

УДК 543.063

DOI: 10.15372/KhUR2019152

Определение ионов меди (II), кадмия (II), свинца (II), цинка (II) в образцах снега и воды после извлечения салицилатом тиопириния

С. В. ТЕМЕРЕВ, В. А. ПЕТУХОВ

Алтайский государственный университет,
Барнаул (Россия)

E-mail: temerev@mail.ru

(Поступила 28.02.19; после доработки 10.04.19)

Аннотация

С целью аналитического применения тиопириния в анализе реальных образцов твердой компоненты снега и фильтрата поверхностной речной воды получен эквимольный расплав салицилата тиопириния с температурой плавления 145 °С, исследованы его физико-химические свойства. Расплав применен для экстрагирования сорбированных неорганических форм меди, кадмия, свинца, цинка из твердых частиц снежных кернов, взятых на территории г. Барнаула. Полученные экстракты и кислотные минерализаты анализировали пламенной атомно-абсорбционной спектрометрией. Анализ содержания исследуемых халькофильных металлов позволил на стадии подготовки образцов определить общее содержание сорбированных форм и массовую долю неорганических форм меди, кадмия, свинца и цинка в твердых частицах снежной массы. Интервалы варьирования массовой доли неорганических форм составили: меди – 50–94 %, кадмия – 58–95 %, свинца – 68–89 %, цинка – 74–89 %. По разности количества Cu, Cd, Pb, Zn в кислотном минерализате и экстракте рассчитана массовая доля органических форм. Фильтраты речной воды консервировали хлороводородной кислотой и исследовали отдельно с помощью расслаивания *in situ* в системе “вода (≥ 0.01 М HCl) – салицилат тиопириния – модификатор” на две жидкие фазы. Нижнюю и верхнюю фазы системы анализировали на содержание Cu, Cd, Pb, Zn методом инверсионной вольтамперометрии. Степень извлечения ионных форм меди (II), кадмия (II), свинца (II) и цинка (II) из образцов фильтрата речной воды после однократной экстракции составила (92 ± 2) , (90 ± 3) , (94 ± 2) , (97 ± 1) % соответственно.

Ключевые слова: тиопирин, салициловая кислота, расплав, экстракция

ВВЕДЕНИЕ

Ранее [1–4] исследовано аналитическое применение легкоплавкого расплава ацетилсалицилата антипириния $[\text{AntH}^+] \cdot [\text{AcSal}^-]$ ($\rho = 1.2$ г/см³, $T_{\text{пл}} = 85$ °С) для индивидуального и группового концентрирования ионов элементов из кислых растворов и последующего анализа элементов в концентрате. Тиопирин – эффективный тиосодержащий фотометрический реагент [5], 2,3-диметил-1-фенилпиразолин-3-тион-5 с секстетом π -электронов в гетероцикле и избыточным отрицательным зарядом на атоме серы и, соответ-

ственно, электронодонорными свойствами [6]. Константа протонирования тиопириния примерно в 30 раз меньше по сравнению с антипирином. Нуклеофильный атом серы придает тиопирину свойства “мягкого” основания, способного вступать в координационное взаимодействие с “мягкими” кислотами Пирсона M^{m+} с образованием комплексов внедрения $M(R)_n X_z$ и ионных ассоциатов катионов тиопириния $(\text{RH})_{m-z}^+ [M^{m+} X_z]^{(m-z)}$ [7, 8] с анионами-партнерами X^- . Если молекулярная спектрометрия экстрактов ионов халькофильных элементов ранее [6] применялась в системах “вода – тиопирин – органическая кис-

лота”, то электрохимические свойства реагента в экстракции не исследованы. Извлечение гидрофобным расплавом салицилата тиопириния Zn(II) , Cd(II) , Pb(II) , Cu(II) путем экстрагирования и экстракция *in situ* указанных ионов из кислых хлоридных фильтратов снеговых и речных вод унифицирует экстракционный метод подготовки аналитических образцов к одноэлементному и групповому анализу. Именно ионы Zn(II) , Cd(II) , Pb(II) , Cu(II) определяются в различных сложных матрицах инверсионной вольтамперометрией. Способ [9] на модельных системах продемонстрировал принципиальную возможность применения на практике экстракционной вольтамперометрии. Возникла необходимость исследований реальных образцов. Ранее [10] определено содержание меди, кадмия, свинца и цинка в образцах снегового покрова в области влияния г. Барнаула.

Цель работы – продемонстрировать аналитические возможности салицилата тиопириния в анализе твердых частиц снега (твердые пробы) и фильтратов поверхностной речной воды (жидкие пробы) экстракционно-абсорбционным и экстракционно-электрохимическими методами с применением салицилата тиопириния как эффективного легкоплавкого экстрагента. Для из-

учения экстракционных возможностей нового легкоплавкого расплава прежде всего необходимо определить его физико-химические свойства: температуру плавления, плотность, электропроводность при температуре плавления, растворимость при $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ в дистиллированной воде и в растворе 0.1 M HCl , а также на стадии подготовки твердых образцов снежной массы извлечь в расплав салицилата тиопириния и проанализировать неорганические ионные формы Zn(II) , Cd(II) , Pb(II) , Cu(II) .

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Замена кислородосодержащего антипирина на серосодержащий реагент – тиопирин – обеспечивает координационное взаимодействие неорганических ионных форм цинка, кадмия, свинца и меди с серой как халькофильным реакционным центром молекул реагента – тиопирин. Тиопирин имеет большую температуру плавления $167\text{ }^{\circ}\text{C}$ [11], чем антипирин ($113\text{ }^{\circ}\text{C}$). Для экстрагирования и экстракции мы применяли тиопирин в виде расплава ($T_{\text{пл.}} \approx 145\text{ }^{\circ}\text{C}$) с салициловой кислотой ($T_{\text{пл.}} = 159\text{ }^{\circ}\text{C}$). Для исследования расплава салицилата тиопириния на растворимость в дистиллированной воде и в растворе

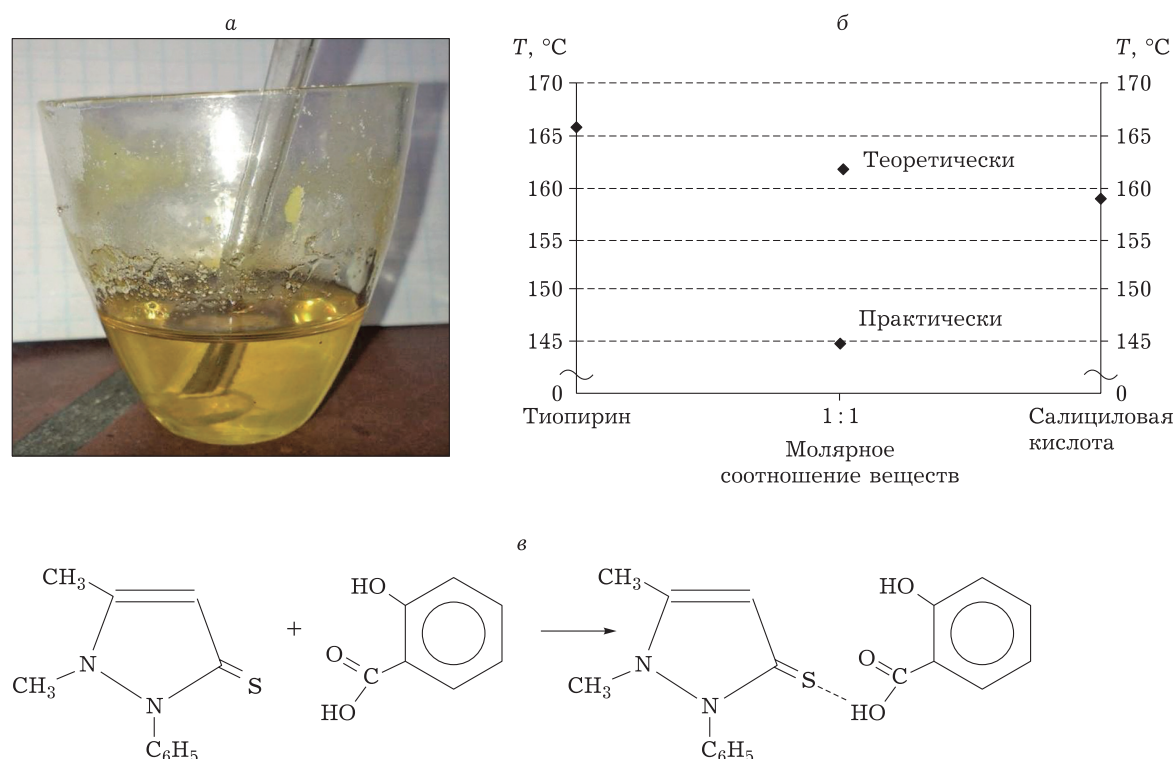


Рис. 1. Общий вид расплавленного салицилата тиопириния (а), депрессия температуры плавления расплава салицилата тиопириния от аддитивной расчетной величины (б), схема протолитического взаимодействия тиопириния с салициловой кислотой (в).

0.1 М HCl готовили два ряда точных навесок (0.3000–0.8000 г) расплава, помещали в пробирки, термостатировали 30 мин с 10 мл дистиллированной воды (кислоты) и определяли показатель преломления с помощью рефрактометра ИРФ-454Б. Равновесное состояние насыщения определяли графически по зависимостям показателя преломления раствора n от количества вещества (1 ммоль салицилата тиопириния в 10 мл) и по выходу графической зависимости “ n раствора – количество вещества” на плато при 25 °С.

Общий вид расплава представлен на рис. 1. Ранее способ экстрагирования неорганических форм ртути и селена из твердых образцов природных объектов [12] реализован с помощью гидрофильной жидкой кислой органической фазы системы “вода – антипирин – сульфосалициловая кислота”, которую готовили смешиванием водных растворов антипирина (2 моль/л) и сульфосалициловой кислоты (2 моль/л) в объемном соотношении 2 : 1. В случае салицилата тиопириния использовали эквимольное соотношение реагентов в реакционном расплаве

ТАБЛИЦА 1

Результаты определения цинка и кадмия в минерализатах (КВ) и экстрактах (Э) твердых частиц снега ЧС методом пламенной ААС

Образец	Zn, мкг/г		Cd, мкг/г	
	КВ (Σ)	Э (НФ, %)	КВ (Σ)	Э (НФ, %)
1	98	73 (74)	1.9	1.1 (58)
2	89	70 (79)	7.9	5.5 (70)
3	107	95 (89)	5.7	3.4 (60)
4	137	108 (79)	1.7	1.0 (59)
5	178	150 (84)	6.1	5.3 (87)
6	126	106 (84)	9.0	5.6 (62)
7	101	87 (86)	2.0	1.5 (75)
8	82	70 (85)	1.1	1.0 (91)
9	192	170 (89)	2.0	1.9 (95)
10	66	54 (82)	1.4	1.2 (86)
Интервал варьирования	66–192	54–170 (74–89)	1.1–9.0	1.0–5.6 (58–95)
$C_{cp} \pm \varepsilon\alpha$	118 ± 9	$98 \pm 5 (83 \pm 3)$	3.9 ± 0.2	$2 \pm 0.3 (74 \pm 10)$

Примечание. Здесь и в табл. 2–7: C_{cp} – среднее арифметическое из результатов анализа проб снега; $\varepsilon\alpha$ – доверительный интервал

ТАБЛИЦА 2

Результаты определения свинца и меди в минерализатах (КВ) и экстрактах (Э) твердых частиц снега ЧС методом пламенной ААС.

Образец	Pb, мкг/г		Cu, мкг/г	
	КВ (Σ)	Э (НФ, %)	КВ (Σ)	Э (НФ, %)
1	54	37 (69)	13	10 (77)
2	50	34 (68)	22	11 (50)
3	78	66 (85)	16	11 (69)
4	73	61 (84)	18	13 (72)
5	90	70 (78)	57	38 (67)
6	43	33 (77)	25	19 (76)
7	73	64 (88)	28	18 (64)
8	58	48 (83)	18	16 (89)
9	65	58 (89)	71	67 (94)
10	79	63 (80)	100	76 (76)
Интервал варьирования	43–90	33–70 (68–89)	13–100	10–76 (50–94)
$C_{cp} \pm \varepsilon\alpha$	67 ± 7	$53 \pm 5 (80 \pm 5)$	37 ± 2	$28 \pm 2 (73 \pm 9)$

Примечание. Обозн. см. табл. 1.

типирин/салициловая кислота = 1 : 1. Расплав салицилата тиопириния можно нагреть до температуры его плавления, тем самым повысив эффективность извлечения при меньшем расходе реагента в сравнении с ионной жидкостью [12].

При анализе фильтрата речной воды в качестве модификатора добавляли этиловый спирт.

Пробоотбор

Снеговые керны отбирали на городской территории Барнаула трубчатым отборником методом “конверта” по 5 кернов в местах с естественным снегонакоплением (10 точек отбора). Объединенные керны помещали в пластиковые контейнеры и перемешивали. Общую массу собранной снежной массы определяли техническим взвешиванием в лаборатории. Затем снеговые образцы таяли при комнатной температуре, а полученную снеговую воду фильтровали через трековые мембраны в атмосфере аргона. Фильтраты подкисляли хлороводородной кислотой квалификации “х. ч.” до $\text{pH} \leq 2.00$ и анализировали отдельно. Собранные осадки твердых частиц снега (ЧС) сушили до постоянной массы под ИК-лампой. Каждый фильтр с осадком ЧС взвешивали на аналитических весах, разрезали на две равные части.

Анализ твердых образцов

Одну половину осадка в виде точной навески (0.1000–0.2000 г) озоляли в смеси серной, азотной и хлороводородной кислот (2 мл H_2SO_4 + 4 мл HNO_3 + 2 мл HCl) в минерализаторе, упаривая до влажных солей. Полученную таким образом кислотную вытяжку (КВ) количественно переносили в мерную колбу объемом 25 мл, доводили до метки дистиллированной водой и анализировали методом атомизации в воздушно-ацетиленовом пламени на общее (Σ) содержание цинка, кадмия, свинца и меди (см. табл. 1 и 2). Затем рассчитывали содержание цинка (213.9 нм), кадмия (228.8 нм), свинца (283.3 нм) и меди (324.8 нм) методом линейных градуировочных регрессионных уравнений зависимости интенсивности абсорбции (высота пика h , мм) от концентрации Zn(II) , Cd(II) , Pb(II) , Cu(II) в рабочем растворе (в мкг/мл):

$$h = 1.6 + 9.5C_{\text{Zn}}, \text{ аналитическая } \lambda = 213.9 \text{ нм}, \\ r = 0.999$$

$$h = 0.43 + 22.3C_{\text{Cd}}, \text{ аналитическая } \lambda = 228.8 \text{ нм}, \\ r = 0.997$$

$$h = 1.8 + 2.8C_{\text{Pb}}, \text{ аналитическая } \lambda = 283.3 \text{ нм}, \\ r = 0.981$$

$$h = 0.82 + 9.6C_{\text{Cu}}, \text{ аналитическая } \lambda = 324.8 \text{ нм}, \\ r = 0.978$$

Результаты анализа образцов ЧС (10 точек отбора по два параллельных) представлены в табл. 1 и 2.

Вторую половину осадка в виде точной навески (0.1000–0.2000 г) также помещали в сухие чистые бюксы, затем к точной навеске ЧС прибавляли 1.000 г эквимольного расплава салицилата тиопириния, перемешивали расплав стеклянной палочкой. После загустения расплава с ЧС прибавляли 1.0 мл этилового спирта в качестве модификатора, тщательно перемешивали стеклянной палочкой, нагревали до 40–50 °С в течение 15–20 мин, перемешивая периодически стеклянной палочкой. Далее бюксы остужали 10 мин, добавляли 2.0 мл этилового спирта, перемешивали и после естественного осаждения ЧС на дно бюкса экстракт (Э) распыляли в воздушно-ацетиленовое пламя атомно-абсорбционного спектрометра (ААС) марки ААС 1N (Германия).

Анализ жидких образцов фильтрата речной воды

Фильтраты образцов речной воды получали фильтрованием через трековые мембраны и подкислением хлороводородной кислотой до $\text{pH} \leq 2.0$. В сухие пробирки из полиэтилентерефталата вносили 1.000 г расплава салицилата тиопириния и 1 мл модификатора – этилового спирта, добавляли 4.00 мл кислого хлоридного раствора фильтрата анализируемой природной поверхностной воды, закрывали пробкой, интенсивно встряхивали 2–3 мин и помещали в штатив для пробирок. Расслаивание (рис. 2) на водную (верх-



Рис. 2. Общий вид образцов фильтрата речной воды ($\text{pH} \leq 2.0$) после расслаивания в системе “вода – тиопирин – салициловая кислота”, модифицированной спиртом.

нюю) и органическую (нижнюю) фазы происходило *in situ* как результат протолитического взаимодействия кислого хлоридного раствора фильтрата природной поверхностной воды с расплавом салицилата тиопириния и модификатора. Соотношение объемов нижней целевой органической (ОФ) и отдающей верхней водной (ВФ) фаз представлено в табл. 3. Органическую фазу и ВФ анализировали отдельно методом инверсионной вольтамперометрии (ИВА) с помощью анализатора “Экотест-ВА”. В методике использовали трехэлектродную систему: рабо-

ТАБЛИЦА 3

Объемы фаз в пробирках с образцами фильтратов речной воды (общий объем 6 мл)

Номер пробирки	Объем, мл	
	ОФ (нижняя фаза концентрата)	ВФ (верхняя отдающая фаза рафината)
1	1.80	4.20
2	1.80	4.20
3	1.70	4.30
4	1.80	4.20
5	1.70	4.30

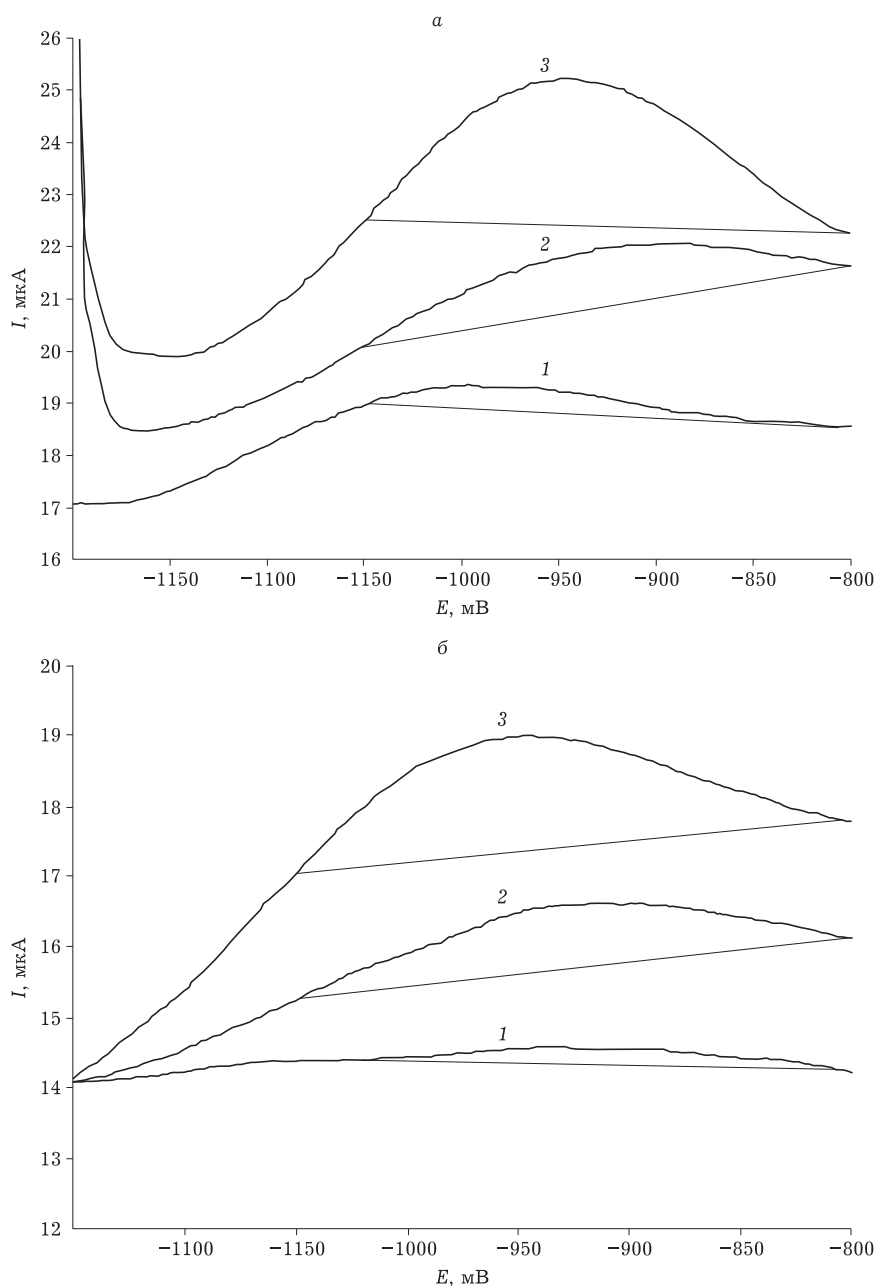


Рис. 3. Вольтамперограммы ионных форм цинка в ОФ (а) и ВФ (б): 1 – фон (расплав + 4 мл 0.1 М HCl); 2 – расплав + 4 мл фильтрата речной воды; 3 – расплав + 4 мл фильтрата речной воды + 3 мкг Zn(II).

чий твердотельный углеродный макроэлектрод КТЖГ 414324.005 № 169, электрод сравнения – хлорид-серебряный лабораторный ЭВЛ-1М4 и вспомогательный электрод платиновый лабораторный ЭПЛ-02. Перед началом серии определений рабочую поверхность электрода шлифовали фильтровальной бумагой, смоченной в этиловом спирте, затем активировали атомарным водородом и промывали в 0.1 М HCl. После этого на сухую рабочую поверхность микрошприцем для газовой хроматографии (10 мкл) наносили 5 мкл образца ОФ и помещали в электрохимическую ячейку анализатора “Экотест-ВА” с раствором 4 мл 0.1 М HCl. Электронакопление ионных форм проводили при -1400 мВ в течение

60 с. Затем регистрировали квадратно-волновую вольтамперограмму при амплитуде развертки от -1200 до 200 мВ. Диапазон силы тока 2 – 200 мкА. Скорость развертки 50 мВ/с. На рис. 3–6 изображены типичные вольтамперограммы микроколичеств ОФ и ВФ. Видно, что аналитические сигналы ионных форм металлов характеризуются максимумами предельного диффузионного тока графитового рабочего макроэлектрода КТЖГ 414324.005 № 169 при соответствующих потенциалах. В табл. 4–7 представлены расчеты эффективности извлечения ионных форм элементов, номера в табл. 4–7 соответствуют экстракционным пробиркам 1–5 в табл. 3.

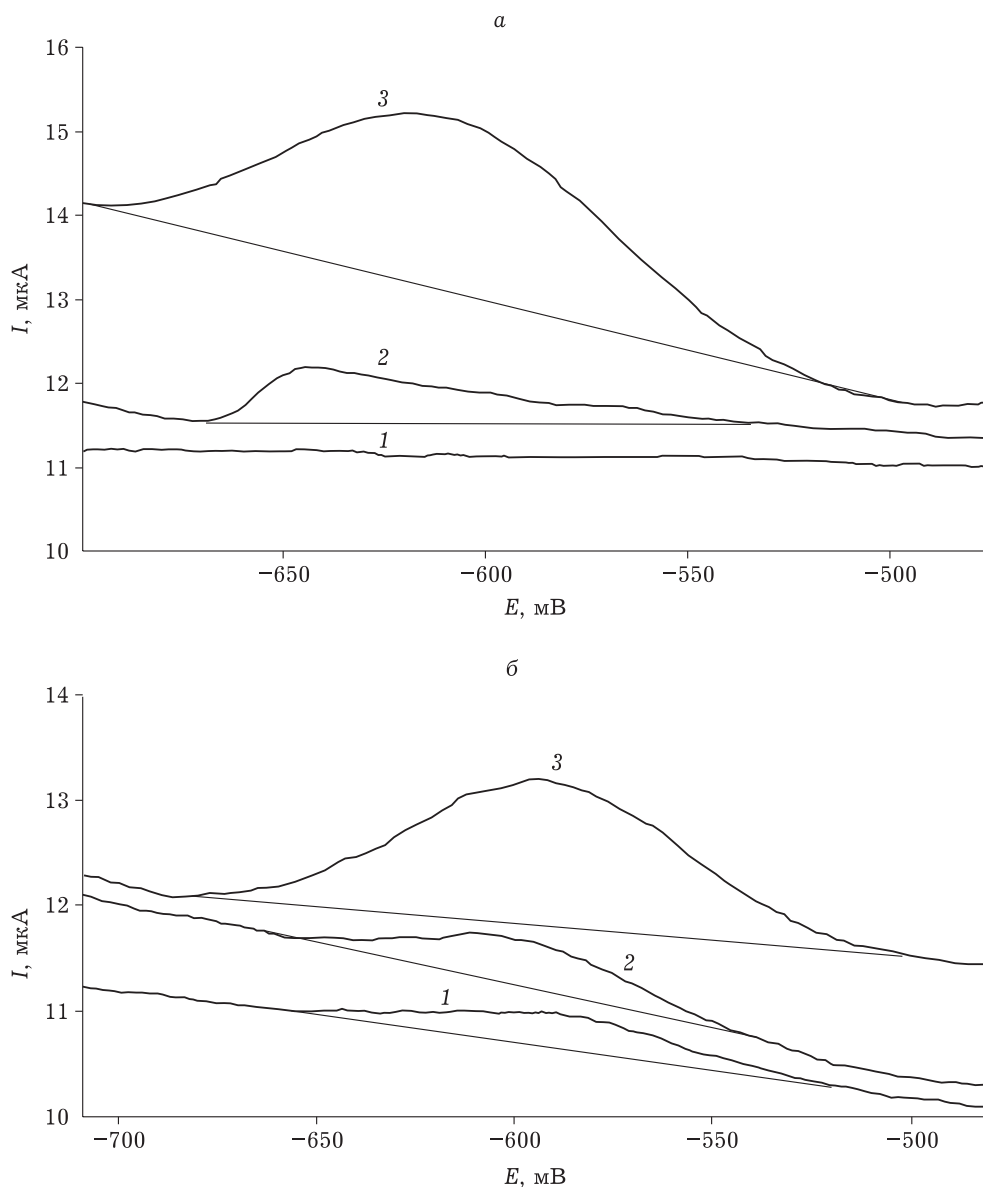


Рис. 4. Вольтамперограммы ионных форм кадмия в ОФ (а) и ВФ (б): 1 – фон 5 мкл ОФ (расплав + 4 мл 0,1 М HCl); 2 – расплав + 4 мл фильтрата речной воды; 3 – расплав + 4 мл фильтрата речной воды + 0.1 мкг Cd(II).

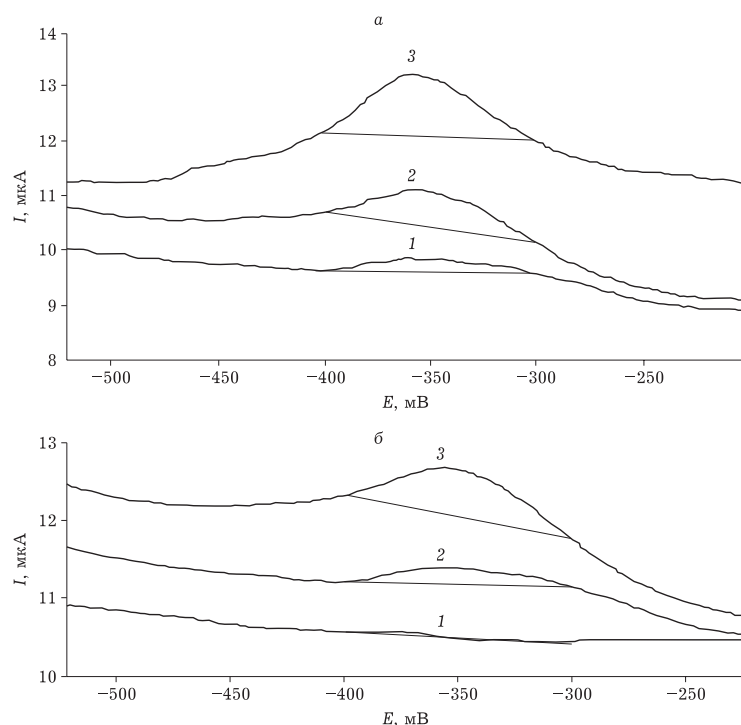


Рис. 5. Вольтамперограммы ионных форм свинца в ОФ (а) и ВФ (б): 1 – фон (расплав + 4 мл 0.1 М HCl); 2 – расплав + 4 мл фильтрата речной воды; 3 – расплав + 5 мл фильтрата речной воды + 0.1 мкг Pb(II).

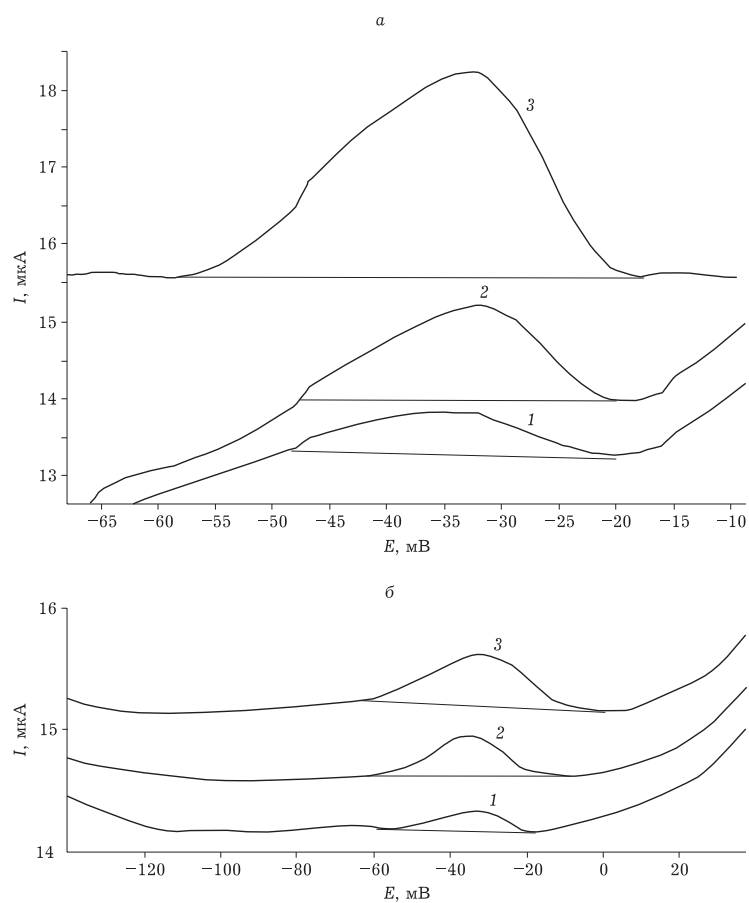


Рис. 6. Вольтамперограммы ионных форм меди в ОФ (а) и ВФ (б): 1 – фон 5 мкл ОФ (расплав + 4 мл 0.1 М HCl); 2 – расплав + 5 мл фильтрата речной воды; 3 – расплав + 4 мл фильтрата речной воды + 1 мкг Cu (II).

ТАБЛИЦА 4

Результаты определения Zn(II) в фильтрах речной воды методом ИВА

Номер анализа	Содержание цинка, мкг/л		<i>D</i>	<i>R</i> , %
	ОФ	ВФ		
1	146.0±0.3	1.96±0.05	75	97
2	145.9±0.3	1.90±0.05	77	97
3	146.5±0.3	1.92±0.05	76	97
4	145.8±0.3	2.00±0.05	73	97
5	146.2±0.3	1.98±0.05	74	97
Среднее (<i>n</i> = 5)	146.1	1.95	74±2	97±1

Примечания. Здесь и в табл. 5–7: 1. номера анализа соответствуют экстракционным пробиркам 1–5 в табл. 3. 2. *D* – коэффициент распределения, равный отношению концентраций целевого компонента в органической (ОФ) и водной (ВФ) фазах: $D = C(\text{ОФ})/C(\text{ВФ})$.

ТАБЛИЦА 6

Результаты определения Pb (II) в фильтрах речной воды методом ИВА

Номер анализа	Содержание свинца, мкг/л		<i>D</i>	<i>R</i> , %
	ОФ	ВФ		
1	14.0±0.4	0.38±0.05	37	94
2	13.5±0.4	0.32±0.05	42	95
3	14.1±0.4	0.42±0.05	34	93
4	13.5±0.4	0.34±0.05	40	94
5	13.8±0.4	0.37±0.05	37	94
Среднее (<i>n</i> = 5)	13.8	0.37	38±4	94±2

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Определенная с помощью кондуктометра с пластинчатыми электродами из платины электропроводность расплава салицилата тиопириния составила примерно 90 мСм/м при температуре плавления $T_{\text{пл}} \approx 145$ °С. Величина электропроводности расплава определена в пределах величин электропроводности ионных жидкостей с катионами имидазолия [13]. Растворимость расплава салицилата тиопириния составила 1.50 ммоль в 10 мл дистиллированной воды и 2.05 ммоль в 10 мл 0.1 М HCl.

В отличие от тиопириния, растворимого в горячей воде [8], гидрофобный расплав салицилата тиопириния, модифицированный спиртом, эффективно экстрагирует неорганические формы элементов: цинка, кадмия, свинца и меди. Неорганические формы (сульфаты, оксиды, хлориды, нитраты и др.) более значимы как сорбируемые частицами снега твердой компоненты

ТАБЛИЦА 5

Результаты определения Cd(II) в фильтрах речной воды методом ИВА

Номер анализа	Содержание Cd, мкг/л		<i>D</i>	<i>R</i> , %
	ОФ	ВФ		
1	2.24	0.086	26	92
2	1.90	0.079	24	91
3	1.79	0.094	19	88
4	2.15	0.090	24	91
5	1.66	0.11	15	86
Среднее (<i>n</i> = 5)	1.95±0.3	0.092±0.01	22±5	90±3

ТАБЛИЦА 7

Результаты определения Cu(II) в фильтрах речной воды методом ИВА

Номер анализа	Содержание Cu, мкг/л		<i>D</i>	<i>R</i> , %
	ОФ	ВФ		
1	4.78	0.19	25	91
2	5.73	0.20	28	92
3	4.83	0.16	30	89
4	6.21	0.21	29	93
5	5.64	0.19	30	92
Среднее (<i>n</i> = 5)	5.44±0.8	0.19±0.02	28±3	92±2

снежной массы. Однако металл-органические соединения MR_4 , где в качестве лигандов выступают метил-, алкил-, арил- и другие, координационно связанные с центральным атомом металла комплексообразователя, образуют металлорганические формы веществ более токсичные, чем неорганические формы, преимущественно определяемые в Э. Количества органических форм рассчитаны как разность общих содержаний элемента Σ в кислотном минерализате ЧС и содержания элемента в НФ (см. табл. 1, 2). Эта величина имеет решающее значение в химическом мониторинге компонентов природных систем в условиях химического загрязнения компонентов (аэрозолей, почв, донных отложений).

Несмотря на широкие интервалы варьирования сорбированных форм (Σ) (см. табл. 1 и 2), исследуемые металлы можно расположить в ряд по среднему суммарному содержанию металла в твердых ЧС, мкг/г: Zn (118 ± 9) > Pb (67 ± 7) > Cu (37 ± 2) > Cd (3.9 ± 0.2).

Если из суммарного содержания Σ вычесть среднее содержание неорганических форм металла, получим среднее содержание органических форм металла. Вклад органических форм металлов (массовая доля, %) в общее содержание металлов в пробах снега увеличивается в следующем ряду элементов:

Zn (27 %) $\approx$ Cu (27 %) $\geq$ Cd (26 %) $>$ Pb (20 %).

Несмотря на значительные погрешности, связанные с изменчивостью химической нагрузки на атмосферные аэрозоли г. Барнаула в 2015 г., следует считать вклад органических форм представителем и существенным из-за большей токсичности металлоорганических форм в сравнении с неорганическими формами металлов.

Как следует из данных табл. 4–7, концентрат ОФ представлен по содержанию Zn(II), Cd(II), Pb(II), Cu(II) в параллельных образцах речной воды, а количество ионов Zn(II), Cd(II), Pb(II), Cu(II) в отдающей фазе (ВФ) определено в пределах случайных погрешностей параллельных определений средних содержаний.

Депрессия температуры плавления (см. рис. 1) свидетельствует о химическом протолитическом взаимодействии тиопириния и салициловой кислоты в расплаве салицилата тиопириния при молярном соотношении 1 : 1. Именно такой продукт в виде расплава с $T_{\text{пл}} \approx 145^\circ\text{C}$ и $\rho \approx 2.2 \text{ г/см}^3$ вносили по 1.000 г в каждую пробирку, добавляли 1 мл этилового спирта и затем вносили 4 мл фильтрата речной анализируемой воды ($\text{pH} \leq 2.0$) и интенсивно встряхивали (см. табл. 3). Уменьшение вдвое [12] мольной доли более тугоплавкого компонента – тиопириния – и повышение мольной доли в расплаве менее растворимого в воде компонента – салициловой кислоты – в сочетании с модификатором позволили создать условия расслаивания системы на две жидкие прозрачные фазы при комнатной температуре (см. рис. 1, 2). Нижняя фаза окрашена в желтый цвет, и ему, согласно [14], соответствует прошедший основной синий цвет. Экстракционно-фотометрические методики определения широкого перечня халькофильных элементов тиопирином в оптимальных условиях молекулярной абсорбции света в диапазоне 330–735 нм представлены в обзоре [8]. Экстракция салицилатом тиопириния в комбинации с фотометрией также перспективна в анализе кислых хлоридных растворов, например сточных и поверхностных вод. Степень извлечения (R) ионных форм меди (II), кадмия (II), свинца (II) и цинка (II) из образцов фильтрата речной воды после однократной экстракции составила

(92 $\pm$ 2) %, (90 $\pm$ 3) %, (94 $\pm$ 2) %, и (97 $\pm$ 1) % соответственно (см. табл. 4–7).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что эквимольный расплав салицилата тиопириния и органической фазы представляет собой электропроводящий ионный ассоциат, который малорастворим даже в соляной кислоте, перспективен в качестве экстрагента в инструментальных методах определения ионов халькофильных элементов и апробирован на реальных образцах речной воды.

При модификации этиловым спиртом ионный ассоциат салицилата тиопириния эффективно *in situ* концентрирует однократной экстракцией ионные формы меди, кадмия, свинца и цинка из кислых хлоридных растворов (например, фильтратов природных поверхностных вод) и сочетается с инверсионной вольтамперометрией.

Легкоплавкий расплав салицилата тиопириния эффективно извлекает неорганические формы цинка, кадмия, свинца и меди из твердых аэрозолей снега, не имеет запаха, соответствует требованиям “зеленой аналитической химии” и эффективен как экстрагент ионов элементов в комбинации с атомной спектрометрией.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Шпенглер А. А., Темерев С. В. // Изв. АлтГУ. 2011. Т. 71, № 3-2. С. 174–176.
- 2 Шишлова Е. А., Темерев С. В. // Изв. АлтГУ. 2013. Т. 79, № 3-2. С. 227–230.
- 3 Петров Б. И., Леснов А. Е., Денисова С. А. // Журн. аналит. химии. 2015. Т. 70, № 6. С. 563–576.
- 4 Темерев С. В., Петров Б. И., Савакова Ю. П. // Журн. аналит. химии. 2017. Т. 72, № 8. С. 1–6.
- 5 Химические реактивы и высокочистые химические вещества. Каталог/ О. А. Гольдина, Ю. С. Кузнецова, Т. Г. Иванова и др. М.: Химия, 1990. 688 с.
- 6 Петров Б. И., Чукин В. М., Яковлева Т. П. // Журн. общ. химии. 1991. Т. 61, № 5. С. 1050–1055.
- 7 Петров Б. И., Денисова С. А., Леснов А. Е., Шестакова Г. Е. // Изв. вузов. Химия и хим. технология. 1999. Т. 42, № 1. С. 21.
- 8 Щербакова Л. В., Чеботарев В. К. // Изв. АлтГУ. 2003. Т. 29, № 3. С. 37–48.
- 9 Пат. 2476853 РФ, 2013.
- 10 Индюшкин И. В., Темерев С. В. // Химия уст. разв. 2004. Т. 12, № 5. С. 525–539.
- 11 Акимов В. К., Бусев А. И., Клиот Л. Я. // Журн. аналит. химии. 1977. Т. 32, № 5. С. 1004–1009.
- 12 Пат. 2358899 РФ, 2009.
- 13 Мугинова С. В., Галимова А. З., Поляков Е. А., Шеховцева Т. Н. // Журн. аналит. химии. 2010. Т. 65, № 4. С. 341–362.
- 14 Лурье Ю. Ю. Справочник по аналитической химии: Справ. изд. 6-е изд., перераб. и доп. М.: Химия, 1989. С. 364.

