

## СНИЖЕНИЕ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ФЛОТОАКТИВНЫХ СИЛИКАТОВ В КОЛЛЕКТИВНЫЙ КОНЦЕНТРАТ ПРИ ФЛОТАЦИИ МАЛОСУЛЬФИДНОЙ ПЛАТИНОМЕТАЛЛЬНОЙ РУДЫ

И.Н. Кузнецова<sup>1</sup>, А.А. Лавриненко<sup>1</sup>, Э.А. Шрадер<sup>1</sup>, Л.М. Саркисова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ИПКОН, Москва, Россия, e-mail: lavrin\_a@mail.ru

**Аннотация:** Вкрапленные медно-никелевые и малосульфидные платинометалльные руды являются важным источником металлов платиновой группы в России. Трудности получения качественных коллективных платинометалльных сульфидных концентратов при их обогащении связаны с присутствием в этих рудах флотоактивных силикатов (в частности талька), разубоживающих концентраты и осложняющих процесс их пирометаллургической переработки. Исследованы способы снижения извлечения флотоактивных силикатов в коллективный сульфидный концентрат при флотации малосульфидной платинометалльной руды, включающие предварительную бесколлекторную флотацию талька и депрессию силикатов полимерами. Показано, что бесколлекторная флотация талька приводит к значительным потерям ценных компонентов с пенным продуктом. Меньшие потери обеспечивает применение депрессоров флотоактивных силикатов. Из испытанных депрессоров наиболее эффективным является реагент Dergamin 347 (карбоксиметилцеллюлоза), который обеспечивает наибольшую селективность разделения сульфидов от силикатов и снижение извлечения минералов пустой породы в коллективный концентрат по сравнению с Dergamin 267, декстрином и Акремоном Д-13. Выявлено небольшое снижение флотиремости сульфидов при применении Dergamin 347, которое, как показано измерением силы отрыва и электрокинетического потенциала, обусловлено увеличением смачиваемости сульфидов в результате адсорбции депрессора на их поверхности.

**Ключевые слова:** малосульфидная платинометалльная руда, тальк, бесколлекторная флотация, коллективная флотация, смачиваемость, электрокинетический потенциал, бутиловый ксантогенат, Aegorphine 3416, депрессия силикатов, карбоксиметилцеллюлоза, декстрин, Акремон Д-13, коэффициент разделения

**Для цитирования:** Кузнецова И. Н., Лавриненко А. А., Шрадер Э. А., Саркисова Л. М. Снижение извлечения флотоактивных силикатов в коллективный концентрат при флотации малосульфидной платинометалльной руды // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 5. – С. 200–208. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-05-0-200-208.

### Reduction in flotation-active silicate recovery in bulk concentrate of low-sulphide platinum-metal ore

I.N. Kuznetsova<sup>1</sup>, A.A. Lavrinenko<sup>1</sup>, E.A. Shrader<sup>1</sup>, L.M. Sarkisova<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Problems of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, e-mail: lavrin\_a@mail.ru

**Abstract:** Disseminated copper–nickel and low-sulphide platinum-metal ores are the critical source of platinum group metals in Russia. Difficult production of high-quality bulk platinum-metal sulphide

© И.Н. Кузнецова, А.А. Лавриненко, Э.А. Шрадер, Л.М. Саркисова. 2019.

concentrates during processing of such ores is connected with the presence of flotation-active silicates (in particular, talc) which dilute concentrates and complicate pyroprocessing. The analyzed methods of reducing recovery of flotation-active silicates in bulk sulphide concentrates during flotation of low-sulphide platinum-metal ore include collector-free flotation of talc and depression of silicates by polymers. It is shown that the collector-free flotation results in considerable loss of valuable components in frother product. The loss is lower with depressants of flotation-active silicates. Out of the tested depressants, the most efficient is the agent Depramin 347 (carboxyl-methyl-cellulose) that ensures the best selectivity of sulphide and silicate separation as well as reduction in gangue recovery in bulk concentrate as compared with the agents Depramin 267, dextrin and Akremon D-13. It is revealed that floatability of sulphides is slightly lower with Depramin 347, which, from the measurements of detachment force and electrokinetic potential, is governed by higher wettability of sulphides as a result of adsorption of the depressant at their surface.

**Key words:** low-sulphide platinum-metal ore, talc, collector-free flotation, bulk flotation, wettability, electrokinetic potential, butyl xanthate, Aerophine 3416, silicate depression, carboxyl-methyl-cellulose, dextrin, Akremon D-13, separation factor.

**For citation:** Kuznetsova I. N., Lavrinenko A. A., Shrader E. A., Sarkisova L. M. Reduction in flotation-active silicate recovery in bulk concentrate of low-sulphide platinum-metal ore. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2019;5:200-208. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-05-0-200-208.

## Введение

Малосульфидные платинометалльные руды представляют собой перспективный источник металлов платиновой группы (МПГ). Одной из основных проблем обогащения малосульфидных платинометалльных руд является содержание в них флотоактивных силикатов (в частности, талька), которые разубоживают коллективный концентрат и вызывают трудности при его последующей плавке.

Разработке методов снижения извлечения талька посвящены многочисленные исследования. Были испытаны методы обесшламливания и бесколлекторной флотации, однако при их применении велики потери ценных компонентов [1–3]. В практике обогащения медно-никелевых руд снижение содержания флотоактивных силикатов достигается их депрессией при флотации сульфидов. На основных предприятиях, перерабатывающих медно-никелевые руды, в качестве депрессоров флотоактивных силикатов породы применяются полисахариды растительного происхождения — карбоксиметилцеллюлоза и модифицированные смолы гуарового дерева [4].

Проводятся многочисленные исследования по поиску и созданию новых депрессоров, позволяющих повысить селективность разделения сульфидов от флотоактивной пустой породы.

В качестве депрессоров испытаны продукты переработки различных растений — конжака, пажитника [5, 6], танины [7], модифицированный хитозан, модифицированные лигнины [8, 9], синтетические полимеры — полиакриламиды (ПАА) [10, 11] и др.

Природные полимеры имеют ряд недостатков: изменчивость состава от партии к партии, нестабильность растворов. Синтетические полимеры лишены этих недостатков, их легче модифицировать при синтезе с целью улучшения их эффективности и селективности в процессе флотации [10, 12].

Органические полимеры содержат углеводородные радикалы, обуславливающие гидрофобное взаимодействие с плоской поверхностью талька, гидрофильные группы (ОН<sup>-</sup>), способные к ионизации и образованию водородной связи и сильно гидратированные ионные группы (СООН<sup>-</sup>) селективно взаимодействующие

с двухвалентными катионами Са и Mg и угловой поверхностью талька.

На адсорбцию полимеров на тальке и, следовательно, депрессию талька влияет множество факторов, включающих природу полимера, долю заряженных функциональных групп (степень замещения), молекулярную массу и концентрацию, а также свойства дисперсионной среды: pH, ионная сила раствора, присутствие катионов кальция и магния [10, 13]. С увеличением молекулярной массы полисахарида повышается адсорбция полимера на тальке и уменьшается его флотирруемость. При этом снижается селективность действия депрессора [11]. В качестве депрессоров минералов пустой породы применяются, как правило, полимеры со средним молекулярным весом.

Для депрессии силикатов обычно выбираются неионногенные и слабо анионные депрессоры. В случае анионных полимеров выявлено, что при низкой ионной силе и высоком pH раствора плотность адсорбции мала, тогда как при высокой ионной силе и низком pH плотность увеличивается. Это объясняется снижением электростатического отталкивания между карбоксильными группами свернутого в кольцо полимера и отрицательно заряженными центрами углов граней талька. Кроме того, изменение конфигурации анионного полимера от вытянутой до скрученной в кислой среде или при высокой ионной силе увеличивает плотность адсорбционного слоя. Скручиванию макромолекулы полимера способствует и присутствие ионов кальция и магния [14]. Адсорбция неионногенных полимеров не зависит от ионной силы и pH раствора.

Предполагается, что адсорбция ионногенных полимеров (КМЦ и модифицированного ПАА) преимущественно проходит посредством гидрофобного взаимодействия между плоской поверхностью таль-

ка и углеводородным радикалом. Рассчитанные значения площади, занимаемой полимером позволяют предположить, что адсорбция происходит скорее всего на плоской поверхности, чем на гидрофильных углах посредством водородной связи, или имеют место оба варианта [10].

Известно, что полимерные депрессоры снижают также флотирруемость сульфидов [11].

Исторически выбор полимера для депрессии пустой породы проводится эмпирически.

Цель работы заключалась в выборе эффективного депрессора флотоактивных силикатов при флотации малосульфидной платинометалльной руды одного из рудопроявлений Мончегорского плутона.

#### **Объекты и методы исследования**

Объектом исследования являлась малосульфидная платинометалльная руда Мончегорского плутона, которая характеризовалась низким содержанием сульфидов (менее 2%), тонкой вкрапленностью сульфидов и минералов ЭПГ от сотых долей до 1–2 мм [15], невысоким содержанием ценных компонентов порядка 0,9 г/т Pd; 0,16 г/т Pt; 0,3 г/т Au; 0,48% Ni; 0,2% Cu; 0,016% Co, преимущественным нахождением ЭПГ в виде примесей в сульфидах, наличием флотоактивного талька до 10% и других силикатов — форстерита до 38%, пироксена — до 45%.

В качестве депрессоров флотоактивных силикатов использовались полисахариды из растительного сырья — кукурузный декстрин от Bio Polymer, карбоксиметилцеллюлоза Depramin 267 и Depramin 347 компании Akzo Nobel со степенью замещения 0,7 и 0,54 и вязкостью 2% раствора при 25° 20 и 91 МПа соответственно, синтетический полимер — Акремон Д-13 (сополимер акриловой и малеиновой кислот) завода «Оргполимер

синтез», который был испытан при флотации платинометалльной малосульфидной руды массива Вуручайвенч вместо карбоксиметилцеллюлозы [16].

В качестве собирателя использовали комбинацию Aerophine 3416 компании Cytec и бутилового ксантогената при соотношении 1:1, позволяющую, как было установлено ранее [17], наиболее полно извлекать сульфиды и МПГ в коллективный концентрат.

Определение гидрофобизирующей способности депрессоров проводили путем измерения на торсионных весах силы отрыва пузырька воздуха от поверхности шлифов минералов, изготовленных из природных образцов пирротина, пентландита и талька [18].

Определение электрокинетического потенциала минералов осуществлялось на приборе ZETA-check компании Particle Metrix GmbH (США), основанном на измерении потенциала протекания.

Исследования по флотации медно-никелевой руды проводились после мокрого измельчения руды в лабораторной шаровой мельнице до 84% класса  $-0,071 \text{ мм}+0$ . Материал крупностью  $-0,040 \text{ мм}+0$  составлял 57%, в него переходило 59% кремния, 86% меди и 78% никеля.

Флотация измельченной руды проводилась на лабораторной флотационной машине ФМ2М в камере объемом  $150 \text{ см}^3$ . Содержание твердой фазы в суспензии составляло  $330 \text{ кг/м}^3$ . Расход реагентов составлял: комбинация собирателей —  $60 \text{ г/т}$  в основную и  $24 \text{ г/т}$  в контрольную флотацию, МИБК —  $20 \text{ г/т}$  и  $8 \text{ г/т}$  соответственно. Концентраты основной и контрольной флотации объединялись.

### Результаты и обсуждение

Для удаления флотоактивных силикатов были испытаны методы бесколлекторной флотации и депрессии силикатов при коллективной флотации сульфидов.

Для отделения гидрофобных силикатов проводилась флотация вспенивателем с использованием метилизобутилкарбинола (МИБК) и изопропилового спирта, который по данным И.А. Блатова [3] обеспечивает меньшие потери никеля по сравнению с другими вспенивателями. С испытанными вспенивателями получены близкие результаты по выходу концентрата и извлечению в него кремния и никеля (18%, 22% и 16%, соответственно). Потери меди с изопропиловым спиртом составили 19% и 21% — с МИБК. Таким образом, выделение флотоактивных силикатов перед флотацией сульфидов приводит к значительным потерям ценных компонентов. Аналогичные выводы были сделаны при исследовании флотации оталькованной медно-никелевой руды месторождений Mimosa и Trojan в Зимбабве с выделением флотоактивных силикатов в голове процесса [1, 2].

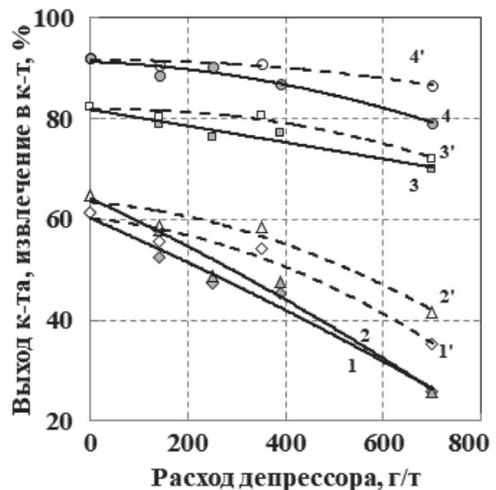


Рис. 1. Влияние расхода Depramin 347 (1, 2, 3, 4) и Depramin 267 (1', 2', 3', 4') на показатели флотации пробы медно-никелевой руды: 1, 1' — выход концентрата; 2, 2' — извлечение Si; 3, 3' — извлечение Ni; 4, 4' — извлечение S

Fig. 1. Flotation performance of low sulfide platinum ore sample depending on dosages (consumption) of Depramin 347 (1, 2, 3, 4) and Depramin 267 (1', 2', 3', 4'): 1, 1' — concentrate yield; 2, 2' — Si recovery; 3, 3' — Ni recovery; 4, 4' — S recovery

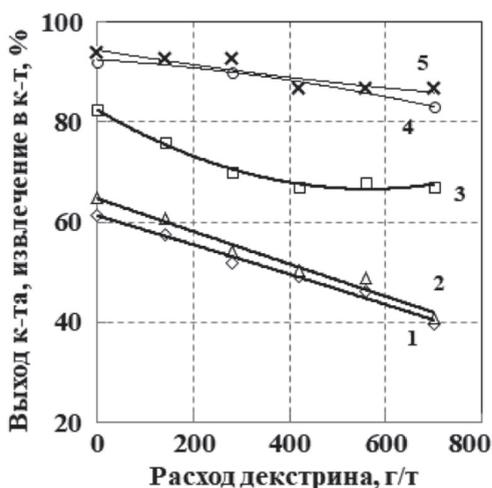


Рис. 2. Влияние расхода декстрина на показатели флотации пробы медно-никелевой руды: 1 — выход концентрата; 2 — извлечение — Si; 3 — извлечение Ni; 4 — извлечение S; 5 — извлечение Cu

Fig. 2. Flotation performance of low sulfide platinum ore sample depending on dosages (consumption) of dextrin: 1 — concentrate yield; 2 — Si recovery; 3 — Ni recovery; 4 — S recovery, 5 — Cu recovery

Депрессия силикатов при коллективной флотации сульфидов проводилась природными и синтетическими полиме-

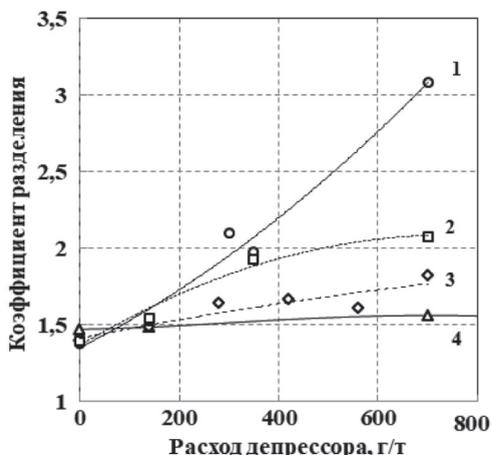


Рис. 3. Коэффициент разделения S от Si в зависимости от расхода депрессора: 1 — Depramin 347; 2 — Depramin 267; 3 — декстрин; 4 — Акремон Д-13

Fig. 3. Separation coefficient S from Si against depressant dosages: 1 — Depramin 347; 2 — Depramin 267; 3 — dextrin; 4 — Akremon D-13

рами. Влияние Depramin 267, Depramin 347, кукурузного декстрина на показатели коллективной флотации руды показано на рис. 1 и 2. С увеличением расхода депрессоров снижается выход концентрата и извлечение в него кремния и в меньшей степени Ni и S. Причем, Depramin 347 является более эффективным депрессором минералов породы, с увеличением его расхода выход концентрата и извлечение в него кремния снижаются больше, чем при применении Depramin 267 и декстрина.

Испытания реагента Акремон Д-13 показали, что с увеличением расхода до 1260 г/т выход концентрата снизился на 4%, извлечение в концентрат кремния — на 5%, никеля — на 3%, меди — на 2%, серы — на 5%. Акремон Д-13 оказал слабое депрессирующее действие на флотоактивные силикаты.

Рассчитаны коэффициенты разделения S и Si при флотации по уравнению Козна [19]:

$$I = \varepsilon_s / \varepsilon_{Si}$$

где  $\varepsilon_s$  и  $\varepsilon_{Si}$  — извлечение S и Si в концентрат.

Результаты расчетов показали, что образцы карбоксиметилцеллюлозы — более селективные депрессоры по сравнению с декстрином, наиболее селективным является депрессор Depramin 347. Реагент Акремон Д-13 показал самые низкие результаты по селективности разделения (рис. 3).

Оптимальные показатели флотации пробы руды имеют место при расходе Depramin 347—390 г/т: При этом выход концентрата снизился с 62% до 45%, извлечение кремния — с 65% до 47%, никеля с 82% до 77%, меди — с 94% до 91%. Содержание никеля в концентрате составило около 0,8%, суммы драгоценных металлов — 2,1 г/т. Полученный концентрат пригоден для гидрометаллургической переработки по технологии, разработанной в институте «Гипронибель» [20].

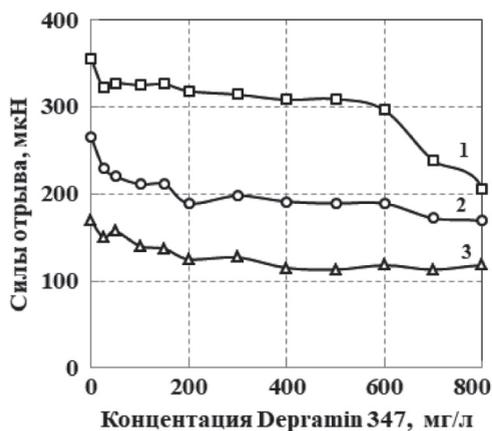


Рис. 4. Влияние концентрации Depramin 347 на силу отрыва пузырька воздуха от поверхности шлифа талька (1), пирротина (2) и пентландита (3)

Fig. 4. Effect of Depramin 347 concentration on air bubble detachment force from the surface of: 1 – talc; 2 – pyrrhotite; 3 – pentlandite

В многочисленных работах по депрессии талька приводится мало сведений об адсорбции полимеров на сульфидах, отмечается лишь снижение их флотиремости [11].

В настоящей работе исследовано действие Depramin 347 на смачиваемость поверхности талька, пирротина и пентландита путем измерения силы отрыва пузырька воздуха от поверхности шлифа минерала.

С увеличением концентрации Depramin 347 происходит повышение смачиваемости не только талька, но и пирротина и пентландита (рис. 4), что является результатом адсорбции депрессора на поверхности, о чем свидетельствует увеличение отрицательного электрокинетического потенциала минералов (рис. 5). Это обуславливает ухудшение флотиремости сульфидов.

### Заключение

Установлено, что предварительная бесколлекторная флотация флотоактивных силикатов приводит к значительным поте-

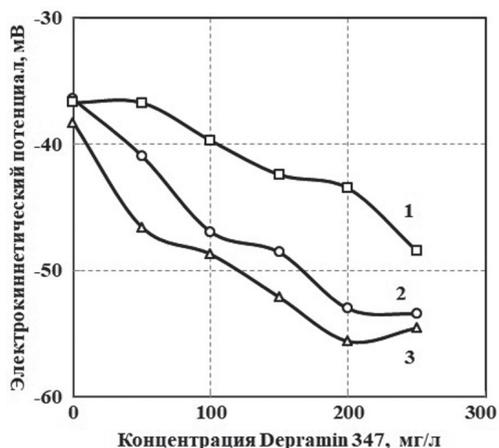


Рис. 5. Влияние концентрации Depramin 347 на электрокинетический потенциал при pH9 (NaOH): 1 – оливин, 2 – тальк, 3 – пирротит

Fig. 5. Effect of Depramin 347 concentration on zeta potential of minerals at pH9 (NaOH): 1 – olivine, 2 – talc, 3 – pyrrhotite

рям ценных компонентов с пенным продуктом. Меньшие потери обеспечивает применение депрессоров силикатов при коллективной флотации сульфидов.

Наиболее эффективным из испытанных депрессоров флотоактивных силикатов является Depramin 347, который в большей степени снижает выход концентрата и извлечение в него кремния. Установлена большая селективность Depramin 347 при разделении сульфидов от флотоактивных силикатов по сравнению с Depramin 267, декстрином и Акремоном Д-13.

В присутствии Depramin 347 с ростом его концентрации увеличивается отрицательный электрокинетический потенциал талька, оливина и пирротина, что, свидетельствует об адсорбции полимера на минералах. Это приводит к повышению их смачиваемости и снижению флотиремости.

Авторы выражают благодарность д.т.н. В.Д. Макарову и к.т.н. О.Г. Лусиняну за участие в работе.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Nashwa V.M.* The flotation of high talc-containing ore from the Great Dyke of Zimbabwe; Masters of Science degree (Metallurgy), Pretoria University, South Africa. 2007, 166 p. available at: <https://repository.up.ac.za/bitstream/handle/2263/27726/dissertation.pdf?sequence=1> (accessed 04.05.2018).
2. *Sebia Pikinini.* Reducing the magnesium oxide content in trojan's nickel final concentrates / School of Chemical and Metallurgical Engineering, Faculty of Engineering and Built in Environment, University of Witwatersrand, Johannesburg, South Africa. 2016, 90 p. available at: <http://wiredspace.wits.ac.za/bitstream/handle/10539/21143/RESEARH%20REPORT%20FINAL%20Sebia%20%283%29%20corrected.pdf?sequence=2&isAllowed=y> (accessed 02.05.2018).
3. *Блатов И. А.* Обогащение медно-никелевых руд. — М.: Издательский дом «Руда и металлы», 1998. — 224 с.
4. *Srdyan M. Bulatovic.* Handbook of Flotation Reagents: Chemistry, Theory and Practice. 1st Edition. Vol. 2: Flotation of Gold, PGM and Oxide Minerals. Amsterdam: Elsevier Science. 2010. 230 p.
5. *Wei Deng, Longhua Xu, Jia Tian, Yuehua Hu, Yuexin Han.* Flotation and Adsorption of a New Polysaccharide Depressant on Pyrite and Talc in the Presence of a Pre-Adsorbed Xanthate Collector // *Minerals*. 2017, Vol. 7, No 3, 14 p.
6. *Zhao K., Gu G., Wang C., Rao X., Wang X., Xiong X.* The effect of a new polysaccharide on the depression of talc and the flotation of a nickel-copper sulfide ore // *Mineral Engineering*. 2015, Vol. 77, pp. 99–105.
7. *Матвеева Т. Н., Иванова Т. А., Громова Н. К., Ланцова Л. Б.* Научный прогноз и технологические исследования флотационного извлечения благородных металлов из упорных руд при использовании растительных модификаторов / IX Конгресс обогатителей стран СНГ. Сборник материалов. Том II. — М.: МИСиС, 2013. — С. 387–390.
8. *Guo Qian, Feng Bo, Zhang Danping, Guo Jujie.* Flotation separation of chalcopyrite from talc using carboxymethyl chitosan as depressant / *Physicochem. Probl. Miner. Process.* 2017, Vol. 53, no 2, pp. 1255–1263.
9. *Тимошенко А. Л., Опарина Л. А., Самойлова В. Г., Маркисян С. М., Трофимов В. А.* Модифицированные лигнины как реагенты-депрессоры для флотационного обогащения вкрапленных медно-никелевых руд // *Химия в интересах устойчивого развития*. — 2011. — № 19. — С. 421–425.
10. *Morris G. E., Fornasiero D., Ralston J.* Polymer depressants at the talc–water interface: adsorption isotherm, microflotation and electrokinetic studies // *Int. J. Miner. Process.*, 2002, Vol. 67, pp. 211–227.
11. *Beattie David A., Huynh Le, Kaggwa Gillian B. N., Ralston John.* The effect of polysaccharides and polyacrylamides on the depression of talc and the flotation of sulphide minerals // *Minerals Engineering*. 2006, Vol. 19, no 6–8, pp. 598–608. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2005.09.011>.
12. *Chen H. T., Ravishankar S. A., Farinato R. S.* Rational polymer design for solid-liquid separations in mineral processing applications. // *Int. J. Miner. Process.* 2003. Vol. 72, pp. 75–86.
13. *Khraisheh M., Holland C., Creany C., Harris P., Parolis L.* Effect of molecular weight and concentration on the adsorption of CMC onto talc at different ionic strengths // *Int. J. Miner. Process.*, 2005, Vol. 75, pp. 197–206.
14. *Parolis L. A. S., van der Merwe R., Groenmeyer G. V., Harris P. J.* The influence of metal cations on the behaviour of carboxymethyl celluloses as talc depressants. // *Colloids Surfaces A Physicochem. Eng. Asp.* 2008, Vol. 317, pp. 109–115. doi: 10.1016.
15. *Нерадовский Ю. Н., Рундквист Т. В., Галкин А. С., Климентьев В. Н.* К проблеме платиноносности рудного пласта 330 г. Сопча и его промышленного использования (Мончегонский pluton) // *Вестник Мурманского государственного технического университета*. — 2002. — Т. 5. — № 1. — С. 85–90.
16. *Мухина Т. Н., Хашковская Т. Н., Марчевская В. В., Максимов В. И., Козырев С. М.* Минерало-технологические испытания платинометаллических малосульфидных руд массива Вуручайвенч / *Современные проблемы обогащения и глубокой комплексной переработки минерального сырья (Плаксинские чтения): Международное совещание (Владивосток, 16–21 сентября 2008 г.)*. Ч. 2. — Владивосток: Тихоокеанская академия наук экологии и безопасности жизнедеятельности, 2008. — С. 397–399.

17. Лавриненко А. А., Макаров Д. В., Шрадер Э. А., Саркисова Л. М., Кузнецова И. Н. Флотация малосульфидной платинометалльной медно-никелевой оталькованной руды // Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: XXIII Международная научно-техническая конференция (Екатеринбург, 10–23 апреля 2018 г.). — Екатеринбург: Изд-во «ФорТ Диалог-Исеть», 2018. — С. 25–29.

18. Чантурия В. А., Недосекина Т. В., Федоров А. А. Некоторые особенности взаимодействия сульфидрильных собирателей класса ксантогенатов и дитиокарбаматов с пиритом и арсениопиритом // Цветные металлы. — 2000. — № 5. — С. 12–15.

19. Барский Л. А., Рубинштейн Ю. Б. Кибернетические методы в обогащении полезных ископаемых. — М.: Недра, 1970. — С. 90–92.

20. Салтыков П. М., Калашникова М. И., Салтыкова Е. Г. Гидрометаллургическая технология переработки пентландит-пирротиновых сульфидных концентратов цветных металлов с высоким извлечением металлов платиновой группы // Цветные металлы. — 2014. — № 9. — С. 75–81. **ИИАС**

## REFERENCES

1. Nashwa V.M. *The flotation of high talc-containing ore from the Great Dyke of Zimbabwe*; Masters of Science degree (Metallurgy), Pretoria University, South Africa. 2007, 166 p. available at: <https://repository.up.ac.za/bitstream/handle/2263/27726/dissertation.pdf?sequence=1> (accessed 04.05.2018).

2. Sebia Pikinini. *Reducing the magnesium oxide content in trojan's nickel final concentrates* / School of Chemical and Metallurgical Engineering, Faculty of Engineering and Built in Environment, University of Witwatersrand, Johannesburg, South Africa. 2016, 90 p. available at: <http://wiredspace.wits.ac.za/bitstream/handle/10539/21143/RESEARCH%20REPORT%20FINAL%20Sebia%20%283%29%20corrected.pdf?sequence=2&isAllowed=y> (accessed 02.05.2018).

3. Blatov I.A. *Obogashchenie medno-nikelevykh rud* [Обогащение медно-никелевых руд], Moscow, Izdatel'skiy dom «Ruda i metally», 1998, 224 p.

4. Srdyan M. Bulatovic. *Handbook of Flotation Reagents: Chemistry, Theory and Practice*. 1st Edition. Vol. 2: Flotation of Gold, PGM and Oxide Minerals. Amsterdam: Elsevier Science. 2010. 230 p.

5. Wei Deng, Longhua Xu, Jia Tian, Yuehua Hu, Yuexin Han. Flotation and Adsorption of a New Polysaccharide Depressant on Pyrite and Talc in the Presence of a Pre-Adsorbed Xanthate Collector. *Minerals*. 2017, Vol. 7, No 3, 14 p.

6. Zhao K., Gu G., Wang C., Rao X., Wang X., Xiong X. The effect of a new polysaccharide on the depression of talc and the flotation of a nickel-copper sulfide ore. *Mineral Engineering*. 2015, Vol. 77, pp. 99–105.

7. Matveeva T.N., Ivanova T.A., Gromova N.K., Lantsova L.B. Scientific prediction recovery and technological research of flotation extraction of precious metals from refractory ores using plant modifiers. *IX Kongress obogatiteley stran SNG. Sbornik materialov*. Vol. II, Moscow, MISiS, 2013, pp. 387–390. [In Russ].

8. Guo Qian, Feng Bo, Zhang Danping, Guo Jujie. Flotation separation of chalcopyrite from talc using carboxymethyl chitosan as depressant. *Physicochem. Probl. Miner. Process.* 2017, Vol. 53, no 2, pp. 1255–1263.

9. Timoshenko A. L., Oparina L. A., Samoylova V. G., Markisyan S. M., Trofimov V. A. Modified lignins as depressant reagents for flotation concentration of disseminated copper-nickel ores. *Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya*. 2011, no 19, pp. 421–425. [In Russ].

10. Morris G. E., Fornasiero D., Ralston J. Polymer depressants at the talc–water interface: adsorption isotherm, microflotation and electrokinetic studies. *Int. J. Miner. Process.*, 2002, Vol. 67, pp. 211–227.

11. Beattie David A., Huynh Le, Kaggwa Gillian B. N., Ralston John. The effect of polysaccharides and polyacrylamides on the depression of talc and the flotation of sulphide minerals. *Minerals Engineering*. 2006, Vol. 19, no 6–8, pp. 598–608. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2005.09.011>.

12. Chen H. T., Ravishankar S. A., Farinato R. S. Rational polymer design for solid-liquid separations in mineral processing applications. *Int. J. Miner. Process.* 2003. Vol. 72, pp. 75–86.

13. Khraisheh M., Holland C., Creany C., Harris P., Parolis L. Effect of molecular weight and concentration on the adsorption of CMC onto talc at different ionic strengths. *Int. J. Miner. Process.*, 2005, Vol. 75, pp. 197–206.

14. Parolis L.A.S., van der Merwe R., Groenmeyer G.V., Harris P.J. The influence of metal cations on the behaviour of carboxymethyl celluloses as talc depressants. *Colloids Surfaces A Physicochem. Eng. Asp.* 2008, Vol. 317, pp. 109–115. doi: 10.1016.

15. Neradovskiy Yu. N., Rundkvist T.V., Galkin A.S., Kliment'ev V.N. To the problem of platinum-bearing ore stratum 330 g. Sopcha and its industrial use (Monchegorski pluton). *Vestnik Murmanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2002. Vol. 5, no 1, pp. 85–90. [In Russ].

16. Mukhina T.N., KHashkovskaya T.N., Marchevskaya V.V., Maksimov V.I., Kozyrev S.M. Mineralogical and technological tests of platinum metal low-sulphide ores of the Vurachuyvench massif. *Sovremennye problemy obogashcheniya i glubokoy kompleksnoy pererabotki mineral'nogo syr'ya* (Plaksinskie chteniya): *Mezhdunarodnoe soveshchanie* (Vladivostok, 16–21 September 2008). Part 2. Vladivostok: Tikhookeanskaya akademiya nauk ekologii i bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti, 2008, pp. 397–399. [In Russ].

17. Lavrinenko A.A., Makarov D.V., Shrader E.A., Sarkisova L.M., Kuznetsova I.N. Флотация малосульфидной платинометалльной медно-никелевой оталькованной руды. *Nauchnye osnovy i praktika pererabotki rud i tekhnogennogo syr'ya: XXIII Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya* (Ekaterinburg, 10–23 April 2018). Ekaterinburg, Izd-vo «Fort Dialog-Iset'», 2018, pp. 25–29. [In Russ].

18. Chanturiya V.A., Nedosekina T.V., Fedorov A.A. Some features of the interaction of sulphid collectors of the class of xanthates and dithiocarbamate with pyrite and arsenopyrite. *Tsvetnye metally*. 2000, no 5, pp. 12–15. [In Russ].

19. Barskiy L.A., Rubinshteyn Yu. B. Kiberneticheskie metody v obogashchenii poleznykh iskopayemykh [Cybernetic methods in the ore dressing], Moscow, Nedra, 1970, pp. 90–92.

20. Saltykov P.M., Kalashnikova M.I., Saltykova E.G. Hydrometallurgical technology for processing of non-ferrous pentlandite-pyrrhotite sulfide concentrates with high recovery of platinum-group metals. *Tsvetnye metally*. 2014, no 9, pp. 75–81. [In Russ].

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Лавриненко Анатолий Афанасьевич<sup>1</sup> — доктор технических наук, зав. лабораторией, e-mail: lavrin\_a@mail.ru,

Шрадер Элеонора Александровна<sup>1</sup> — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: Leonora\_shrader@mail.ru,

Саркисова Лидия Михайловна<sup>1</sup> — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, e-mail: lida\_sar@mail.ru,

Кузнецова Ирина Николаевна<sup>1</sup> — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, e-mail: iren-kuznetsova@mail.ru,

<sup>1</sup> Институт проблем комплексного освоения недр.

**Для контактов:** Лавриненко А.А., e-mail: lavrin\_a@mail.ru.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

A.A. Lavrinenko<sup>1</sup>, Doctor of Technical Sciences, Head of Laboratory, e-mail: lavrin\_a@mail.ru,

E.A. Shrader<sup>1</sup>, Candidate of Technical Sciences, Leading researcher, e-mail: Leonorashrader@mail.ru,

L.M. Sarkisova<sup>1</sup>, Candidate of Technical Sciences, Senior researcher, e-mail: lidasar@mail.ru,

I.N. Kuznetsova<sup>1</sup>, Candidate of Technical Sciences, Senior researcher, e-mail: iren-kuznetsova@mail.ru,

<sup>1</sup> Institute of Problems of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences, 111020, Moscow, Russia.

**Corresponding author:** A.A. Lavrinenko, e-mail: lavrin\_a@mail.ru.