

УДК 622.765.061

О ВЛИЯНИИ КОМПОНЕНТОВ ОРГАНИЧЕСКОГО ЭКСТРАКТА БОРЩЕВИКА НА ФЛОТАЦИЮ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ СУЛЬФИДОВ

© Т.А. Иванова, В.В. Гетман*, Е.В. Копорулина

Институт проблем комплексного освоения недр РАН, Крюковский тупик, 4,
Москва, 111020 (Россия), e-mail: tivanova06@mail.ru, viktoriki.v@gmail.com

Исследованы комплексообразующие, сорбционные и флотационные свойства содержащего фурукумарины органического экстракта зеленой массы борщевика Сосновского (БОЭ) по отношению к сульфидным золотосодержащим минералам. Сорбция и элементный состав поверхности минералов до и после контакта с реагентом БОЭ изучались на аншлифах с помощью аналитического сканирующего электронного микроскопа (АСЭМ) LEO 1420VP, оснащенного рентгеновским энергодисперсионным микроанализатором INCA 350 и на лазерном микроскопе KEYENCE с VK-9700. Спектрофотометрическим методом и методом тонкослойной хроматографии ТСХ установлена сорбция фурукумаринов на поверхности частиц халькопирита и золота после их контакта с органическим экстрактом БОЭ. Флотационными исследованиями с использованием мономинеральных порошков FeS_2 и CuFeS_2 , а также минералов с искусственно нанесенным золотом (FeS_2Au и CuFeS_2Au), выявлена флотационная активность экстракта БОЭ по отношению к золотосодержащим пириту и халькопириту. При флотации золотосодержащей сульфидной руды с использованием БОЭ в качестве дополнительного собирателя обнаружено повышение качества концентрата по содержанию золота до 10.8 г/т и извлечения золота в концентрат до 82.69%, что на 3% выше, чем в базовом опыте. Полученные результаты дают основание говорить о возможности использования во флотации ядовитого вида борщевика после выделения из него природных химических соединений, обладающих поверхностно-активными свойствами по отношению к золотосодержащим сульфидным минералам. Получение из борщевика экстракта, содержащего фурукумарины, не представляет проблемы.

Ключевые слова: борщевик, фурукумарины, золотосодержащие минералы, золотосодержащая руда, сорбция, флотация, флотореагент-собиратель, растительный экстракт, органический экстракт, золото.

Введение

Применение флотационных реагентов растительного происхождения является одним из путей снижения стоимости и экологических последствий флотационного обогащения [1–3]. Ранее нами был разработан способ получения флотационного реагента – модификатора БО – водного экстракта измельченных листьев и стеблей борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowski*), обладающего депрессирующей способностью по отношению к железосодержащим сульфидам, и послеэкстракционного твердого остатка (ТБО), являющегося сорбентом для ионов золота и тонкодисперсных золотосодержащих частиц [4–9].

В состав зеленой массы борщевика входят разнообразные поверхностно-активные вещества, растворимые и не растворимые в воде. Экспериментально установлено, что в зависимости от избранного экстрагента в экстракты переходят те или иные группы соединений, содержащиеся в данном растительном сырье. Поверхностная активность этих экстрактов по отношению к минералам отличается, что связано с различным строением молекул, их гидрофобностью, поверхностной и комплексообразующей активностью компонентов [4, 5,

Иванова Татьяна Анатольевна – старший научный сотрудник, кандидат технических наук,
e-mail: tivanova06@mail.ru

Гетман Виктория Валерьевна – старший научный сотрудник, кандидат технических наук,
e-mail: viktoriki.v@gmail.com

Копорулина Елизавета Владимировна – главный геолог, кандидат геолого-минералогических наук, доцент,
e-mail: e_koporulina@mail.ru

10]. В водный экстракт из борщевика преимущественно переходят пектины и белки, реакционноспособные группы которых могут образовывать соли или комплексные соединения с ионами переходных металлов на поверхности минералов. Гидрофильные группы, входящие в длинноцепочечные молекулы, придают им гидрофильные свойства, что обуславливает снижение флотуемости.

* Автор, с которым следует вести переписку.

В органические экстракты переходят главным образом фурукумарины – кислородсодержащие гетероциклические биологически активные соединения, обладающие фотосенсибилизирующей активностью. В экстрактах из листьев и молодых побегов борщевика обнаружено преобладание фурукумаринов псораленового ряда – псоралена, бергаптена, ксантотоксина [4, 11, 12]. Содержание фурукумаринов в борщевике значительно выше, чем в других зонтичных растениях. По данным разных авторов, в одном килограмме борщевика содержится от 4 до 8 г кумаринов, способных переходить в органический экстракт [10, 12].

В настоящей статье обсуждаются результаты исследования сорбционных и флотационных свойств спиртового экстракта борщевика БОэ по отношению к золотосодержащим минералам.

Объекты и методы исследования

Сырье – листья и стебли борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowski*), измельченные до крупности 3 мм и высушенные до постоянной массы. При получении органического экстракта в качестве экстрагента использовали этанол (ГОСТ 5962-51). Проводилась двукратная экстракция пробы сырья при соотношении сырья и экстрагента ($T_c : Жэ$) = 1 : 25. Измельченное сырье помещали в коническую плоскодонную колбу со шлифом вместимостью 100 мл и прибавляли экстрагент. Суммарное время экстракции при температуре 22 °С с периодическим встряхиванием составило 18 ч. Извлечение фильтровали под вакуумом с помощью воронки Бюхнера с бумажным фильтром. Твердый остаток промывали этанолом, а фильтрат Φ_1 переливали в мерную колбу. Извлечение из влажного сырья повторяли в тех же условиях, получая фильтрат Φ_2 , который добавляли в мерную колбу и доводили этанолом объем объединенного фильтрата ($\Phi_1 + \Phi_2 = \Phi$) до метки, приводя концентрацию к постоянному соотношению в реагенте $T_c : \Phi = 1 : 50$.

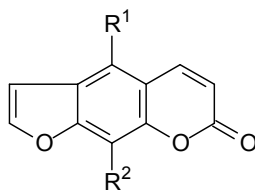
Для идентификации фурукумаринов в экстрактах и сорбированных на минералах применяли тонкослойную хроматографию (ТСХ) в сочетании с флюоресцентным анализом и УФ-спектрофотометрией [13, 14, 15, 16]. ТСХ проводили на хроматографических пластинках Sorbofil (50×75 мм). Исследуемые растворы и реагенты-свидетели в летучем растворителе наносили капилляром на линию старта пластинки. После высушивания пластинку ставили в стакан с элюирующей смесью растворителей этанол – гексан – хлороформ – ацетон в соотношении 2 : 2 : 4 : 2. По мере продвижения растворителей от линии старта до линии финиша вещества разделялись на пластинке. Пластинку проявляли с помощью УФ-облучателя (Лампы Вуда ОЛДД-01) либо с помощью паров йода. Компоненты экстракта идентифицировали по окраске пятен и расстоянию от пятна до линии старта на пластинке [4]. Оптическую плотность экстракта анализировали на спектрофотометре UV-1700 Shimadzu в кювете толщиной 10 мм. ИК спектры регистрировали на ИК-Фурье спектрометре IR-Affinity (Shimadzu).

Чтобы обеспечить возможность экспериментального изучения свойств нового растительного реагента, предназначенного для извлечения золота, на измельченные минералы халькопирит и пиритметодом восстановительной адсорбции из раствора $H[AuCl_4]$ искусственно наносили золото [17]. Морфология и элементный состав поверхности и пленок реагента на минералах шлифах изучались на лазерном сканирующем микроскопе KEYENCE VK-9700 и аналитическом сканирующем электронном микроскопе (АСЭМ) LEO 1420VP, оснащенный рентгеновским энергодисперсионным микроанализатором INCA 350. Флотацию проводили в лабораторных флотомашинах с объемом камеры 20 мл и 1000 мл и $T : Ж = 1 : 20$ и $1 : 5$ соответственно. В опытах использовали навески (1 г) мономинеральных порошков пирита и халькопирита Березовского месторождения крупностью (-0,1+0,063 мм), а также пробу золотосодержащей сульфидной руды Олимпиадинской ЗИФ с содержанием золота 2,5 г/т (навески 200 г). При рудной флотации помимо БОэ использовали собиратель бутиловый ксантогенат калия (БКК), модификатор $CuSO_4$ и вспениватель МИБК (100 г/т). Время агитации с реагентами составляло 2; 2 и 1 мин. соответственно. Время флотации – 3 мин.

Результаты экспериментов и их обсуждение

С помощью качественных реакций УФ-, ТСХ- и флюоресцентного анализа мы установили, что в полученном органическом экстракте борщевика преимущественно присутствуют фурукумарины, а длинноцепочечные водорастворимые биополимеры (белки и пектины) отсутствуют, что подтверждает полученные ранее экспериментальные результаты и данные других авторов. УФ-спектр БОэ имеет характерные для кумаринов максимумы поглощения в области 246 и 323 нм (рис. 1а) [4, 10, 14]. Как известно [18], псорален, бергаптен, ксантотоксин, императорин, изопимпинеллин обладают фотосенсибилизирующей активностью. На пластинке для

ТСХ после нанесения капли БОэ и элюирования при проявлении в УФ-свете обнаружено два красных пятна, свидетельствующего присутствия в органическом экстракте по крайней мере двух фурукумаринов [4, 19, 20]:



где $R^1=R^2=H$ – псорален; $R^1=H$; $R^2=OCH_3$ – ксантотоксин; $R^1=OCH_3$, $R^2=H$ – бергаптен; $R^1=OCH_3$; $R^2=OCH_3$ – изопимпинеллин.

Как было отмечено ранее, после водной экстракции зеленой массы борщевика остается твердый остаток (ТБО), обладающий восстановительными свойствами и комплексообразующей активностью по отношению к ионам и тонкодисперсным частицам золота за счет присутствия в ТБО фурукумаринов. После экстракции спиртом или другим органическим растворителем этот твердый остаток уже не проявляет сорбционной активности по отношению к золоту, поскольку теперь в нем отсутствуют фурукумарины [5]. В литературных источниках мы не обнаружили других сведений о взаимодействии фурукумаринов с золотом. Некоторые авторы указывают на комплексообразующую активность фурукумаринов по отношению к переходным металлам [21–24].

В связи с этим перед началом сорбционных и флотационных исследований необходимо было изучить взаимодействие фурукумаринов с золотом в водной среде. В кислой и нейтральной области pH внешний вид экстракта БОэ при взаимодействии с $H[AuCl_4]$ не изменился. При pH 10 зеленый раствор экстракта стал коричневым и изменился его УФ-спектр поглощения, который характеризовался наличием нескольких характеристических полос в диапазоне 220–450 нм (рис. 1а). В спектре экстракта исчезли характерные для фурукумаринов максимумы в области 246 и 323 нм и появились новые при 267 и 397 нм. Отсутствует также максимум, характерный для $H[AuCl_4]$ при 312 нм. Появление в спектре максимума в области 400 нм, возможно, указывает на образование соединения фурукумарина с золотом (рис. 1б).

Исследование сорбции фурукумаринов из органического экстракта БОэ на минералах

Сорбцию фурукумаринов на золотосодержащих минералах из экстракта БОэ исследовали дополняющими друг друга методами: спектрофотометрическим, методом ТСХ и микроскопическим.

Наличие нескольких характерных полос высокой интенсивности в диапазоне 220–350 нм позволяет использовать УФ-спектрофотометрию для количественного определения содержания кумаринов [19]. Результаты исследований сорбции по изменению остаточной концентрации после перемешивания раствора реагента 150 мг/л с минеральными порошками показали снижение концентрации фурукумаринов в процессе 20-минутного перемешивания с халькопиритом $CuFeS_2$ почти на 45% и халькопиритом, содержащим золото $CuFeS_2Au$, на 60% (рис. 1в). На FeS_2 и FeS_2Au сколько-нибудь значимого снижения концентрации фурукумарина обнаружено не было.

Тонкослойная хроматография (ТСХ) позволяет быстро разделить и обнаружить на хроматографической пластинке даже незначительные количества исследуемых веществ, адсорбированных на минералах [5, 25–27]. Минеральные порошки пирита, пирита с Au; халькопирита и халькопирита с Au смачивали экстрактом БОэ, выдерживали 10 мин, затем образцы промывали водой и сушили на воздухе. После подсушивания минеральных образцов сорбировавшиеся на минералах компоненты экстракта смывали четыреххлористым углеродом (CCl_4), который затем наносили капилляром на пластинку ТСХ. О присутствии фурукумаринов в сорбционном слое, смывом с минерала, свидетельствовала красная флуоресценция отдельных зон на пластинке ТСХ в УФ-свете. В сорбционном слое, смывом с поверхности частиц пирита, фурукумарины обнаружены не были, в то время как в смывах с $CuFeS_2$ и $CuFeS_2Au$ фурукумарины явно присутствовали. В нанесенном на пластинку смыве с поверхности FeS_2Au экстракте обнаружены лишь бледные следы фурукумаринов, что связано, очевидно, с недостаточно высоким содержанием искусственно нанесенного золота Au на поверхности частиц пирита и, в связи с этим, с низкой концентрацией искомого фурукумарина на поверхности (рис. 2). Таким образом, УФ- и ТСХ-методами уверенно удалось установить сорбцию фурукумаринов на минеральных порошках $CuFeS_2$ и $CuFeS_2Au$.

С помощью сканирующей электронной микроскопии (РЭМ) LEO 1420VP и лазерной микроскопии (KEYENCE сVK-9700) установлена селективная адсорбция компонентов органического экстракта БОэ на зо-

лоте. На микрофотографии представлен участок новообразования золота, нанесенного на поверхность аншлифа пирита, на котором сорбировались компоненты БОЭ, и рентгеновский спектр этого участка (рис. 3а, б). На поверхности FeS_2 следов экстракта не обнаружено. На цветных микрофотографиях, полученных на лазерном микроскопе, также обнаружены относительно большие участки реагента на поверхности золота после контакта с экстрактом БОЭ (рис. 3в).

Исследования с помощью лазерного микроскопа поверхности аншлифа халькопирита, в котором присутствуют включения пирита, подтвердили результаты, полученные УФ- и ТСХ-методами на минеральных порошках. Компоненты экстракта БОЭ, активно сорбирующиеся на участках халькопирита (рис. 4а, б), не обнаружены на поверхности пирита (рис. 4б).

Изучение флотационной активности органического экстракта БОЭ по отношению к золотосодержащим минералам

Можно было предположить, что органический экстракт БОЭ, в который преимущественно перешли фурукумарины, содержащие гетероциклические кольца с алкильными заместителями, будет повышать гидрофобность и флотируемость тех минералов, на поверхности которых была установлена адсорбция. Флотоактивность мономинеральных порошков природного пирита, халькопирита, а также пирита FeS_2Au и халькопирита CuFeS_2Au сравнивали в нейтральной среде, используя БОЭ в качестве единственного собирателя при его различной концентрации во флотационной камере. Результаты флотации приведены на рисунке 5, из которого следует, что реагент БОЭ гидрофобизирует поверхность и повышает флотируемость халькопирита и золотосодержащих сульфидов CuFeS_2Au и FeS_2Au , проявляя по отношению к ним собирательные свойства. Установлено, что органический экстракт БОЭ в условиях эксперимента не влияет на флотируемость пирита.

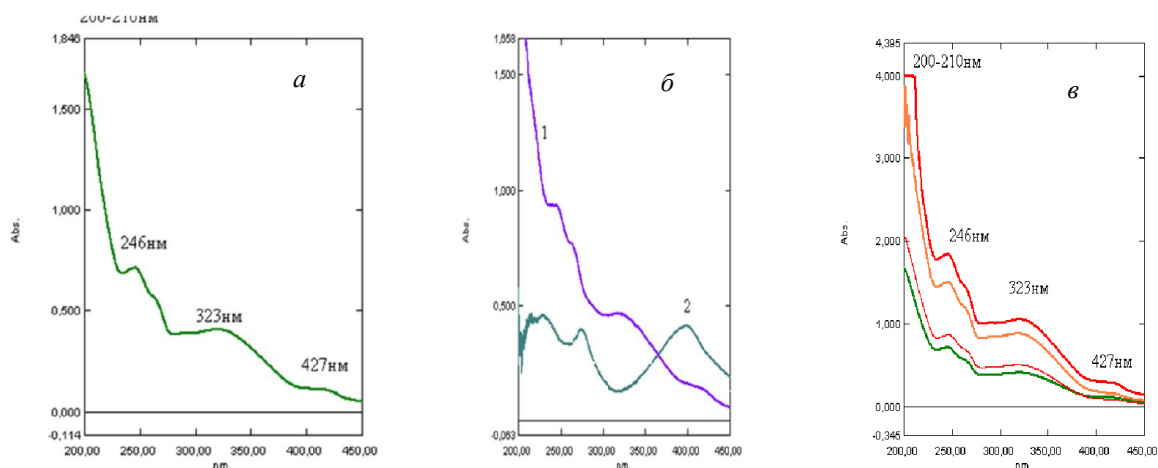


Рис. 1. УФ-спектр этанольного экстракта (БОЭ) из измельченной зеленой массы борщевика – *а*; водный раствор БОЭ – *1* и БОЭ после добавления $\text{H}[\text{AuCl}_4] + \text{NaOH}$ – *2* (растворы сравнения: H_2O – *1* и БОЭ – *2*) – *б*; снижение концентрации фурукумаринов в растворе после перемешивания БОЭ с минеральным порошком CuFeS_2Au (0, 5, 10 и 20 мин) – *в*

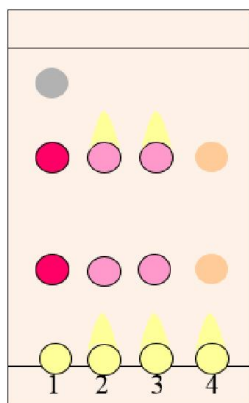


Рис. 2. Хроматограммы экстракта БОЭ-1 и смывов с минеральных порошков: CuFeS_2 – 2; CuFeS_2Au – 3; FeS_2Au – 4 после адсорбции фурукумаринов из экстракта БОЭ, элюирования в смеси растворителей этанол – гексан – хлороформ – ацетон в соотношении 2 : 2 : 4 : 2 и проявления пластинки в УФ-свете

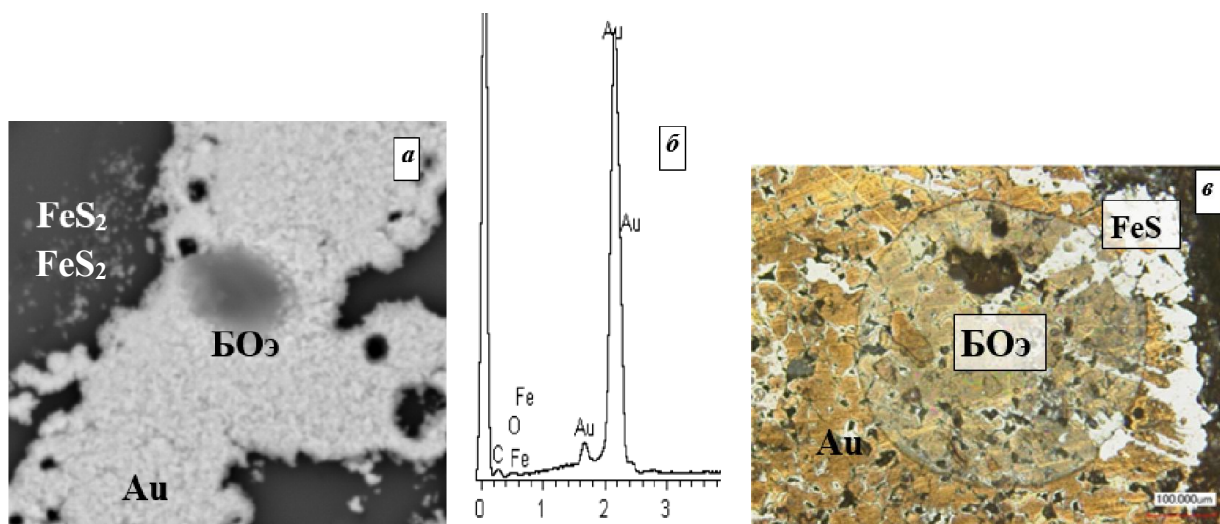


Рис. 3. РЭМ-изображение участка аншлифа FeS_2 с золотом после контакта с органическим экстрактом БОэ (LEO 1420VP) – а; и рентгеновский спектр участка Аус адсорбировавшимся на нем реагентом – б; Метка – 7 мкм; цветная микрофотография участка золота на аншлифе FeS_2 с реагентом БОэ (KEYNCE сVK-9700) – в

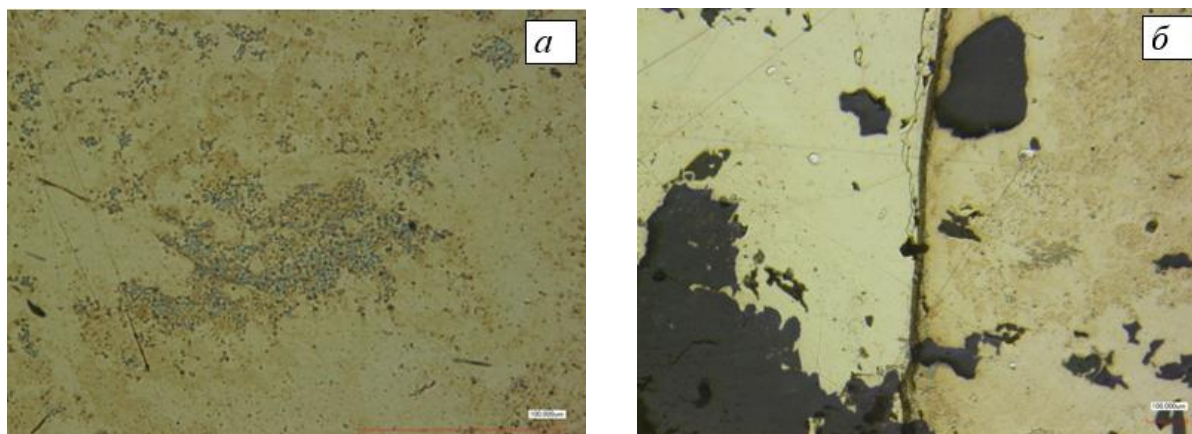
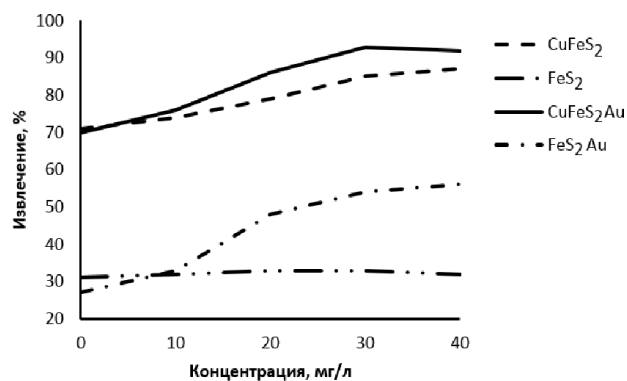


Рис. 4. Микрофотографии аншлифа CuFeS_2 с адсорбировавшимся реагентом БОэ – а; селективное закрепление БОэ на CuFeS_2 (в строчке с FeS_2) – б. Лазерный сканирующий микроскоп KEYNCE сVK-9700

Рис. 5. Влияние экстракта БОэ на флотуруемость мономинеральных порошков золотосодержащих сульфидных минералов пирита и халькопирита



Флотационная активность реагента БОэ была также исследована на технологической пробе золотосодержащей руды. Реагент вводили во флотационную пульпу дополнительно к собирателю – ксантогенату (БКК). Результаты испытаний и расход реагентов представлены в таблице, анализ данных которой показывает, что при использовании стандартного реагентного режима с применением ксантогената (200 г/т) содержание золота в концентрате флотации составило 7.9 г/т при извлечении 79.65% (опыт 1). При использовании БОэ в качестве дополнительного собирателя после введения в пульпу БКК (опыт 2) происходит значительное

повышение качества концентрата по содержанию золота до 10.8 г/т, при этом повышается и извлечение золота в концентрат до 82.69%, что на 3% выше, чем в базовом опыте с одним БКК. При дальнейшем повышении расхода ФКэ с 3 до 10 мл наблюдается тенденция к снижению качества концентрата и извлечения.

Совокупность полученных результатов показывает возможность использования органического экстракта борщевика БОэ в качестве собирателя для золотосодержащих минералов. В качестве экстрагента может быть использован не только этанол, но и другие доступные органические растворители и даже спиртовые флотационные пенообразователи [4]. Важным качеством предлагаемых флотационных реагентов является их способность не накапливаться во флотационной пульпе и оборотных водах обогатительной фабрики. Преимуществом экстрактов БО является возможность их разложения с течением времени на свету, а также неустойчивость в кислых и щелочных средах [12]. Проведенные исследования открывают еще одну возможность переработки ядовитого вида борщевика с выделением полезных природных химических соединений, обладающих поверхностно-активными свойствами по отношению к золотосодержащим сульфидным минералам.

Получение коллективных экстрактов растений без выделения отдельных компонентов – достаточно простой процесс, который не требует сложного оборудования и может быть легко налажен на обогатительной фабрике. По этой причине интересно исследование растительных экстрактов, обладающих поверхностной активностью, в качестве новых флотационных реагентов, как один из путей снижения стоимости и экологических последствий флотационного обогащения.

Технологические показатели флотации золотосодержащей сульфидной руды при использовании собирателей бутилового ксантогената и экстракта БОэ

№	Расход реагента, г/т	Продукты	Выход, %	Содержание Au, г/т	Извлечение Au, %
1	БКК-200	Концентрат	25.20	7.9	79.65
		Хвосты	74.80	0.68	20.35
		Исходное	100	2.50	100
2	БКК-200 БОэ 3 мл МИБК-100	Концентрат	19.28	10.8	82.69
		Хвосты	80.72	0.54	17.31
		Исходное	100	2.52	100
3	БКК-200 БОэ5 мл МИБК-100	Концентрат	22.38	8.9	79.55
		Хвосты	77.62	0.66	20.45
		Исходное	100	2.50	100

Выводы

Получен органический экстракт из зеленой массы борщевика, содержащий фурукумарины, для исследования его сорбционных и флотационных свойств.

Микроскопическими, спектрофотометрическими методами и методом тонкослойной хроматографии установлена сорбция фурукумаринов на поверхности халькопирита и золота после контакта с органическим экстрактом БОэ.

Выявлена флотационная активность экстракта по отношению к золотосодержащему пириту и халькопириту. Флотационные опыты, проведенные на золотосодержащих минералах и золотосодержащей сульфидной руде, показали возможность применения нового растительного реагента в качестве дополнительного собирателя для повышения извлечения золота.

Список литературы

1. Ulberg Z.R., Vachenko A.A. Biocolloidal Chemistry, Bioflotation Extraction of Nano- and Colloidal Gold from Solutions and Mineral Dispersions // *Nanosystems, Nanomaterials, Nanotechnologies*. 2008. Vol. 6, N2. Pp. 331–351.
2. Sarquis P.E., Menendez-Aquado J.M., Mahamud M.M., Dzioba R. Tannins: the organic depressants alternative in selective flotation of sulfides // *Journal of Cleaner Production*. 2014. Vol. 84. Pp. 723–726. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.08.025.
3. Матвеева Т.Н., Иванова Т.А., Громова Н.К., Ланцова Л.Б. Механизм действия растительных экстрактов при флотации упорных золотосодержащих руд // *Ресурсосбережение и охрана окружающей среды при обогащении минерального сырья (Плаксинские чтения-2016): материалы Международной конференции*. СПб., 2016. С. 85–86.
4. Иванова Т.А., Матвеева Т.Н., Чантурия В.А., Иванова Е.Н. Особенности состава многокомпонентных экстрактов борщевика и его влияние на флотационные свойства золотосодержащих сульфидов // *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 2015. №4. С. 151–157.

5. Иванова Т.А., Зимбовский И.Г., Копорулина Е.В. Пути повышения эффективности использования борщевика при обогащении золотосодержащих сульфидов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2017. №2. С. 128–134.
6. Matveeva T.N., Chanturiya V.A., Ivanova T.A., Gromova N.K. New reagent modes for flotation recovery of gold from refractory ores using herbal extracts // Proc. of XXVIII International Mineral Processing Congress (IMPC 2016). 2016. Pp. 1–11.
7. Matveyeva T.N., Ivanova T.A., Chanturiya V.A., Gromova N.K. The research flotation recovery of gold from low-grade refractory ores using herbal agents // Proceedings of the 21th International Conference on Environment and Mineral Processing. – VSB-TU Ostrava, Czech Republic, 2017. Pp. 101–107.
8. Патент РФ 2588271. Способ флотационного разделения сульфидных минералов с использованием растительного модификатора / Т.А. Иванова, Т.Н. Матвеева, В.А. Чантурия, Е.Н. Иванова, Н.К. Громова, И.Г. Зимбовский, Л.Б. Ланцова. 2016.
9. Ivanova T.A., Matveeva T.N., Chanturia V.A., Ivanova E.N. Composition of Multicomponent Heracleum Extracts and Its Effect on Flotation of Gold-Bearing Sulfides // Journal of Mining Science. 2015. Vol. 51, N4. Pp. 819–824. DOI: 10.1134/S1062739115040190.
10. Орлин Н.А. Об извлечении кумаринов из борщевика // Успехи современного естествознания. Биологические науки. 2010. №3. С. 13–14.
11. Кемертелидзе Э.П. Физико-химические методы анализа некоторых биологически активных веществ растительного происхождения. Тбилиси, 1976. 222 с.
12. Зориков П.С., Черняк Д.М., Юрлова Л.Ю. и др. Содержание фурукумаринов в борщевике Сосновского // Естественные и технические науки. 2012. №6 (62). С. 152–154.
13. Юрлова Л.Ю., Черняк Д.М., Кутовая О.П. Фурукумарины *Heracleum sosnowskyi* и *Heracleum moellendorffi* // Тихоокеанский медицинский журнал. 2013. №2. С. 91–93.
14. Химический анализ лекарственных растений. Под ред. Н.И. Гринкевич и Л.Н. Сафронович. М., 1983. Глава 8. С. 94.
15. Мусихин П.В., Сигаев А.И. Исследование физических свойств и химического состава Борщевика Сосновского и получение из него волокнистого полуфабриката // Современные наукоемкие технологии. Технические науки. 2006. № 3. С. 65–67.
16. Асемкулова Г.Б. Химический состав некоторых кормовых культур и оценка качества силоса // Кормопроизводство. 2011, №11. С. 37–38.
17. Иванова Т.А., Чантурия В.А., Зимбовский И.Г. Новые способы экспериментальной оценки селективности реагентов-собираателей для флотации золота и платины из тонко вкрапленных руд благородных металлов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2013. №5. С. 127–137.
18. Иманлы Г.А., Серкерев С.В. Кумариновые производные корней *Angelicasachokiana* (karjag.) M. Primen. EtV. Tikhomirov // Химия растительного сырья. 2015. №4. С. 165–168.
19. Ложкин А.В., Сакалян Е.И. Природные кумарины: методы выделения и анализа // Химико-фармацевтический журнал. 2006. Т. 40, №6. С. 47–57.
20. Кузнецова Г.А. Природные кумарины и фурукумарины. Л., 1967. 28 с.
21. Семенистая Е.Н. Высокоэффективная жидкостная хроматография в исследовании физико-химических свойств кумаринов и их комплексов с переходными металлами: автореф. дисс. ... канд. хим. наук. М., 2007. 24 с.
22. Семенистая Е.Н., Ларионов О.Г., Антропова И.Г., Ревина А.А. Изучение стабильности и фото и радиационно-химических реакций комплексов кумаринов с переходными металлами методом ВЭЖХ // Сорбционные и хроматографические процессы. 2007. Т. 7. С. 33–40.
23. Терентьева М.В., Чекалинская И.И. Содержание некоторых микроэлементов в новых кормовых растениях // Вести АН БССР. Серия биологических наук. 1964. №3. С. 81–83.
24. Лосев В.Н., Буйко О.В., Величко Б.А. Сорбционное концентрирование и сорбционно-атомно-эмиссионное определение золота и палладия с использованием фитосорбента // Журнал Сибирского Федерального университета. Серия Химия. 2010. Т. 3, №4. С. 355–361.
25. Вилкова А.Н., Карцова Л.А., Мартыч Ю.Н. Процессы комплексообразования при анализе биологически активных веществ в условиях высокоэффективной тонкослойной хроматографии // Хроматография – народному хозяйству: тезисы Всероссийской конференции. Дзержинск, 2010. С. 30.
26. Иванова Т.А., Чантурия В.А. Использование тонкослойной хроматографии при отработке синтеза флотационного реагента ПРОКС и исследовании его взаимодействия с сульфидными минералами // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2004. №3. С. 24–31.
27. Вольнец М.П. Тонкослойная хроматография в неорганическом анализе. М., 1974. С. 150.

Поступила в редакцию 30 июля 2018 г.

После переработки 18 октября 2018 г.

Принята к публикации 28 октября 2018 г.

Для цитирования: Иванова Т.А., Гетман В.В., Копорулина Е.В. О влиянии компонентов органического экстракта борщевика на флотацию золотосодержащих сульфидов // Химия растительного сырья. 2019. №2. С. 311–319. DOI: 10.14258/jcprgm.2019024287.

Ivanova T.A., Getman V.V., Koporulina E.V. ON THE INFLUENCE ORGANIC COMPONENTS OF THE EXTRACT OF HERACLEUM FLOTATION OF GOLD-BEARING SULPHIDES*

Research Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources named after academician N.V. Melnikov Russian Academy of Sciences (IPKON RAS), 4, KryukovskyTupik, Moscow, 111020, Russia

The complexing, sorption and flotation properties of the organic extract of the green mass of Heracleum Sosnovsky (BO) containing sulphide gold-bearing minerals were investigated. The sorption and elemental composition of the surface of the minerals before and after contact with the reagent BO were studied on polished sections using an LEO 1420VP analytical scanning electron microscope (ASEM) equipped with an X-ray energy dispersive microarray analyzer INCA 350 and a KEYNCE laser microscope with VK-9700. The sorption of furocoumarines on the surface of chalcopyrite and gold particles after their contact with the organic extract of BO was determined by a spectrophotometric method and thin-layer chromatography (TLC). By flotation studies using monomineralic powders FeS₂ and CuFeS₂, as well as minerals with artificially deposited gold (FeS₂Au and CuFeS₂Au), the flotation activity of the BO extract with respect to the gold-bearing pyrite and chalcopyrite was revealed. When flotation gold-bearing sulphide ore with the use of BO as an additional collector, an increase in the quality of the concentrate with respect to gold content up to 10.8 g / t and gold recovery into concentrate to 82.69% was found, which is 3% higher than in the base experiment. The obtained results give grounds to talk about the possibility of using the flotation of a poisonous species of Heracleum after isolation from it of natural chemical compounds possessing surface-active properties with respect to gold-bearing sulfide minerals. The extraction of an extract containing furocoumarines from the Heracleum is not a problem.

Keywords: Heracleum, furocoumarines, gold-bearing minerals, gold-bearing ore, sorption, flotation, flotation-agent-collector, plant extract, organic extract, gold.

References

1. Ulberg Z.R., Vachenko A.A. *Nanosystems, Nanomaterials, Nanotechnologies*, 2008, vol. 6, no. 2, pp. 331–351.
2. Sarquis P.E., Menendez-Aquado J.M., Mahamud M.M., Dzioba R. Tannins: the organic depressants alternative in selective flotation of sulfides // *Journal of Cleaner Production*. 2014. Vol. 84. Pp. 723–726. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.08.025.
3. Matveyeva T.N., Ivanova T.A., Gromova N.K., Lantsova L.B. *Resursosberezheniye i okhrana okruzhayushchey sredy pri obogashchenii mineral'nogo syr'ya (Plaksinskiye chteniya-2016): Materialy mezhdunarodnoy konferentsii*. [Resource conservation and environmental protection in the enrichment of mineral raw materials (Plaksinsky readings 2016): Proceedings of the international conference.]. St. Petersburg, 2016, pp. 85–86. (in Russ.).
4. Ivanova T.A., Matveyeva T.N., Chanturiya V.A., Ivanova Ye.N. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*, 2015, no. 4, pp. 151–157. (in Russ.).
5. Ivanova T.A., Zimbovskiy I.G., Koporulina Ye.V. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*, 2017, no. 2, pp. 128–134. (in Russ.).
6. Matveeva T.N., Chanturiya V.A., Ivanova T.A., Gromova N.K. *Proc. of XXVIII International Mineral Processing Congress (IMPC 2016)*, 2016, pp. 1–11.
7. Matveyeva T.N., Ivanova T.A., Chanturiya V.A., Gromova N.K. *Proceedings of the 21th International Conference on Environment and Mineral Processing*. VSB-TU Ostrava, Czech Republic, 2017. Pp. 101–107.
8. Patent 2588271 (RU). 2016. (in Russ.).
9. Ivanova T.A., Matveeva T.N., Chanturia V.A., Ivanova E.N. *Journal of Mining Science*, 2015, vol. 51, no. 4, pp. 819–824. DOI: 10.1134/S1062739115040190.
10. Orlin N.A. *Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya. Biologicheskiye nauki*, 2010, no. 3, pp. 13–14. (in Russ.).
11. Kemertelidze E.P. *Fiziko-khimicheskiye metody analiza nekotorykh biologicheskii aktivnykh veshchestv rastitel'nogo proiskhozhdeniya*. [Physical and chemical methods of analysis of some biologically active substances of plant origin]. Tbilisi, 1976, 222 p. (in Russ.).
12. Zorikov P.S., Chernyak D.M., Yurlova L.YU. et al. *Yestestvennyye i tekhnicheskiye nauki*, 2012, no. 6 (62), pp. 152–154. (in Russ.).
13. Yurlova L.YU., Chernyak D.M., Kutovaya O.P. *Tikhookeanskiy meditsinskiy zhurnal*, 2013, no. 2, pp. 91–93. (in Russ.).
14. *Khimicheskii analiz lekarstvennykh rasteniy*. [Chemical analysis of medicinal plants]. Ed. N.I. Grinkevich and L.N. Safronovich. Moscow, 1983, Part. 8. Pp. 94. (in Russ.).
15. Musikhin P.V., Sigayev A.I. *Sovremennyye naukoymkiye tekhnologii. Tekhnicheskiye nauki*, 2006, no. 3, pp. 65–67. (in Russ.).
16. Asemkulova G.B. *Kormoproizvodstvo*, 2011, no. 11, pp. 37–38. (in Russ.).
17. Ivanova T.A., Chanturiya V.A., Zimbovskiy I.G. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*, 2013, no. 5, pp. 127–137. (in Russ.).
18. Imanly G.A., Serkerov S.V. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2015, no. 4, pp. 165–168. (in Russ.).
19. Lozhkin, A.V., Sakalyan Ye.I. *Khimiko-farmatsevticheskiy zhurnal*, 2006, vol. 40, no. 6, pp. 47–57. (in Russ.).
20. Kuznetsova G.A. *Prirodnyye kumariny i furokumariny*. [Natural coumarins and furocoumarins]. Leningrad, 1967, 28 p. (in Russ.).
21. Semenistaya Ye.N. *Vysokoeffektivnaya zhidkostnaya khromatografiya v issledovanii fiziko-khimicheskikh svoystv kumarinov i ikh kompleksov s perekhodnymi metallami: avtoreferat dissertatsiya kandidata khimicheskikh nauk*. [High

* Corresponding author.

- performance liquid chromatography in the study of the physicochemical properties of coumarins and their complexes with transition metals: dissertation of the candidate of chemical sciences]. Moscow, 2007, 24 p. (in Russ.).
22. Semenistaya Ye.N., Larionov O.G., Antropova I.G., Revina A.A. *Sorbtsionnyye i khromatograficheskiye protsessy*, 2007, vol. 7, pp. 33–40. (in Russ.).
 23. Terent'yeva M.V., Chekalinskaya I.I. *Vesti AN BSSR. Seriya biologicheskikh nauk*, 1964, no. 3, pp. 81–83. (in Russ.).
 24. Losev V.N., Buyko O.V., Velichko B.A. *Zhurnal Sibirskogo Federal'nogo universiteta. Seriya Khimiya*, 2010, vol. 3, no. 4, pp. 355–361. (in Russ.).
 25. Vilkova A.N., Kartsova L.A., Martych YU.N. *Khromatografiya – narodnomu khozyaystvu: tezisyy vserossiyskoy konferentsii*. [Chromatography – to the national economy: theses of the All-Russian Conference]. Dzerzhinsk, 2010, p. 30. (in Russ.).
 26. Ivanova T.A., Chanturiya V.A. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*, 2004, no. 3, pp. 24–31. (in Russ.).
 27. Volynets M.P. *Tonkosloynaya khromatografiya v neorganicheskom analize*. [Thin layer chromatography in inorganic analysis]. Moscow, 1974, pp. 150.

Received July 30, 2019

Revised October 18, 2019

Accepted October 28, 2019

For citing: Ivanova T.A., Getman V.V., Koporulina E.V. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2019, no. 2, pp. 311–319. (in Russ.).
DOI: 10.14258/jcprm.2019024287.

