

УСПЕХИ АНАЛИТИЧЕСКОЙ ХИМИИ УРАНА, ТОРИЯ И ПЛУТОНИЯ

В. И. Кузнецов, С. Б. Саввин, В. А. Михайлов

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	525
1. Реакции ионов урана, тория и плутония в водных растворах	526
А. Реакции урана	526
Б. Реакции тория	532
В. Реакции плутония	535
2. Методы отделения урана, тория и плутония от других элементов	536
А. Методы отделения урана	536
Б. Методы отделения тория	538
В. Методы отделения плутония	540
3. Методы определения урана, тория и плутония	541
А. Методы определения урана	541
Б. Методы определения тория	546
В. Методы определения плутония	549

ВВЕДЕНИЕ

Широкий размах работ по использованию атомной энергии привел к быстрому развитию аналитической химии урана, тория и плутония. Достаточно, например, отметить, что число имеющихся публикаций по аналитической химии этих элементов достигает нескольких тысяч.

Обширный материал по химии урана, тория и плутония собран в монографии Сиборга и Катца, изданной в русском переводе под редакцией Николаева¹, и в последней монографии Сиборга². Наиболее полная сводка литературы по аналитической химии тория приводится в монографии Рябчикова и Гольбрайх³. Аналитическая химия урана рассматривается в монографиях и обзорных работах Роддена⁴⁻⁶, Палея⁷ и других авторов⁸⁻²³; ряд интересных данных по химии тория собран в обзорах Роддена^{4, 24}, Шелли²⁵, Миллера²⁶, Бонарди²⁷ и других^{8, 11, 31, 28, 29}, а по химии плутония — в обзорах Метч и Харвея³⁰⁻³⁴.

В настоящей статье дан обзор современных химических методов определения урана, тория и плутония, которые рассматриваются с позиций аналитических реакций этих элементов. Физические, физико-химические и другие инструментальные методы, обзор которых приводится в работах^{1, 4, 20, 35-40}, рассматриваются менее подробно.

Очерк аналитической химии нептуния приведен в статье Алимарина и Золотова⁴¹. По аналитической химии прочих трансурановых элементов опубликовано пока еще слишком мало материала.

* * *

В аналитических реакциях урана, тория и плутония характерно наличие большой аналогии в поведении однотипных ионов. Это естественно, так как вытекает из сходного строения электронных оболочек элементов. В значительной степени одинаковы и значения рН начала гидролиза катионов элементов. Это, в свою очередь, определяет глубокую аналогию условий, при которых протекают соответствующие анали-

тические реакции. Неодинаковы некоторые специфические реакции, например, люминесцентные для уранила.

Реакции четырехзарядных катионов U^{4+} , Th^{4+} , Pu^{4+} напоминают также реакции Zr^{4+} , Ti^{4+} , Ce^{4+} . Значения pH, требуемые для протекания реакций, связанных с гидролизуемостью этих катионов, располагаются по значениям pH «начала выпадения гидроокисей» в плавный ряд: Ti^{4+} (<2), Zr^{4+} (2), Pu^{4+} (3), U^{4+} (3,2), Th^{4+} (4) ¹. К реакциям этого типа относятся многие цветные реакции с органическими реагентами, реакции осаждения и другие.

Сходны между собой также реакции двухзарядных катионов UO_2^{2+} и PuO_2^{2+} и трехзарядных Pu^{3+} и U^{3+} .

В окислительно-восстановительных реакциях, наоборот, наблюдается большое различие. Хотя для тория и известно трехвалентное состояние, но в водной среде ионы Th^{3+} настолько неустойчивы, что для целей аналитической химии окислительно-восстановительные реакции не могут быть использованы ¹.

Уран наиболее устойчив в виде UO_2^{2+} . Четырехвалентный уран на воздухе окисляется приблизительно так же быстро или даже несколько быстрее, чем соли закиси железа. Трехвалентный уран — сильный восстановитель, его соли окисляются на воздухе столь же быстро, как соли трехвалентного титана.

Для плутония устойчивым на воздухе является четырехвалентное состояние. Трехвалентный плутоний, в отличие от трехвалентного урана, не является сильным восстановителем. На воздухе соли Pu^{3+} окисляются примерно так же, как и соли четырехвалентного урана или двухвалентного железа. Ион PuO_2^{2+} является слабым окислителем, такой же примерно силы, как элементарный йод.

Важнейшие химические методы отделения U, Th и Pu от прочих элементов связаны со способностью Pu и U изменять их валентные состояния и со способностью нитратов Pu^{VI} , IV , U^{VI} , IV и Th экстрагироваться из их водных растворов несмешивающимися с водой кислородсодержащими органическими растворителями. Достаточно избирательны также методы осаждения Pu^{IV} , U^{IV} и Th из сильноокислых растворов и некоторые хроматографические методы.

Основные химические методы определения — это объемные окислительно-восстановительные для U и Pu; объемные комплексометрические для Th, Pu^{IV} и U^{IV} ; весовые для всех элементов и фотометрические для U^{IV} , U^{VI} , Pu^{IV} и Th.

Цветные реакции четырехзарядных катионов протекают в кислой среде, создаваемой неорганическими кислотами, что в ряде случаев является основой для непосредственного определения их на фоне одно-, двух-, и трехзарядных прочих катионов, реакции которых наблюдаются в менее кислых средах.

1. РЕАКЦИИ ИОНОВ УРАНА, ТОРИЯ И ПЛУТОНИЯ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ

А. РЕАКЦИИ УРАНА

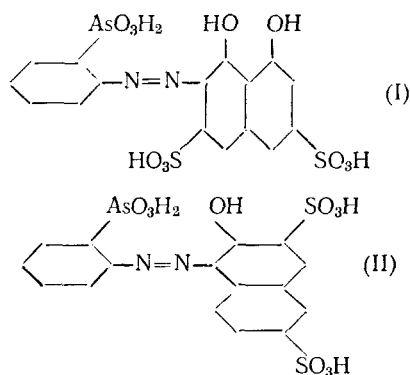
В кислых растворах, не содержащих сульфатов, фосфатов, фторидов и других комплексообразующих веществ, *шестивалентный* уран присутствует в виде сольватированных ионов UO_2^{2+} , придающих растворам желто-зеленую окраску. При возрастании pH до $\sim 4,5$ ионы UO_2^{2+} гидролизуются, переходя в остающиеся в растворе соли катиона $UO_2(OH)^{+1,4}$ или, по другим данным, соли поликатионов $U_2O_5^{2+}$ и $U_3O_8^{2+}$ ^{42, 43}. Далее они образуют нерастворимые соли урановой кислоты $Me_2U_2O_7$ или более сложного состава ⁴⁴⁻⁴⁷. Некоторые авторы само существование ионов UO_2^{2+} ставят под сомнение, рассматривая их как основные соли вида $U(OH)_4^{2+}$ или $U^{6+} \cdot 2UO_3$ ⁴⁸⁻⁵⁴.

При высокой концентрации нитратов или хлоридов в кислых растворах уранил образует мало прочные комплексные соединения вида UO_2NO_3^+ , $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$, UO_2Cl^+ , UO_2Cl_2 , $\text{UO}_2\text{Cl}_4^{2+}$ и другие^{1, 6}. Сульфатные комплексы прочнее, поэтому в растворах, содержащих сульфаты, многие реакции уранила (цветные, некоторые реакции осаждения и др.) ослаблены. Комплексные фосфатные ионы значительно прочнее сульфатных. В слабокислых и нейтральных растворах фосфаты резко маскируют все реакции уранила. В сильноокислой среде фосфатные комплексы не образуются⁵⁵.

Начиная с pH 4—5, т. е. с той области, где катионы UO_2^{2+} приобретают способность гидролизываться, шестивалентный уран образует соединения с разнообразными органическими комплексообразователями^{56–59}. В случае винной, лимонной и других оксикарбоновых кислот образуются гидрофильные, трудно осаждающиеся и не экстрагирующиеся анионы. Такие комплексообразователи подавляют реакции U_2^{2+} , но в сильноокислой среде они влияния не оказывают.

Трилон Б (этилендиаминтетраацетат натрия, версен, комплексон III, ЭДТА) и его аналоги в области pH 4—7 относительно слабо связывают UO_2^{2+} , сильно маскируя в то же время многие прочие элементы^{60–69}. Эта отличительная особенность шестивалентного урана широко используется в аналитической химии^{70–78}.

Четырехвалентный уран в достаточно кислых растворах присутствует в виде сольватов катиона U^{4+} , растворы солей которого имеют относительно интенсивную зеленую окраску. Катионы U^{4+} гидролизуются уже при pH 2,0—3,0 и вследствие этого с органическими реагентами вида $\text{R}-\text{OH}$, например, арсеназо (I) и торонем (II), они реагируют в более кислых средах, чем U^{VI} ⁷⁹. Поэтому реакции U^{4+} более избирательны, чем реакции UO_2^{2+} :



Нитратные, хлоридные, сульфатные, фосфатные и фторидные комплексы U^{VI} значительно прочнее комплексов U^{VI} ^{79–81}.

Нитратные, хлоридные и сульфатные комплексы существуют как в сильно-, так и в слабокислых растворах, а фосфатные и фторидные только в слабокислых. Хлориды и нитраты не маскируют цветных реакций U^{4+} , сульфаты и особенно фосфаты и фториды — сильно маскируют.

Комплексы U^{IV} с органическими комплексообразующими веществами сходны с соответствующими комплексами U^{VI} . В отличие от шестивалентного урана, четырехвалентный уран сильно связывается трилоном Б.

Условия существования и реакции ионов четырехвалентного урана напоминают реакции ионов тория.

Трехвалентный уран в кислых и нейтральных растворах присутствует в виде сольватированных катионов U^{3+} . Красно-фиолетовые растворы солей U^{III} быстро окисляются кислородом воздуха. Поэтому при

работе в открытых сосудах реакции окисления U^{3+} наблюдаются с трудом. Комплексные ионы U^{III} , видимо, аналогичны соответствующим комплексам редкоземельных элементов.

Пятивалентный уран, присутствующий в растворе в виде ионов UO_2^+ , достаточно устойчив лишь в интервале рН 2—4^{1, 50, 82}. При изменении рН или продолжительном стоянии U^V диспропорционирует, образуя ионы U^{4+} и UO_2^{2+} . Аналитические реакции U^V практически не изучены.

Реакция осаждения различных ионов урана неодинаковы. Наиболее известны реакции осаждения ионов UO_2^{2+} , которые образуют или малорастворимые соли уранила, или продукты гидролиза.

Большинство описанных осадителей содержат кислород и, взаимодействуя с уранил-ионами, образуют связь $U^{VI}-O$. Поэтому они могут осаждать уранил-ионы только при тех рН, при которых такая связь может существовать, т. е. при рН 4—5 и выше. Осаждение кислотсодержащими осадителями как неорганическими ($NaOH$, NH_4OH , Na_2HPO_4 и др.), так и органическими (8-оксихинолин, хинальдиновая кислота) обычно мало характерно и не избирательно. Это же относится и к серусодержащим реагентам.

Ферроцианид калия осаждает уранил-ионы и в кислой среде, если кислотность не слишком высока⁸². Вследствие яркой красно-бурой окраски осадка эта реакция обычно используется не как реакция осаждения, а как цветная реакция на уран.

Более избирательными являются методы осаждения четырехвалентного урана. Осаждение протекает из достаточно кислых растворов, поэтому элементы, присутствующие в виде трудно гидролизующихся ионов, удерживаются в растворе. U^{IV} , видимо, осаждается всеми теми осадителями, которые осаждают торий и цирконий, хотя не во всех случаях это описано в литературе. Легкая окисляемость солей четырехвалентного урана создает для аналитика определенные трудности, которые, однако, могут быть преодолены, если осаждение проводится из растворов, содержащих сильный восстановитель.

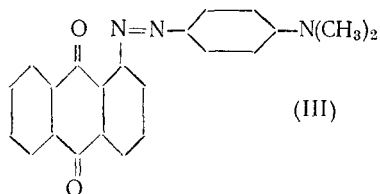
Осаждение U^{VI} аммиаком или щелочами в отсутствие восстановителей совсем мало характерно, так как в возникающей щелочной среде четырехвалентный уран окисляется особенно быстро.

Фосфаты осаждают U^{IV} в неорганической кислой среде. Это используется при соосаждении фосфата урана с фосфатом тория или циркония для последующего оксидиметрического определения выделенного U^{IV} (метод Волкова)⁷.

Подобно катионам тория и других четырехвалентных элементов, ионы U^{IV} осаждаются многими органическими анионами не слишком малого веса. Особенно характерно осаждение различными ариларсоновыми кислотами типа $Ar-AsO_3H_2$ ⁸³.

В виде солей комплексных анионов, таких как UCl_6^{2-} и им подобных, U^{IV} должен был бы осаждаться из сильноокислых растворов. Указания в литературе на такие осаждения нами не были найдены.

Из весьма разбавленных растворов с концентрацией порядка 0,1—1 γ/l U^{VI} может быть осажден в виде соли его комплексного роданидного аниона с тяжелыми органическими катионами антразо (III) или метилвиолета. В качестве коллектора применяется выпадающий одновременно роданид этого же органического катиона⁸⁴.



Некоторые теоретические вопросы соосаждения элементов с органическими коллекторами изложены в работах Кузнецова^{85, 86}.

Экстракция урана может быть осуществлена по нескольким механизмам: на основе «физического распределения» нитрата уранила между водной и неводной фазами, в виде оксониевых солей из сильно кислых растворов и в виде гидрофобных комплексных соединений, образуемых уранилом при действии ряда органических соединений^{87–101}.

Наибольшее практическое значение имеет экстракция урана в виде его нитратных соединений. Нитрат уранила способен экстрагироваться из водных растворов очень многими не смешивающимися с водой кислородсодержащими органическими растворителями.

Наиболее хорошо уран экстрагируют органические растворители, содержащие карбонильный кислород и сложные эфиры, в которых один атом кислорода приходится на 4–7 атомов углерода. Растворители с эфирным кислородом (простые эфиры) экстрагируют слабее. Экстрагируются комплексные соединения вида $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot m\text{H}_2\text{O} \cdot n\text{S}$, где S — растворитель, а n , чаще всего, равно 2 и m 2–4. Особая роль двух молекул воды, возможно, связана с существованием уранил-иона в виде $\text{U}(\text{OH})_4^{2+}$ ($=\text{UO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}^{2+}$), на что в литературе имеются прямые указания⁴⁸.

Достаточно хорошее экстрагирование обычно происходит из растворов с высокой концентрацией нитратов, играющих роль «высаливателей», и, конечно, при отсутствии маскирующих комплексообразующих веществ, способных связывать уран в прочные не экстрагирующиеся гидрофильные комплексы⁸⁸. Замечено, что наиболее энергично высаливают нитраты, кристаллизующиеся с водой: нитраты алюминия, железа, цинка, кальция. Нитраты аммония и щелочных элементов, кристаллизующиеся без воды, высаливают слабее⁸⁸. Сопоставление высаливающего действия ряда веществ приведено в работе Вдовенко и других авторов^{102–106}.

Экстрагирование возможно как из слабокислых растворов, так и из сильноазотнокислых растворов¹⁰⁷. В последнем случае экстрагирование проходит даже в присутствии фосфатов и других комплексообразующих веществ, не связывающих при этих условиях уран. Ряд экспериментальных данных позволяет утверждать, что из сильнокислых растворов уран экстрагируется не только в виде нитратных соединений, но также и в виде оксониевой соли, образованной нитратными анионами урана и катионами оксония, представляющими собой продукты взаимодействия молекул растворителя с ионами водорода^{88, 108}. Экстрагирование урана в виде его нитратных соединений лучший метод отделения урана от прочих элементов, так как, кроме урана, таким образом могут экстрагироваться только торий, плутоний и отчасти скандий и золото. Прочие элементы экстрагируются совсем слабо⁸⁸.

Уран может экстрагироваться также и в виде роданида. Такое экстрагирование протекает полнее, но оно менее избирательно, чем в случае нитратных соединений¹⁰⁹. Уран может экстрагироваться и из солянокислых растворов в виде соли, образованной хлоридными анионами урана и тяжелыми гидрофобными органическими катионами, например, катионами трибензиламмония^{88, 100}. В солянокислых растворах комплексные хлоридные анионы образуют многие элементы и поэтому этот метод отделения урана менее избирателен, чем нитратный.

Как и многие другие элементы, уран экстрагируется в виде солей, образуемых многими органическими осадителями. В молекулах таких солей должны отсутствовать гидрофильные группы — SO_3H , — COOH , — NH_2 . Экстрагирование возможно при тех pH, при которых эти соли могут существовать, т. е. при pH 3,5 и больше. При экстрагировании по данному механизму можно применять не только кислородсодержащие органические растворители, но и другие, например хлоро-

форм^{111–116}. Экстрагирования этого вида мало избирательны, как и соответствующие осаждения.

Представляют несомненный интерес разработанные многими авторами методы экстракции в присутствии трилона Б, что значительно повышает избирательность отделения урана¹⁰⁹.

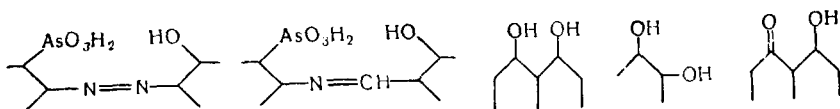
Четырехвалентный уран, подобно шестивалентному, экстрагируется как в виде нитрата, так и в виде внутрикомплексных солей с органическими реагентами: 8-оксихинолином, купфером и многими другими. Для U^{IV} такие соединения образуются в более кислых растворах, чем для U^{VI} , и поэтому экстракция U^{IV} более избирательна. Таким путем, например, можно, работая при нужном значении pH, разделить U^{IV} и U^{VI} . Вообще экстракционные методы отделения урана, благодаря их хорошей избирательности, скорости и удобству работы, возможности извлечения ультрамалых количеств урана, имеют серьезные преимущества по сравнению с прочими методами отделения урана.

Термодинамика экстракционных равновесий уранилнитрата обсуждается в работе Розена⁸⁷. Некоторые другие теоретические вопросы экстракционного извлечения элементов обсуждаются в работах Ирвинга, Николаева и других^{88–90, 117–119}.

Нормальный окислительно-восстановительный потенциал системы, обозначаемой U^{4+}/UO_2^{2+} , по табличным данным равен $-0,32$ ^{1, 120, 121}. Между тем, ионы UO_2^{2+} быстро восстанавливаются лишь сильнейшими восстановителями, но не теми слабыми восстановителями, от которых можно было бы ожидать такого действия на основе величины их окислительно-восстановительного потенциала. Возможно, это связано с формами нахождения урана в обычных реальных растворах, где он едва ли присутствует в виде негидратированных катионов уранил-катионов или с медленностью протекания соответствующих процессов. Вообще медленное протекание восстановления для уранил-ионов весьма характерно. В фохимических реакциях уранил-ионы восстанавливаются даже такими слабыми восстановителями, как этиловый спирт или диэтиловый эфир, но такое восстановление также протекает медленно. Окисление U^{IV} , напротив, протекает быстро даже при действии слабых окислителей, что используется для объемных определений урана. Ряд теоретических вопросов окислительно-восстановительных методов определения урана обсуждается в работах^{1, 122, 123}.

Для U^{IV} и U^{III} , конечно, могут существовать общего типа цветные реакции, основанные на восстановительном действии этих катионов. Однако указания на них в литературе нами найдены не были.

Цветные реакции урана в основном бывают двух типов. Реакции первого типа основаны на хромоформном действии сочетаний $U-O$ и $U-S$ ^{124–127}. Они возникают при взаимодействии урана с неокрашенными или слабоокрашенными реагентами: перекисью водорода, салициловой кислотой, нитрозо-R-солью, роданидами, алкилдитиокарбаматами. При фотометрических определениях используют и окраску простых неорганических соединений урана — перхлоратов, фосфатов и других. Такие реакции, особенно для U^{VI} , совсем мало чувствительны. Для U^{VI} во всех случаях образуется желтая или бурая окраска, окраски U^{VI} зеленые. Цветные реакции второго типа возникают при образовании комплексов уранила и четырехвалентного урана с окрашенными реагентами, содержащими связывающие уран различные атомные группировки, например:

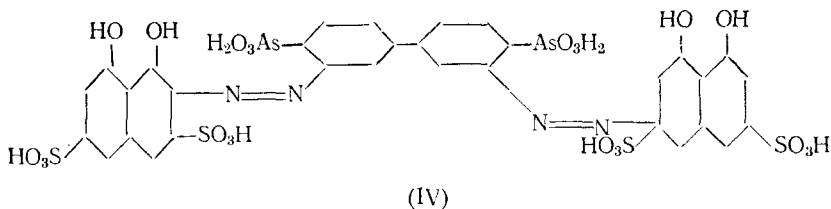


и другие¹²⁸.

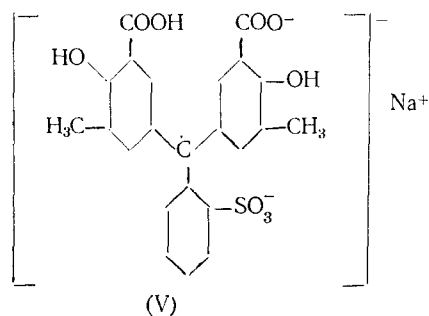
Изменения, происходящие в молекулах реагента в результате комплексобразования, приводят к резкому углублению окраски. Механизм цветных реакций этого типа обсуждается в работах¹²⁸⁻¹⁴⁷.

Так как окраска уранила возникает только при средних рН, не ниже 4—5, при которых и прочие элементы связываются указанными группировками, избирательность подобных реакций не велика. Цветные реакции четырехвалентного урана возникают в более кислых растворах и более избирательны. Чувствительность реакций этого типа очень высока.

Интересными реагентами этого вида являются упоминавшиеся уже арсеназо I, арсеназо II (IV):



хинизаринсульфокислота, эриохромцианин R (V).



Для комплексного хлоридного аниона шестивалентного урана описана цветная твердофазная реакция¹⁴⁸ с реагентом антразо¹⁴⁹. Так как хлоридный анион U^{VI} устойчив только при высокой кислотности, эта реакция выполняется в 6—12 N HCl.

Хромофорное действие атомных сочетаний четырехвалентного урана U^{IV} ... О проявлено сильнее, чем U^{VI} ... О. Поэтому соответствующие цветные реакции U^{IV} с неокрашенными неорганическими или органическими реагентами более чувствительны, возникают при меньших значениях рН (1—4), и, следовательно, более избирательны.

Также интересны реакции четырехвалентного урана с окрашенными органическими реагентами. Несколько уступая по чувствительности соответствующим реакциям уранила, они возникают в гораздо более кислых растворах и являются значительно более избирательными. Цветные реакции U^{IV} этого типа напоминают реакции Th и возникают с одними и теми же реагентами в приблизительно одинаковых условиях. Наибольшее применение нашли реагенты арсеназо и торон^{7, 150, 151}.

Чувствительность и избирательность аналитических реакций урана. Значения «гаммовых показателей чувствительности» некоторых реакций урана приведены в таблице на стр. 532.

Наиболее чувствительной и одновременно избирательной является флуоресцентная реакция в плавах NaF, позволяющая определить 0,001 γ урана. Следующая по чувствительности мало избирательная реакция с арсеназо, позволяющая определить 0,1 γ/мл урана. С феррицианидом калия определяют до 0,5 γ/мл урана и с сульфосалициловой кислотой и другими органическими реагентами 1—2 γ/мл урана⁷.

Спектральным методом поддаются определению образцы, содержащие $\sim 0,005\%$ урана, полярографическими методами определяют уран в концентрациях 10^{-3} — $10^{-5}\%$, а методом осциллографической полярографии — порядка $10^{-6}\%$ ²⁰.

Гаммовый показатель чувствительности некоторых реакций шестивалентного урана*

Реагент	Условия реакции			Гаммовый показатель чувствительности
	pH	концентрация реагента, моль/л	длина волны, мμ	
Арсеназо	6,0	0,00003	572	0,083
Ферроцианид калия	5,0	0,008	458	0,017
Сульфосалициловая кислота	9,5	0,08	458	0,003
H ₂ O ₂ + Na ₂ CO ₃	9,5	0,018	458	0,0014
Собственная окраска солей уранила	1,8	—	413	0,000025

* Гаммовый показатель чувствительности — это разность в светопоглощении продукта реакции и реагента, взятого в том количестве, которое связано в продукт реакции. Эта разность отнесена к раствору с концентрацией элемента, равной 1 г/мл, и к слою толщиной 10 мм¹⁵².

Слабое связывание UO₂²⁺ трилоном Б и способность нитрата уранила экстрагироваться органическими растворителями используются в различных комбинациях для обеспечения высокой избирательности методов определения урана^{7, 153}. Это особенно относится к чувствительной, но недостаточно избирательной реакции уранила с арсеназо¹⁴⁷. Реакции четырехвалентного урана значительно более избирательны.

Б. РЕАКЦИЯ ТОРИЯ

Торий не образует атомных сочетаний, обладающих хромофорным действием, и практически этот элемент не проявляет переменной валентности. Вследствие этого химия тория беднее аналитическими реакциями, чем химия урана или плутония. Так, прямые окислительно-восстановительные реакции полностью отсутствуют, а цветные реакции возможны лишь с окрашенными органическими реагентами^{128, 129}.

В кислых растворах торий образует сольватированные катионы Th⁴⁺, которые, начиная с pH 2—3, ступенчато гидролизуются, образуя сложные сольватированные трех-, двух- и однозарядные катионы. Степень и глубина гидролиза зависят от pH, концентрации тория, состава раствора и других факторов. При подкислении растворов гидролизованные ионы тория, аналогично урану, легко разрушаются, переходя в реакционноспособные ионы Th⁴⁺. При этом в отличие от Zr, Ti и некоторых других тяжелых элементов многоядерные катионы или оксоионы легко разрушаются. Это имеет особо благоприятное значение для цветных реакций.

Ионы тория весьма склонны к комплексообразованию. В присутствии больших количеств нитратов и хлоридов торий образует комплексные анионы Th(NO₃)₆²⁻ и ThCl₆²⁻, которые существуют и в сильноокислых растворах¹¹⁰. Оба эти аниона мало прочны и поэтому присутствие нитратов или хлоридов не препятствует выполнению обычных реакций Th⁴⁺. Сульфаты и особенно фториды и фосфаты, напротив, связывают торий достаточно прочно. Эти анионы резко маскируют реакции Th⁴⁺. Маскирование реакций Th⁴⁺ проявлено настолько сильно, что на этом принци-

не основаны методы определения фторидов¹⁵⁴ и весьма чувствительные цветные реакции на сульфаты и фосфаты¹⁵⁵.

Трилон Б, щавелевая кислота, многие оксикарбоновые кислоты и другие органические комплексообразующие вещества в слабокислых и нейтральных растворах связывают торий в прочные комплексные соединения¹⁵⁶. Непосредственные аналитические реакции бесцветных гидрофильных анионов, образуемых торием с этими комплексообразующими веществами, видимо, не были описаны.

Реакции осаждения. Катионы тория, начиная приблизительно с тех рН, при которых они приобретают способность гидролизироваться (рН 2,5—4), осаждаются многими органическими реагентами, образующими с торием циклические соли, имеющие связь Th—O. Эти методы пригодны для отделения тория от редкоземельных и многих прочих элементов, которые осаждаются лишь в менее кислых растворах.

Катионы тория способны осаждаться и из сильно кислых растворов в виде нормальных солей, образованных некоторыми неорганическими и тяжелыми гидрофобными органическими анионами. Торий дает малорастворимый фторид, фосфат, йодат, молибдат, вольфрамат. Органическими осадителями являются щавелевая кислота и разнообразные одноосновные кислоты с молекулярным весом больше чем 150—200. Хорошими и относительно избирательными осадителями являются арсоновые, селениновые и сульфоновые кислоты.

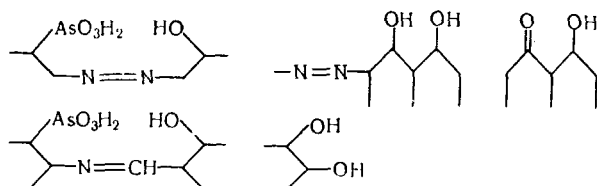
Экстракционные приемы. Хотя нитрат тория $\text{Th}(\text{NO}_3)_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ растворяется во многих органических кислород- и азотсодержащих растворителях, но экстрагироваться он способен только немногими из них, и то при наличии высаливателей. Хорошо экстрагируют нитрат тория соединения с карбонильным кислородом — кетоны и сложные эфиры, хуже — простые эфиры^{157—160}. Высаливателями служат нитраты различных металлов, эффективность которых приблизительно такая же, как и при экстрагировании нитрата уранила^{88, 105}. Трибутилфосфат хорошо экстрагирует нитрат тория и без высаливателя^{3, 4}.

Для экстрагирования нитрата тория чаще всего рекомендуют применять окись мезитила; при этом достигается отделение от редкоземельных и многих других элементов. Экстрагирование возможно как из слабокислых растворов, в присутствии высаливателей, так и из растворов в концентрированной HNO_3 ⁸⁸; в последнем случае присутствие большинства неорганических и органических комплексообразующих веществ экстракции не препятствует. Сульфаты, видимо, препятствуют экстрагированию тория и из сильнокислых растворов. Из растворов в концентрированных кислотах торий в значительной степени экстрагируется по оксониевому механизму в виде соли комплексного аниона $\text{Th}(\text{NO}_3)_6^{2-}$ и соответствующего катиона оксония⁸⁸.

По общим правилам торий может экстрагироваться в виде внутрикомплексных и простых солей, образованных органическими комплексообразователями с тяжелой гидрофобной молекулой⁸⁸. Экстрагирование возможно при отсутствии маскирующих веществ при тех рН, при которых такие соли существуют. Избирательность отделения обеспечивается поддержанием возможно меньшего значения рН. Экстракционные методы являются, видимо, наиболее избирательными приемами отделения тория от большинства прочих элементов. Так, за одну операцию торий полностью отделяется от циркония, титана, редкоземельных элементов.

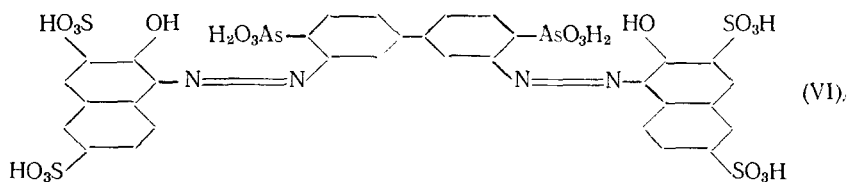
Цветные реакции. В настоящее время для тория описано большое количество цветных реакций. Применяемые реагенты за небольшим исключением являются азо-красителями — интенсивно окрашенными соединениями, обладающими свойствами рН-индикаторов, т. е. способные в водных растворах при различных рН образовывать разные окраски^{128—131}. Непременным условием возникновения цветной реакции яв-

ляется наличие комплексообразующей атомной группировки, характерной для тория, например:



и других.

Наиболее интересны, по-видимому, реагенты, содержащие арсоногруппу: арсеназо I, арсеназо II, торон I и торон II (VI) ¹⁴⁷:



Эти и другие реагенты, содержащие сульфогруппы, образуют с торием растворимые соединения. Но при избытке тория могут образоваться суспензии, представляющие собой, по-видимому, простые соли тория и комплексного аниона, образованного реагентом с торием. После добавления достаточного количества реагента такие суспензии растворяются.

Цветные реакции тория с тороном II возможны в 4—6 *N* HCl ¹⁴⁷, с реагентами арсеназо II и тороном I — в 0,1—0,5 *N* HCl с другими — при pH больше 1,5—2 ¹³⁶. Благодаря тому, что при столь высокой кислотности прочие элементы (кроме Zr, Ti, Hf) цветных реакций с реагентами не дают, избирательность определения тория высока. Маскирующие комплексообразователи — сульфаты, фториды, фосфаты, органические оксикислоты и другие затрудняют цветные реакции тория и, как правило, перед определением должны быть удалены.

Реагенты арсеназо II и торон II обладают рядом особенностей, в частности образуют с торием комплексы повышенной прочности ¹⁴⁷, что позволяет определять торий непосредственно в растворах, содержащих значительные количества сульфатов, фосфатов и других веществ ¹⁴⁷.

Наиболее чувствительными реакциями на торий, по-видимому, являются люминесцентная реакция с морином и цветная реакция с аминотороном, позволяющие обнаруживать 0,003 и 0,1 $\mu\text{г/мл}$ тория соответственно ¹⁶¹. Метод фотометрического определения тория с аминотороном еще не был описан. Качественная реакция описана в работе ¹⁴⁷. Методы определения с реагентами арсеназо и тороном позволяют определить 0,2 и 0,5 $\mu\text{г/мл}$ тория соответственно. Объемные определения титрованием трилоном Б, фторидами и оксалатами пригодны для определения 0,2—20 мг тория.

Избирательность методов определения тория в основном удовлетворительная. Высокоизбирательными являются фотометрические определения тория с окрашенными органическими реагентами. Для повышения избирательности прочих методов определение комбинируют с предварительным экстрагированием нитрата тория. Избирательным является также метод осаждения тория в виде оксалата и несколько хуже в виде йодата. В присутствии комплексообразователей торий избирательно осаждается фитиновой кислотой, являющейся производным пиррофосфорной кислоты ¹⁶².

В. РЕАКЦИИ ПЛУТОНИЯ

Несколько возможных валентных состояний плутония, легкость образования им различных комплексных ионов, способность образовывать атомные сочетания, обладающие хромофорным действием, приводит к тому, что аналитическая химия плутония не менее сложна и разнообразна, чем аналитическая химия урана. Однако в литературе авторы обзора нашли указания только на сравнительно немногие аналитические реакции плутония.

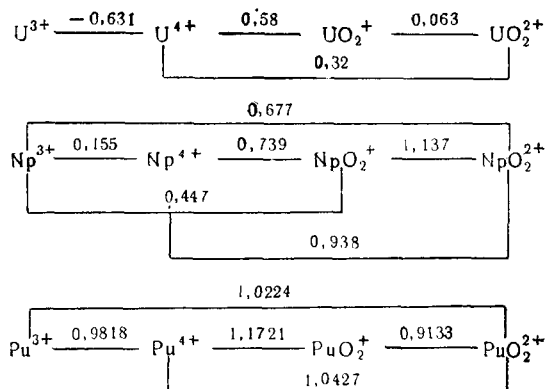
Высокая удельная активность всех изотопов плутония (Pu^{242} , Pu^{240} , Pu^{239} , Pu^{238} , Pu^{236} и др.) выдвигает на первое место радиометрические методы определения.

В водных растворах известны ионы трех-, четырех-, пяти- и шестивалентного плутония. Наиболее устойчивым является четырехвалентное состояние. Ионы Pu^{4+} по многим свойствам, кроме окислительно-восстановительных, могут быть помещены между торием и цирконием. Так же как и торий, четырехвалентный плутоний весьма склонен к комплексообразованию. В присутствии нитратов образуются весьма характерные для Pu^{IV} комплексные нитратные анионы $\text{Pu}(\text{NO}_3)_6^{2-}$ и, возможно, другие, включая нейтральный нитрат¹⁶³. Было отмечено, что в растворе нитратов с концентрацией $> 1 \text{ M}$ или в $1\text{--}4 \text{ M HNO}_3$ практически весь Pu^{IV} присутствует в виде недиссоциированного $\text{Pu}(\text{NO}_3)_4$. При большей концентрации HNO_3 часть Pu^{IV} образует анионы кислот $\text{HPu}(\text{NO}_3)_5$ и $\text{H}_2\text{Pu}(\text{NO}_3)_6$; в 11 M HNO_3 — только в виде анионов $\text{H}_2\text{Pu}(\text{NO}_3)_6$ ¹⁶⁴. Нитратные комплексы Pu^{IV} достаточно прочны, и по этой причине азотнокислые растворы плутония отличаются по цвету от солянокислых или перхлоратных¹⁶⁵.

При высокой концентрации соляной кислоты Pu^{IV} образует комплексный анион PuCl_6^{2-} . В менее кислых растворах, начиная с pH, 2,5—3,5, Pu^{IV} образует растворимые окрашенные карбонатные соединения^{165, 166} или соединения с разнообразными органическими комплексообразующими веществами. Описаны оксалатный^{167, 168}, тартратный, цитратный, этилендиаминтетраацетатный и другие комплексы плутония^{1, 169}.

Окислители средней силы, такие как элементарный бром, окисляют Pu^{IV} в Pu^{VI} , причем этот процесс протекает медленно. Сильные окислители: Ce^{IV} , MnO_4^- производят более быстрое окисление. Сильные восстановители, а также водород в присутствии платины переводят Pu^{IV} в Pu^{III} ¹. Эти реакции протекают быстро.

Нормальные окислительно-восстановительные потенциалы систем разных валентностей Pu , U и, для сравнения, Np приводятся ниже:



После выпаривания соляно- или азотнокислых растворов, не содержащих комплексообразующих веществ, на водяной бане досуха с не-

сколькими каплями HBr и далее с HNO_3 все валентные состояния плутония переходят в Pu^{IV} .

Шестивалентный плутоний образует ионы, по составу и свойствам аналогичные ионам шестивалентного урана. Растворы солей плутония PuO_2^{2+} имеют окраску от желтоватой до розово-оранжевой². Растворы нитрата плутонила — зеленоватого цвета. Такие восстановители, как йодид-ионы, медленно восстанавливают плутоний до четырехвалентного состояния. На воздухе растворы солей плутонила вполне устойчивы.

Трехвалентный плутоний в растворах присутствует в виде иона Pu^{3+} . На воздухе сравнительно устойчив. Растворы солей Pu^{3+} имеют окраску от голубой до фиолетовой². По химическим свойствам ион Pu^{3+} сходен с ионами редкоземельных элементов.

Пятивалентный плутоний в водных растворах существует в виде ионов PuO_2^+ . Раствор Pu^{V} в 0,2 М HNO_3 может быть приготовлен смешением растворов Pu^{III} и Pu^{VI} , при этом происходит реакция $\text{Pu}^{\text{III}} + \text{Pu}^{\text{VI}} \rightleftharpoons \text{Pu}^{\text{IV}} + \text{Pu}^{\text{V}}$. Эта реакция протекает быстро при взбалтывании с раствором трибутилфосфата в бензине, извлекающим Pu^{IV} . В водной фазе остается чистый Pu^{V} , который постепенно диспропорционирует, образуя ионы четырех- и шестивалентного плутония^{1, 170–173}. Химические свойства Pu^{V} изучены недостаточно.

Чувствительность и избирательность аналитических реакций плутония. Радиометрическими методами при использовании α -счетчиков серийного изготовления можно определить 0,001—0,01 μ плутония. Реакцией с арсеназо или тороном можно определить 0,1—0,5 $\mu/\text{мл}$ Pu . Определения по пикам спектров поглощения растворов солей плутония удобны для определения различных валентных состояний в их смеси^{1, 174, 175}. Для определения требуется несколько миллиграммов плутония.

Избирательной особенностью, отличающей Pu^{IV} от многих прочих элементов и других валентных состояний самого плутония, является способность Pu^{IV} образовывать достаточно прочный комплексный анион $\text{Pu}(\text{NO}_3)_6^{2-}$. Осаждения Pu^{IV} в виде солей этого аниона весьма избирательны. Достаточно избирательны экстракционные извлечения кетонами, основанные на хорошей экстрагируемости нитрата Pu^{IV} и практически полной неэкстрагируемости нитрата Pu^{III} . Имея плутоний в виде Pu^{III} , можно отделить экстракцией U^{IV} и Th , а после перевода Pu^{III} в Pu^{IV} отделить его от всех прочих элементов. Возможны и иные схемы избирательного экстракционного извлечения плутония.

2. МЕТОДЫ ОТДЕЛЕНИЯ УРАНА, ТОРИЯ И ПЛУТОНИЯ ОТ ДРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ

А. МЕТОДЫ ОТДЕЛЕНИЯ УРАНА

Осаждение. Описанные в литературе методы отделения, основанные на осаждении шестивалентного урана, мало избирательны. При гидролитическом осаждении урана аммиаком,^{75, 176–178} пиридином, уротропином^{179–182} или приближающимся к ним по действию этилендиамин¹⁸³, бензоатом аммония^{184, 185} и танином^{186–189} отделение достигается лишь от щелочных металлов, ряда двухвалентных элементов, включая щелочно-земельные, и частично от редкоземельных элементов. Не намного повышается избирательность и при применении реагентов, осаждающих уран в виде внутрикомплексных соединений: купферона^{190–193}, 8-окси-хинолина^{75, 194, 195}, хинальдиновой кислоты¹⁹⁶, α -нитрозо- β -нафтола^{197, 198}, арсаниловой кислоты¹⁹⁹, какодиловой кислоты^{200, 201} и других^{202–208}.

Несколько более избирателен метод осаждения урана перекисью водорода в виде надурановой кислоты $\text{UO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ^{4, 209, 210}. При этом достигается отделение от Ag , Al , Zn и щелочно-земельных элементов. Частич-

но захватываются Cu и Pb , сильно — Fe , P , Si ²⁰⁹. Условия осаждения: 0,01—0,2 М, раствор урана, небольшой избыток H_2O_2 , pH 2—2,5, температура 40—50° ^{209, 210}. По другим данным раствор необходимо заморозить и затем отфильтровать при 2° ⁴. В щелочной среде H_2O_2 образует с уранилом прочный растворимый комплекс, не разрушающийся этилендиаминтетрауксусной кислотой. Это используется при комплексонометрическом определении щелочно-земельных элементов в присутствии урана ²¹¹.

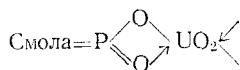
Весьма характерна для урана, и в большинстве случаев достаточно эффективна, содовая очистка, когда уран связывается в растворимый карбонатный комплекс вида $\text{Na}_4[\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3]$, а многие другие элементы осаждаются в виде гидроокисей или карбонатов ^{4, 7, 212, 213}.

Методы осаждения шестивалентного урана кислотами фосфора ^{214–219}, мышьяковистой кислотой, феррицианидом калия, ванадатом аммония и другими осадителями ^{220–227} также малохарактерны и приводят к отделению лишь от щелочно-земельных, редкоземельных и немногих других элементов.

Представляют интерес методы осаждения урана из растворов, содержащих трилон Б. При этом избирательность осаждения резко возрастает. Описаны методы осаждения аммиаком ^{70, 75}, купфером ⁷⁶, 8-оксихинолином ^{71, 73, 75, 78}, фосфатом аммония ^{74, 216, 225}, а также электролитическое выделение урана ²²⁶. Достигается полное отделение от Fe , Cr , Cu , Ni , V , Ce , Bi и многих других элементов.

Описано осаждение четырехвалентного урана в виде фосфата, фторида или купфероната ^{227, 228}. Небольшие количества U^{IV} хорошо осаждаются с BaSO_4 . Шестивалентный уран и Th не захватываются ²²⁹. Из весьма разбавленных растворов уран может быть осажден с гидроокисями или фосфатами Al и Fe ^{218, 230}, с двойными сульфатами редкоземельных элементов ²³¹ или при помощи органических соосадителей. Кузнецовым и Акимовой разработан метод соосаждения урана из морской воды с осадком роданида метилвиолета. Предельное разбавление урана 1 : 10^{10} (0,1 г U/l). После отделения урана от солей морской воды, уран определяют флуорометрически ⁸⁴.

Хроматографические методы. Ионообменники для отделения урана находят широкое применение как в технологии, так и в аналитической химии. Отличительная особенность аналитических методов заключается в возможности полного отделения любых, даже очень малых количеств урана от значительных количеств примесей ^{232–254}. Для отделения очень малых количеств урана от тяжелых металлов особый интерес представляет использование комплексообразующих смол, содержащих фосфиную кислоту. Указывается, что прочность комплексов вида



в 10^6 раз превосходит прочность соответствующих мономеров ²⁵⁴. Кроме ионообменной, находит применение также распределительная хроматография и хроматография на бумаге. Отделение урана приемами распределительной хроматографии представляет собой по существу непрерывную экстракцию. В качестве наполнителей колонки применяют целлюлозу ^{225–258} или, по предложению Маркова, силикагель ⁷⁶. Для работы с небольшими количествами веществ описаны методы отделения урана хроматографией на бумаге ^{259–266}.

Общие вопросы хроматографических разделений элементов обсуждаются в обзорных работах Рябчикова, Сенявина и других ^{232–237}.

Методы экстрагирования урана в виде нитратных соединений описаны в литературе наиболее широко. В качестве экстрагента особенно час-

то упоминается диэтиловый эфир^{111, 267–274}, хотя это и не вполне оправдано. Действительно, коэффициент распределения урана при экстрагировании его эфиром, по сравнению с другими растворителями, невелик⁸⁸, а легкость воспламенения эфира делает работу с ним опасной.

Более удобно применение этилацетата^{218, 275–286}, трибутилфосфата в смеси с другими растворителями^{120, 287–295}, метилизобутилкетона («гексона») ^{116, 296, 297} и многих других кислородсодержащих растворителей^{298–302}. После экстрагирования нитрата уранила трибутилфосфатом уран может быть реэкстрагирован промыванием 5–10%-ными растворами $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$, Na_2CO_3 , $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ или $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ ²⁹⁵. Указывается, что фосфорорганические соединения $(\text{RO}_3)\text{P}(\text{O})$; $(\text{RO})_2\text{RP}(\text{O})$; $\text{ROR}_2\text{P}(\text{O})$ и R_3PO в CCl_4 хорошо экстрагируют уран и плутоний³⁰³.

В качестве высаливателей применяют нитраты аммония²⁷³, натрия³⁰⁴, алюминия^{276–280, 285}, железа и ряда других элементов^{102–106}. Часто экстрагирование рекомендуют проводить из растворов в концентрированной азотной кислоте²⁹¹, также и при применении три-(изоктил)-амина³¹².

Для экстрагирования урана в виде гидрофобных внутрикомплексных соединений указывают самые разнообразные реагенты. Описаны методы, в которых применяются: купферон^{111, 114, 228, 305}, 8-оксихинолин^{113, 116, 306}, дибензоилметан^{307, 308}, ацетилацетон^{309–311}, дибутилортофосфорная кислота²⁰⁷, диэтилдитиокарбамат натрия^{112, 115, 313, 314}.

Указывается, что из карбонатных растворов уран хорошо экстрагируется в виде 8-оксихинолината в метилизобутилкетон³¹⁵. В метилизобутилкетон уран экстрагируется также в виде диэтилдитиокарбамата. Описана методика работы для выделения U^{233} с отделением от Bi^{212} и $\text{Pb}^{212, 300}$.

Спиртами и кетонами уран экстрагируется в виде уранилтриацетата анилина $\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_3[\text{UO}_2(\text{CH}_3\text{COO})_3]$ ³¹⁶. Приборы, используемые при выполнении экстракционных отделений урана и других элементов, описаны в монографии Мориссона и Фрайзера³¹⁷ и других^{318–320}.

Б. МЕТОДЫ ОТДЕЛЕНИЯ ТОРИЯ

Осаждение. При осаждении аммиаком, пиридином, уротропином или тиосульфатом аммония торий отделяется от щелочных, щелочно-земельных, редкоземельных элементов, Mn, Ni, Co, Cu, Zn, Cd и некоторых других^{321–328}.

Осаждение фторидами позволяет отделить торий от Zr, Nb, Ta и Sn^{329–332}.

Классический оксалатный метод пригоден для отделения тория от большинства элементов, кроме Ca, Sr, Ba и редкоземельных^{333–341}. Удобен метод осаждения тория из гомогенного раствора при действии метилоксалата, который вначале растворяется, образуя прозрачный раствор, а далее гидролизует и осаждаёт торий³³⁹. Однако, по данным ряда авторов, полнота осаждения тория оксалатами не всегда достаточно высока³³⁵.

Удовлетворительное отделение от многих элементов, кроме Zr, Ti и Ce, достигается также при осаждении тория йодатами^{331, 333}, различными кислотами фосфора^{331, 342–355} и селена³⁵⁶ и многими другими реагентами^{357–359}.

Описан метод отделения тория от других элементов по H_2S -схеме³⁶⁰.

Для выделения очень малых количеств тория из разбавленных растворов рекомендуют соосаждение с оксалатом кальция³⁶¹, основным фосфатом титана^{331, 354}, фосфатом циркония^{331, 355}, гипофосфатом висмута^{329, 353}, оксалатом иттрия и фторидом лантана^{329, 355}. Описан метод соосаждения тория с цирконием при действии известного колориметрического реагента на торий — торона³⁶².

Широко описаны многочисленные методы отделения тория с использованием органических кислот и других органических реагентов с большим молекулярным весом³⁶³⁻⁴²⁹. Рекомендованы: себациновая³⁶³⁻³⁶⁵, пикриновая³³⁶, арилоксиуксусные³⁶⁷⁻³⁷¹, 4-амино-салициловая³⁷²⁻³⁷⁴, бензойная³⁷⁵⁻³⁷⁶, *p*- и *o*-аминобензойные³⁷⁷, хлорбензойная³⁷¹, нитробензойная^{379, 380}, оксинафтольные^{381, 382}, 5,6-бензохиноальдиновая^{383, 384}, окситолуиловая³⁸⁵, пикролоновая кислоты^{386, 387}, дибензоилметан³⁸⁸, купферон^{321, 389}, 8-оксихинолин и его замещенные^{386, 390-393}, фениларсоновая^{394, 395}, фенилфосфиновая³⁹⁶, 7-оксикумарин-4-уксусная³⁹⁷, фенилглицерин-*o*-карбоновая кислоты^{398, 399}, коричная кислота и ее аналоги⁴⁰⁰⁻⁴⁰², феррон^{363, 403}, меркаптобензтиазол, фитиновая кислота и другие реагенты^{363-407, 410, 414, 426, 427}.

Описан метод осаждения тория 8-оксихинолином в присутствии комплексона III. Указывается, что достигается полное отделение от редкоземельных элементов⁴²⁸. Из растворов $<1,0\text{ }N\text{ HCl}$ торий осаждают бензолсульфинатом натрия. Не мешают Be, Al, Ti, Fe, редкоземельные и другие элементы⁴²⁹.

Большинство описанных методов мало отличаются друг от друга по избирательности, удобству работы или другим факторам. Это и понятно, ибо условия осаждения в первую очередь определяются свойствами иона Th^{4+} и лишь затем природой применяемых реагентов.

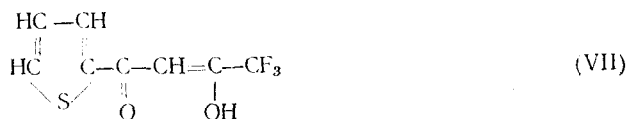
Хотя методы осаждения тория по сравнению с соответствующими методами для урана и более избирательны, но они все же не позволяют за одну операцию полностью отделить торий от всех сопутствующих элементов, особенно от элементов с легко гидролизующимися катионами. Поэтому, как правило, всегда необходимо проводить двойное осаждение последовательно оксалатами, йодатами, иногда фосфатами, фторидами или каким-либо из органических соосадителей.

Хроматографические методы отделения тория позволяют количественно извлекать торий из очень разбавленных растворов⁴³⁰⁻⁴⁴². Это делает их особенно удобными при анализах сбросных и природных вод и объектов с низким содержанием тория.

Значительное количество работ посвящено методам отделения тория от редкоземельных элементов⁴³⁶⁻⁴⁴². Ряд катионитов из почти нейтральных растворов полностью сорбируют Th и редкоземельные элементы. Последние затем элюируются $1\text{ }N\text{ HCl}$, а торий $3\text{ }N\text{ HCl}$ ⁴³⁹. Описаны также методы хроматографии на бумаге или с использованием колонок из целлюлозы. Они являются видоизменением экстракционных методов разделения.

При *экстрагировании* тория в виде нитратных соединений наиболее часто рекомендуют применять окись мезитила^{330, 331, 340, 354}, реже прочие кислородсодержащие растворители: диэтиловый эфир^{443, 444}, этилацетат^{157, 445}, трибутилфосфат^{446, 447}, метилизобутилкетон⁴⁴⁸ и его смесь с трибутилфосфатом⁹¹², циклогексанон^{449, 450} и другие кетоны⁴⁵¹⁻⁴⁵⁸. Отмечается, что смесь бутилфосфат — метилацетат очень полно извлекает ультрамалые количества тория³⁵⁴.

Значительно менее избирательны методы экстрагирования тория в виде внутрикомплексных соединений, образованных торием с органическими реагентами. В качестве реагентов применяют теноилтрифторацетон, ТТА (VII)^{434, 459, 460}, α -нитрозо- β -нафтол⁴⁴⁸, ацетилацетон, 8-оксихинолин, хинализарин^{4, 88}, купферон⁴⁶¹, кверцетин⁴⁶² и другие^{4, 88, 445, 463}.



В. МЕТОДЫ ОТДЕЛЕНИЯ ПЛУТОНИЯ

Методы осаждения плутония, описанные в литературе, относятся главным образом к его микроколичествам. Для отделения от больших количеств прочих элементов используются окислительно-восстановительные циклы^{1, 464}, смысл которых состоит в том, что примеси, сопровождающие плутоний в одном из его валентных состояний, ведут себя иначе, когда плутоний переводится в другое валентное состояние. При осаждении (соосаждении) плутония в качестве носителей используют фторид лантана^{1, 30, 464-471}, соосаждающий Pu^{III} и Pu^{IV} ⁴⁷², двойной сульфат лантана и калия^{471, 473}, некоторые оксалаты и йодаты¹, оксалат кальция⁴⁶⁷ и фосфат висмута^{470, 474-478}.

Имеется пропись стандартной методики определения плутония соосаждения с фторидом лантана⁴⁷⁹. Другие носители, такие как фениларсонат^{465, 480} и фосфат циркония^{464, 477, 478}, соосаждают из сильноокислых растворов только Pu^{IV} , а натрийуранацетат¹ только Pu^{VI} . Индикаторные количества лантанидов отделяются от Pu^{VI} соосаждением с фторидом кальция⁴⁸¹. Сводка носителей для различных валентных форм плутония приводится в работе Хайда⁴⁶⁴.

Макроколичества плутония можно отделить от небольшого числа посторонних элементов осаждением в виде гидроокисей^{470, 480, 482, 483}. Значения рН «начала осаждения гидроокисей» катионов плутония при концентрациях их $\sim 10^{-3}$ М равны: $Pu^{III} \sim 7$, $Pu^{IV} \sim 3$, $Pu^{V} \sim 9$, $Pu^{IV} \sim 4,5$ ²⁸²⁻²⁸⁴. Более избирательно отделение четырехвалентного плутония в виде йодата^{467, 470, 480}. Для отделения плутония от индия⁴⁸⁵, висмута⁴⁸⁶, кадмия⁴⁸⁷ и титана³⁰ плутоний может быть осажден в виде перекиси при рН 3—4^{480, 488}. Осаждением оксалатов в кислой среде плутоний трех- и четырехвалентный может быть отделен от урана, железа и некоторых других элементов^{1, 30, 489, 490}. Pu^{VI} осаждается в виде двойных карбонатов с щелочными металлами^{491, 492}. Удовлетворительное отделение от прочих элементов достигается при осаждении плутония в виде 8-оксихинолината^{480, 493}. Трехвалентный плутоний осаждается салицилатом при рН 3,5³⁰.

Четырехвалентный плутоний осаждается в виде различных основных салицилатов при рН 4,5 на $\sim 95\%$ и при нагревании при рН 8 на 99,9—99,3%. В этом случае образуется осадок четырехвалентного плутония из растворов, содержащих его в различных валентных состояниях. Плутоний может быть также осажден и другими органическими реагентами⁴⁸⁰.

Хроматографические методы отделения плутония основаны на адсорбции Pu^{IV} в его анионной форме $PuCl_{(n-4)}^{n-4-}$ на анионите дауэкс-1 при концентрации соляной кислоты не менее 2,5 М^{464, 494, 495}. Другие четырехвалентные актиниды сорбируются лишь при большей концентрации HCl. Отделение достигается также от урана. До 100 мг четырехвалентного плутония, полученного окислением трехвалентного плутония 25-кратным количеством нитрита натрия, полностью отделяются от большинства продуктов деления, америция и других высших актинидов поглощением на анионите из среды 7 М азотной кислоты⁴⁹⁶. Железо является, по-видимому, единственным из распространенных элементов, адсорбирующимся вместе с плутонием³⁰.

Для отделения плутония от прочих элементов используются также катиониты. При этом элюирование производится соляной кислотой⁴⁶⁴ или комплексообразующими веществами, например, щавелевой кислотой^{169, 464, 497}. Для разделения трех-, четырех- и шестивалентного плутония рекомендуют использовать хроматографию на бумаге. При этом применяют *n*-бутанол или этилацетат, насыщенный хлористым водородом⁴⁹⁰.

Экстракция. Аналогично урану и торию, плутоний экстрагируется многими растворителями в виде продуктов, образованных действием органических реагентов, а также кислородсодержащими растворителями, в виде солей комплексного нитратного аниона. Описаны методы экстракции плутония из нитратных сред диэтиловым эфиром, различными кетонами и другими кислородсодержащими растворителями^{30, 464, 466, 498–501}. При этом достигается отделение от большинства более легких элементов. По данным Чайхорского и Кондратова, экстракцией с применением эфира достигается полное отделение плутония от нептуния⁴⁷¹. Из разбавленной азотной кислоты дибутилкарбитол экстрагирует Pu^{IV} в виде $\text{HPuO}_2(\text{NO}_3)_3$ ⁵⁰¹. Описан также метод экстракции четырех- и шестивалентного плутония трибутилфосфатом^{30, 464, 502–505}, растворами ацетилаcetона в бензоле и других растворителях и ТТА^{424, 433, 460, 463–466, 464, 475, 478, 506–509}. Влияние pH на экстрагирование элементов с ТТА подчиняется общим правилам о влиянии pH на способность элементов образовывать продукты реакции с реагентами вида $\text{R}-\text{OH}$ ^{88, 510, 511}. Из кислых растворов, кроме Pu^{IV} , экстрагируются и прочие элементы ионы которых легко гидролизуются (Pa^{V} , Fe^{III} , U^{IV} , Zr и др.). Для отделения от этих элементов плутоний восстанавливают до трехвалентного состояния, экстрагируют примеси ТТА, после чего оставшийся в водном слое плутоний вновь переводят в четырехвалентное состояние и вновь экстрагируют свежей порцией раствора ТТА в гексоне³⁰.

От многих радиоактивных и нерадиоактивных примесей плутоний отделяется из 1 *М* азотнокислой среды экстракцией 0,5 *М* раствором ТТА в ксилоле⁴⁷⁹. Дополнительное отделение от радиоциркония, протактиния и железа достигается при реэкстракции плутония в 10 *М* азотную кислоту. 0,01–2% тантала отделяются от плутония и урана экстракцией гексоном из 6 *М* сернокислой—0,4 *М* фторидной среды⁵¹². Плутоний может быть отделен экстракцией смесями дибутилового эфира и четыреххлористого углерода⁵¹³, аминосольями⁵¹⁴. Плутоний отделяется от урана распределением между органическим растворителем и стационарной водной фазой, находящейся на силикагеле⁵¹⁵.

При экстрагировании плутония в виде продуктов, образуемых с купферомом или неокупферомом, возможно применение любого экстрагента, например, хлороформа^{464, 478, 516, 517}. При работе в кислой среде уран, америций и некоторые другие элементы отделяются. Качественно исследовано экстрагирование плутония со многими другими органическими реагентами^{480, 518, 519}.

Другие методы. Для отделения плутония от железа и других металлов применяют электролиз на ртутном катоде^{1, 30, 520}. Плутоний может быть выделен электролитическим осаждением из слабокислых, оксалатных или щелочных растворов^{470, 520–524}. Описана методика осаждения плутония, а также урана, нептуния и америция с образованием прочных слоев⁵²⁵. Для выделения плутония из биологических материалов производят минерализацию нагреванием со смесью $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ ⁴⁷⁸, а затем выделяют плутоний различными методами^{478, 517}. Для улавливания аэрозолей плутония применяется фильтрование воздушных сред⁵²⁶. Аппаратура и меры предосторожности при выполнении аналитических и иных работ с плутонием описаны в работах^{527, 528}.

3. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРАНА, ТОРИЯ И ПЛУТОНИЯ

А. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРАНА

Весовые методы определения урана совершенно аналогичны описанным выше методам осаждения. Уран осаждают аммиаком, свободным от карбонатов^{176–178}, пиридином^{180–182}, уротропином¹⁷⁹, указанными ранее органическими реагентами^{184, 186–208}, перекисью водорода^{4, 209, 210},

сульфидом аммония и другими осадителями^{202–208, 529}. Полученные осадки, как правило, не имеют определенного состава; их прокаливают при 800–1050° до основной весовой формы U_3O_8 .

Осторожным высушиванием при 120–140° 8-оксихинолината урана, по-видимому, можно получить весовую форму $UO_2(C_9H_6NO)_2 \cdot C_9H_7NO$. По данным Рэй и других, при осаждении урана кислотами фосфора и прокаливании уранилфосфата или аммонийуранилфосфата получают весовую форму $U_2(P_2O_7)_3 \cdot 4UO_3$ ²¹⁷.

Из 1 М раствора KNO_3 с pH 2–4 при 50–60° уран может быть осажден $K_4Fe(CN)_6$ в виде $K_4(UO_2)_4[Fe(CN)_6]_3$ ²²³. В растворах KNO_3 уран может быть точно определен амперометрическим титрованием $K_4Fe(CN)_6$ ²²³. Шестивалентный уран осаждается также какодиловой кислотой $(CH_3)_2AsOON$, дающей весовую форму при осторожном высушивании при 200°^{200, 201}.

Указанные методы мало избирательны, поэтому растворы, из которых проводится осаждение, должны быть свободны от большинства элементов. Более избирательные методы осаждения четырехвалентного урана в литературе освещены слабо.

Объемные методы определения урана включают в себя методы непосредственного титрования U^{VI} сильными восстановителями, методы титрования U^{IV} окислителями, косвенные окислительно-восстановительные методы, методы титрования растворов уранила осадителями, комплексонометрические и некоторые другие методы^{530–583}.

При прямом титровании растворов уранила восстановителями отпадает необходимость предварительного восстановления урана. Однако неустойчивость растворов сильных восстановителей — хлорида трехвалентного титана⁵³⁰, двухвалентного олова⁵³¹, сульфата двухвалентного хрома^{532, 533} снижает точность определения.

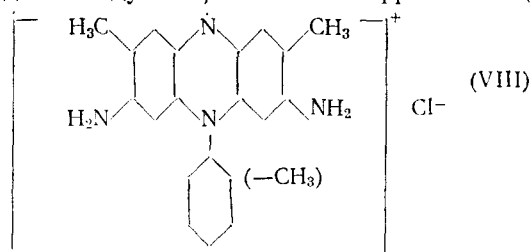
Большее значение имеют методы титрования U^{IV} . При этом оказывается возможным использовать почти все известные и повсеместно применяемые окислители. Поэтому выбор как окислителя, так и индикатора обычно не представляет трудностей.

Для предварительного восстановления урана применяют растворы энергичных восстановителей — хлорида трехвалентного титана¹⁹¹, двухвалентного олова⁵³¹, сульфата двухвалентного хрома^{533, 534–536}, а также твердые или жидкие амальгамы цинка^{538, 539}, кадмия^{540, 541}, магния, алюминия, свинца, висмута, меди, серебра и других металлов^{533, 542–544}. Одной из особенностей описанных методов восстановления является загрязнение растворов ионами применяемых металлов. Это не создает препятствий при последующем титровании U^{IV} , но может быть нежелательным в других случаях. Кроме того, при восстановлении иногда получают смесь U^{IV} и U^{III} , что требует добавочных операций для перевода U^{III} в U^{IV} .

Интересен метод восстановления спиртом, когда содержащий этиловый спирт раствор соли уранила приблизительно 1 N по H_2SO_4 экспонируют на прямом солнечном свете или под ртутной лампой в течение 20–30 минут⁵⁴⁴. При этом уран восстанавливается точно до U^{IV} , и в раствор не вводятся посторонние ионы. Вместо спирта можно применять диэтиловый эфир⁵⁴⁵.

В качестве окислителей почти с равным успехом применяют растворы сульфата церия^{191, 434, 546–551}, бихромата калия^{543, 552–554}, перманганата калия^{539, 553, 555–557}, сульфата трехвалентного железа, ванадата натрия^{544, 545, 558, 580} и другие⁴. При титровании перманганатом точку эквивалентности устанавливают непосредственно по окраске $KMnO_4$, в других случаях электрометрически^{557–559} или при помощи внутренних индикаторов: дифениламина, дифенилбензидина, дифениламиносульфокислоты и других^{545, 548, 552, 556}. При окислении избытка восстанови-

теля II) кислородом воздуха применяют сафранин Т (VIII).



Титрование U^{IV} обычно протекает достаточно легко. При использовании $Fe_2(SO_4)_3$ титрование ведут при $\sim 70^\circ$ в атмосфере CO_2 . Точку эквивалентности определяют потенциометрически, используя платиновый или каломельный электроды ^{1, 30}. Описан метод потенциометрического титрования U^{VI} в присутствии U^{IV} раствором $Ti_2(SO_4)_3$ ⁵⁸². Описана специальная бюретка для титрования четырехвалентного урана в инертной атмосфере ⁵⁸³.

Небольшое число работ посвящено прочим объемным методам определения урана. Описано кулонометрическое титрование урана электролитически генерируемыми ионами Ti^{III} ^{571, 572}, Ce^{IV} , бромид-ионами ⁵⁷³ и другими ^{542, 574}, осаждение урана 8-оксихинолином с последующим титрованием осадка бромид-броматной смесью ^{560–562}, титрование растворов солей уранила фосфатом натрия ^{564, 565} или едким натром ^{566, 568}, комплексонометрическое определение с трилоном Б ^{509, 510}, осаждение урана перекисью водорода с последующим титрованием осадка $KMnO_4$ ⁵⁶³ и другие ^{538, 575–577}.

Объемными методами, особенно окислительно-восстановительными, можно определить от 5 до 100 μ урана ^{549, 558}. При этом точность определения не уступает, а в некоторых случаях превосходит точность весовых методов ^{558, 560, 578}. Отмечается также, что при титровании урана трилоном Б с индикатором кверцетином 12 μ урана могут быть определены с точностью до 5% ⁵¹⁰.

Физические и физико-химические методы, уступая по точности весовым и объемным методам, имеют несомненное преимущество — большую избирательность и скорость выполнения определения ²⁰. К ним относятся полярографические ^{262, 293, 584–601}, радиометрические ^{35, 230, 602–615}, нейтронноактивационные ^{602, 616}, спектральные ^{36, 617}, рентгено-спектральные ^{618–620}, быстрый метод флуоресцентного рентгеноспектрального анализа ^{34, 621–626}, высокочувствительный метод микрорадиографии ^{627–629} и другие методы ^{630–635}.

Полярографические методы, отличаясь высокой чувствительностью, не намного уступают химическим методам и по точности. Так, с ошибкой, не превышающей 3–5%, возможно определять от 0,1 до 10 μ U ²⁰. Применение же осциллографической полярографии позволяет повысить чувствительность на полтора порядка ²⁰. Избирательность полярографических методов удовлетворительная, но все же при определениях урана в минералах, породах ^{585, 588, 589, 601} и других объектах ^{586–588}, как правило, требуется предварительное отделение примесей. Избирательность методов значительно увеличивается при использовании трилона Б для маскирования прочих элементов ^{591, 592}, при этом оказывается возможным определять уран на фоне Ni, Co, Zn, Mn, Al, Cr, Be, Ti; мешают Pb и Si ⁵⁹². Более подробно вопросы полярографического определения урана обсуждаются в работах ^{4, 20}.

Флуоресцентные методы. Впервые почти исключительная способность системы $UO_2^{2+}—NaF$ давать яркую желто-зеленую флуоресценцию под действием ультрафиолетового излучения обнаружили Никольс и Слеттери ^{636–638}. Впоследствии Хернеггер, Фиолетовой, Леоновой и другими

авторами были разработаны весьма чувствительные методы определения урана^{639–669}.

Определение выполняется как визуально, так и с применением высокочувствительных фотоэлектрических флуорометров^{640, 641}. В последнем случае чувствительность метода может быть доведена до 0,001—0,005 γ урана в 0,5—2 г плава, при этом средняя ошибка определения не превышает 5—7%^{640, 642}.

В качестве плавня применяют как чистый NaF^4 , так и смесь, состоящую из 9% NaF ; 45,5% Na_2CO_3 и 45,5% K_2CO_3 ⁴. В этом случае получающиеся плавы механически прочны, однородны и не гигроскопичны, что важно при фотометрировании, а по чувствительности не отличаются от плавней из чистого NaF . Предложенные в качестве плавней фториды других щелочных или щелочно-земельных элементов не имеют, по-видимому, преимуществ по сравнению с плавнем на основе NaF^4 .

Флуоресценция ураниловых соединений наблюдается и в жидкостях — концентрированных растворах H_3PO_4 , H_2SO_4 ^{643, 644} и органических растворителях⁶⁴⁵. Это используется для количественного определения урана^{643–645}.

Флуоресценцию ураниловых соединений вызывают не только ультрафиолетовые лучи, но и β -, α -, катодные лучи, протоны и, вероятно, нейтроны⁶⁴⁶. Это может быть, по-видимому, использовано как для определения урана, так и для измерения ионизирующего и нейтронного излучения.

Помехи при определении урана вызывают как сильные гасители: Fe, Cr, Co, Pb, Mn, Ni, Pt, Ag, La, Ce, Ca^{640, 647–649}, так и элементы, которые при сплавлении с NaF обладают собственной более или менее интенсивной флуоресценцией: Se, V, Nb, Ta, Sb^{640, 649}. Подробные сводки элементов, препятствующих прямому определению урана, приводятся в работах^{640, 649}.

Степень гашения зависит лишь от концентрации примеси в плаве и не зависит от отношения UO_2^{2+} : гаситель. Можно считать, что при содержании сильных гасителей — Fe, Cr, Ag — до 1 γ на 1 г плавня и при содержании прочих гасителей до 10—1000 γ на 1 г плавня уменьшение флуоресценции урана практически незаметно⁶⁴⁰. Таким образом, если для определения урана используют малую навеску, то при отношении UO_2^{2+} к прочим элементам, равным 1 : 10^3 — 10^6 (содержание урана 0,1—0,0001%), еще возможно прямое определение урана в образцах без предварительного отделения прочих элементов. При этом отпадает необходимость и в разложении образца: микронавеска минерала сплавления непосредственно с плавнем^{650–652}.

Методы анализа образцов сложного состава с малым содержанием урана предусматривают предварительное отделение основной массы примесей^{279, 653–655} или предварительное концентрирование урана⁸⁴. Так, например, описан метод концентрирования урана из морской воды с применением органических соосадителей с последующим флуорометрическим его определением⁸⁴.

Рентгено-флуоресцентный метод определения урана позволяет определить 0,2—2,0 мг/мл урана в 1 М растворе NaNO_3 ⁶²⁷.

По данным Галкина и Феофилова, в монокристаллах CaF_2 , SrF_2 и BaF_2 способностью к флуоресценции обладает и трехвалентный уран⁶⁵⁶.

Многие урановые минералы обладают способностью люминесцировать. Это также может быть использовано для их открытия и идентификации⁶⁵⁷.

Техника работы при флуорометрических определениях урана описана в работах^{4, 22, 640}. Теоретические вопросы, связанные с флуоресценцией ураниловых соединений, обсуждаются в работах Вавилова, Левшина и других авторов^{646, 658–661}. Вопрос о природе центра свече-

ния в системе NaF—UO_2^{2+} обсуждается в работах Добролюбской и других^{662–664}.

Колориметрические методы. Для урана описаны методы определения по собственной окраске его простых неорганических солей: фосфата четырехвалентного урана в 40%-ной H_3PO_4 (λ 660 $m\mu$)⁶⁷⁰, перхлората уранила в HClO_4 (λ 415–420 $m\mu$)^{671–673}, сульфата уранила в H_2SO_4 (λ 420–430 $m\mu$)^{674–676} и других⁵⁴⁰. Описан метод прямого спектрофотометрического определения урана в сульфатных и карбонатных растворах⁶⁷⁷. Метод основан на характерном поглощении соответствующих комплексов в ультрафиолетовой области.

Методы определения урана по собственной окраске его солей являются высоко избирательными, но зато недостаточно чувствительными: до 0,5–5 mg/ml урана.

Описан ряд методов фотометрического определения урана с кислород- и серусодержащими реагентами.

Простой и удобный метод определения урана с H_2O_2 в среде Na_2CO_3 мало чувствителен^{678–689}. Избирательность метода удовлетворительная, но она может быть еще более повышена, если определение проводить в среде H_2O_2 — NaOH — Na_2CO_3 при пониженной концентрации H_2O_2 ⁶⁸⁷. При этом почти полностью исключается влияние V, Mo, W. Отмечается, что в присутствии бикарбонатов возникают определенные искажения⁶⁷⁹. Изучению состава окрашенных перекисных соединений урана посвящены сообщения ряда авторов^{683, 684}.

В некоторых случаях перекись водорода используется также для маскирования UO_2^{2+} при комплексонометрическом титровании при pH 10²¹¹ или при фотометрировании с реагентом арсеназо¹⁴⁶.

Широко описан также метод определения урана с KSCN в водной среде^{690–696} и в смесях, содержащих ацетон, спирт или монобутиловый эфир этиленгликоля^{289, 697, 698}. При определении в присутствии ацетона или спирта избирательность метода значительно увеличивается⁶⁹⁸: сравнительно большие количества Th, Zr, Sn, Hg, Mn, а также сульфаты, фосфаты и ацетаты определению не мешают, Fe^{III} восстанавливают аскорбиновой кислотой⁶⁹⁸ или хлористым оловом⁶⁹⁷.

Одним из преимуществ роданидного метода является также то обстоятельство, что определение возможно в широких пределах кислотности — от 0,1 до 2,0 N по HCl или HNO_3 . Но чувствительность метода недостаточно высока ~20–40 γ/ml урана. Более чувствительным является метод определения урана с $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ ^{111, 218, 699–701}. В объеме 25 ml еще возможно определить с точностью 3–5% от 10 до 100 γ U. Метод, однако, является недостаточно избирательным и поэтому почти всегда необходимо тщательное отделение урана от прочих элементов, а также ацетатов, оксалатов, цитратов и других комплексобразователей⁷⁰². Описаны методы обнаружения и определения урана в рудах, минералах²¹⁸ и других объектах¹¹¹. При больших концентрациях урана или в присутствии KNO_3 при действии $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ выпадает осадок, и колориметрирование становится невозможным^{703, 704}. Состав продукта, образуемого уранилом с ферро- и феррицианидами калия, обсуждается в работах^{223, 705}.

На хромофорном действии урана основаны также методы определения с неокрашенными или слабоокрашенными органическими реагентами^{124, 706–765}. В качестве реагентов предложены: салициловая, аминосалициловая, сульфосалициловая кислоты^{124, 128, 706–712}, салициламид⁷¹³, салицилальдоксим^{714, 715}, салицилгидроксаметовая кислота⁷¹⁶, тайрон^{1, 2, 4, 6-С₆H₂(OH)₂(SO₃H)₂}⁷¹⁷, галловая⁷³², хромотроповая кислота^{716–720}, дибензоилметан и его аналоги в водной или органической фазе^{285, 726–731}, 2-ацетоацетилпиридин^{734, 735}, R-соль и нитрозо-R-соль⁷²¹, 8-оксихинолин^{116, 607, 722}, тиогликолят аммония^{723–725}, редуктон⁷³³, изатин- β -оксим^{737–743}, азид натрия⁷⁴⁶, различные нафтолсульфокислоты^{202, 747},

таннин^{182, 732}, морин⁷⁴⁸⁻⁷⁵¹, мореллин⁷⁵²⁻⁷⁵³, феррон⁷⁶⁵ и другие реагенты⁷⁵⁴⁻⁷⁶⁵.

Чувствительность описанных методов с использованием органических реагентов приблизительно одного порядка — ~ 5 $\mu\text{г/мл}$. Избирательность не высока: помехи оказывают многие элементы.

Избирательность колориметрических методов с органическими реагентами резко возрастает при использовании трилона Б для маскирования реакций прочих элементов. По данным Пршибила, Алмаши и других авторов⁷⁰⁻⁷⁷ при определении урана с дибензоилметаном, морином или салициламидоксимом в присутствии трилона Б не мешают Cu, Fe, Ni, Co, Mn, Bi, Al, Th и некоторые другие элементы.

Большее значение за последнее время приобретают методы с применением окрашенных органических реагентов. Наиболее широко используется, видимо, высокочувствительная цветная реакция с арсеназо^{128, 143, 145, 146, 540, 766, 767}. Реагент арсеназо пригоден для определения как U^{VI} , так и U^{IV} . Метод определения U^{VI} мало избирателен: мешают Th, Zr, Ti, Al, Fe, редкоземельные и другие элементы, которые необходимо предварительно удалять. При небольших количествах прочих элементов возможно элиминировать их влияние добавлением трилона Б или использовать способность комплекса UO_2^{2+} с арсеназо разрушаться при добавлении H_2O_2 ¹⁴⁶.

Метод определения U^{IV} более избирателен: помехи оказывают только легко гидролизующиеся элементы: Zr, Ti, Th. Маскирующие уран анионы: фосфаты, фториды, оксалаты, влияют и в том и в другом случае. Чувствительность реакции — $0,05-0,1$ $\mu\text{г/мл}$ урана.

Определение U^{VI} проводят используя уротропин при pH 4,5—6. Светопоглощение измеряется на спектрофотометре при λ 620 $\text{m}\mu$ или на фотоколориметре с красным светофильтром. U^{IV} определяют в более кислой среде — в $0,05-0,2$ N HCl¹⁴⁶.

В работах Банк и Фриц описаны методы определения малых количеств редкоземельных элементов в уране^{768, 769}.

Аналог арсеназо — торон предложен для определения U^{IV} ¹²⁸. Определение проводят также в кислой среде — $0,1-0,3$ N HCl, поэтому влияние многих прочих элементов сведено к минимуму; мешают только Zr, Ti, Th. Чувствительность метода — $0,1-0,2$ $\mu\text{г/мл}$ урана.

Реагент арсеназо II предложен для определения UO_2^{2+} . Чувствительность реакции по сравнению с соответствующей реакцией арсеназо I не увеличивается, но избирательность резко возрастает¹⁴⁷.

Кроме арсеназо I, арсеназо II и торона для определения урана рекомендован ряд других окрашенных реагентов: ализарин S и его аналоги^{770, 771}, алюминон⁷⁷², 1-(2-пиридилазо)-2-нафтол^{294, 773} и другие азокрасители^{128, 774}. При определении урана с 1-(2-пиридилазо)-2-нафтолом для маскирования Cu, Zn, Ni, Hg, Fe, Zr и Th предложено использовать нитрилтриуксусную кислоту, KSCN или трилон Б⁷⁷³. Определение может быть также выполнено непосредственно после экстракции в среде трибутилфосфат — CHCl_3 с прибавлением реагента и пиридина²⁹⁴.

Описан метод косвенного колориметрического определения урана, заключающийся в окислении U^{IV} до U^{VI} солями Fe^{III} с последующим определением образующегося Fe^{II} при помощи о-фенантролина или диметилглиоксима^{775, 776}.

Б. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОРИЯ

Весовые методы определения тория основаны на описанных выше методах осаждения. При гидролитическом осаждении тория основаниями³²¹⁻³²⁸ или многочисленными органическими кислотами³⁶³⁻⁴²⁶ должны отсутствовать Zr, Ti, Fe, U и большие количества редкоземельных элементов.

В отсутствие редкоземельных элементов и кальция торий осаждают оксалатами в виде $\text{Th}(\text{C}_2\text{O}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ³³³⁻³⁴¹ или фторидами в виде $\text{ThF}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ³²⁹.

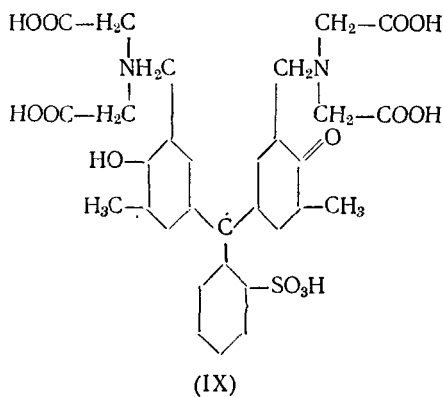
Из растворов, свободных от Ti и Zr, торий осаждают в виде йодата ^{331, 333}. В большинстве случаев получаемые осадки прокаливают до основной весовой формы ThO_2 .

При осаждении тория фитиновой кислотой и прокаливании осадка получают весовую форму $\text{Th}(\text{PO}_3)_4$ ¹⁶².

Отмечается, что при осаждении тория действием оксихинолина или меркаптобензотиазола после высушивания осадков при $105-120^\circ$ они могут быть взвешены в виде $\text{Th}(\text{C}_9\text{H}_6\text{NO})_4 \cdot \text{C}_9\text{H}_6\text{NOH}$ ^{4, 426} и $\text{Th}(\text{C}_7\text{H}_4\text{NS}_2)_4$ ⁷⁷⁷. При осаждении тория бензолсульфинатом натрия и высушивании осадка при 110° получают весовую форму $\text{Th}(\text{C}_6\text{H}_5\text{SO}_2)_4$ ⁴²⁹. Обзор весовых методов определения тория приводится в работах ^{4, 29}.

Более быстрыми и удобными являются *объемные методы* определения тория. Интересен косвенный йодатно-тиосульфатный метод, разработанный Черниковым и другими авторами ^{222, 355, 778, 779}. Метод основан на осаждении из азотнокислого раствора двойного йодата тория и калия $4\text{Th}(\text{JO}_3)_4 \cdot \text{KJO}_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ^{222, 331, 333} с последующим растворением осадка в подкисленном растворе йодата калия и титрованием выделившегося йода тиосульфатом натрия. Метод достаточно избирателен; должны отсутствовать лишь Zr и Ti и большие количества Bi и редкоземельных элементов.

Представляют несомненный интерес разработанные сравнительно недавно комплексонометрические методы определения тория, которые весьма удобны в выполнении и требуют небольшой затраты времени. Описаны методы с использованием трилона Б ⁷⁸⁰⁻⁸⁰⁴, KF ^{790, 805} или $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ⁷⁹⁰. В качестве индикаторов применяют реагенты, дающие с торием более или менее контрастные реакции: ализарин S ^{128-130, 780, 798}, различные азокрасители, преимущественно на основе хромотроповой или R-кислоты ⁷⁸⁴, 2,7-динитрозохромотроповая кислота ⁷⁸⁵, эриохромцианин R ¹²⁸, ксиленоловый оранжевый (IX) ^{799, 801}, ферроин ⁸⁰³, пирока-



техиновый фиолетовый ^{787, 789, 800, 803} и другие реагенты ^{786, 788, 796}. Для определения точки эквивалентности применяют и физико-химические способы ^{791, 792}.

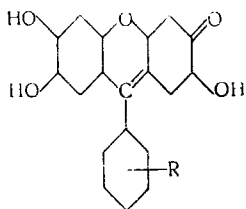
Метод определения микроколичеств тория в металлическом уране предусматривает соосаждение его на фториде La с последующим титрованием ЭДТА с индикатором эриохромцианин RC ⁸⁰⁶.

При комплексонометрических определениях тория мешают все те элементы, которые при выбранном для работы значении pH связывают применяемый комплексон или дают цветную реакцию с металлоиндикатором. Критический обзор комплексонометрических методов определения тория приведен в работе Пршибила ⁸⁰⁷.

Описаны также другие объемные методы определения: амперометрическое титрование тория молибдатом аммония⁸⁰⁸⁻⁸¹⁰, титрование окси-хинолината тория бромом³⁹³, методы титрования перманганатом калия оксалата тория^{811, 812} или избытка щавелевой кислоты после осаждения тория^{812, 813} и другие методы^{810, 814}.

Достаточно широко описаны *физические и физико-химические методы*: спектральные^{38, 815-820}, рентгеноспектральные^{38, 619}, рентгеноспектральные флуоресцентные⁶²³⁻⁸²¹, радиохимические^{37, 612-614, 822-824}, методы нейтронного активационного анализа^{825, 826}, косвенные полярографические методы⁸²⁷⁻⁸³¹ и другие^{4, 832}. Один из косвенных полярографических методов заключается в обработке стандартного раствора этилендиаминтетраацетатного комплекса свинца исследуемым раствором тория. Освобождающийся Pb, который Th вытесняет из его комплекса с ЭДТА, определяется полярографически⁸³¹. Описан косвенный радиохимический метод: осаждение тория пирофосфатом, меченным активным фосфором, с последующим измерением активности избытка пирофосфата в фильтрате³⁴⁹.

Торий можно определить по флуоресценции с некоторыми флавонами, морином или в спиртовом растворе с 1-амино-4-оксиантрахиномом^{833, 834}. Многие элементы не мешают, однако реакция, конечно, не так избирательна, как флуоресцентная реакция уранила в расплаве NaF. Описан метод косвенного флуорометрического определения тория: при разложении сульфатами комплекса тория с 2,3,7-триокси-6-флуороном освобождающийся реагент флуоресцирует⁸³⁵.



Наибольшее число описанных *фото- и колориметрических методов* определения тория основано, видимо, на применении реагента торона^{329, 330, 361, 435, 459, 766, 836-849, 912}, предложенного в 1941 г. Кузнецовым^{143, 145}. Точность описанных методов составляет 1,5—2%. Определение проводят в кислой среде при pH 0,7—1,2; при этом UO_2^{2+} , Fe^{II} , Al, TR и другие элементы помех не создают, но Zr, Ti и маскирующие торий анионы определение затрудняют.

Для определения тория может быть использован также реагент арсеназо^{449, 450, 540, 766, 850, 851}. Реакция с арсеназо более чувствительна, но зато влияние прочих элементов проявлено несколько сильнее. Зайковский и Герхард описали метод определения тория с арсеназо в присутствии Zr и Ti, которые маскируются винной кислотой⁸⁵².

Для определения тория были предложены и другие реагенты: ализарин⁸⁵³⁻⁸⁵⁶, хинализарин⁸⁵⁷, метилрот⁸⁵⁸⁻⁸⁵⁹, кверцетин^{434, 462, 860, 861}, мореллин⁸⁶², нитрозо-R-соль⁸⁶³, пирокатехинсульфоталеин⁸⁶⁴, морин⁸⁶⁵, карминовый красный⁸⁶⁶, 2,7-динитрозохромотроповая кислота⁸⁶⁷, гематеин⁸⁶⁸, 2,5-диоксихинон в растворах метилового спирта⁸⁶⁹, различные азокрасители, преимущественно на основе хромотроповой кислоты⁸⁷⁰⁻⁸⁷⁴ и другие реагенты⁸⁷⁵⁻⁸⁷⁷. Чувствительность описанных методов 1—10 $\mu\text{г/мл}$ тория, помехи оказывают те же элементы, как и в случае арсеназо и торона: Zr, Ti, Fe^{III} , большие количества Al, UO_2^{2+} и редкоземельных элементов, а также маскирующие торий анионы — сульфаты, фосфаты, фториды и другие.

Описанные в литературе косвенные колориметрические и нефелометрические методы^{331, 345, 878-880} едва ли имеют преимущества по срав-

нению с прямыми колориметрическими методами. Видимо, они не получили широкого распространения.

В. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛУТОНИЯ

Весовые методы. Основной весовой формой для взвешивания плутония является двуокись⁴⁸⁰, получающаяся прокаливанием гидроокиси плутония⁴⁸⁰, осадков, образующихся при осаждении плутония органическими соединениями^{480, 489, 490, 493} или H_2O_2 ^{480, 483}. Термогравиметрическое исследование многих соединений плутония показало, что двуокись плутония образуется при температуре выше $600\text{--}650^\circ$ ⁸⁸¹. В ряде работ исследованы свойства образующейся двуокиси плутония^{882, 883}. В более точном исследовании за последнее время было показано, что двуокись плутония, образующаяся при 900° , имеет вес, отличающийся от теоретического на $+0,1$ до $+0,5\%$ ⁸⁸⁴. При каждой температуре прокаливания двуокись плутония имеет свой постоянный вес. При $1100\text{--}1200^\circ$ и прокаливании в атмосфере обычного воздуха этот вес наиболее близок к стехиометрическому составу PuO_2 . При более высоких температурах образуются низшие окислы плутония^{885, 886}. В некоторых случаях двуокись плутония может окисляться до $\text{PuO}_{2,1}$. В качестве весовой формы рекомендуется использовать также сульфат и йодат четырехвалентного плутония⁴⁸⁰.

Объемные методы определения плутония основываются прежде всего на использовании его окислительно-восстановительных реакций. Pu^{III} титруется в сернокислой среде четырехвалентным церием с индикатором ферроином⁸⁸⁷ или потенциометрически. Точность определения $2\text{--}10\text{ мг}$ плутония составляет $0,1\text{--}0,25\%$. Имеются указания на возможность определения плутония титрованием перманганатом калия, а также титрованием тиосульфатом йода, выделенного из йодида четырехвалентным плутонием в сернокислой среде⁴⁸⁰.

Плутоний, окисленный хлорной кислотой до шестивалентного состояния, восстанавливается избытком Fe^{II} , которое затем потенциометрически титруется стандартным раствором сульфата Ce^{IV} ^{30, 31}. Этим методом $400\text{--}500\text{ мг}$ плутония могут быть определены с точностью $0,03\%$. Железо определению не мешает, но Cr , V и Mo должны быть предварительно удалены.

Известно, что трех-, четырех- и шестивалентный плутоний образует устойчивые комплексные соединения с этилендиаминтетрауксусной кислотой^{30, 34, 888}. Константа устойчивости комплекса Pu^{IV} составляет $\sim 10^{26}$, а $\text{Pu}^{III} \sim 10^{16}$. Рекомендован объемный метод определения Pu^{III} , основанный на обратном титровании избытка комплексона торием в среде с $\text{pH } 2,5$ в присутствии ализаринсульфоната натрия и метиленовой голубой (внутренний светофильтр)⁸⁸⁹. Точность определения 10 мг Pu составляет $\sim 1\%$.

Физические и физико-химические методы определения. Радиохимический метод, по-видимому, наиболее распространен^{30, 34, 509, 890–893}. Описана различная техника приготовления препаратов для альфа-счета^{893–895}, в том числе электролизом^{492, 520–523}. При наличии в растворе менее чем $0,01\text{ г/л}$ плутония и высоких концентраций посторонних солей часто требуется предварительное химическое отделение плутония. В других случаях пользуются разведением раствора и выпариванием аликвотной части его на мишени^{30, 34}. Описан радиометрический метод определения Np^{239} и Pu^{239} в гомогенном реакторе⁸⁹⁶.

Результаты радиохимического анализа зависят от изотопного состава плутония^{30–34}. Для определения изотопного состава плутония используются методы измерения энергии α -частиц и масс-спектрометрии^{30, 34, 897}.

Описаны улучшенный метод для определения микроколичеств плутония в воде⁸⁹⁸, радиометрическое определение плутония после его отделения соосаждением или экстракцией⁴⁷⁹.

Плутоний может быть также определен методом автордиографии⁴⁷⁰.

Для определения валентности плутония в микроколичествах используется неодинаковое соосаждение разных его валентных форм с носителями¹. Валентность плутония может быть также установлена по спектрам поглощения его растворов⁸⁹⁹, но этот прием требует наличия миллиграммовых количеств плутония.

Описаны методы спектрофотометрического определения плутония. По данным Аллисона, полоса Pu^{III} при 602 $m\mu$ может быть использована для его определения с точностью в 1%^{30, 34}. По другим данным, 8—14 mg плутония в трехвалентном состоянии определяются с точностью 0,1% методом дифференциальной спектрофотометрии при длине волны 565 $m\mu$ ¹⁷⁴. Плутоний восстанавливается 5%-ным солянокислым гидроксиламином в среде 1М соляной кислоты. Определению не мешают десятикратные количества тория, урана, кальция и церия; однократные количества двухвалентного железа (в присутствии хлористого олова) и менее чем однократные количества алюминия и циркония. Конник и другие рекомендуют пользоваться следующими основными аналитическими полосами поглощения (в скобках приводятся молярные коэффициенты светопогашения): Pu^{III} 560 $m\mu$ (36,1) 600 (35,3) 900 (19,3); Pu^{IV} 470 $m\mu$ (49,6), 655 (34,4), 730 (14,6), 815 (19,6); Pu^{VI} 833 $m\mu$ (~300), 953 (19,9), 983 (8, 9)⁸⁹⁹. Аналогичные спектры характерны и для кристаллов солей плутония⁹⁰⁰. Молярные коэффициенты светопогашения плутония в растворах зависят от температуры, pH, природы и концентрации анионов^{34, 899}. Выше приведены молярные коэффициенты для растворов в 0,5 М HCl или HNO₃.

Описаны методы кулонометрического определения плутония. Для этого Дрибен рекомендует электролитически восстанавливать плутоний до трехвалентного состояния и затем окислять электролитически генерируемым четырехвалентным церием в азотно-сульфанилвокислой среде⁹⁰¹.

Бранстед, Карсон и другие предложили метод окисления плутония до Pu^{VI} перманганатом калия, избыток которого удаляют обработкой муравьиной кислотой при нагревании. Образовавшийся Pu^{IV} восстанавливают далее в серно-фосфорнокислой среде электролитически генерируемыми ионами Fe^{2+} ^{902, 903}. Кулонометрически 0,5—10 mg плутония определяют с точностью 0,5—2%, 3 μ плутония определяют с точностью 5%^{31, 34}. Миллиграммовые количества Pu^{IV} определяют титрованием сульфатом Ce^{IV} . Предварительное восстановление проводят амальгамой цинка⁹⁰⁴. 2—0,05 mg плутония определяются с точностью 0,1—1% кулонометрией при контролируемом потенциале с ртутным или платиновым электродом^{905, 906}. Показана возможность прямого определения плутония в растворах процессов переработки ядерного горючего.

Для количественного полярографического определения плутония используется хорошо выраженная волна обратимой реакции в оксалатных растворах с pH 3,5 — 6⁹⁰⁷. Трехвалентный плутоний в солянокислых растворах в присутствии гидроксилamina не мешает полярографическому определению урана, ванадия и титана^{30, 34}. Описаны методы полярографического восстановления Pu^{IV} в присутствии комплексообразующих веществ на Hg-катоде⁹⁰⁸.

В чистых растворах концентрация плутония может быть определена методом поглощения рентгеновских лучей^{30, 34}. При этом погрешность определения не превышает 0,15%.

Для спектрального определения плутония используются линии 2972,54 Å; 2994,07 Å; 3000,53 Å и 3989,78 Å^{891, 909}.

Колориметрические методы определения плутония описаны пока в единичных случаях. Отмечается, что Pu^{IV} в кислых средах образует коричневые и красные пероксидные комплексы, а при pH 2,5—8 взаимодействует с ферроном⁵¹⁹. Рекомендуют фотометрировать Pu^{IV} по красному окрашиванию с ализаринсульфонатом натрия в муравьино-кислом буферном растворе при pH ~ 3 ⁹¹⁰. Большую часть прочих элементов отделяют электролизом на ртутном катоде; мешают определению оксалаты, тарtrato и другие анионы.

Описан метод определения Pu^{IV} с тороном. Пригоден для 5—100 γ Pu. Реакция проводится в среде HNO_3 или HCl , кислотность 0,05—0,25 N. Мешают U^{IV} , Th, Zr, в меньшей степени Ce^{III} , Fe^{III} , U^{VI} , а также анионы, образующие с Pu комплексы. Влияние F^- -ионов устраняется добавлением нитрата алюминия. При содержании Pu 100 γ точность определения $\pm 1\%$ ⁹¹¹.

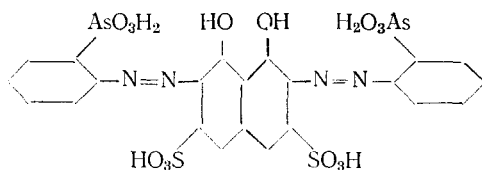
По аналогии с U^{IV} и Th, для определения Pu^{IV} , видимо, могут быть использованы такие реагенты, как арсеназо I, арсеназо II и торон II, хотя прямых указаний в литературе на это найдено не было.

ДОБАВЛЕНИЕ ПРИ КОРРЕКТУРЕ СТАТЬИ

За время, прошедшее после сдачи рукописи в печать, в литературе был опубликован ряд новых работ, из которых укажем на наиболее существенные. Монография Липилиной⁹¹³ посвящена химии соединений уранила. В обзоре Рябчикова и Гольбрайх приведены интересные данные по химии тория и его соединений⁹¹⁴. Описан флуорометрический метод определения урана в цирконах, позволяющий определить до 0,0005% U^{IV} ⁹¹⁵.

Опубликован ряд новых работ по фотометрическим методам. Уран определяют по окраске его соединений непосредственно в органической фазе после экстракционного отделения при помощи ТТА⁹¹⁶ или смеси ТБФ + CCl_4 ⁹¹⁷. Эверест и Мартин описали метод определения тория с тороном с предварительным экстрагированием тория ТБФ в изобутилкетоне⁹¹⁸. При определении тория с тороном II для повышения избирательности определение проводят в сильно кислой среде в присутствии щавелевой кислоты, связывающей Zr⁹¹⁹. С арсеназо II разработан экспрессный метод определения тория в монацитах⁹²⁰. Для маскирования Zr используются фосфаты, прочие элементы практически не влияют⁹²⁰. Описано определение урана с арсеназо I⁹²¹ и арсеназо II⁹²². В последнем случае для предварительного отделения урана использованы экстракционные приемы, связанные с применением так называемых «легкоплавких экстрагентов» — сплава парафина и циклогексана. Синтез арсеназо II и торона II описан в работе⁹²⁵.

Предложенный Саввиным реагент арсеназо III пригоден для определения ряда элементов, в том числе для тория и урана⁹²³.



С U и Th реагент образует высокопрочные интенсивно окрашенные зеленые комплексы. Растворы реагента — розовые. С Th реагент взаимодействует в широком диапазоне кислотности — 0,01—10 M по HCl , HNO_3 или H_2SO_4 ; с UO_2^{2+} окраска возникает при pH 1—3. Th удобно определять в среде 3—6 N HCl в присутствии щавелевой кислоты для маскирования Zr. Прочие элементы не мешают⁹¹³. Метод определения Th с арсеназо III в цирконах описан в⁹²⁴.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. Сиборг, Дж. Кац, Актиниды, ИЛ, М., 1955.
2. G. T. Seaborg, *The Transuranium Elements*, New Hawen, 1958.
3. Д. И. Рябчиков, Е. К. Гольбрайх, Аналитическая химия тория, Изд. АН СССР, М., 1960.
4. К. Родден, Дж. Уорф, Аналитическая химия урана и тория, ИЛ, М., 1956.
5. C. J. Rodden, *Anal. Chem.*, **25**, 1198 (1953).
6. C. J. Rodden, там же, **21**, 327 (1948).
7. П. Н. Палей, Исследования в области геологии, химии и металлургии, Изд. АН СССР, М., 1955, стр. 21.
8. F. S. Grimaldi, I. May, M. H. Fletcher, J. J. Titcomb, *Geol. Survey Bull.*, № 1006, 1 (1954).
9. A. K. De, *Sci. and Culture*, **23**, 18 (1957).
10. F. Hecht, *Mikrochim. Acta*, **1951**, 1083.
11. M. D. Foster, R. E. Stevens, F. S. Grimaldi, W. G. Schlect, M. Fleischer, *Geol. Survey Bull.*, № 1006, 1 (1954).
12. G. E. F. Lundell, H. B. Knowles, *J. Am. Chem. Soc.*, **47**, 2637 (1925).
13. G. G. Eichholz, J. W. Hilborn, C. McMahon, *Canad. J. Phys.*, **31**, 613 (1953).
14. C. Duval, *C. r.*, **227**, 679 (1948).
15. N. H. Furman, *Chem. Eng. News*, **26**, 2490 (1948).
16. H. M. Stationery, *Handbook of chemical Methods for the Determination of Uranium in Minerals and Ores*, Office, 1950.
17. G. L. Juggren, R. Rynninger, L. G. Sillen, *Svensk Kem. Tid.*, **61**, 170 (1949).
18. B. Helger, R. Rynninger, там же, **64**, 224 (1952).
19. J. Sutton, A. R. Mathieson, F. G. Mann, A. C. Allison, *Chem. Ztg.*, **50**, 122 (1949).
20. А. П. Виноградов, Исследования в области геологии, химии и металлургии, Изд. АН СССР, М., 1955, стр. 72.
21. Г. П. Барсанов, Записки Всесоюзного минер. общ., **24**, 232 (1945).
22. M. Az Ördögh, M. Fodor, *Energia es atomtechn.*, **II**, 27 (1958).
23. Сборник «Collected Papers on Methods of Analysis for Uranium and Thorium», Geological Survey, Bulletin, № 1006 (1955).
24. C. J. Rodden, *Manual of Analytical Methods for the Determination of Uranium and Thorium in their Ores*, Washington, D. C., U. S. Government Printing Office, 1950.
25. W. R. Schoeller, A. R. Powell, *The Analysis of Minerals and Ores of the Rare Elements*, 2nd Ed., Philadelphia, Pa., I. B. Lippincott, 1940.
26. T. Moeller, G. K. Schweitzer, D. D. Starr, *Chem. Rev.*, **42**, 63 (1948).
27. J. P. Bonardi, *U. S. Bur. Mines Bull.*, **212**, 19 (1923).
28. P. Wenger, R. Duckeryt, *Helv. chim. Acta*, **25**, 1110 (1942).
29. B. Justel, *Die Chemie*, **56**, 157 (1943).
30. C. F. Metz, *Anal. Chem.*, **29**, 1743 (1957).
31. B. G. Horvey, H. G. Heal, A. G. Maddock, E. L. Rowley, *J. Chem. Soc.*, **1947**, 1010.
32. M. W. Lister, *Quart. Revs*, **4**, 20 (1950).
33. G. T. Seaborg, *Peix Nobel*, **1951**, 141; цит. по С. А., **47**, 5805^c (1953).
34. C. F. Metz, Доклады США на второй Международной конференции по мирному использованию атомной энергии, Женева, 1958, №№ P/533; P/926.
35. W. J. Campbell, H. F. Gard, *Anal. Chem.*, **27**, 1884 (1955).
36. E. Tonani, G. Cocco, G. Serrini, *Atti Fondaz Giorgie Ronchi*, **12**, № 5, 486 (1957); цит. по РЖХим., **1958**, 39213.
37. E. Picciotto, S. Wilgain, *Anal. Chem. Acta*, **16**, 530 (1957).
38. И. В. Боровский, Труды Всесоюзной конф. по аналит. химии, **1**, 135 (1939).
39. M. T. Aguas de Silva, *Tecnica*, **28**, № 235, 41 (1953).
40. H. I. Shalgosky, *Analyst*, **81**, 512 (1956).
41. И. П. Алимарин, Ю. А. Золотов, *Усп. химии*, **26**, 625 (1957).
42. J. Sutton, *Nature*, **169**, 235 (1952).
43. J. Sutton, *J. Chem. Soc.*, **1949**, 275.
44. Н. П. Комарь, З. А. Третьяк, *Ж. анал. хим.*, **10**, 236 (1955).
45. R. G. Milkey, *Anal. Chem.*, **26**, 1800 (1954).
46. В. И. Парамонова, М. Д. Морачевская, Б. П. Никольский, *Ж. неорг. химии*, **3**, 2067 (1958).
47. J. Sutton, *J. Inorg. and Nuclear Chem.*, **1**, № 1—2, 68 (1955).
48. L. V. Coulter, K. S. Pitzer, N. W. Latimer, *J. Am. Chem. Soc.*, **62**, 2845 (1940).
49. P. Jolibois, *C. r.*, **217**, 426 (1943).
50. K. A. Kraus, F. Nelson, G. L. Johnson, *J. Am. Chem. Soc.*, **71**, 2510 (1949).
51. W. E. Harris, I. M. Kolthoff, *J. Am. Chem. Soc.*, **67**, 1484 (1945).
52. P. Herasymenko, *Trans. Faraday Soc.*, **24**, 267 (1928).

53. H. G. Heal, там же, **45**, 1 (1949).
54. S. Åhrland, Acta Chem. Scand., **3**, 374 (1949).
55. B. J. Thamer, J. Am. Chem. Soc., **79**, 4298 (1957).
56. I. Feldman, J. R. Havill, там же, **76**, 2114 (1954).
57. S. Åhrland, Acta Chem. Scand., **5**, 199 (1951).
58. S. C. Tripathi, S. Prakash, Ztschr. phys. Chem. (DDR), **208**, 181 (1958).
59. E. P. Bullwinkel, P. Noble, Jr, J. Am. Chem. Soc., **80**, 2955 (1958).
60. Р. Прибил, Комплексоны в химическом анализе, ИЛ, М., 1955.
61. M. R. Verma, K. J. Therattil, J. Scient. and Industr. Res., **A15**, № 9, 1 (1956).
62. G. Schwarzenbach, Analyst, **80**, 713 (1955).
63. С. И. Синякова, Ж. анал. хим., **10**, 139 (1955).
64. К. Б. Яцимирский, Зав. лаб., **21**, 1275 (1955).
65. К. Б. Яцимирский, там же, **21**, 1149 (1955).
66. В. Г. Горюшина, Зав. лаб., **20**, 647 (1954).
67. В. Г. Горюшина, Применение комплексона III (трилона Б) в химическом анализе. М., Изд. Цветмет. СССР, 1957.
68. G. Bergshoeff, Chem. Weekbl., **50**, № 34—35, 581, 593 (1954).
69. J. K. Aiken, The Industrial Chemist, **32**, № 372, 3 (1956).
70. R. Přibil, J. Vorlíček, Chem. Listy, **46**, 216, 218 (1952).
71. R. N. Sen Sarma, A. K. Mallik, Sci. and Culture, **20**, 135 (1954).
72. R. N. Sen Sarma, A. K. Mallik, Ztschr. anal. Chem., **148**, 179 (1955).
73. R. N. Sen Sarma, A. K. Mallik, Anal. Chim. Acta, **12**, 329 (1958).
74. J. Sekarka, J. Vorlíček, Chem. Listy, **47**, 512 (1953).
75. R. A. J. Shelton, Analyst, **82**, 532 (1957).
76. A. K. Majumdar, J. B. Ray Chowdhury, Anal. chim. acta, **19**, 576 (1958).
77. J. A. Carter, C. W. Weber, U. S. At. En. Comm., Rep. TID-7516, 186 (1956), цит. по Anal. Abstr., **5**, 490 (1958).
78. K. W. Kirby, R. H. A. Crawley, Anal. chim. acta, **19**, 363 (1958).
79. S. Åhrland, R. Larsson, Acta Chem. Scand., **8**, 137 (1954).
80. R. A. Day, R. N. Wilhite, F. D. Hamilton, J. Am. Chem. Soc., **77**, 3180 (1955).
81. K. A. Kraus, F. Nelson, там же, **72**, 3901 (1950).
82. И. В. Тананаев, М. И. Левина, Ж. неорг. химии, **3**, 2045 (1958).
83. A. C. Rice, H. C. Fogg, C. James, J. Am. Chem. Soc., **48**, 895 (1926).
84. В. И. Кузнецов, Т. Г. Акимова, Ж. анал. хим., **13**, 79 (1958).
85. В. И. Кузнецов, Ж. анал. хим., **9**, 199 (1954).
86. В. И. Кузнецов, Сб. Сессии Академии наук по мирному использованию атомной энергии, Изд. АН СССР, ОХН, 1955, стр. 301.
87. А. М. Розен, Атомная энергия, **2**, 445 (1957).
88. В. И. Кузнецов, Усп. химии, **23**, 654 (1954).
89. И. П. Алимарин, В. Н. Полянский, Сб. трудов Моск. вech. металлург. ин-та, 1957, вып. 2, 187.
90. В. М. Вдовенко, Ж. неорг. химии, **3**, 145 (1958).
91. H. A. C. McKay, Chem. a. Ind., **1954**, 1349.
92. K. S. Koppikar, V. G. Korgaonkar, T. K. S. Murty, Analyt. Chim. acta, **20**, 366 (1959).
93. G. W. Watt, A. R. Machel, J. Am. Chem. Soc., **72**, 2801 (1950).
94. E. Glueckauf, I. S. Anderson, Nature, **165**, 134 (1950).
95. M. Bachelet, E. Cheglan, J. chim. phys., **44**, 248 (1947).
96. В. Б. Шевченко, И. В. Шилин, А. С. Соловкин, Ж. неорг. химии, **3**, 225 (1958).
97. H. N. Irving, Quart. Revs., **5**, 200 (1951).
98. L. I. Katzin, D. M. Simon, J. R. Ferraro, J. Am. Chem. Soc., **74**, 1191 (1952).
99. D. E. Glueckauf, H. A. C. McKay, Nature, **165**, 594 (1950).
100. H. T. Hahn, J. Am. Chem. Soc., **79**, 4625 (1957).
101. H. A. C. McKay, J. Inorg. nucl. Chem., **4**, 375 (1957).
102. В. М. Вдовенко, М. П. Ковальская, Т. В. Ковалева, Ж. неорг. химии, **2**, 1677 (1957).
103. В. М. Вдовенко, Т. В. Ковалева, там же, **2**, 1682 (1957).
104. В. М. Вдовенко, А. Л. Липовский, М. Г. Кузина, там же, **2**, 975 (1957).
105. T. R. Scott, Analyst, **74**, 486 (1949).
106. С. М. Карпачева, Л. П. Хорхорина, Г. Д. Агашкина, Ж. неорг. химии, **2**, 961 (1957).
107. Sato Taichi, J. Inorg. nucl. Chem., **6**, 334 (1958).
108. В. И. Кузнецов, ЖОХ, **17**, 175 (1947).
109. J. Clinch, M. Guay, Analyst, **82**, 800 (1957).
110. В. И. Кузнецов, ДАН, **70**, 1011 (1950).
111. C. L. Rulfs, A. K. De, P. J. Elving, Anal. Chem., **28**, 1139 (1956).
112. Ю. А. Черников, Определение малых количеств урана в тории, М., 1949.
113. L. Silverman, L. Mondy, D. W. Hawley, Anal. Chem., **25**, 1369 (1953).
114. V. Auger, C. r., **170**, 995 (1920).
115. R. I. Lacoste, M. H. Earing, S. E. Wiberley, Anal. Chem., **23**, 871 (1951).

116. A. R. Eberle, M. W. Lerner, *Anal. Chem.*, **29**, 1134 (1957).
117. А. В. Николаев, *Химич. наука и промышл.*, **1**, 548 (1956).
118. Г. Р. К. Пратт, *Экстракция жидкость — жидкость в теории и практике*. В сб. «Жидкостная экстракция», Госхимиздат, М., 1958, стр. 9.
119. С. Э. Коган, *Разделение жидких смесей методом экстракции*. Там же, стр. 127.
120. W. M. Latimer, *The Oxidation States of the Elements and Their Potentials in Aqueous Solutions* 2d Ed. Prentice-Hall, Inc., New York, 1952.
121. В. Г. Хлопин, А. М. Гуревич, *Изв. АН СССР, ОХН*, **1943**, 271.
122. N. H. Furman, I. C. Schoonover, *J. Am. Chem. Soc.*, **53**, 2561 (1931).
123. H. N. McCoy, H. H. Bunzel, там же, **31**, 367 (1909).
124. A. Müller, *Ztschr. anorg. Chem.*, **109**, 235 (1920).
125. A. Müller, *Ztschr. prakt. Chem. (N. F.)*, **157**, 89 (1940).
126. В. И. Кузнецов, *Труды комиссии по аналит. химии, VIII (IX)*, 1957, стр. 52.
127. В. И. Кузнецов, *Усп. химии*, **21**, 175 (1952).
128. В. И. Кузнецов, *Приемы отыскания цветных реакций для неорганических ионов*. Докт. дисс., М., 1948.
129. В. И. Кузнецов, *Ж. анал. хим.*, **2**, 67 (1947).
130. В. И. Кузнецов, *ЖОХ*, **20**, 816 (1950).
131. В. И. Кузнецов, *ЖОХ*, **20**, 807 (1950).
132. Л. М. Кульберг, *Органические реактивы в аналитической химии*, Госхимиздат, 1950.
133. Л. М. Кульберг, *Усп. химии*, **15**, 605 (1946).
134. Л. М. Кульберг, А. А. Пономарев, Н. И. Давыдова, *Ж. анал. хим.*, **9**, 85 (1954).
135. Ф. Файгель, *Капельный анализ, ОНТИ*, 1937.
136. В. И. Кузнецов, *Труды комиссии по аналит. химии*, **7**, 174 (1956).
137. В. И. Кузнецов, *ДАН*, **50**, 233 (1945).
138. Е. Б. Сендел, *Колориметрическое определение следов металлов*, Госхимиздат, 1949.
139. С. А. Вознесенский, *Труды Всесоюзн. конференции по аналит. химии*, **1**, 60 (1939).
140. М. А. Чепелевский, там же, **1**, 17 (1939).
141. G. J. Henning, *Chem. Weekbl.*, **51**, № 28, 519 (1955).
142. К. Венкатараман, *Химия синтетических красителей*, т. 1, Госхимиздат, Л., 1956.
143. В. И. Кузнецов, *ДАН*, **31**, 895 (1941).
144. В. И. Кузнецов, *ДАН*, **50**, 227 (1945).
145. В. И. Кузнецов, *ДАН*, **52**, 39 (1946).
146. В. И. Кузнецов, *Ж. анал. хим.*, **13**, 220 (1958).
147. В. И. Кузнецов, там же, **14**, 7 (1959).
148. В. И. Кузнецов, *Усп. химии*, **18**, 75 (1949).
149. В. И. Кузнецов, *Ж. анал. хим.*, **1**, 259 (1946).
150. А. А. Сорокина, М. В. Лаврентьев, А. В. Николаев, *Отчет мин. Цвет. метзолота*, М., 1953.
151. J. K. Foreman, C. J. Riley, T. D. Smith, *Analyst*, **82**, 89 (1957).
152. В. И. Кузнецов, Л. М. Буданова, Л. А. Ненашева, *Докл. на заседаниях секции аналитической химии ВХО им. Менделеева*, Москва, ноябрь 1958; Киев, январь, 1959.
153. Z. I. Dizdar, I. D. Obrenovic, *Analyst*, **83**, 177 (1958).
154. K. Emi, T. Hayami, *J. Chem. Soc., Japan Pure Chem. Soc.*, **78**, 1532 (1957).
155. В. И. Кузнецов, *ДАН*, **77**, 61 (1951).
156. M. Bobtelsky, B. Graus, *J. Am. Chem. Soc.*, **76**, 1536 (1954).
157. G. H. Morrison, *Anal. Chem.*, **22**, 1388 (1950).
158. R. Bock, E. Bock, *Ztschr. anorg. allg. Chem.*, **263**, 146 (1950).
159. C. C. Templeton, H. F. Hall, *J. phys. Coll. Chem.*, **51**, 1441 (1947).
160. L. I. Katzin, J. R. Ferraro, W. W. Wendlandt, R. L. McBeth, *J. Am. Chem. Soc.*, **78**, 5139 (1956).
161. M. K. Fletcher, R. G. Milkey, *Science*, **119**, 445 (1954).
162. Д. И. Рябчиков, В. К. Беляева, А. Н. Ермаков, *Ж. анал. хим.*, **11**, 658 (1956).
163. I. C. Hindman, *The Transuranium Elements*, N. Y., 1949, книга 1, стр. 388.
164. I. A. Brothers, R. G. Hart, W. G. Mathers, *J. Inorg. nucl. Chem.*, **7**, 85 (1958).
165. А. Д. Гельман, Л. М. Зайцев, *Ж. неорг. химии*, **3**, 1304 (1958).
166. А. И. Москвин, А. Д. Гельман, *Ж. неорг. химии*, **3**, 962 (1958).
167. О. Е. Звягинцев, Б. Н. Судариков, *Ж. неорг. химии*, **3**, 975 (1958).
168. А. Д. Гельман, Л. Е. Драбкина, *Ж. неорг. химии*, **3**, 1105 (1958).
169. А. Д. Гельман, Н. М. Маторина, А. И. Москвин, *Атомная энергия*, **4**, 52 (1958).
170. R. Connick, W. H. McVey, *J. Am. Chem. Soc.*, **74**, 1341 (1952).
171. R. Connick, там же, **71**, 1528 (1949).
172. Sh. W. Rabideau, там же, **79**, 6350 (1957).

173. T. L. Markin, H. A. C. McKey, J. Inorg. nucl. Chem., **7**, 298 (1958).
174. G. Phillips, Analyst, **83**, 75 (1958).
175. G. R. Hall, P. D. Hermann, A. I. Welter, Rep. At. En. Res. Establ., N C/R 712 (1957); цит. по РЖХим., 1958, 57015.
176. R. Schwarz, Helv. chim. acta, **3**, 330 (1920).
177. C. A. Pierle, J. Ind. Eng. Chem., **2**, 60 (1920).
178. G. W. C. Milner, A. I. Wood, Rep. At. En. Res. Establ., № 1041, 1 (1953); цит. по РЖХим., 1953, 9126.
179. P. Ray, Ztschr. anal. Chem., **86**, 13 (1931).
180. Э. А. Остроумов, Зав. лаб., **6**, 16 (1937).
181. Э. А. Остроумов, Ztschr. anal. Chem., **106**, 244 (1936).
182. Л. Э. Кауфман, Зав. лаб., **9**, 228 (1940).
183. I. A. Limssen, Chem. Ztg., **35**, 139 (1911).
184. Ф. М. Шемякин, Зав. лаб., **5**, 1129 (1936).
185. Ф. М. Шемякин, В. В. Лдамович, Н. П. Павлова, там же, **5**, 1173 (1936).
186. D. G. Pabitrau, J. Indian Chem. Soc., **6**, 763 (1929).
187. F. Faigl, Anal. Chem., **21**, 1310 (1949).
188. W. R. Schoeller, H. B. Webb, Analyst, **58**, 143 (1933).
189. Л. Э. Кауфман, Зав. лаб., **9**, 106 (1940).
190. С. В. Елинсон, В. А. Олезнюк, Ж. анал. хим., **13**, 95 (1958).
191. J. S. Wanlberg, D. L. Skinner, L. F. Rader, Jr, Anal. Chem., **29**, 954 (1957).
192. J. A. Holladay, T. R. Cunningham, Trans. Am. Electrochem. Soc., **43**, 329 (1923).
193. F. T. Rabbits, Can. Mining J., **70**, № 10, 84 (1949).
194. F. Hecht, H. Kraftebing, Ztschr. anal. Chem., **106**, 321 (1936).
195. F. Hecht, A. Grunwald, Mikrochim. Acta, **1943**, 279.
196. P. Ray, M. K. Bose, Ztschr. anal. Chem., **95**, 400 (1933).
197. Tani Kijosi и другие, J. Chem. Soc. Japan, **61**, 269 (1940).
198. И. А. Савич, А. К. Пикаев, А. Г. Рыков, В. И. Спицин, Ж. неорг. химии, **1**, 2746 (1956).
199. R. Pietsch, Ztschr. anal. Chem., **152**, 168 (1956).
200. R. Pietsch, там же, **159**, 37 (1957).
201. R. Pietsch, там же, **159**, 343 (1958).
202. S. K. Datta, там же, **155**, 241 (1957).
203. V. Novorka, I. Vorliček, Collectione Czech. Chem. Commun., **11**, 128 (1939).
204. V. Novorka, I. Vorliček, там же, **10**, 83 (1938).
205. V. Novorka, I. Vorliček, Chem. Listy, **34**, 55 (1940).
206. V. Novorka, I. Vorliček, Ztsch. f. anal. Chem., **130**, 268 (1950).
207. D. S. Stewart, W. C. Bentley, Science, **120**, 50 (1954).
208. Ф. Файгель, Усп. химии, **6**, 406 (1937).
209. E. L. Zimmer, Energia nucleare, **2**, № 17, 496 (1955).
210. M. Weinder, P. Wender, Ztschr. anal. Chem., **53**, 371 (1914).
211. E. Lassner, R. Scharf, там же, **159**, 212 (1958).
212. D. V. Bhatnagar, T. K. S. Murthy, J. Scient. and Industr. Res. (B—C), **14**, № 11, 572 (1955).
213. Z. B. Maksimovic, Bull. Inst. Nucl. Sci., Belgrade, **7**, 49 (1957).
214. A. N. Finn, J. Am. Chem. Soc., **28**, 1443 (1906).
215. H. N. Ray, N. P. Bhattacharya, Analyst, **82**, 164 (1957).
216. G. W. C. Milner, J. W. Edwards, Anal. Chim. Acta, **16**, 109 (1957).
217. C. Duval, там же, **3**, 335 (1949).
218. Ю. А. Черников, Е. Гульдипа, Ztschr. anal. Chem., **96**, 257 (1934).
219. Ю. В. Морачевский, И. А. Церковницкая, Вестн. Ленингр. ун-та, **1957**, № 10, 152.
220. Л. Э. Кауфман, ДАН, **27**, 809 (1940).
221. G. Baiulescu, C. I. Ciurga, Ztschr. anal. Chemie, **166**, № 1 (1959).
222. Ю. А. Черников, Т. А. Успенская, Зав. лаб., **9**, 276 (1940).
223. В. Г. Сочеванов, Н. В. Шмакова, Г. А. Волкова, Ж. неорг. химии, **2**, 2049 (1957).
224. Э. А. Остроумов, Р. И. Бомштейн, Зав. лаб., **8**, 558 (1939).
225. M. M. Tiliu, Current Sci. (India), **24**, 45 (1953).
226. Ю. В. Морачевский, И. А. Церковницкая, Вестн. Ленингр. ун-та, **1957**, № 16, 127.
227. И. Е. Старик, Ф. Е. Старик, А. Н. Аполлонова, Труды Радиового ин-та АН СССР, **7**, 107 (1956).
228. F. S. Grimaldi, Geol. Survey Bull., № 1006, 17 (1954).
229. А. К. Бабко, Зав. лаб., **19**, 263 (1953).
230. D. W. Urry, J. Am. Sci., **239**, 191 (1941).
231. A. W. Wylie, Nature, **160**, 830 (1947).
232. Д. И. Рябчиков, М. М. Сенявин, Труды комиссии по аналит. химии, **9**, 11 (1955).
233. Д. И. Рябчиков, М. М. Сенявин, Исследования в области геологии, химии и металлургии, Изд. АН СССР, М., 1955, стр. 57.

234. Д. И. Рябчиков, М. М. Сеньявин, К. В. Филлипова, *Ж. анал. хим.*, **7**, 135 (1952).
235. Д. И. Рябчиков, М. М. Сеньявин, К. В. Филлипова, там же, **8**, 220 (1953).
236. М. М. Сеньявин, там же, **12**, 637 (1957).
237. М. М. Сеньявин, *Зав. лаб.*, **23**, 1056 (1957).
238. Ю. В. Морачевский, М. Н. Гордеева, *Вестник Ленингр. ун-та*, **1957**, № 10, 148.
239. Ю. М. Толмачев, *Труды Радиового ин-та АН СССР*, **6**, 55 (1957).
240. H. M. Ockander, J. K. Foreman, *Analyst*, **82**, 392 (1957).
241. H. J. Seim, R. J. Morris, D. W. Frew, *Anal. Chem.*, **29**, 443 (1957).
242. M. Fodor, *Magyar tud. akad. Közl. fiz. Kutató int. Közl.*, **5**, 445 (1957).
243. G. W. C. Milner, G. A. Barnett, *Anal. Chim. Acta*, **17**, 220 (1957).
244. C. E. Thompson, H. W. Lakin, *Geol. Survey Bull.*, № 1036—L, 209 (1957).
245. T. K. S. Murthy, *Anal. Chim. Acta*, **16**, 25 (1957).
246. T. Ishimori, A. Okuno, *Bull. Chem. Soc., Japan*, **29**, 78 (1956); цит. по *Anal. Abstr.*, **4**, 481 (1957).
247. S. Fisher, R. Kunin, *Anal. Chem.*, **29**, 400 (1957).
248. K. A. Kraus, G. E. Moore, F. Nelson, *J. Am. Chem. Soc.*, **78**, 2692 (1956).
249. J. Korkisch, M. R. Zaky, E. Hecht, *Mikrochim. Acta*, **1957**, 385.
250. M. V. Šušić, *Bull. Inst. Nucl. Sci., Belgrade*, **7**, 35 (1957); цит. по *РЖХим.*, **1958**, 10786.
251. G. Banerjee, A. K. A. Heyn, *Anal. Chem.*, **30**, 1795 (1958).
252. D. J. Carswell, *J. Inorg. and Nuclear Chem.*, **3**, № 6, 384 (1957).
253. N. S. Kunte, D. Sen, *Current Sci.*, **27**, 94 (1958).
254. G. Kennedy, R. V. Davies, *Chem. a. Ind.*, **1956**, 378.
255. W. Ryan, A. F. Williams, *Analyst*, **77**, 293 (1952).
256. Курама, Исихара, Коминами, Исигава, Ито, *Japan Analyst*, **6**, 3 (1957); цит. по *РЖХим.*, **1957**, 898.
257. D. Lebez, M. Ostanek, *Repts J. Stefan Inst.*, **2**, 9 (1955); цит. по *РЖХим.*, **1957**, 74682.
258. T. V. Arden, *J. Appl. Chem.*, **4**, 539 (1954).
259. V. Ciribilli, *Ricerca scient.*, **27**, 674 (1957).
260. C. Soye, *C. r.*, **240**, 1894 (1955).
261. A. Weiss, S. Fallab, H. Erlenmeyer, *Helv. chim. acta*, **35**, 1588 (1952).
262. R. Spence, *S. Afric. Industr. Chemist*, **10**, № 11, 261 (1956); цит. по *РЖХим.*, **1957**, 44868.
263. H. Götfe, D. Pätz, *Angew. Chem.*, **69**, 608 (1957).
264. G. Almássy, M. Vigvári, *Acta Chim. Acad. Sci.*, **11**; 1 (1957).
265. I. I. M. Elbeih, M. A. Abou-Elnaga, *Analyt. chim. acta*, **19**, 123 (1958).
266. Ю. В. Морачевский, М. Н. Гордеева, Т. Е. Круглова, *Зав. лаб.*, **24**, 790 (1958).
267. W. F. Hullebrand, *Bull. U. S. Geol. Survey*, **1891**, № 78, 46.
268. E. Hahofer, F. Hecht, *Mikrochim. Acta*, **1954**, 417.
269. P. Misciatelli, *Gaz. chim. Ital.*, **60**, 833, 839 (1930).
270. M. A. Northup, *Industr. Eng. Chem., Anal. Ed.*, **17**, 664 (1945).
271. E. Gleditsch, *Le Radium*, **8**, 256 (1911).
272. О. Тацудзо, Н. Томота, А. Мицуру, *Bull. Eng. Res. Inst. Kyoto Univ.*, **10**, 26, 27 (1956); цит. по *РЖХим.*, **1958**, 46196.
273. A. Norström, L. G. Sillen, *Svensk. Kem. Tid.*, **60**, 227 (1948).
274. F. Hecht, M. Gerhold, *Mikrochim. Acta*, **35**, 359 (1950).
275. F. S. Grimaldi, M. Irving, M. H. Fletcher, *U. S. Geol. Survey Circ.*, **199** (1952).
276. J. A. S. Adams, W. J. Maesck, *Anal. Chem.*, **26**, 1635 (1954).
277. F. A. Centanni, A. M. Ressa, M. A. De Sesa, там же, **28**, 1651 (1956).
278. F. S. Grimaldi, H. Levine, *Geol. Survey Bull.*, **1954**, № 1006, 43.
279. L. Kosta, *J. Stefan Inst.*, **2**, 7 (1955); цит. по *Anal. Abstr.*, **4**, 486 (1957).
280. F. S. Grimaldi, H. Levine, *U. S. Geol. Survey, A. E. C. D.—2824* (1950).
281. J. B. Zimmerman, F. T. Rabbits, E. D. Kornelsen, *Mines Mag.*, **43**, 20, 44 (1953).
282. L. Kosta, *Bull. scient. Conseil Acad. RPF de Yougosl.*, **1**, 41 (1953).
283. H. Levine, F. S. Grimaldi, *Nucleonics*, **8**, 85 (1951).
284. R. Vanossi, *Anal. soc. cient. argentina*, **137**, 3 (1944).
285. R. J. Guest, J. B. Zimmerman, *Anal. Chem.*, **27**, 931 (1955).
286. R. J. Guest, J. B. Zimmerman, *The determination of uranium in uranium concentrates using ethyl acetate*, Ottawa, 1954.
287. D. P. Peppard, P. R. Gray, M. M. Markus, *J. Am. Chem. Soc.*, **75**, 6063 (1953).
288. M. V. Šušić, N. Jelic, *Bull. Inst. Nucl. Sci.*, **7**, 29 (1957); цит. по *РЖХим.*, **1958**, 10785.
289. R. B. Kimball, J. E. Rein, *U. S. At. En. Comm., Rep. IDO-14380*, **14** (1956); цит. по *Anal. Abstr.*, **4**, 3940 (1957).
290. C. A. François, *Anal. Chem.*, **30**, 50 (1958).
291. B. E. Paige, M. C. Elliott, J. E. Rein, там же, **29**, 1029 (1957).
292. Z. I. Dizdar, O. S. Gal, J. K. Rajnvajn, *Bull. Inst. Nucl. Sci.*, **7**, 43 (1957).

293. D. J. Fisher, P. F. Thomason, *Anal. Chem.*, **28**, 1285 (1956).
294. H. H. Gill, R. F. Rolf, G. W. Armstrong, *Anal. Chem.*, **30**, 1788 (1958).
1958, 73657.
295. Sato Taichi, *J. Inorg. Nucl. Chem.*, **7**, 147 (1958).
296. A. Cacciari, R. De Leone, C. Fizzotti, M. Gabaglio, *Energia nucleare*, **3**, 176 (1956).
297. D. Bradley, *Repts. Atomic Energy Res. Establ.*, **1958**, NCE/R2408; цит. по РЖХим, **1958**, 73657.
298. A. Krishen, H. Freiser, *Anal. Chem.*, **29**, 288 (1957).
299. A. K. Sundaram, S. Banerjee, *Anal. Chim. Acta*, **8**, 526 (1953).
300. W. H. Hardwick, M. Moreton-Smith, *Analyst*, **83**, 9 (1958).
301. R. E. Clayton, W. H. Hardwick, M. Moreton-Smith, R. Todd, *Analyst*, **83**, 13 (1958).
302. A. Krishen, *Dissert. Abstr.*, **17**, 970 (1957).
303. L. L. Burger, *J. Phys. Chem.*, **62**, 590 (1958).
304. E. Glueckauf, H. A. C. McKay, A. R. Mathieson, *J. Chem. Soc.*, **1949**, 299.
305. N. H. Furman, W. B. Mason, J. S. Pekola, *Anal. Chem.*, **21**, 1325 (1949).
306. B. Hok, *Svensk. Kem. Tid.*, **65**, 106 (1953).
307. R. Pribil, M. Jelinek, *Chem. listy*, **47**, 1326 (1953).
308. H. Gotte, *Ztschr. Naturforsch.*, **3b**, 149 (1948); цит. по С. А., **43**, 2506^h (1949).
309. E. Abrahamzik, *Angew. Chem.*, **61**, 89 (1949).
310. L. Sacconi, G. Giannoni, *J. Chem. Soc.*, **1954**, 2751.
311. E. Abrahamzik, *Mikrochim. Acta*, **33**, 213 (1947).
312. C. L. Moore, *Anal. Chem.*, **30**, 908 (1958).
313. G. W. C. Milner, J. W. Edwards, *Anal. chim. acta*, **18**, 513 (1958).
314. R. I. Sacoste, M. H. Eaing, S. E. Weberly, *Anal. Chem.*, **23**, 871 (1951).
315. W. E. Clifford, E. P. Bullwinkel, L. A. McClaine, P. Noble, Jr., *J. Am. Chem. Soc.*, **80**, 2959 (1958).
316. В. М. Вдовенко, Л. Н. Лазарев, *Ж. неорг. химии*, **3**, 155 (1958).
317. G. H. Morrison, H. Freiser, *Solvent Extraction in analytical Chemistry*, John Wiley and Sons, N. Y., 1957.
318. D. C. Iffland, *Anal. Chem.*, **25**, 1577 (1953).
319. L. C. Craig, там же, **24**, 67 (1952).
320. Ф. Н. Степанов, Н. С. Вульфсон, И. А. Микова, *Зав. лаб.*, **16**, 1131 (1950).
321. G. E. F. Lundell, H. B. Knowles, *Industr. Eng. Chem.*, **12**, 344 (1920).
322. Э. А. Остроумов, *Ж. анал. хим.*, **13**, 201 (1958).
323. Э. А. Остроумов, С. Беручьян, *Зав. лаб.*, **12**, 802 (1946).
324. A. M. Patel, B. N. Desai, *J. Indian. Chem. Soc.*, **7**, 161 (1930).
325. G. M. Nabar, A. M. Patel, B. N. Desai, *Kolloid Ztschr.*, **57**, 173 (1931).
326. B. U. Dickson, D. Kaufman, *At. En. Comm., Rept.*, AECD-2887.
327. J. A. Atanasius, *Ber.*, **60B**, 2507 (1927).
328. A. M. Ismail, H. F. Harwood, *Analyst*, **62**, 185 (1937).
329. L. Kosta, *Repts J. Stefan Inst.*, **3**, 163 (1956).
330. C. V. Banks, D. W. Klingman, C. H. Byrd, *Anal. Chem.*, **25**, 992 (1953).
331. F. S. Grimaldi, I. G. Fairchild, *Geol. Survey Bull.*, № 1006, 133 (1954).
332. C. V. Banks, C. H. Byrd, *Anal. Chem.*, **25**, 416 (1953).
333. S. Lupan, *Rev. Chim.*, Bucharest, **7**, 661 (1956).
334. C. V. Banks, R. E. Edwards, *Anal. Chem.*, **27**, 947 (1955).
335. H. L. Kall, L. Gordon, там же, **25**, 1256 (1953).
336. M. Bobtelsky, H. A. J. Ben-Bassat, *Bull. Soc. chim. France*, **1958**, № 2, 233.
337. А. А. Гринберг, Г. И. Петржак, А. И. Евтеев, *Ж. неорг. химии*, **3**, 204 (1958).
338. G. B. Wengert, R. C. Walker, M. F. Loucks, V. A. Stenger, *Anal. Chem.*, **24**, 1636 (1952).
339. H. H. Willard, L. Gordon, там же, **20**, 165 (1948).
340. J. C. Ingles, *Canad. Chem. and Process. Ind.*, **35**, 397, 400, 404 (1951).
341. M. Bose, D. M. Chowdhury, *J. Indian. Chem. Soc.*, **31**, 111 (1954).
342. F. S. Grimaldi, L. B. Jenkins, M. H. Fletcher, *Anal. Chem.*, **29**, 848 (1957).
343. M. M. Tillu, V. T. Athavale, *Anal. Chim. Acta*, **11**, 62 (1954).
344. M. Venkataramaniam, Bh. S. V. Raghava Rao, *Current Sci. (India)*, **18**, 170 (1949).
345. J. Faney, M. Foster, *Geol. Survey Bull.*, № 1006, 153 (1954).
346. M. Koss, *Chem. Ztg.*, **36**, 686 (1912).
347. A. Rosenheim, там же, **36**, 821 (1912).
348. L. W. Ryan, там же, **2**, 1126 (1922).
349. T. Moeller, D. Schweizer, *Anal. Chem.*, **20**, 1201 (1948).
350. C. Winkler, *Ber.*, **24**, 885 (1881).
351. R. J. Carney, E. D. Campbell, *J. Am. Chem. Soc.*, **36**, 1134 (1914).
352. F. Hecht, *Ztschr. anal. Chem.*, **75**, 28, 39 (1928).
353. L. Kosta, *Energia nucleare*, **4**, 37 (1957).
354. L. Kosta, *Bull. scient. Conseil Acad. RPF de Yougosl.*, **2**, 45 (1955).
355. M. M. Tillu, V. T. Athavale, *Analyt. Chim. Acta*, **11**, 324 (1954).

356. G. S. Deshmukh, L. K. Swamy, *Anal. Chem.*, **24**, 218 (1952).
357. O. Frehden, *Rev. Chim., Bucharest*, **6**, 490 (1955).
358. E. S. Pilkington, A. W. Wylie, *J. Appl. Chem.*, **4**, 568 (1954).
359. A. De Sousa, *Bol. Soc. geol. Portugal*, **10**, 189 (1953); цит. по РЖХим, **1956**, 46708.
360. J. K. Thompson, C. I. Wilson, *Mikrochim. Acta*, **1957**, 334.
361. A. E. Taylor, R. T. Dillon, *Anal. Chem.*, **24**, 1624 (1952).
362. J. C. Dalton, S. J. Thomson, *Geochim. et cosmochim. acta*, **5**, 74 (1954).
363. T. Dupius, C. Duval, *C. r.*, **228**, 401 (1949).
364. T. O. Smith, C. James, *J. Am. Chem. Soc.*, **34**, 281 (1912).
365. Л. Э. Кауфман, *ЖПХ*, **8**, 1520 (1935).
366. C. Lakshman Rao, M. Venkataramaniah, Bh. S. V. Raghava Rao, *J. Indian Chem. Soc.*, **28**, 515 (1951).
367. S. K. Datta, G. Banerjee, там же, **31**, 773 (1954).
368. S. K. Datta, G. Banerjee, *J. Analyt. Chim. Acta*, **12**, 38 (1955).
369. A. Purushottam, Bh. S. V. Raghava Rao, *Ztschr. anal. Chem.*, **141**, 97 (1954).
370. S. K. Datta, G. Banerjee, *J. Indian Chem. Soc.*, **31**, 929 (1954).
371. M. Venkataramaniah, Bh. S. V. Raghava Rao, C. Lakshmana Rao, *Anal. Chem.*, **24**, 747 (1952).
372. S. K. Datta, G. Banerjee, *J. Indian Chem. Soc.*, **32**, 231 (1955).
373. S. K. Datta, G. Banerjee, *Anal. Chim. Acta*, **13**, 23 (1955).
374. N. Eswaranarayana, Bh. S. V. Raghava Rao, *J. Scient. and Industr. Res.*, **13**, 657 (1954).
375. J. Clinch, E. A. Simpson, *Analyst*, **82**, 258 (1957).
376. M. Venkataramaniah, C. Lakshmana Rao, Bh. S. V. Raghava Rao, *J. Scient. and Industr. Res.*, **10B**, 254 (1951).
377. D. S. N. Murphy, Bh. S. V. Raghava Rao, *J. Indian Chem. Soc.*, **27**, 457 (1950).
378. D. S. N. Murphy, Bh. S. V. Raghava Rao, там же, **28**, 218 (1951).
379. A. S. Neish, *J. Am. Chem. Soc.*, **26**, 780 (1904).
380. A. Girotto, *Rev. chim. ind.*, **9**, № 104, 10 (1940); цит. по С. А., **35**, 3557 (1941).
381. S. K. Datta, *J. Indian Chem. Soc.*, **34**, 531 (1957).
382. M. Venkataramaniah, Bh. S. V. Raghava Rao, *Ztschr. anal. Chem.*, **134**, 147 (1951).
383. A. K. Majumdar, S. Banerjee, *Anal. Chim. Acta*, **14**, 306 (1956).
384. A. K. Majumdar, J. G. Sen Gupta, *Ztschr. anal. Chem.*, **162**, 262 (1958).
385. G. S. Deshmukh, *Naturwiss.*, **42**, № 3, 69 (1955).
386. F. Hecht, W. Ehrmann, *Ztschr. anal. Chem.*, **100**, 87 (1935).
387. F. Hecht, W. Ehrmann, там же, стр. 98.
388. L. Wolf, D. Stather, *J. pract. Chem.*, **2**, 329 (1955).
389. D. Dyrssen, V. Danilberg, *Acta Chem. Scand*, **7**, 1186 (1953).
390. F. J. Frere, *J. Am. Chem. Soc.*, **55**, 4362 (1933).
391. D. Dyrssen, *Svensk. Kem. Tid.*, **65**, 43 (1953); цит. по РЖХим, **1956**, 4084.
392. A. K. Mukherjee, B. Banerjee, *Naturwiss.*, **42**, 416 (1955).
393. R. Berg, E. Becker, *Ztschr. anal. Chem.*, **119**, 1 (1940).
394. Л. Э. Кауфман, *ЖПХ*, **10**, 1648 (1937).
395. H. Grundman, *Aluminium*, **24**, 105 (1942).
396. C. V. Banks, R. J. Davis, *Anal. Chim. Acta*, **12**, 418 (1953).
397. N. Eswaranarayana, *Recueil trav. chim.*, **72**, 1003 (1953).
398. S. K. Datta, *Ztschr. anal. Chem.*, **159**, 241 (1958).
399. S. K. Datta, G. Banerjee, *J. Indian Chem. Soc.*, **31**, 149 (1954).
400. K. V. S. Krishnamurty, Ch. Venkateswarlu, *Ztschr. anal. Chem.*, **139**, 217 (1953).
401. M. R. Verma, K. C. Agrawal, S. D. Paul, *Nature*, **178**, 324 (1956).
402. M. R. Verma, S. D. Paul, K. C. Agrawal, *Ztschr. anal. Chem.*, **152**, 427 (1956).
403. D. E. Ryan, W. J. McDonnell, F. E. Beamish, *Anal. Chem.*, **19**, 416 (1947).
404. K. V. S. Krishnamurty, Ch. Venkateswarlu, *Ztschr. anal. Chem.*, **139**, 671 (1953).
405. G. Banerjee, там же, **147**, 409 (1955).
406. A. Kolb, H. Ahrie, *Angew. Chem.*, **18**, 92 (1905).
407. L. H. Gordon, C. H. Vanselow, H. H. Willard, *Anal. Chem.*, **21**, 1323 (1949).
408. D. Lakshinarayana, Bh. S. V. Raghava Rao, *J. Indian Chem. Soc.*, **28**, 551 (1951).
409. T. V. S. Suryanarayana, Bh. S. V. Raghava Rao, там же, **28**, 511 (1951).
410. Th. I. Pirtea, G. Mihail, *An. Univ. «C. I. Parhon»*, Ser. stiint. natur., **1956**, № 12, 51; цит. по РЖХим, **1957**, 889.
411. K. V. S. Krishnamurty, A. Purushottam, *Recueil trav. chim.*, **71**, 671 (1952).
412. A. Jewsbury, G. H. Osborn, *Anal. Chim. Acta*, **3**, 642 (1949).
413. G. H. Osborn, *Analyst*, **73**, 381 (1948).
414. M. K. Rout, *J. Indian Chem. Soc.*, **33**, 683 (1956).
415. M. Venkataramaniah, C. Lakshmana Rao, V. Raghava Rao, *Analyst*, **77**, 103 (1952).
416. B. R. Lakshmana Rao, Bh. S. V. Raghava Rao, *Ztschr. anal. Chem.*, **134**, 146 (1951).

417. B. R. Lakshmana Rao, Bh. S. V. Raghava Rao, J. Indian Chem. Soc., 27, 569 (1950).
418. B. R. Lakshmana Rao, Bh. S. V. Raghava Rao, там же, 27, 610 (1950).
419. B. R. Lakshmana Rao, Bh. S. V. Raghava Rao, там же, 27, 638 (1950).
420. B. Justel, Chemie, 56, 157 (1958).
421. W. Böhm, Metall u. Erz, 40, № 11—12, 179 (1943).
422. J. C. Ingles, Canad. Chem. and Process. Ind., 35, 406 (1951).
423. K. V. S. Krishnamurty, Bh. S. V. Raghava Rao, Recueil trav. chim., 70, 421 (1951).
424. G. Spacu, Th. I. Pirtea, Acad. Rep. Populare Române, Bul. stiint. Sec. Mat., Fiz., Chim., 2, 669 (1950); цит. по С. А., 45, 7910 (1951).
425. G. Banerjee, Ztschr. anal. Chem., 148, 105 (1955).
426. Л. Е. Кауфман, Труды Гос. радиевого ин-та, 4, 313 (1938).
427. G. M. Saxena, T. R. Seshadri, Proc. Indian Acad. Sci., A47, 238 (1958).
428. M. Suryanarayana, D. V. N. Sarma, Ztschr. anal. Chem., 161, 114 (1958).
429. И. П. Алимарин, С. С. Аликберов, Зав. лаб., 24, 804 (1957).
430. A. F. Williams, Analyst, 77, 297 (1952).
431. D. Lebez, M. Pirs, Repts J. Stefan Inst., 3, 171 (1956); цит. по РЖХим., 1958, 10993.
432. F. Barendregt, S. Tom, Physica, 17, 817 (1951).
433. R. J. Guest, Techn. Paper. Canada Dept. Mines and Techn. Surveys, Mines Branch, № 1, 24 (1953); цит. по РЖХим., 1956, 65286.
434. O. Menis, D. L. Manning, G. Goldstein, Anal. Chem., 29, 1426 (1957).
435. O. A. Nietzel, B. W. Wessling, M. A. DeSesa, U. S. At. En. Comm., Rep. WIN-62 (1957); цит. по Anal. Abstr., 5, 1164 (1958).
436. N. F. Kember, Analyst, 77, 78 (1952).
437. P. Radhakrishna, Anal. Chim. Acta, 6, 351 (1952).
438. A. F. Williams, Analyst, 77, 301 (1952).
439. Иинума, Иванара, Res. Repts. Fas. Eng. Gifu Prefect. Univ., 1953, № 3, 62; цит. по РЖХим., 1958, 28384.
440. R. A. Hagle, T. K. S. Murthy, Current Sci., 26, 248 (1957).
441. J. Dapou, J. Inorg. and Nucl. Chem., 5, 237 (1958).
442. T. Sekine, N. Saite, Nature, 181, 1464 (1958).
443. B. F. Rothschild, C. C. Templeton, N. F. Hall, J. phys. Coll. Chem., 52, 1006 (1948).
444. C. C. Templeton, B. F. Rothschild, N. F. Hall, там же, 53, 838 (1949).
445. P. W. West, Anal. Chem., 24, 77 (1952).
446. D. F. Peppard, G. W. Mason, J. L. Maier, J. Inorg. and Nucl. Chem., 3, 215 (1956).
447. E. Hesford, H. A. C. McKay, D. Scargill, там же, 4, 321, (1957).
448. D. Dyrssen, M. Dyrssen, E. Johansson, Acta Chem. Scand., 10, 106 (1956).
449. M. Ishibashi, S. Higashi, Japan Analyst, 4, № 1, 14 (1955); цит. по С. А., 50, 4708f (1956).
450. M. Ishibashi, S. Higashi, Japan Analyst, 5, № 3, 135 (1956); цит. по Anal. Abstr., 3, 3011 (1956).
451. L. Wolg. H. J. Jahn, J. pract. Chem., 1, 257 (1955).
452. P. Misciattelli, Phil. Mag., 7, 670 (1929).
453. L. Imre, Ztschr. anorg. allg. Chem., 164, 214 (1927).
454. Urbain, Annales des chimie physique, 15, 333 (1896).
455. Urbain, там же, 15, 347 (1896).
456. Urbain, там же, 19, 18 (1900).
457. F. Hagemann, J. Am. Chem. Soc., 72, 4483 (1950).
458. R. A. Day, R. W. Stoughton, там же, 72, 5062 (1950).
459. M. C. Fulda, U. S. At. En. Comm., Rep. DP-165 (1956); цит. по Anal. Abstr., 5, 447.
460. W. W. Meimke, R. E. Anderson, Anal. Chem., 24, 708 (1952).
461. A. G. Maddock, G. L. Mills, J. Chem. Soc., 1949, 248, 253, 258.
462. И. П. Алимарин, А. П. Головина, А. Ф. Кутейников, Бюлл. Научно-техн. информ. М-во геол. и охраны недр СССР, 1957, № 7, 61.
463. B. Hök-Bersntröm, Acta Chem. Scand., 10, 174 (1956).
464. Э. К. Хайд, Радиохимический метод разделения актинидных элементов, сб. «Химия ядерного горючего», ГХИ, М., 1956, стр. 422—437.
465. A. F. Waight, A. Kant, The Transuranium Elements, N. Y., 1949, стр. 162.
466. M. A. Rollier, Gazz. chim. ital., 84, 649 (1954).
467. M. E. Koshland, U. S. Atomic Energy Comm. Rept. CN-1881, N SA 10, 5182; цит. по Nucl. S. Abstr., 10, 5182.
468. A. Fries, U. S. Atomic Energy Comm. Rept. MonN-92; цит. по Nucl. S. Abstr., 10, 5184.
469. R. G. Monk, A. E. R. E. Report C/R 2382, 12 (1957); цит. по Anal. Abstr., 5, 1511.
470. S. M. Sanders, U. S. Atomic Energy Comm. Rept. DF-146; цит. по Nucl. S. Abstr., 10, 4012.
471. И. К. Швецов, А. М. Воробьев, Доклад СССР на Международной конференции по мирному использованию атомной энергии в Женеве, 1955.

472. R. Schlüter, L. G. Sillen, *Acta chem. Scand.*, **4**, 1323 (1950); цит. по С. А., **46**, 6964 (1952).
473. И. В. Курчатова, В. И. Гребенщикова, Н. Б. Чернявская, Г. Н. Яковлев, Доклад СССР на Международной конференции по мирному использованию атомной энергии в Женеве, 1955.
474. S. G. Thompson, G. G. Seaborg, Доклад США на Международной конференции по мирному использованию атомной энергии в Женеве, 1955.
475. J. Rydberg, *Acta Chem. Scand.*, **9**, 1252 (1955).
476. J. Rydberg, там же, **9**, 1543 (1955).
477. F. Morgan, *Nuclear Eng.*, **1**, 316 (1956).
478. E. R. Russel, U. S. Atomic Energy Comm. Rept. № 1536; цит. по Nucl. S. Abstr., **10**, 6131.
479. F. L. Moore, J. S. Hudgens, *Anal. Chem.*, **29**, 1767 (1957).
480. Б. Г. Гарвей, Г. Г. Хилл и др., Химия плутония в сб. «Химия изотопов», часть 2, ИЛ, М., 1948.
481. П. М. Арон, Атомная энергия, **5**, 183 (1958).
482. T. Moeller, H. E. Kramers, *Chem. Revs.*, **37**, 97 (1945).
483. R. E. Connick, Z. Z. Hugus, *J. Am. Chem. Soc.*, **74**, 6012 (1952).
484. K. A. Kraus, *The Transuranium Elements*, N. Y., 1949, стр. 241, 528.
485. G. R. Waterbury, U. S. At. En. Comm. Rept. AEC-3845; цит. по Nucl. S. Abstr., **10**, 2282.
486. K. S. Bergstesser, цит. по U. S. At. En. Comm. Rept. LA-1315; цит. по Nucl. S. Abstr., **10**, 2352.
487. K. S. Bergstesser, N. Rexee, U. S. At. En. Comm. Rept. LA-1314; цит. по Nucl. S. Abstr., **10**, 2351.
488. Hamaker, Koch, Hopkins, Connick, McKay, *The transuranium Elements*, N. Y., 1949, стр. 445, 666, 949.
489. W. H. Reas, *The transuranium Elements*, N. Y., 1949, стр. 423.
490. А. Д. Гельман, А. И. Москвин, ДАН, **118**, 493 (1958).
491. Г. Н. Яковлев, Д. С. Горбенко-Германов, Доклад СССР на Международной конференции по мирному использованию энергии в Женеве, 1955.
492. J. P. Nigon и другие, *J. Phys. Chem.*, **58**, 403 (1954).
493. R. L. Patton, *The transuranium Elements*, N. Y., 1949, стр. 851, 853; цит. по С. А., **45**, 10192g (1951).
494. F. Sikkeland, J. Jaul, *Joint Establ. Nuclear En. Research*, Rept. N 44; цит. по С. А., **51**, 11166h (1957).
495. A. W. Adamson, U. S. Atomic En. Comm. Report CN-1859; цит. по Nucl. S. Abstr., **10**, 4172.
496. G. Phillips, E. N. Jenkins, *J. Inorg. and Nucl. Chem.*, **4**, 220 (1957).
497. R. A. Lingaerde, U. S. At. En. Comm. Rept. Nucl. S. Abstr., **11**, 8867.
498. J. Kooi, *Joint Establ. Nuclear En. Research*, № 11, цит. по С. А., **51**, 1757i (1957).
499. J. Rydberg, B. Bornström, *Acta chem. Scand.*, **11**, 86 (1957).
500. D. G. Tuck, *J. Inorg. Nucl. Chem.*, **6**, № 3, 252 (1958).
501. T. V. Healy, A. W. Gardner, *J. Inorg. Nucl. Chem.*, **7**, 245 (1958).
502. Х. А. Маккей, В сб. «Химия ядерного горючего», ГХИ, М., 1956, стр. 446.
503. B. Goldschmidt, P. Regnant, J. Prevot, *Bull. Soc. chim. France*, **1956**, № 1, 103.
504. В. В. Фомин, Е. П. Майорова, М. И. Крапивин, В. Г. Юдина, *Ж. неорг. химии*, **3**, 2113 (1956).
505. T. V. Healy, H. A. G. McKay, *РЖХим.*, **1957**, 18859.
506. J. G. Cunningham, G. L. Miles, *J. Inorg. Nucl. Chem.*, **3**, 54 (1956).
507. J. G. Cunningham, G. L. Miles, *J. Appl. Chem. (London)*, **7**, 72 (1957).
508. D. L. Heising, U. S. At. En. Comm. Rept. UCRL-1169; цит. по Nucl. S. Abstr., **10**, 6195.
509. J. W. Barmes, U. S. At. En. Comm. Rept. AEC-3574; цит. по Nucl. S. Abstr., **10**, 1230.
510. G. F. Best, H. A. C. McKay, P. R. Woodgate, *J. Inorg. nucl. Chem.*, **4**, 315 (1957).
511. K. Alcock, G. F. Best, E. Hesford, H. A. C. McKay, там же, **6**, 328 (1958).
512. G. R. Waterbury, C. E. Bricker, *Anal. Chem.*, **29**, 1474 (1957).
513. В. М. Вдовенко и другие, Доклад СССР на второй Международной конференции по мирному использованию атомной энергии, Женева, 1958, № P/2216.
514. C. F. Coleman, Доклад США, там же, № P/510.
515. A. Hultgen, E. Haefliger, Доклад Швеции, там же, № P/144.
516. D. L. Haefliger, G. Nilson, A. Hiltgren, Доклад Швеции на Международной конференции по мирному использованию атомной энергии, Женева, 1955.
517. A. A. Smales, L. Airey, G. N. Walton, R. Brooks, U. S. At. En. Comm. Reports AEC-C/R, **533**; цит. по Nucl. S. Abstr., **10**, 4531.
518. B. C. Purkayastha, *Nucleonics*, **3**, № 6, 2 (1948).
519. F. J. Walter, *Iowa State Coll. J. Sci.*, **31**, 548; цит. по С. А., **51**, 12727g (1957).
520. В. Б. Дедов, В. Н. Косяков, Доклад СССР на Международной конференции по мирному использованию атомной энергии, Женева, 1955.

521. O. A. Cook, *The Transuranium Elements*, N. Y., 1949, стр. 147.
522. F. L. Moore, G. W. Smithe, *Nucleonics*, **13**, № 4, 66 (1955).
523. H. W. Muller, R. J. Brouns, *Anal. Chem.*, **24**, 536 (1952).
524. R. Ko, U. S. At. En. Comm. Rept. H. W.—32673; цит. по *Nucl. S. Abstr.*, **10**, 6211.
525. Г. И. Хлебников, Е. П. Дергунов, *Атомная энергия*, **4**, 376 (1958).
526. G. W. C. Lait, *Nucleonics*, **14**, 53 (1956).
527. D. E. Glanville, D. W. Grant, G. L. Strechon, *Apparatus for the preparation, analysis and investigation of plutonium solutions*, Harwell (Berks), At. En. Establ., 1957, Report C/R 2188.
528. H. J. Dunster, E. J. Bennellick, *Atomics*, **6**, 312 (1955).
529. J. O. Hibbits, *Anal. Chem.*, **29**, 1760 (1957).
530. А. Хлопин, Л. Э. Кауфман, *ЖПХ*, **2**, 91 (1928).
531. A. R. Main, *Anal. Chem.*, **26**, 1507 (1954).
532. R. Flatt, F. Sommer, *Helv. chim. acta*, **27**, 1518 (1944).
533. W. D. Cooke, F. Hazel, W. M. McNabb, *Anal. Chem.*, **22**, 654 (1949).
534. R. B. Hahn, M. T. Kelley, *Anal. Chim. Acta*, **10**, 178 (1954).
535. W. D. Cooke, F. Hazel, W. M. McNabb, там же, **3**, 656 (1949).
536. H. K. El-Shamy, S. El-Din Zayan, *Analyst*, **80**, 65 (1955).
537. J. P. Tandon, R. C. Menotra, *Ztschr. anal. Chem.*, **164**, 315 (1958).
538. V. Simon, E. Priplatová, *Chem. Listy*, **50**, 907 (1956).
539. J. Perman, *Repts J. Stefan Inst.*, **2**, 27 (1955).
540. C. E. Briker, P. B. Sweetser, *Anal. Chem.*, **25**, 764 (1953).
541. N. H. Furman, C. E. Bricker, R. V. Dilts, там же, **25**, 482 (1953).
542. Иосимура, *J. Chem. Soc. Japan, Pure Chem. Sect.*, **74**, 118 (1953); цит. по *РЖХим*, **1956**, 54708.
543. R. Takeo, *J. Chem. Soc., Japan*, **55**, 196 (1934); цит. по *Ztschr. anal. Chem.*, **164**, 315 (1958).
544. G. Sopala Rao, V. P. Rao, N. C. Venkatamma, *Ztschr. anal. Chem.*, **150**, 178 (1956).
545. V. P. Rao, G. G. Rao, там же, **160**, 190 (1958).
546. A. Bacon, G. W. C. Milner, A. E. R. E., Rep. C/R 1813; цит. по *Anal. Abstr.*, **3**, 3336.
547. J. S. Fritz, M. O. Fulda, S. L. Margerum, *Anal. Chim. Acta*, **10**, 513 (1954).
548. V. Panduranga Rao, B. V. S. R. Murty, G. Gopala Rao, *Ztschr. anal. Chem.*, **150**, 401 (1956).
549. K. A. Allen, *Anal. Chem.*, **28**, 114 (1956).
550. G. W. C. Milner, *Analyst*, **81**, 367 (1956).
551. J. Sutton, *Natl. Research Council, Can. At. En. Project*, N. R. C. № 1591, 2 (1945) цит. по С. А., **42**, 6701d (1948).
552. I. M. Kolthoff, I. I. Lingane, *J. Am. Chem. Soc.*, **55**, 1871 (1933).
553. K. Someya, *Ztschr. anorg. allg. Chem.*, **152**, 368 (1926).
554. J. M. Schreyer, C. F. Baes, *Anal. Chem.*, **25**, 644 (1953).
555. M. M. Tillu, *Proc. Indian Acad. Sci.*, **A40**, № 3, 110 (1954).
556. Э. А. Остроумов, *Зав. лаб.*, **4**, 754 (1935).
557. A. C. Rappas, *Arch. Math. Naturvidenskab.*, **45**, 83 (1942); цит. по С. А., **37**, 5333² (1943).
558. Ю. В. Морачевский, И. А. Церковницкая, *Ж. анал. хим.*, **13**, 337 (1958).
559. G. Weiss, P. Blum, *Bull. Soc. chim. France*, **1947**, 735.
560. А. М. Дымов, Р. С. Молчанова, *Зав. лаб.*, **7**, 653 (1938).
561. R. Duckert, P. Wenger, V. Rusconi, *Helv. chim. acta*, **28**, 291 (1945).
562. C. Duval, *Acta Chem. Scand.*, **3**, 335 (1949).
563. J. Alexa, *Chem. Listy*, **51**, 2254 (1957).
564. Б. Р. Репман, *Лаб. практ.*, **16**, 27 (1941).
565. M. Bobtelsky, M. Halpern, *Anal. Chim. Acta*, **11**, 188 (1954).
566. H. Guiter, *Bull. Soc. Chim. France*, **1946**, 403; цит. по С. А., **41**, 1174 (1947).
567. H. Guiter, *Bull. Soc. Chim. France*, **1947**, 275; цит. по С. А., **41**, 6487i (1947).
568. Б. П. Никольский, В. И. Парамонова, М. Д. Морачевская, *Ж. неорг. химии*, **2**, 1194 (1957).
569. R. Hara, P. W. West, *Anal. Chem. Acta*, **12**, 285 (1955).
570. O. Menis, M. J. Richard, W. J. Lane, *Anal. Chem.*, **30**, 1772 (1958).
571. J. J. Lingane, R. T. Iwamoto, *Anal. Chim. Acta*, **13**, 465 (1955).
572. J. H. Kennedy, J. J. Lingane, там же, **18**, 240 (1958).
573. W. N. Carson, *Anal. Chem.*, **25**, 466 (1953).
574. J. Minczewski, S. Kolyga, *Chem. analit.*, **3**, 467 (1958).
575. В. Глассман, *ЖРФХО*, **36**, вып. 2, 317 (1904).
576. L. Silverman, M. E. Shideler, *Anal. Chim. Acta*, **15**, 181 (1956).
577. M. W. Dessai, T. K. S. Murthy, *Analyst*, **83**, 126 (1958).
578. C. W. Sill, H. E. Peterson, *Anal. Chem.*, **24**, 1175 (1952).
579. C. Yoshimura, *J. Chem. Soc. Japan, Pure Chem. Sect.*, **77**, 1 (1956); цит. по *Anal. Abstr.*, **3**, 3035 (1956).
580. M. Narasinasastri, G. G. Rao, *Current. Sci.*, **18**, 402 (1949).
581. J. H. McClure, C. V. Banks, *Proc. Indian Acad. Sci.*, **55**, 263 (1948); цит. по С. А., **44**, 480 (1950).

582. J. Minczewski, R. Przytycka, L. Kohman, Chem. analit., **3**, 27 (1958).
583. D. J. McEwen, Th. DeVries, Anal. Chem., **30**, 1889 (1958).
584. J. Korkisch, A. Thiard, F. Hecht, Microchim. Acta, **1956**, 1422.
585. F. Hecht, J. Korkisch, R. Patzak, A. Thiard, там же, **1956**, 1283.
586. P. J. Elving, E. C. Olson, Anal. Chem., **38**, 338 (1956).
587. M. Sušić, I. Gal, E. Cuker, Anal. Chim. Acta, **11**, 586 (1954).
588. K. Kaarik, Suomen Kem., **29**, B1-82 (1956); цит. по РЖХим., **1956**, 58440.
589. M. L. Borlera, Ricerca Scient., **26**, 3097 (1956); цит. по Anal. Abstr., **4**, 1820 (1957).
590. D. I. Legge, Anal. Chem., **26**, 1617 (1954).
591. R. Přibil, A. Blažak, Chem. Listy, **45**, 432 (1951).
592. R. Přibil, A. Blažak, Collection, **16**, 567 (1953).
593. W. E. Harris, I. M. Kolthoff, J. Am. Chem. Soc., **68**, 1175 (1946).
594. S. Hollestam, Svensk. Kem. Tid., **60**, 253 (1948).
595. W. E. Harris, I. M. Kolthoff, J. Am. Chem. Soc., **69**, 446 (1947).
596. A. M. T. De Silva, Rev. brasil. quim., **44**, 461 (1957).
597. P. J. Elving, A. F. Krivis, Anal. Chem., **29**, 1292 (1957).
598. H. W. Bertram, M. W. Lerner, G. J. Petretic, E. S. Roszkowski, C. J. Rodden, там же, **30**, 354 (1958).
599. J. Korkisch, A. Farag, F. Hecht, Ztschr. anal. Chem., **161**, 92 (1958).
600. Ю. В. Морачевский, А. А. Сахаров, Ж. анал. хим., **13**, 83 (1958).
601. И. Е. Старик, Отчет Центр. н.-и. геолого-развед. ин-та, Л., 1937.
602. A. A. Smales, Analyst, **77**, 778 (1952).
603. K. H. Ebert, H. König, H. Wänke, Naturforsch., **12a**, 763 (1957).
604. R. Lumbroso, J. Petit, J. Spiteri, C. r., **242**, 904 (1956); цит. по РЖХим., **1956**, 58388.
605. F. E. Senfitt, The Canad. Mining and Metal. Bul., **42**, 618 (1948).
606. P. W. Lange, Trans. and Proc. Geol. Soc. S. Africa, **59**, 259 (1956).
607. G. Becquerel, J. phys. et radium, **17**, 137 (1956).
608. L. Kosta, Repts J. Stefan Inst., **1**, 12 (1953); цит. по РЖХим., **1957**, 897.
609. M. C. Greavos, Proc. Aust. Inst. Min. Metall., **182**, 23 (1957).
610. D. H. Peirson, Brit. J. Appl. Phys., **6**, 444 (1955).
611. G. H. Morrison, J. E. Cosgrove, Anal. Chem., **29**, 1770 (1957).
612. А. С. Сердюкова, Ю. Т. Капитанов, Ж. анал. химии, **13**, 88 (1958).
613. Л. А. Кузьмина, там же, **13**, 100 (1958).
614. Методы определения радиоактивных элементов в минеральном сырье. Гос. научно-техн. изд. лит-ры по геологии и охране недр. М., 1958.
615. Г. Р. Гольбек, В. В. Матвеев, Р. С. Шляпников, Исследования в области геологии, химии и металлургии, Изд. АН СССР, М., 1955, стр. 40.
616. K. A. Mahlman, G. W. L'eddicotte, Anal. Chem., **27**, 823 (1955).
617. Т. М. Морошкина, В. К. Прокофьева, М. Н. Смирнова, Зав. лаб., **23**, 1324 (1957).
618. Э. Е. Вайнштейн, И. Д. Шевалеевский, М. М. Кахана, Ж. анал. химии, **7**, 363 (1952).
619. Л. А. Воронова, Зав. лаб., **11**, 1075 (1945).
620. R. E. Barringer, U. S. At. En. Comm. Rep. TID-7516 (1950); цит. по Anal. Abstr., **5**, 495 (1958).
621. T. W. Bartlett, Anal. Chem., **23**, 705 (1951).
622. L. S. Birks, E. J. Brooks, там же, **23**, 707 (1951).
623. G. Pish, A. A. Huffman, там же, **27**, 1875 (1955).
624. L. Silverman, W. W. Houk, L. Moudy, там же, **29**, 1762 (1957).
625. H. M. Wilson, G. V. Wheeler, Appl. Spectroscopy, **11**, 128 (1957).
626. К. И. Нарбутт, И. Д. Беспалова, Зав. лаб., **24**, 617 (1958).
627. E. E. Picciotto, Bull. soc. belge geol. palaeontol. et hydrol., **61**, 215 (1952).
628. E. E. Picciotto, там же, **58**, 75 (1949).
629. R. Coopers, Bull. soc. franco. mineral., **73**, 217 (1950).
630. P. Goris, W. E. Duffy, F. H. Tingey, Anal. Chem., **29**, 1590 (1957).
631. M. Ardoino, Pubs. inst. invest. microquim., Univ. nacl. itoral (Rosario, Argentina), **5**, № 5, 97 (1941); цит. по С. А., **40**, 5351³ (1946).
632. J. E. Lovett, J. O. Roberts, Nuclonics, **15**, 72 (1957).
633. П. М. Исаков, ЖПХ, **16**, 325 (1943).
634. Н. Г. Фесенко, Зав. лаб., **10**, 491 (1941).
635. J. A. C. Adams, J. E. Richardson, C. C. Templeton, Geochim. et cosmochim. acta, **13**, 270 (1958).
636. M. K. Slattery, Proceed. Nat. Acad. Sci. U. S. Am., **14**, 228 (1928).
637. E. L. Nichols, M. K. Slattery, J. Opt. Soc. Am., **12**, 449 (1926).
638. M. K. Slattery, там же, **19**, 175 (1929).
639. F. Hernegger, B. Karlik, Sitzber. Acad. Wiss. Wien. Math. Naturw. Klabt, **144**, 217 (1934).
640. C. E. White, Anal. Chem., **24**, 1965 (1952).
641. F. A. Centanni, T. J. Morrison, jun. U. S. At. En. Comm., Rep. WIN-63 (1957); цит. по Anal. Abstr., **5**, 1187 (1958).
642. G. R. Price, R. J. Ferretti, J. Opt. Soc. Am., **39** (1949).

643. K. B. Silk, H. E. Paterson, *Chem. Age*, **53**, 336 (1945).
644. M. Novak, *Jaderna energie*, **3**, 44 (1957); цит. по РЖХим., **1957**, 895.
645. А. Н. Севченко, Л. В. Володько, *Изв. АН СССР, Серия физ.*, **20**, 464 (1956).
646. J. De Ment, *J. Chem. Educ.*, **1946**, 212.
647. H. Erlenmeyer, W. Oppliger, K. Stier, M. Blumer, *Helv. chim. acta*, **33**, 25 (1950).
648. Л. Я. Антрашенков, Л. Л. Волошенко, А. Я. Крылов, *Труды Радиового ин-та АН СССР*, **7**, 126 (1956).
649. И. Е. Старик, Ф. Е. Старик, Л. Я. Антрашенков, Г. Б. Костырев, В. Н. Косыков, А. Я. Крылов, *Труды Радиового ин-та АН СССР*, **7**, 114 (1956).
650. G. Almássy, *Magyar. tud. akad. Kem. tud. oszt. Közl.*, **7**, 337 (1956).
651. И. Е. Старик, Л. Я. Антрашенков, А. Я. Крылов, *ДАН*, **111**, 644 (1956).
652. Л. Л. Леонова, *Геохимия*, **1956**, № 8, 47.
653. P. Pfeffer, *Notizbl. Hessisch. Landesamter Bodenforsch. Weisbaden*, **85**, 425 (1957); цит. по РЖХим., **1958**, 14180.
654. N. S. Gutttag, F. S. Grimaldi, *Geol. Survey Bull.*, № 1006, 111 (1954).
655. M. A. Northup, *J. Ind. Eng. Chem.*, **17**, № 10, 664 (1945).
656. Л. Н. Галкин, П. П. Феофилов, *ДАН*, **114**, 745 (1957).
657. H. Meixner, *Cbl. Mineral. Geol. Paläont.* **A1940**, 145.
658. С. И. Вавилов, *Собрание соч.*, т. I, Изд. АН СССР, М., 1954, стр. 242.
659. С. И. Вавилов, там же, стр. 267.
660. С. И. Вавилов, В. Л. Левшин, *Zschr. f. Phys.*, **48**, 397 (1928).
661. В. Л. Левшин, *Фотолуминесценция жидких и твердых веществ*, Гостехтеоретиздат, М.-Л., 1951.
662. С. И. Вавилов, *Собр. соч.*, т. II, Изд. АН СССР, М., 1954, стр. 261, 383.
663. Т. С. Добролюбовская, *Труды Комиссии по аналит. химии АН СССР*, **8(11)**, 178 (1958).
664. W. A. Runciman, *Nature*, **175**, № 4468, 1082 (1955).
665. J. Papish, L. E. Hoag, *Proceed. Nat. Acad. Sci. U. S. Am.*, **13**, № 10 (1927).
666. G. Koczy, *Österr. Acad. Wiss., Math. naturw. Klasse, Sitzber. Abt. IIa*, **158**, 113 (1950).
667. З. М. Свердлоз, *Оптика и спектроскопия*, **3**, 356 (1957).
668. А. Ф. Фиолетова, *Ж. анал. химии*, **12**, 718 (1957).
669. И. Белегшанин, *Гласник хем. друштва*, **20**, № 1, 23 (1955); цит. по РЖХим., **1956**, 28564.
670. R. G. Canning, P. Dixon, *Anal. Chem.*, **27**, 877 (1955).
671. L. Silverman, L. Moudy, там же, **28**, 45 (1956).
672. C. D. Susano, O. Menis, C. K. Talbott, там же, **28**, 1072 (1956).
673. T. W. Steele, *Analyst*, **83**, 414 (1958).
674. A. Bacon, G. W. C. Milner, там же, **81**, 456 (1956).
675. A. Bacon, G. W. C. Milner, *Repts At. En. Res. Establ., C/R 1749* (1955); цит. по РЖХим., **1957**, 34710.
676. G. V. Banks, K. E. Burke, J. W. O'Laughlin, J. A. Thompson, *Anal. Chem.*, **29**, 997 (1957).
677. B. W. Wessling, M. A. DeSesa, *U. S. At. En. Comm. Rep. WIN-43* (1956); цит. по *Anal. Abstr.*, **5**, 497 (1958).
678. T. R. Scott, *Ztschr. anal. Chem.*, **132**, 53 (1951).
679. T. R. Scott, *Nature*, **163**, 768 (1949).
680. R. Rasin-Streden, *Anal. Chim. Acta*, **4**, 94 (1950).
681. C. O. Harvey, *Bull. Geol. Survey Gr. Brit.*, **1950**, № 3, 43.
682. O. Hackl, *Ztschr. anal. Chem.*, **119**, 321 (1940).
683. J. Corpel, *Bull. Soc. chim. France*, **1953**, № 7—8, 752.
684. G. Tridot, *Ann. Univ. Paris*, **24**, 583 (1954).
685. E. A. Arnold, A. R. Pray, *Industr. Eng. Chem., Anal. Ed.*, **15**, 294 (1943).
686. A. Rosenheim, H. Daehr, *Ztschr. anorg. allg. Chem.*, **181**, 177 (1929).
687. A. L. Arnfelt, *Acta Chem. Scand.*, **9**, 1484 (1955).
688. В. М. Звенигородская, *Определение малых количеств урана*. Госгеолитиздат, М., 1946.
689. В. М. Звенигородская, М. А. Понемунская, Н. А. Тихонова, *Материалы науч.-методич. и производ. лаборатории геол. управлений. Комитет по делам геологии при СНК СССР*, **1944**, № 2(14), 1.
690. J. E. Currah, F. E. Beamish, *Anal. Chem.*, **19**, 609 (1947).
691. H. T. Tucker, *Analyst*, **82**, 529 (1957).
692. V. E. Yovanovic, E. F. Zucker, *Bull. Inst. Nucl. Sci., Belgrade*, **4**, 111 (1954).
693. M. T. Nahadeo, D. V. Bhatnager, T. K. S. Murthy, *Proc. Indian. Acad. Sci.*, **42**, 29 (1955).
694. M. Gerhold, F. Hecht, *Mikrochim. Acta*, **1951**, 1100.
695. M. M. Tillu, D. V. Bhatnager, T. K. S. Murthy, *Anal. Abstr.*, **3**, 399 (1956).
696. S. Ahrland, *Acta Chem. Scand.*, **3**, 1067 (1949).
697. M. A. DeSesa, O. A. Nietzel, *U. S. At. En. Comm., Rep. ACCO-54*, 19 (1954); цит. по РЖХим., **1956**, 61840.
698. C. E. Grouthamel, C. E. Johnson, *Anal. Chem.*, **24**, 1780 (1952).

699. A. Bruttini, *Ztschr. anal. Chem.*, **44**, 432 (1905).
700. M. Fissier, H. Benard, *Compt. rend. Soc. biol.*, **99**, 1144 (1928).
701. C. Voegtlin, H. C. Hodge, *Pharmacology and Toxicology of Uranium Compounds*, VI/I, 1949, стр. 148—149.
702. M. Kohn, *Chemist Analyst*, **35**, 52 (1946).
703. G. S. Deshmukh, M. K. Joshi, *Ztschr. anal. Chem.*, **143**, 334 (1954).
704. Г. А. Клейбе, *Ж. неорг. химии*, **1**, 2177, 2198 (1956).
705. И. В. Тананаев, М. И. Левина, *Ж. неорг. химии*, **3**, 2045 (1958).
706. P. F. T. Thomason, L. A. Natting, U. Koskela, W. M. Byerly, *U. S. At. En. Comm., Rep. ORNL-1641*, 1955, 15; цит. по *Anal. Abstr.*, **4**, 2183 (1957).
707. G. Cameri, L. Fernandes, *C. A.*, **19**, 1389 (1925).
708. R. T. Foley, R. C. Anderson, *J. Am. Chem. Soc.*, **71**, 909 (1949).
709. A. Müller, *Chem. Ztg.*, **43**, 739 (1919).
710. А. К. Бабко, *Записки Ин-та химии АН УССР*, **8**, вып. 2 (1946).
711. З. А. Третьяк, *Диссертация*, Харьковск. гос. ун-т им. А. М. Горького, 1953.
712. М. П. Павловская, И. М. Рейбель, *Труды Кишиневского с.-х. ин-та им. М. В. Фрунзе*, **11**, 117 (1956).
713. A. K. Chakraborty, D. Sen, P. Ray, *J. Indian Chem. Soc.*, **30**, 491 (1953).
714. D. Bandyopadhyay, *J. Indian Chem. Soc.*, **33**, 269 (1956).
715. G. Almássy, *Anal. Abstr.*, **3**, 1705.
716. A. S. Bhaduri, P. Ray, *Ztschr. anal. Chem.*, **154**, 103 (1957).
717. B. Sarma, C. P. Savariar, *J. Scient. and Industr. Res.*, **B16**, № 2, 80 (1957).
718. H. R. D. Smith, *Ztschr. anorg. Chem.*, **150**, 163 (1936).
719. И. А. Тананаев, Г. А. Паншенко, там же, **150**, 163 (1926).
720. A. K. Mukherji, A. K. Dey, *J. Indian Chem. Soc.*, **35**, 113 (1958).
721. M. Nageswara Rao, Bh. S. V. Raghava Rao, *Ztschr. anal. Chem.*, **142**, 161 (1954).
722. A. De Sousa, *Mikrochim. Acta*, **40**, № 4, 319; цит. по *РЖХим.*, **1953**, 7095.
723. W. H. Davenport, P. F. Thomason, *Anal. Chem.*, **21**, 1093 (1949).
724. L. Silverman, L. Mondy, *Nucleonics*, **12**, № 9, 60 (1954).
725. H. W. Swank, M. G. Mellon, *J. Industr. Eng. Chem., Anal. Ed.*, **10**, 7 (1938).
726. J. Joe, F. Will, *Anal. Chem.*, **27**, 1200 (1955).
727. C. A. Francois, *U. S. At. En. Comm., Rep. DOW-150*, **1956**, 36; цит. по *Anal. Abstr.*, **4**, 3939 (1957).
728. J. Joe, F. Will, R. A. Black, *Anal. Chem.*, **25**, 1200 (1953).
729. P. Blanquet, *Anal. Chim. Acta*, **16**, 44 (1957).
730. Яманэ, *J. Pharm. Soc., Japan*, **77**, 400 (1957); цит. по *РЖХим.*, **1958**, 21177.
731. C. A. Horton, J. C. White, *Anal. Chem.*, **30**, 1779 (1958).
732. P. N. Das-Gupta, *J. Indian Chem. Soc.*, **6**, 763 (1929).
733. J. M. Hojman, *Bull. Inst. Nucl. Sci., Belgrade*, **7**, 17 (1957).
734. T. Hara, *J. Chem. Soc. Japan, Pure Chem. Sect.*, **78**, 333 (1957); цит. по *Anal. Abstr.*, **4**, 3941 (1957).
735. T. Hara, H. Omori, *Doshisha Engng. Rev.*, **7**, 342 (1957); цит. по *РЖХим.*, **1958**, 39367.
736. S. K. Banerji, A. K. Dey, *Ztschr. anal. Chem.*, **159**, 293 (1958).
737. V. Novorka, Z. Holzbecher, там же, **130**, 268 (1950).
738. V. Novorka, Z. Holzbecher, *Coll. Czechoslov. chem. Comm.*, **14**, 40 (1949).
739. V. Novorka, V. Sýkora, *Rozpr. Čes. akad.*, **47**, 24, 25 (1937).
740. V. Novorka, J. Vorlíšek, там же, **49**, 4 (1939).
741. V. Novorka, V. Sýkora, *Chem. Listy*, **32**, 241 (1938).
742. V. Novorka, J. Macek, *Rozpr. Čes. akad.*, **53**, 18 (1943).
743. V. Novorka, V. Sýkora, J. Vorlíšek, *Chimie analytique*, **29**, 268 (1946).
744. B. R. Sant, M. K. Joshi, *Naturwiss.*, **44**, 536 (1957).
745. I. A. Siemmsen, *Chem. Ztg.*, **36**, 353 (1912).
746. H. I. Feinstein, *Anal. Chim. Acta*, **15**, 288 (1956).
747. M. W. Rao, Bh. S. V. Raghava Rao, *Ztschr. anal. Chem.*, **159**, 356 (1958).
748. S. Szalay, G. Almássy, *Magyar tud. acad. Kém. tud. oszt. Közl.*, **8**, 33 (1956); цит. по *РЖХим.*, **1957**, 19581.
749. G. Almássy, C. Ujhelyi, там же, **8**, 47 (1956); цит. по *РЖХим.*, **1957**, 30999.
750. M. T. Becky, E. Hatos, *Anal. Abstr.*, **3**, 1706 (1956).
751. G. Almássy, Z. Nagy, J. Straub, *Acta Chim. Acad. Sci. Hung.*, **7**, 317 (1955).
752. G. M. Saxena, T. R. Seshadri, *J. Scient. and Industr. Res.*, (B—C) **15**, 480 (1956).
753. B. R. Rao Lakshman, C. C. Patel, *Proc. Indian Acad. Sci.*, **A43**, 276 (1956); цит. по *РЖХим.*, **1957**, 27178.
754. P. S. Gentile, L. H. Talley, *J. Am. Chem. Soc.*, **79**, 4296 (1957).
755. M. K. Urs, K. Neelakantam, *J. Scient. and Industr. Res.*, **11B**, 79 (1952).
756. C. Baiulescu, C. I. Ciurea, *Ztschr. anal. Chem.*, **166**, 1, 5 (1959).
757. A. Claassen, J. Visser, *Rec. trav. chim., Pays-Bas*, **65**, 211 (1946); цит. по *C. A.*, **43**, 1949 (1947).
758. V. Novorka, V. Sýkora, *Ztschr. anal. Chem.*, **121**, 40 (1941).
759. W. I. Stephen, *Ind. Chem. Mir.*, **31**, 622 (1955).

760. W. I. Stephen, там же, **32**, 38 (1956).
761. K. Koichi, T. Kyoji, M. Haruo, J. Chem. Soc. Japan, Pure Chem. Sect., **78**, 736 (1957); цит. по Anal. Abstr., **5**, 1790 (1958).
762. С. И. Синякова, Н. С. Классова, Ж. анал. химии, **14**, 451 (1959).
763. A. K. Das-gupta, J. Gupta, J. Scient. and Industr. Res., **9B**, 237 (1950).
764. G. Almássy, Acta chim. Acad. scient. hung., **15**, 225 (1958).
765. В. А. Михайлов, Ж. анал. химии, **13**, 494 (1958).
766. А. Ф. Кутейников, Г. А. Ланской, Методич. материалы Всесоюзного института минерального сырья. Бюллетень, **1957**, № 5, 169.
767. J. S. Fritz, E. C. Bradford, Anal. Chem., **30**, 1021 (1958).
768. C. V. Banks, J. A. Thompson, J. W. O'Laughlin, там же, **30**, 1792 (1958).
769. J. S. Fritz, M. J. Richard, W. J. Lane, там же, **30**, 1776 (1958).
770. K. S. Venkateswarlu, Bh. S. V. Raghava Rao, Anal. Chim. Acta, **13**, 79 (1955).
771. A. K. Mukherji, A. K. Dey, Ztschr. anal. Chem., **160**, 98 (1958).
772. E. Ware, C. A., **45**, 4170 (1951).
773. K. L. Cheng, Anal. Chem., **30**, 1027 (1958).
774. A. N. Majumdar, Science and Culture, **13**, 468 (1948).
775. F. Lucena-Conde, L. Prat, Microchim. Acta, **1955**, 799.
776. G. Almássy, A. Kiss, Magyar. Kem. folyóirat, **64**, 170 (1958).
777. G. Spacu, T. I. Pirtea, Rev. Chim. Romania, **1**, № 2, 5 (1956).
778. T. Moeller, N. D. Fritz, Anal. Chem., **20**, 1055 (1948).
779. G. R. Martin, Natl. Research Council Can., At. En. Project, Div. Research N. R. C. № 1583, 3 (1945); цит. по C. A., **42**, 4091b (1948).
780. J. Fritz, J. J. Ford, Anal. Chem., **25**, 1640 (1953).
781. G. W. C. Milner, G. W. Sneddon, A. E. R. E. Report, C/R 1740 (1956); цит. по Anal. Abstr., **4**, 2560 (1957).
782. K. Haar, J. Bazen, Anal. Chim. Acta, **9**, 235 (1953).
783. H. Flaschka, K. Hallr, J. Bazen, Mikrochim. Acta, **1953**, 345.
784. G. Banerji, Ztschr. anal. Chem., **148**, 349 (1955).
785. S. K. Datta, Anal. Chim. Acta, **16**, 115 (1957).
786. V. R. Narayana, G. R. Gopala, Ztschr. anal. Chem., **155**, 334 (1957).
787. M. Malat, J. Pelikan, V. Suk, Chemist Analyst, **45**, № 3, 61 (1956).
788. T. Kato, Z. Hagiwara, I. Sasaki, Technol. Rep. Tohoku Univ., **21**, № 1, 15 (1956); цит. по Anal. Abstr., **4**, 2940 (1957).
789. V. Suk, M. Malat, O. Ryba, Chem. Listy, **48**, 533 (1954).
790. S. K. Datta, Ztschr. anal. Chem., **149**, 270 (1956).
791. H. V. Malmstadt, E. C. Gohrbandt, Anal. Chem., **26**, 442 (1954).
792. R. Haar, Ph. W. West, Anal. Chim. Acta, **13**, 189 (1955).
793. J. Körbl, E. Kraus, F. Jančík, R. Přibil, Chem. Listy, **51**, 302 (1957).
794. J. Körbl, E. Kraus, F. Jančík, R. Přibil, там же, **51**, 311 (1957).
795. M. R. Verma, S. D. Paul, Current Sci., **26**, № 6, 178 (1957).
796. M. Malát, M. Tenorova, Chem. Listy, **51**, 2135 (1957).
797. M. J. Cabell, Analyst, **77**, 859 (1952).
798. W. R. Cornman, U. S. At. En. Comm., Rep. DP-171 (1956); цит. по Anal. Abstr., **5**, 1165 (1958).
799. G. A. Barnett, G. W. C. Milner, Repts At. En. Res. Establ., N C/R 2307 (1958); цит. по РЖХим., **1957**, 64239.
800. S. Hara, S. Kitahara, Repts Scient. Res. Inst., **33**, 340 (1957); цит. по РЖХим., **1958**, 70542.
801. R. Přibil, E. Körös, Magyar. Kem. folyóirat, **64**, № 2, 55 (1958).
802. S. Lupan, Rev. chim., **9**, 101 (1958).
803. G. W. C. Milner, J. H. Nunn, Anal. Chim. Acta, **17**, 494 (1957).
804. А. И. Бусев, Л. В. Киселева, А. И. Черкесов, Зав. лаб., **24**, 13 (1958).
805. G. Banerjee, Ztschr. anal. Chem., **146**, 417 (1955).
806. H. H. Willard, A. W. Mosen, Anal. Chem., **30**, 1614 (1958).
807. R. Přibil, E. Körös, Magyar. kem. folyóirat, **64**, 55 (1958).
808. В. И. Титов, Дисс. Всесоюз. ин-та минер. сырья, Москва, 1951.
809. L. Gordon, R. C. Stine, Anal. Chem., **25**, 192 (1953).
810. C. V. Banks, H. Diehl, там же, **19**, 222 (1947).
811. V. Majer, M. Cajpova, Coll. Czechoslov. Chem. Commun., **15**, 874 (1950); цит. по C. A., **46**, 6035 (1952).
812. Куюзо Kawagaki, J. Chem. Soc. Japan, Pure Chem. Sect., **77**, 1459 (1956); цит. по Anal. Abstr., **4**, 2157 (1957).
813. T. A. Goch, M. Kobayashi, J. Am. Sci., **45**, 227 (1918).
814. G. Spacu, P. Spacu, Ztschr. anal. Chem., **128**, 226 (1948).
815. S. A. Parson, J. optical. Soc. Am., **33**, 659 (1943).
816. G. W. J. Kingsbury, R. B. F. Temple, Analyst, **77**, 307 (1952).
817. C. V. Dutra, K. J. Murata, Spectrochim. acta, **6**, 373 (1954).
818. H. J. Rose, K. J. Murata, M. K. Carron, там же, **6**, 161 (1954).
819. E. J. Hunemörder, T. M. Hess, Anal. Chem., **29**, 236 (1957).
820. C. L. Waring, H. Ir. Mela, там же, **25**, 432 (1953).

821. I. Adler, I. M. Axelrod, там же, **27**, 1002 (1955).
822. W. B. Silker, U. S. At. En. Comm., Rep. HW-32436, **14** (1956); С. А., **51**, 943h (1957).
823. В. И. Баранов, Труды Почвенного ин-та им. Докучаева АН СССР, вып. 2, **193** (1947).
824. В. И. Баранов, Радиохимия, Изд. АН СССР, М., 1955.
825. G. L. Bate, J. R. Huizenga, H. A. Potratz, Science, **126**, 612 (1957).
826. Г. В. Ледикотт, Х. А. Мальман, Применение радиоактивных изотопов в пром-сти, медицине и с. х., Изд. АН СССР, М., 1956, стр. 166.
827. R. P. Graham, G. B. Larrabee, Analyst, **82**, 415 (1957).
828. G. B. Larrabee, R. P. Graham, Ztschr. anal. Chem., **156**, 258 (1957).
829. W. G. Krauledat, An. Ass. Brasil, Quim., **11**, 147 (1956); цит. по Anal. Abstr., **4**, 2939 (1957).
830. H. Flaschka, S. Khalafalla, F. Sadek, Ztschr. anal. Chem., **156**, 169 (1957).
831. H. Levin, F. S. Grimaldi, At. En. Comm. Rept. AECD-3186 (1950).
832. H. Flaschka, M. F. Barakat, Ztschr. anal. Chem., **156**, 321 (1957).
833. C. E. White, C. S. Lowe, Industr. Eng. Chem., Anal. Ed., **13**, 809 (1941).
834. R. G. Milkey, M. H. Fletcher, J. Am. Chem. Soc., **79**, 5425 (1957).
835. В. А. Назаренко, М. Б. Шустова, Зав. лаб., **24**, 1344 (1958).
836. В. И. Кузнецов, ЖОХ., **14**, 914 (1944).
837. В. И. Левченко, Н. А. Макарова, Труды Химич. ин-та Киргизского филна-ла АН СССР, 1946, вып. 1, 19.
838. Л. П. Адамович, В. М. Рутман, Уч. зап. Харьковского ун-та, **54** (1954); Труды хим. фак-та и н.-и. ин-та химии ХГУ, **12**, 203 (1954).
839. A. Mayer, G. Bradshaw, Analyst, **77**, 154 (1952).
840. D. W. Margerum, C. H. Byrd, S. A. Reed, C. V. Banks, Anal. Chem., **25**, 1219 (1953).
841. M. Ishibashi, S. Higashi, Japan Analyst, **3**, 213 (1954); цит. по С. А., **49**, 4449f (1955).
842. J. Clinch, Anal. chim. Acta, **14**, 162 (1956).
843. F. S. Grimaldi, M. H. Fletcher, Anal. Chem., **28**, 812 (1956).
844. M. G. Mellon, D. F. Bolts, там же, **28**, 559 (1956).
845. D. A. Everest, J. V. Martin, Analyst, **82**, 807 (1957).
846. M. H. Fletcher, F. S. Grimaldi, L. B. Jenicins, Anal. Chem., **29**, 963 (1957).
847. P. F. Thomason, M. A. Perry, W. M. Byerly, там же, **21**, 1239, (1949).
848. A. Mayer, G. Bradshaw, Ztschr. anal. Chem., **139**, 238 (1953).
849. O. A. Nietzel, B. W. Wessling, M. A. De Sesa, Anal. Chem., **30**, 1182 (1958).
850. К. Эми, Т. Hayami, J. Chem. Soc. Japan, Pure Chem. Sect., **76**, 1291 (1955).
851. А. Ф. Кутейников, Г. А. Ланской, Бюллетень научно-техн. информ. М-ва геол. и охраны недр СССР, № 4, 76 (1957).
852. Ф. В. Зайковский, Л. И. Герхард, Ж. анал. хим., **13**, 274 (1958).
853. С. Д. Гурьев, В. П. Иоффе, Сб. научн. трудов Гос. н.-и. ин-та цветн. метал-лов, № 14, 61 (1958).
854. T. Moeller, M. Tecotzky, Anal. Chem., **27**, 1056 (1955).
855. T. K. S. Murthy, Bh. S. V. Raghava Rao, Current Sci. (India), **18**, 248 (1949); цит. по Anal. Chim. Acta, **16**, 56 (1957).
856. D. V. N. Sarma, Bh. S. V. Raghava Rao, Anal. Chim. Acta, **13**, 142 (1955).
857. A. Purushottam, Ztschr. anal. Chem., **145**, 245 (1955).
858. В. А. Захарьевский, Зав. лаб., **6**, 1019 (1937).
859. Н. В. Ильин, там же, **7**, 637 (1938).
860. J. Komenda, Chem. Listy, **47**, 531 (1953).
861. E. Tomic, H. Khalifa, Mikrochim. acta, **1957**, 668.
862. B. R. Rao Lakshman, C. C. Patel, Proc. Indian Acad. Sci., **A42**, 317 (1955); цит. по Anal. Abstr., **3**, 3010 (1956).
863. K. V. S. Rao, Bh. S. V. Raghava Rao, J. Sci. Ind. Research (India), **14B**, 278 (1955).
864. M. Svach, Ztschr. anal. Chem., **149**, 414 (1956).
865. M. H. Fletcher, R. G. Milkey, Anal. Chem., **28**, 1402 (1956).
866. N. Eswaranarayana, Bh. S. V. Raghava Rao, Ztschr. anal. Chem., **146**, 107 (1955).
867. S. K. Datta, Anal. Chim. Acta, **15**, 415 (1956).
868. K. Srinivasulu, D. Purushottam, Bh. S. V. Raghava Rao, Ztschr. anal. Chem., **159**, 406 (1958).
869. F. Maller, E. H. Kolisk, J. Am. Chem. Soc., **72**, 2177 (1950).
870. S. K. Datta, Ztschr. anal. Chem., **149**, 328, 333 (1956); **150**, 347 (1957).
871. К. Эми, К. Тоёи, Т. Wada, H. Miyata, J. Chem. Soc. Japan, Pure Chem. **78**, 979 (1957); цит. по РЖХим., **1958**, 60576.
872. S. K. Datta, Naturwiss., **43**, 250 (1956).
873. G. Banerjee, Anal. Chim. Acta, **16**, 56 (1957).
874. S. K. Datta, Anal. chem., **30**, 1653 (1958).
875. K. V. Subba Rao, Bh. S. V. Raghava Rao, Ztschr. anal. Chem., **150**, 21 (1956).

876. E. Tomic, H. Khalifa, там же, **156**, 326 (1957).
877. O. Ryba, J. Cifka, D. Jezkova, M. Malat, V. Suk, Chem. Listy, **51**, 1462 (1957).
878. J. J. Fahey, M. O. Foster, Collected Papers of Methods of Analysis for Th and U, Washington, 1954.
879. Toru Nozaki, Anal. Abstr., **3**, 1680 (1956).
880. B. F. Rider, M. G. Mellon, Anal. Chim. Acta, **2**, 370 (1948).
881. J. K. Dawson, R. M. Elliot. At. En. Res. Es. C/R-1207; цит. по C. A., **51**, 1531d (1957).
882. E. F. Westrum. The Transuranium Elements. N.-Y., 1949, стр. 936.
883. R. C. L. Mooney, W. H. Zachariasen, The Transuranium Elements, N.-Y., 1949, стр. 1442.
884. J. L. Drummond, G. A. Welch, J. Chem. Soc., **1957**, 4781.
885. T. E. Phipps, The Transuranium Elements, N.-Y., 1949, стр. 704.
886. T. E. Phipps, J. Chem. Soc. Phys., **18**, 724 (1950).
887. C. W. Koch, The Transuranium Elements, N.-Y., 1949, стр. 1337.
888. J. K. Foreman, T. D. Smith, J. Chem. Soc., **1957**, 1752, 1758.
889. G. W. C. Milner, J. L. Woodhead, Analyst, **81**, 427 (1956).
890. J. H. Patterson, U. S. At. En. Comm. Rept. ANL-5410; цит. по Nucl. S. Abstr., **9**, 4024 (1957).
891. T. Sikkeland, J. Hoolland, C. A., **51**, 11, 166i (1957).
892. D. E. Koshland, U. S. At. En. Comm. Rept. CN-2041; цит. по Nucl. S. Abstr., **10**, 3434.
893. K. M. Glover, P. Borrel, J. Nucl. Energy, **1**, 214 (1955); цит. по Nucl. S. Abstr., **9**, 3945.
894. D. G. Tuck, Anal. Chim. Acta, **17**, 271 (1957).
895. D. L. Hafford, B. F. Scott, The Transuranium Elements, N.-Y., 1949, стр. 1149.
896. F. L. Moore, Anal. Chem., **30**, 1368 (1958).
897. G. R. Hall, G. H. Palmer, At. En. Rep. Establ, Report C/R 1150 (1957); цит. по Anal. Abstr., **5**, 833 (1958).
898. J. Kooi, M. Schlechter. Доклад Голландии на второй Международной конференции по мирному использованию атомной энергии. Женева, 1958, № P/550.
899. R. E. Connick и другие, The Transuranium Elements, N.-Y., 1949, стр. 588.
900. А. М. Леонтович, Оптика и спектроскопия, **2**, 695 (1957).
901. A. B. Dreeben, U. S. At. En. Comm., Rept. AEC-3887; цит. по Nucl. S. Abstr., **10**, 4198.
902. A. Brunstad, U. S. At. En. Comm. Rept. TID-7516, 137; цит. по C. A., **51**, 1770b (1957).
903. W. W. Carson, J. W. Vanderwater, H. S. Gile, Anal. Chem., **29**, 1417 (1957).
904. J. L. Bance, Rept. At. En. Res. Establ, N C/R2407 (1958); цит. по РЖХим., **1959**, 7964.
905. F. A. Scott, R. M. Peekema, Докл. США на второй Международной конференции по мирному использованию атомной энергии. Женева, 1958, № P/914.
906. F. A. Scott, R. M. Peekema, J. Inorg. Nucl. Chem., **7**, 170 (1958).
907. В. В. Фомиин, С. П. Воробьев, М. А. Андреева, Атомная энергия, **4**, 57 (1958).
908. G. P. Cook, J. K. Foreman, E. F. Kemp, Anal. chim. acta, **19**, 174 (1958).
909. F. T. Birks, U. S. At. En. Authority, Res. Group C/R-2081 (1957); цит. по C. A., **51**, 11921a (1957).
910. G. I. King, U. S. At. En. Comm. Rept. LA-1197, цит. по Nucl. S. Abstr., **10**, 2301.
911. T. V. Healy, P. E. Brown, Rept. At. En. Res. Establ., 1957, N C/R 1287.
912. D. A. Everest, T. V. Martin, Analyst, **84**, 312 (1959).
913. И. И. Липилина, Уранил и его соединения, Изд. АН СССР, М., 1959.
914. Д. И. Рябчиков, Е. Н. Гольбрайх, Усп. химии, **28**, 408 (1959).
915. F. D. Cuttitta, G. J. Daniels, Analyt. chim. acta, **20**, 430 (1959).
916. S. M. Khopkar, A. K. De, Chem. and Ind., **1959**, № 9, 291.
917. K. S. Koppikar, V. G. Korgaonkar, T. K. S. Murthy, Analyt. chim. acta, **20**, 366 (1959).
918. D. A. Everest, J. V. Martin, Analyst, **84**, № 998, 312 (1959).
919. В. И. Кузнецов, С. Б. Саввин, Радиохимия, **1**, 583 (1959).
920. В. И. Кузнецов, С. Б. Саввин, Ж. аналит. химии, **15**, № 2 (1960).
921. H. Matsuyama, T. Naga, K. Koyama, J. Chem. Soc. Japan, Pure Chem. Sect., **79**, 958 (1958).
922. В. И. Кузнецов, С. Б. Саввин, Радиохимия, **1**, 589 (1959).
923. С. Б. Саввин, ДАН, **127**, 1231 (1959).
924. В. Ф. Лукьянов, С. Б. Саввин, И. В. Никольская, Зав. лаб. **25**, 1155 (1959).
925. В. И. Кузнецов, С. Т. Саввин, ЖПХ, **32** 2329 (1959).

Ин-т геохимии и аналитической химии
им. В. И. Вернадского АН СССР