

УДК 622.765  
 DOI: 10.21209/2227-9245-2019-25-6-40-45

## ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЗМА ВЗАЙМОДЕЙСТВИЯ РЕАГЕНТА-ДЕПРЕССОРА С ПОВЕРХНОСТЬЮ УГЛЕРОДИСТОГО ВЕЩЕСТВА

### THE STUDY OF THE INTERACTION MECHANISM OF THE REAGENT-DEPRESSOR WITH THE CARBONACEOUS MATTER SURFACE



**А. И. Сосипатров,**  
Иргиредмет,  
г. Иркутск  
Andrey3481659@mail.ru



**Г. М. Панченко,**  
Иргиредмет,  
г. Иркутск  
GalPanchenko@mail.ru



**А. Ю. Чикин,**  
Иркутский государственный  
университет, г. Иркутск  
Anchik53@mail.ru

**A. Sosipatov,**  
Irgiredmet, Irkutsk

**G. Panchenko,**  
Irgiredmet, Irkutsk

**A. Chikin,**  
Irkutsk State University, Irkutsk

Отмечено, что проблема переработки золото-углеродсодержащих руд, обладающих высокой сорбционной активностью в процессе цианирования, заставляет искать новые и совершенствовать известные способы снижения извлечения органического углерода в товарные продукты обогащения. Указано, что одним из перспективных является метод депрессии углеродистого вещества в процессе флотационного обогащения с применением различных реагентов депрессоров. Показано, что данный метод позволяет извлечь золото и золотосодержащие сульфиды во флотоконцентрат, оставляя углеродистое вещество в хвостах обогащения. Эффективность нового реагента-депрессора Р-2 подтверждена флотационными исследованиями с проведением полупромышленных и промышленных испытаний на углистых золотосодержащих рудах различных территориальных формаций. В настоящее время выходит на проектную мощность золотоизвлекательный комплекс по переработке упорной углеродсодержащей руды с использованием реагента-депрессора Р-2 в процессе флотационного обогащения.

С учетом особенностей углистых золотосодержащих руд, характеризующихся многообразием форм нахождения углеродистого вещества, обуславливающих различную степень их упорности к цианистому процессу, представляет интерес изучение характера воздействия указанного реагента на поверхность углеродистого вещества. Описан возможный механизм взаимодействия реагента-депрессора Р-2 с поверхностью углеродистого вещества с использованием различных методов исследований. Установлено, что образование комплекса реагент – углеродистое вещество – вода происходит в результате физической сорбции посредством сил Ван-Дер-Ваальсова взаимодействия.

**Ключевые слова:** флотация; углеродистое вещество; упорность; физическая сорбция; реагент-депрессор; содержание; извлечение; исследования; полупромышленные, промышленные испытания; внедрение

The problem of processing gold-carbon-containing ores with high sorption activity in the process of cyanidation makes it necessary to search for new and improve known methods of reducing the extraction of organic carbon into commercial products of enrichment. One of the most promising is the method of depression of carbonaceous matter in the process of flotation concentration, using various reagents depressors. This method allows you to extract gold and gold sulfides in the flotation concentrate leaving carbonaceous matter in the tailings. The effectiveness of the new reagent-depressor R-2, confirmed by flotation studies, with conducting semi-industrial and industrial tests on carbonaceous gold-bearing ores of various territorial formations. At present, the gold

extraction complex for processing refractory carbon-containing ore with the use of reagent P-2 in the process of flotation enrichment is reaching its design capacity.

Taking into account the peculiarities of carbonaceous gold-bearing ores, which are characterized by a variety of forms of finding carbonaceous matter, causing their varying degrees of persistence to the cyanide process, it is of interest to study the nature of the effect of the above reagent on the surface of carbonaceous matter. This paper describes a possible mechanism for the interaction of the reagent-depressant R-2 with the surface of the carbonaceous matter, using various research methods. It has been established that the formation of the reagent-carbon-matter-water complex occurs because of physical sorption, by means of the Van-der-Waals interaction forces

**Key words:** flotation; carbonaceous matter; persistence; physical sorption; reagent-depressant; content; recovery; research; semi-industrial, industrial tests; implementation

**Введение.** Большинство золотоперерабатывающих предприятий сталкивается с проблемой переработки руды с присутствием углеродистого вещества (УВ). Проблема заключается в том, что при флотационном обогащении углеродсодержащих золотоносных руд УВ переходит в товарные продукты обогащения, что негативно сказывается на их дальнейшей переработке (сорбционная активность материала влияет на качественные показатели переработки в гидрометаллургии) и, соответственно, на сквозном извлечении металла [3; 6; 10].

С целью снижения негативного влияния УВ и минимизации потерь ценного компонента в промышленности используют различные методы и технологические приемы. Одним из таких методов является депрессия углеродистого вещества в процессе флотационного обогащения. Данный метод позволяет извлечь золото и золотосодержащие сульфиды в концентрат флотации, оставляя УВ в хвостах обогащения. В качестве депрессора углерода используют различные реагенты органического происхождения [1; 7].

В институте АО «Иргиредмет» исследован и проверен новый реагент Р-2. Применение реагента Р-2 при флотации углистых золотосодержащих руд различных месторождений позволило значительно снизить содержание органического углеродистого вещества в концентрате флотации и обеспечить высокое извлечение золота при дальнейшем цианировании флотоконцентратов [2; 9].

**Методология и методы исследования.** Исследования механизма взаимодействия реагента-депрессора Р-2 с УВ осуществлялись на углеродсодержащем продукте с массовой долей органического углерода 40 %, выделенного из золото-углеродсодержащей руды методом флотационного обогащения (с применением бутилового спирта в качестве

вспенивателя). Из полученного условно чистого углеродистого вещества подготовлены образцы для проведения исследований. Образец 1 – чистый, без дополнительной обработки реагентами. Образец 2 – обработанный водным раствором реагента Р-2. Подготовленные образцы УВ изучали методами электронной микроскопии на приборе Jeol JIB – Z4500, ИК-спектроскопии с использованием прибора Vertex 70 Bruker, а также методом УФ-спектроскопии анализировали концентрацию реагента Р-2 в водном растворе.

**Результаты исследования и область их применения.** Результаты исследования электронной микроскопии свидетельствуют о том, что в образце 1 (рис. 1) наблюдается равномерное распределение зерен УВ по всей площади снимка. В образце 2 (рис. 2) наблюдаются агрегаты УВ. Вероятно, образование агрегатов произошло в результате контакта УВ с раствором реагента Р-2, что может служить причиной изменения флотационных свойств УВ. Подобные образования отмечает М. Л. Зайцева [5].

Для установления возможного вида взаимодействия представляло интерес снятие ИК-спектров образцов УВ чистого, обработанного, отмытого, а также реагента Р-2. Спектры снимались на спектрометре Vertex 70 Bruker. По результатам исследования установлено, что в образце УВ, обработанного раствором реагента Р-2, наблюдалось наложение полос спектра УВ и спектра реагента Р-2 без образования новых связей. Дублетность полос указывает на то, что взаимодействие реагента Р-2 и УВ происходит в результате физической сорбции посредством сил Ван-Дер-Ваальсова взаимодействия.

Физическую природу закрепления подтверждают результаты десорбции реагента Р-2 с УВ, при отмывании дистиллированной водой комнатной температуры (рис. 3).

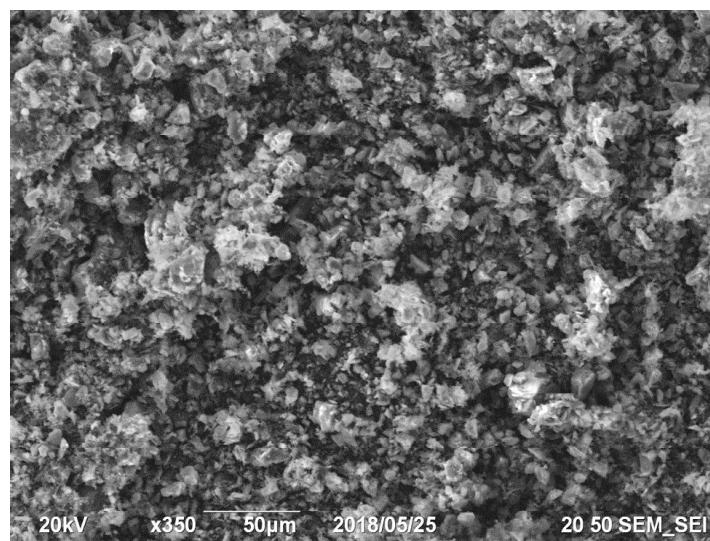


Рис. 1. Фрагмент чистого углеродистого вещества / Fig. 1. The fragment of a pure carbonaceous matter

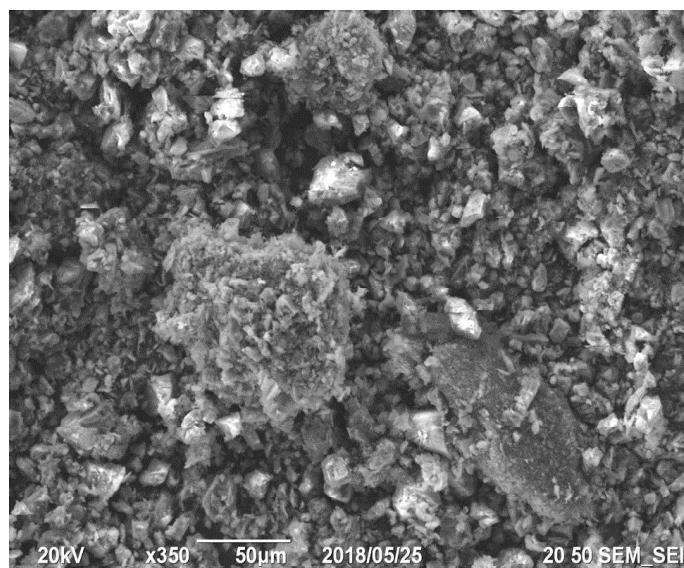


Рис. 2. Фрагмент углеродистого вещества, обработанного водным раствором Р-2 /  
Fig. 2. The fragment of carbonaceous substance treated with R-2 aqueous solution

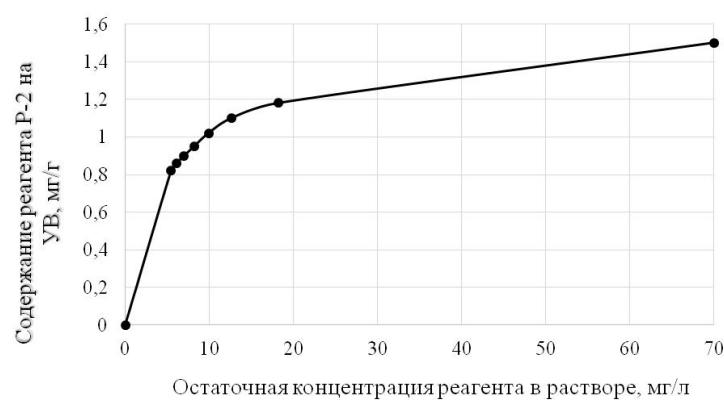


Рис. 3. Десорбция реагента Р-2 с УВ / Fig. 3. Desorption of reagent P-2 with UV

Исходя из рис. 3, следует сказать, что при агитации 1 г УВ в 50 мл водного раствора реагента Р-2 при концентрации 100 мг/л происходит закрепление реагента Р-2 на поверхности УВ в количестве 1,5 мг/г, при остаточной концентрации в растворе 70 %. Дальнейшая семикратная отмыка дистиллированной водой комнатной температуры

(объем – 350 мл) приводит к десорбции реагента Р-2 с поверхности УВ до 0,8 мг/г при оставшейся концентрации в растворе на уровне 5 %.

С учетом результатов выполненных исследований и правила Ребиндера построена модель, отражающая механизм сорбции реагента Р-2 на углеродистом веществе (рис. 4).

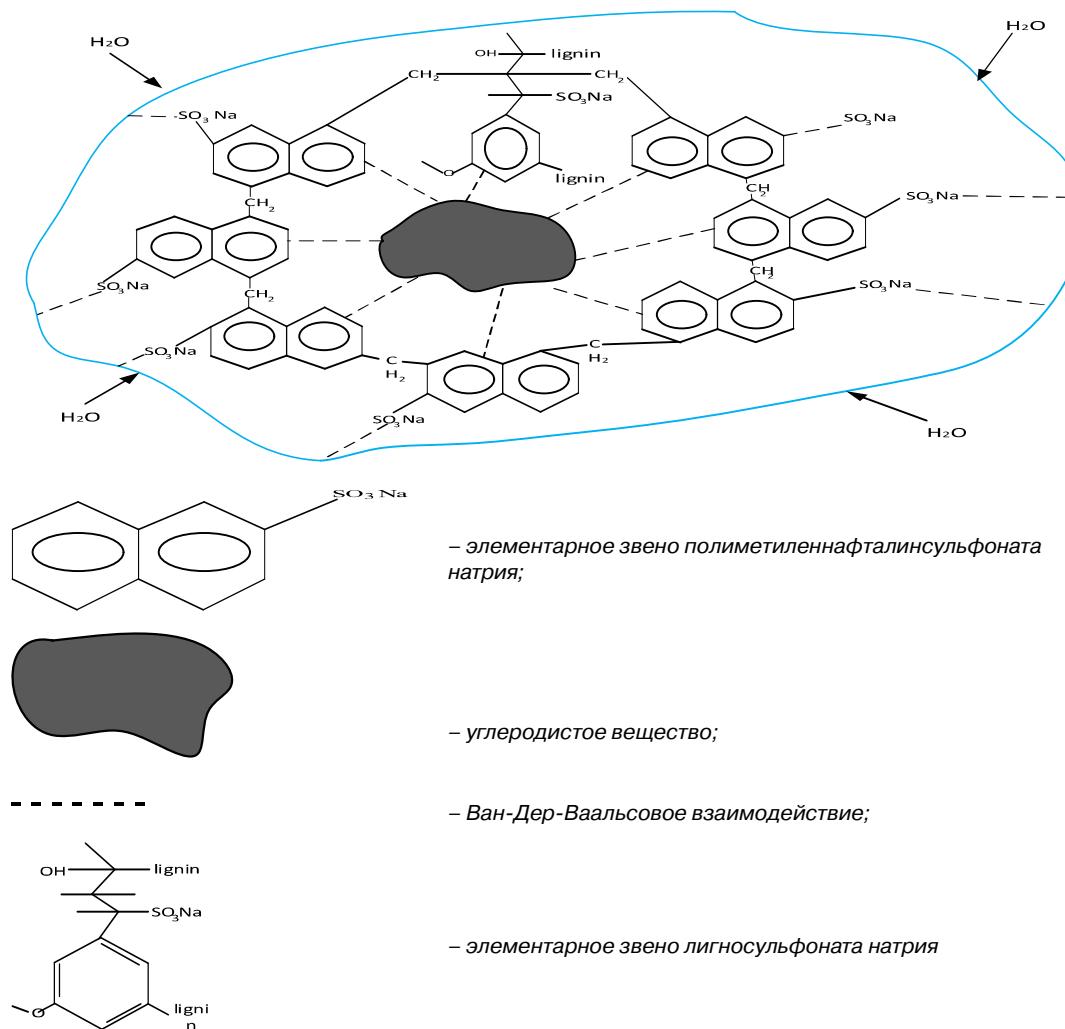


Рис. 4. Механизм образования гидрофильного комплекса «реагент – углеродистое вещество – вода» /  
Fig. 4. Formation mechanism of hydrophilic complex “reagent – carbonaceous substance – water”

Согласно правилу Ребиндера [4], закрепление поверхностно активных веществ на границе раздела твердое тело (углеродистое вещество) – жидкость происходит в результате ориентации полярных молекул ( $\text{SO}_3\text{Na}$ ) в сторону воды, а углеводородной части (нафталиновые кольца) – в сторону адсорбента.

На основании сказанного предложена схема механизма образования комплекса реагент – углеродистое вещество – вода (рис. 4).

**Заключение.** Таким образом, установлено, что при обработке углеродистого вещества раствором реагента-депрессора Р-2 наблюдается изменение формы распределения

частиц углеродистого вещества с образованием гидрофильных агрегатов. Закрепление реагента Р-2 на поверхности углеродистого

вещества происходит в результате физической сорбции посредством сил Ван-Дер-Вальсового взаимодействия.

### Список литературы

- Барченков В. В. Основные технологические процессы переработки золотосодержащих руд. СПб.: Интермедиа, 2013. 469 с.
- Винокурова М. А., Высотин В. В., Панченко Г. М., Сосипаторов А. И. Полупромышленные испытания флотационной технологии обогащения углистой золотосодержащей руды с использованием реагента-депрессора углеродистого вещества Р-2 // Золотодобыча. 2018. № 8. С. 10–14.
- Гурман М. А., Александрова Т. Н., Щербак Л. И. Флотационное обогащение бедной золото- и углеродсодержащей руды // Горный журнал. 2017. № 2. С. 70–73.
- Жуков И. И. Коллоидная химия. Ч. 1. Суспензоиды. Л.: Изд-во Ленинградского государственного ордена Ленина университета имени А. А. Жданова, 1949. 316 с.
- Зайцева М. Л. Исследование сорбционных свойств углистых веществ при цианировании золотых руд // Цветные металлы. 1973. № 1. С. 77–79.
- Ковалев В. Н., Голиков В. В., Рылов Н. В. Анализ и выбор технологии переработки упорной золото-сульфидной углеродсодержащей руды месторождения «Бакырчик» // Обогащение руд. 2017. № 2. С. 21–25.
- Меретуков М. А. Золото и природное углеродистое вещество. М.: Руда и Металлы, 2007. 63 с.
- Наканиси К. Инфракрасные спектры и строение органических соединений. М.: Мир, 1965. 216 с.
- Сосипаторов А. И., Панченко Г. М., Высотин В. В., Винокурова М. А., Чикин А. Ю. Перспектива использования реагента-депрессора отечественного производства при флотации углистых золотосодержащих руд // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2018. Т. 22, № 9. С. 184–193.
- Santiago R. C., Labeira A. C. Q. Reduction of preg-robbing activity of carbonaceous gold ores with the utilization of surface blinding additives // Minerals Engineering. 2019. Vol. 131. P. 313–320.

### References

- Barchenkov V. V. *Osnovnye tehnologicheskie protsessy pererabotki zolotosoderzhashchih rud* (The main technological processes of processing gold-containing ores). St. Petersburg: Intermedia, 2013. 469 p.
- Vinokurova M. A., Vysotin V. V., Panchenko G. M., Sosipatorov I. I. *Zolotodobycha* (Gold mining), 2018, no. 8, pp. 10–14.
- Gurman M. A., Aleksandrova T. N., Scherbak L. I. *Gorny zhurnal* (Mining Journal), 2017, no. 2, pp. 70–73.
- Zhukov I. I. *Kolloidnaya himiya. Ch. 1. Suspenzoidy* (Colloidal chemistry. Part 1. Suspension). Leningrad: Publishing House of the Leningrad State Order of Lenin University named after A. Zhdanov, 1949. 316 p.
- Zaitseva M. L. *Tsvetnye metally* (Non-ferrous metals), 1973, no. 1, pp. 77–79.
- Kovalev V. N., Golikov V. V., Rylov N. V. *Obogashchenie rud* (Ore dressing), 2017, no. 2, pp. 21–25.
- Meretukov M. A. *Zoloto i prirodnoe uglerodistoe veshchestvo* (Gold and natural carbonaceous matter). Moscow: Ore and Metals, 2007. 63 p.
- Nakanisi K. *Infrakrasnye spektry i stroenie organicheskikh soedineniy* (Infrared spectra and the structure of organic compounds). Moscow: Mir, 1965. 216 p.
- Sosipatorov A. I., Panchenko G. M., Vysotin V. V., Vinokurova M. A., Chikin A. Yu. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta* (Bulletin of the Irkutsk State Technical University), 2018, vol. 22, no. 9, pp. 184–193.
- Santiago R. C., Labeira A. C. Q. *Minerals Engineering* (Minerals Engineering), 2019, vol. 131, pp. 313–320.

### Коротко об авторах

**Сосипаторов Андрей Игоревич**, аспирант, научный сотрудник, лаборатория обогащения руд, Иргиредмет. Область научных интересов: обогащение полезных ископаемых, исследование и разработка технологии флотационного обогащения углистых золотосодержащих руд с применением реагента депрессора углеродистого вещества  
Andrey3481659@mail.ru

**Панченко Галина Михайловна**, ведущий научный сотрудник, лаборатория обогащения руд, Иргиредмет. Область научных интересов: обогащение полезных ископаемых, исследование и разработка технологий обогащения руд различного вещественного состава  
GalPanchenko@mail.ru

Чикин Андрей Юрьевич, д-р техн. наук, профессор, Иркутский государственный университет. Область научных интересов: исследование и разработка природоохраных технологий очистки производственных сточных вод, технологий глубокой переработки полезных ископаемых с использованием физико-химических методов и процессов Anchik53@mail.ru

**Briefly about the authors**

---

*Andrei Sosipatorov*, postgraduate, researcher, Ore Beneficiation laboratory, Irgiredmet JSC. Sphere of scientific interests: mineral processing, research and development of flotation concentration technology for carbonaceous gold ores using carbonaceous matter depressant reagent

*Galina Panchenko*, leading researcher, Ore Dressing laboratory, Irgiredmet JSC. Sphere of scientific interests: mineral processing, research and development of ore dressing technologies of various material composition

*Andrei Chikin*, doctor of technical sciences, professor, Irkutsk State University. Sphere of scientific interests: research and development of environmental protection technologies for the treatment of industrial wastewater, technologies for deep processing of minerals using physicochemical methods and processes

**Образец цитирования**

---

*Сосипаторов А. И., Панченко Г. М., Чикин А. Ю. Изучение механизма взаимодействия реагента-депрессора с поверхностью углеродистого вещества // Вестник Забайкальского государственного университета. 2019. Т. 25. № 6. С. 40–45. DOI: 10.21209/2227-9245-2019-25-6-40-45.*

*Sosipatorov A., Panchenko G., Chikin A. The study of the interaction mechanism of the reagent-depressor with the carbonaceous matter surface // Transbaikal State University Journal, 2019, vol. 25, no. 6, pp. 40–45. DOI: 10.21209/2227-9245-2019-25-6-40-45.*

Статья поступила в редакцию: 21.01. 2019 г.

Статья принята к публикации: 03.06. 2019 г.