org/0000-0003-0168-9885>.

**Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Поступила 9 января 2022 г.; одобрена 16 января 2022 г.; принята к публикации 20 января 2022 г.

**References**

1. Busev, A.I. (1976) *Analiticheskaya khimiya molibdena* [Analytical chemistry of molybdenum], Academy of Sciences of the USSR, Moscow (in Russ.).
2. Chupakhin, M.S., Sukhanovskaya, A.I. and Krasil'shchik, V.Z. (1984) *Metody analiza chistykh khimicheskikh reaktivov* [Analysis methods of pure chemical reagents], Khimiya, Moscow (in Russ.).
3. Kutyrev, I.M., Nechepurenko, G.N. and Dedyulin, A.A. (2013) Ekstraktsionno-spektofotometricheskii metod opredeleniya molibdena v splavakh [Extraction-spectrophotometric method of determination of molybdenum in alloys], *Izvestiyav ysshikh uchebnykh zavedeniy. Severo-Kavkazskiy region. Tekhnicheskkiye nauki.*, no 1 (170), pp. 109–111 (in Russ.).
4. Kutyrev, I.M., Chernysheva, G.N., Basargin, N.N. and Chebotnikova, Yu. A. (2000) “Extraction-photometric determination of zirconium and molybdenum in multicomponent alloys”, *Industrial Laboratory*, vol. 66, no. 9, pp. 575–576 (in Russ.).
5. Petrov, B.I., Kalitkin, K.V. and Nazemtseva, K.A. (2013) Ekstraktsionnaya sistema bez organicheskogo rastvoritel'yavoda – antipirin – sulfosalitsilovaya kislota [Extraction system without an organic solvent water – antipyrine – sulfosalicylic acid], *Izvestiya Altayskogo Gosudarstvennogo Universiteta*, no. 3–2 (79), pp. 198–208 (in Russ.).
6. Degtev, M.I., Yuminova, A.A., Popova, O.N. and Kopylova, M.D. (2014) Rasslaivayushchaya sistema s antipirinom i sulfosalitsilovoy kislotoy dlya ekstraktsii ionov metallov [The exfoliating system with antipyrine and sulfosalicylic acid for the extraction of metal ions], *Bulletin of Perm University. Chemistry*, no. 1 (13), pp. 28–39 (in Russ.).
7. Degtev, M.I., Yuminova, A.A., Aminjanov, A.A. and Maksimov A.S. (2014) Rasslaivayushchiesya sistemy antipirina, sulfosalitsilovoy kisloty, sulfata-natriya i vody dlya izvlecheniya makrokolichestv ionov metallov [Exfoliating systems of antipyrine, sulfosalicylic acid, sodium sulfate and water for the extraction of macro-amounts of metal ions], *Reports of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan*, vol. 57, no. 4, pp. 315–320 (in Russ.).
8. Yuminova, A.A. and Degtev, M.I. (2020) *Rasslaivayushchiesya sistemy na osnove antipirina dlya izvlecheniya makro- i mikrokolichestv ionov metallov* [Antipyrin-based exfoliating systems for extraction of macro- and microquantities of metal ions], Perm University, Perm (in Russ.).
9. Degtev, M.I., Yuminova, A.A. and Kuzalbaeva V.P. (2019) “Extraction of molybdenum (VI) macroamounts in systems without organic solvent”, *Bulletin of Perm University. Chemistry*, vol. 9, no. 4, pp. 342–350 (in Russ.).
10. Umland, F., Jansen, A., Tirig, D. and Wunsch, G. (1975) *Complex compounds in analytical chemistry: theory and practice of application*, Mir, Moscow (in Russ.).

11. Degtev, M.I. Yuminova, A.A., Kuzalbaeva, V.P. and Kontiev, A.D. (2020) “Extraction of molybdate and tungstate ions in system without organic solvent”, *Bulletin of Perm University. Chemistry*, vol. 10, no. 2, pp. 150–158 (in Russ.).
12. Nazarenko, V.A. and Antonovich, V.P. (1973) *Trioksisfluorony* [Trioxylfluorones], Nauka, Moscow (in Russ.).
13. Nazarenko, V.A., Novoselova, M.M. and Chernoberezhny, Yu.M. (1980) Interaction of molybdenum (6+) with trioxyfluorones in the presence of surfactants, *Journal of Analytical Chemistry*, vol. 35, no. 12, pp. 2331–2338 (in Russ.).
14. Peshkova, V.M. and Gromova, M.I. (1976) *Metody absorbtionnoy spektroskopii v analiticheskoy khimii* [Absorption spectroscopy methods in analytical chemistry], Vysshaya Shkola, Moscow. (In Russ.).
15. Rudenko, E.I., Petukhova, S.L., Ustyantseva, K.A. and Danilina, E.I. (2010) Ravnovesie v sisteme molibden (VI) salitsilfluoron – KPAV v silnokislykh-sredakh [Equilibrium in the system molybdenum (VI) – salicylfluorone – CSAS in strongly acidic media], *Vestnik Yuzhno-Uralskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Seriya Khimiya*, no. 11 (187), pp. 36–43 (in Russ.).
16. Barbalat, Yu.A., Ivanov, V.M., Polenova, T.V. and Fedorova, N.V. (1998) Sorption of the complex of pyrocatechol violet with molybdenum (VI) on anion exchanger AB-17xB, *Moscow University Chemistry Bulletin*, vol. 39, no. 3. pp. 174–177 (in Russ.).
17. Zagruzin, A.N., Ivanov, V.M. and Busev, A.I. (1978) Azo-proizvodnye pirokatekhina kak reagent na molibden [Azo-derivatives of pyrocatechol as reagents for molybdenum], *Journal of Analytical Chemistry*, vol. 33, no. 12, pp. 2395–2401 (in Russ.).
18. Ivanov, V.M. and Kochelaeva, G.A. (2003) “Pyrocatechol violet in new optical methods for determining molybdenum(VI)”, *Journal of Analytical Chemistry*, vol. 58, pp. 31–37 (in Russ.).

#### Information about the authors

**Viktoriya P. Kuzalbayeva**, Graduate, Department of Analytical Chemistry and Expertise, Perm State University (15, Bukireva st., Perm, Russia, 614990), vkuzalbaeva@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7154-0886>.

**Aleksandra A. Yuminova**, Candidate of Chemistry Sciences, Associate Professor, Department of Analytical Chemistry and Expertise, Perm State University (15, Bukireva st., Perm, Russia, 614990), [aleks3004@list.ru](mailto:aleks3004@list.ru), <https://orcid.org/0000-0003-0168-9885>.

#### Conflicts of interests

The authors declare no conflicts of interests.

*Submitted 09 January 2022; approved after reviewing 16 January 2022; accepted 20 January 2022*