

Несколько слов об учителе

Еще в 1949 г. в книге «Гидрометаллургия» [1] И. Н. Плаксин писал: «Если техника производства металлов сегодняшнего дня принадлежит в основном пирометаллургии, то металлургия ближайшего будущего, несомненно, сделает большие успехи с помощью широкого развития гидрометаллургических методов» и далее: «применение прямых гидрометаллургических способов в комбинации с обогащением и пирометаллургией может дать возможность наиболее полно извлекать попутные металлы».

Сегодня порядка 70 металлов получают с использованием «мокрой химии», основным переделом которой является выщелачивание. Кроме того, резко возросли комплексность переработки минерального сырья и число способов интенсификации основных гидрометаллургических процессов [2].

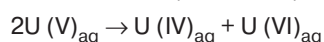
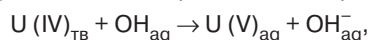
Основы технологии цианидной переработки золотосодержащих руд, изложенные в работах [1, 3–5], практически не изменились. И. Н. Плаксин разработал физико-химические основы выщелачивания, детально изучил явления «утомляемости» цианидных растворов и образования на поверхности твердой фазы пульпопассивирующих пленок, предложил методы интенсификации цианирования в автоклавах с применением кислорода и озона, новые растворители золота, в частности тиокарбамид. Тиокарбамидное выщелачивание предложено И. Н. Плаксиным в 1940-х гг. Процесс осуществляют в кислой среде, так как при $\text{pH} = 2\text{--}4$ тиокарбамид (тиомочевина) не окисляется. В качестве окислителя используют серноокислый раствор Fe (III). Скорость выщелачивания зависит от pH раствора, концентраций тиомочевина и окислителя. Тиокарбамидное выщелачивание особенно перспективно для переработки упорных золотосодержащих руд [6].

Существенным достижением в конце 1950-х гг. стало использование бесфильтрационных методов выщелачивания, впервые исследованных И. Н. Плаксиным [3] и внедренных в практику академиком Б. Н. Ласкориным [7]. Речь идет о сорбционном выщелачивании золота с переводом его на сорбент (ионообменную смолу или активированный уголь) прямо из пульпы, отделении сорбента с золотом на сетке с диаметром отверстий больше размеров частиц выщелоченной руды, но меньше размеров сорбента. По интенсивности процесс сорбции золота из пульп превосходит традиционные фильтрационные методы в сотни, а в ряде случаев (илистых и глинистых пульп) — в тысячи раз, что резко снизило затраты на производство. Кроме того, за счет сдвига равновесия (увода золота из пульпы в фазу сорбента) увеличилось извлечение золота из руд до 90 % и более. В настоящее время сорбционное выще-

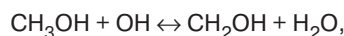
лачивание — основной процесс на большинстве предприятий, производящих золото.

Работы по совершенствованию технологии цианидного выщелачивания продолжают в НИТУ МИСиС (на кафедре цветных металлов и золота) учениками И. Н. Плаксина и М. Д. Ивановского. Так, например, обработка пульпы ультразвуком с использованием гидродинамических осцилляторов [8] позволила на порядок увеличить растворимость кислорода в пульпе и сократить длительность цианирования. Благодаря этому может быть рентабельной переработка упорного золотосодержащего сырья, ранее не перерабатываемых забалансовых руд, хвостов обогащения, пиритных огарков и др. В настоящее время на ряде предприятий России, в частности на урановом предприятии ПАО «Приаргунское производственное горно-химическое объединение» в Забайкальском крае, скопились тысячи тонн медь- и золотосодержащих пиритных огарков, основные способы переработки которых описаны в книге [1], за которую в 1952 г. И. Н. Плаксин получил Сталинскую премию.

Помимо ультразвука для интенсификации выщелачивания в последние годы стали применять другие виды воздействия на жидкую и твердую фазы пульп, в частности радиационную обработку. По инициативе И. Н. Плаксина и под его руководством в начале 1960-х гг. исследовано влияние γ -излучения на растворение оксидов урана в серноокислых растворах. Показано, что в результате радиолиза воды и непрерывного образования в кислой среде радикалов OH , HO_2 , H_2O_2 (частиц с неспаренным электроном) идут реакции:



и другие, приводящие к окислению урана и переводу его в раствор. Подтверждением служит тот факт, что введение в раствор акцепторов радикалов OH (ионов хлора, молекулярного йода или метанола) подавляет реакции:



Результаты исследований, описанных в работе [2], открывают возможности использования радиоактивного излучения (γ -установок, отработавших свой срок твэлов, ускорителей электронов, реакторных контуров) для интенсификации выщелачивания, сопровождаемого окислительно-восстановительными реакциями.



С группой китайских студентов



С коллегами в Китае. 1959 г.

Как и в случае с золотом, сорбционное выщелачивание нашло применение в технологии урана [9], что сделало рентабельной переработку сравнительно бедных по содержанию урана российских руд.

Что касается образования при выщелачивании пассивирующих пленок, то и в этом направлении идеи И. Н. Плаксина получили развитие. Для устранения или снижения внутридиффузионных сопротивлений из-за образования пленок на поверхности выщелачиваемых частиц пульпы в настоящее время используют обработку пульпы ультразвуком в гидродинамических излучателях при перепаде давления на входе и выходе не менее 8 атм, измельчение твердых частиц пульпы до размеров, соизмеримых с толщиной тормозящих выщелачивание пленок, в частности пленок твердых продуктов реакций, введение в пульпу центров кристаллизации таких продуктов [2].

Получили развитие идеи И. Н. Плаксина об использовании комбинированных способов переработки минерального сырья, сочетающие процессы флотации и выщелачивания. Так, на кафедре обогащения НИТУ

МИСиС предложена оригинальная технология переработки медных руд Удоканского месторождения [10], включающая дробление руды до крупности 1–2 мм, сернокислотное выщелачивание окисленной меди с последующим использованием технологии SX-EW, доизмельчение кека и флотацию сульфидных минералов меди с получением товарного сульфидного концентрата.

И. Н. Плаксин впервые применил автоклавное цианидное выщелачивание золотосодержащего сырья, в том числе под давлением кислорода и озона. В дальнейшем кислород и озон в качестве окислителя были опробованы и внедрены в технологии меди, урана, вольфрама и молибдена.

Даже спустя почти 50 лет после ухода из жизни И. Н. Плаксина — выдающегося ученого в области обогащения и гидрометаллургии — авторы публикуемых в настоящее время учебников [11–13] и работ по гидрометаллургии отдают дань его трудам.

А. С. Медведев

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Плаксин И. Н. Гидрометаллургия. — М. : Metallurgizdat, 1949. — 732 с.
2. Медведев А. С. Выщелачивание и способы его интенсификации. — М. : МИСиС, 2005. — 240 с.
3. Плаксин И. Н., Тэтару С. А. Гидрометаллургия с применением ионитов. — М. : Metallurgia, 1964. — 282 с.
4. Плаксин И. Н. Metallurgia благородных металлов. — М. : ГНТИ, 1943. — 430 с.
5. Ивановский М. Д., Зефиоров А. П. Metallurgia золота. — М. : ОНТИ НКТП, 1938. — 450 с.
6. Лодейщиков В. В. Извлечение золота из упорных руд и концентратов. — М. : Недра, 1968. — 202 с.
7. Ласкорин Б. Н. Современное состояние и перспективы развития гидрометаллургических процессов // Гидрометаллургия. Автоклавное выщелачивание. Сорбция. Экстракция. — М. : Наука, 1976. С. 7–19.
8. Стрижко Л. С., Саруханов Р. Г., Бобоев И. Р. Способ повышения извлечения золота с применением гидроакустических излучателей // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2013. № 3. С. 6–8.
9. Громов Б. В. Состояние и перспективы использования сорбционных процессов в гидрометаллургии // Гидрометаллургия. Автоклавное выщелачивание. Сорбция. Экстракция. — М. : Наука, 1976. С. 74–86.
10. Медведев А. С., Панин В. В., Киселев К. В. и др. Оптимизация сернокислотного выщелачивания меди из окисленных минералов сульфидно-окисленной медной руды // Цветные металлы. 2002. № 5. С. 29–31.
11. Медведев А. С., Богатырева Е. В. Теория гидрометаллургических процессов. Теория и практика гидрометаллургических процессов, лежащих в основе производства цветных и редких металлов : учебное пособие. — М. : МИСиС, 2009. — 374 с.
12. Леонов С. Б., Минеев Г. Г., Жучков И. А. Гидрометаллургия : в 2 ч. — Иркутск : ИргТУ, 1998, 2000.
13. Стрижко Л. С. Metallurgia золота и серебра : учебное пособие для вузов. — М. : МИСиС, 2001. — 336 с.

ЦМ