

17  
ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория ядерных проблем

P-438

Б.Н.Беляев, Ван Юн-юй, Е.Н.Синотова,  
Л.Нэмет, В.А.Халкин

ВЫДЕЛЕНИЕ АСТАТИНА  
ИЗ СВИНЦА, ВИСМУТА И ТОРИЯ,  
ОБЛУЧЕННЫХ ПРОТОНАМИ  
С ЭНЕРГИЕЙ 660 МЭВ

Дубна 1959 год

Б.Н.Беляев, Ван Юн-юй, Е.Н.Синотова,  
Л.Нэмет, В.А.Халкин

520/6 мр.  
ВЫДЕЛЕНИЕ АСТАТИНА  
ИЗ СВИНЦА, ВИСМУТА И ТОРИЯ,  
ОБЛУЧЕННЫХ ПРОТОНАМИ  
С ЭНЕРГИЕЙ 660 МЭВ

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

## А н н о т а ц и я

Отделение микроколичеств астатина от продуктов деления и расщепления тяжелых металлов протонами высокой энергии основано:

1/. На экстракции астатина из 8 М соляной кислоты диизопропиловым эфиром;

2/ На соосаждении некоторых радиоактивных загрязнений с гидроксью лантана и элементарным теллуром из 0,1 М раствора станнита натрия в 2 М растворе щелочи;

3/ на соосаждении астатина с элементарным теллуром, восстановленным  $\text{SnCl}_2$  в 3-6 М растворе соляной кислоты и

4/ на перегонке астатина из сернокислых растворов.

Чистота полученных препаратов астатина оценивалась по  $\alpha$ - и  $\gamma$ -спектрам и периодам полураспада отдельных изотопов астатина.

Методика позволяет выделить  $60 \pm 10\%$  астатина из облученных мишеней. Изучено поведение астатина на отдельных этапах очистки. Рассмотрены причины потерь астатина. Хорошая воспроизводимость выходов делает возможным использование методики для определения абсолютных сечений образования астатина при различных ядерных реакциях.

При облучении свинца, висмута и тория протонами высокой энергии в заметных количествах образуются изотопы астатина; в первых двух случаях по вторичным реакциям  ${}_{82}\text{Pb}(\text{Li}, xn) {}_{85}\text{At}$  и  ${}_{83}\text{Bi}(\alpha, xn) {}_{85}\text{At}$  /1, 2/ с сечениями  $10^{-31}\text{ см}^2$  и  $10^{-29}\text{ см}^2$ , в последнем - по реакции глубокого расщепления с сечением  $10^{-26}\text{ см}^2$  /1,3,9/.

Целью настоящей работы было создание количественного метода выделения радиохимически чистого астатина из облученных быстрыми протонами свинца, висмута и тория с хорошей воспроизводимостью результатов.

Большинство ранее выполненных и опубликованных работ по получению астатина относится к выделению элемента из висмута /4,5/, облученного  $\alpha$ -частицами с энергией  $\sim 30$  Мэв. При этих условиях астатин является основным продуктом реакции /  $\sigma \sim 10^{-24}\text{ см}^2$  /, и получение радиохимически чистого препарата сводится к отделению астатина от материала мишени, полония, радиоактивных изотопов свинца и таллия /5/. Радиоактивные изотопы других элементов имеют сечения образования на два-три порядка меньше чем астатин и практически на радиохимическую чистоту астатина не влияют.

При образовании астатина из свинца, висмута и тория, облученных протонами высокой энергии, получаются другие соотношения выходов продуктов реакций: суммарное сечение образования продуктов деления и глубокого расщепления  $\sim 10^{-24}\text{ см}^2$  /6,7,8/, т.е. в  $10^2 - 10^7$  раз больше сечения образования  $\text{At}$ . В данном случае необходима эффективная очистка от радиоактивных изотопов большинства элементов периодической таблицы, в том числе и от изотопов йода - химического аналога астатина. Из опубликованных работ, относящихся к отделению астатина от продуктов деления и глубокого расщепления тяжелых ядер, нам известны лишь две работы /1,9/. Применявшаяся при этом методика выделения астатина позволяла получать только  $\alpha$ -радиоактивно чистый препарат.

Создание метода получения радиохимически чистого астатина чрезвычайно осложняется недостатком сведений о химических свойствах элемента. Наиболее детально химия астатина изучена в работах /4,10/, результаты которых послу-

жили основой для имеющихся в литературе обзоров /11,12,13/. Интересные данные об экстракции астатина и природе экстрагируемых соединений приведены в работах /5,10,14/. По данным работы /14/ 80% астатина извлекается диизопропиловым эфиром из 6-9 М солянокислого раствора, окисленного хлором. Вероятная форма экстрагируемого соединения -  $\text{AtCl}_2^-$  или  $\text{AtCl}_4^-$ . Экстрагирование диизопропиловым эфиром позволяет отделить астатин от многих элементов, в частности, от больших количеств свинца, висмута и тория, причем, на результатах экстракции не сказывается присутствие азотной кислоты /до 0,8 М/. Последнее особенно важно, так как облученные металлы растворяются в азотной кислоте.

Извлечение астатина из солянокислых растворов решено было использовать в качестве первого основного этапа отделения астатина от радиоактивных загрязнений и материала мишени. Предполагалось, что дальнейшая очистка путем соосаждения астатина с элементарным теллуром из солянокислого раствора /4,1/ и перегонки астатина из сернокислых растворов /10/, а также путем соосаждения некоторых радиоактивных загрязнений с элементарным теллуром в щелочном растворе /1/, позволит получить радиохимически чистый препарат астатина. Эти предположения были проверены на примере висмута, облученного протонами с энергией 660 Мэв.

Чистота получаемых препаратов контролировалась по энергиям рентгеновского излучения,  $\gamma$  - квантов и  $\alpha$  - частиц, а также по периодам полураспада  $\gamma$ - и  $\alpha$ -активных изотопов. Выбранная схема очистки действительно позволяет получить радиохимически чистый астатин из висмута и практически полностью сбросить продукты деления и расщепления, радиоактивность которых в  $10^4 - 10^5$  раз превышает радиоактивность астатина. Однако, получение радиохимически чистого препарата сопровождалось большими потерями астатина, и выход его от выделения к выделению при прочих равных условиях менялся в широких пределах.

Для создания количественного метода выделения астатина с хорошей воспроизводимостью результатов необходимо было тщательное изучение поведения элемента на каждом этапе очистки. Оно было выполнено с радиохимически чистым астатином, выделенным из тория в качестве индикатора. Поведение

астатина контролировалось по  $\gamma$ -излучению, которое регистрировалось счетчиком МС-11.  $\gamma$ - и  $\alpha$ -спектры индикаторного препарата астатина приведены на рис. 3, 5.

Экстракция астатина из солянокислых растворов диизопропиловым эфиром

Экстракция астатина диизопропиловым эфиром из растворов HCl различной концентрации, обработанных хлором, подробно изучалась в работе [14]. Наши результаты отличаются от полученных в этой работе, в основном, лучшим извлечением астатина из разбавленных солянокислых растворов [рис. 1].

Извлечение астатина из солянокислых растворов значительно повышается в присутствии азотной кислоты. Например, из растворов 7М по HCl и 0,9-1,5 М по HNO<sub>3</sub> экстрагируется ~ 95% астатина /K<sub>извл.</sub> = 18/. Небольшие количества HF /5-10 мг/, которые добавляются при растворении тория в азотной кислоте, на экстрагируемость астатина совершенно не влияют.

Реэкстракция астатина из органического слоя

Таблица 1.

Реэкстракция астатина из органического слоя

Реэкстрагирующий агент	% реэкстракции
2 М NaOH	98
— " —	99
H <sub>2</sub> O	79
— " —	80
— " —	74 <sup>x/</sup>
— " —	76 <sup>x/</sup>
0,1М рр Na <sub>2</sub> SnO <sub>2</sub> в 2М NaOH	100
— " —	99

x/ При подготовке диизопропилового эфира к экстракции через свежеперегнаный растворитель в течение нескольких минут пропускался хлор, после чего эфир промывался 8 М HCl. В данном случае, обработка экстрагента хлором не производилась. Как видно из полученных результатов, реэкстракция водой проходит менее полно, а оставшийся в органическом слое астатин не удается извлечь при повторной промывке водой.

Как следует из данных, приведенных в таблице № 1, 0,1 М раствор стани-та натрия в 2 М щелочи - наиболее удобный реэкстрагирующий агент при из-влечении астатина из органического слоя после экстракционного отделения эле-мента от материала мишени и основной массы радиоактивных примесей. При-сутствие в реэкстрагенте сильного восстановителя позволяет не только практиче-ски полностью выделить астатин из органической фазы, но и одновременно про-вести очистку от следов полония, золота, ртути и ряда других элементов, кото-рые в щелочном растворе образуют труднорастворимые гидроокиси или восста-навливаются станнитом до металлов. Для этого к водно-эфирной эмульсии, ко-торая образуется в экстракторе с механической мешалкой, добавляется не-сколько миллилитров раствора, содержащего 15-20 мг теллурита натрия, 2-3 мг аурата натрия и 5-6 мг хлористого лантана. Выпавший осадок захватывает не более 5% астатина /таблица 2/.

Таблица 2

Захват астатина осадками, выпадающими из щелочных растворов, содержащих  $\text{Na}_2\text{SnO}_2$  или  $\text{NaClO}$

Осадок	Количество осадка - мг	Раствор	% соосажд. астатина
$\text{La}(\text{OH})_3$	8	0,1 М $\text{Na}_2\text{SnO}_2$ в 2М $\text{NaOH}$	5
$\text{Th}(\text{OH})_4$	6,5	— " —	9
$\text{Fe}(\text{OH})_3$	10	— " —	13
Te	5	— " —	5
Bi	8	— " —	10
$\text{Th}(\text{OH})_4$	6,5	~0,1М $\text{NaClO}$ в 2М $\text{NaOH}$	85
$\text{Bi}(\text{OH})_3$	8	— " —	87
$\text{Fe}(\text{OH})_3$	10	— " —	85

Как видно из приведенных в этой таблице данных, реэкстракция астатина щелочным раствором восстановителя позволяет исключить потери элемента за счет адсорбции его на следах труднорастворимых гидроокисей металлов, на-пример  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ,  $\text{Th}(\text{OH})_4$ ,  $\text{Bi}(\text{OH})_3$ , которые всегда могут присутство-вать в растворе.

Соосаждение астатина с элементарным теллуром из соляно-  
кислого раствора

Наиболее удобный метод выделения астатина из щелочного раствора станнита натрия после реэкстракции - соосаждение элемента с металлическим теллуром из подкисленного соляной кислотой раствора станнита. Условия соосаждения подробно описаны в работе /1/. Необходимо только отметить, что количество астатина, соосаждающегося с теллуром, мало зависит от количества осажденного теллура /2-10 мг/ и от концентрации соляной кислоты. Даже из 25-30 мл концентрированного /11,5 М/ раствора HCl 80-90% астатина соосаждается с 3 мг теллура. Астатин практически полностью соосаждается с теллуром, если восстановитель  $-SnCl_2$  добавлять к солянокислому раствору астатина, содержащему теллур.

Соосаждение астатина из солянокислых растворов с теллуром позволяет не только сконцентрировать астатин и избавиться от больших количеств солей, присутствующих в растворе, но и провести эффективную очистку от Sb, Os<sup>x/</sup>, Tl и J. Эти элементы являются основными радиоактивными загрязнениями At - содержащего раствора после проведения экстракции и последующего щелочного сброса. В частности, таким методом удается отделить астатин от микроколичеств радиоактивного йода, адсорбция которого на осадке теллура не превышает 3%.

Дистилляция астатина из сернокислых растворов

Условия перегонки астатина были подобраны, исходя из данных работы /10/, согласно которым астатин количественно отгоняется из раствора 0,5 М H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и 0,05 М FeSO<sub>4</sub>. Как показали наши опыты, присутствие в сернокислом растворе небольших количеств теллура /5-10 мг/ резко ухудшает условия дистилляции астатина. Поэтому перед дистилляцией необходимо было отделить астатин от теллура экстракцией диизопропиловым эфиром с последую-

x/ Осмий, согласно имеющимся литературным данным /15/, не экстрагируется из солянокислых растворов. Однако тщательно выполненная проверка показала, что микроколичества Os извлекаются диизопропиловым эфиром из 8 М по HCl раствора, окисленного хлором на 70-75%.



щим извлечением астатина из органического слоя водой. Однако полученный водный раствор астатина содержал следы хлора и диизопропилового эфира, которые тоже отрицательно влияют на дистилляцию астатина. Но это влияние легко устраняется увеличением концентрации сульфата железа и серной кислоты. Было найдено, что из 0,5 М раствора  $FeSO_4$  в 1 М растворе  $H_2SO_4$  отгоняется больше 90% астатина при перегонке 85% /по объему/ исходного раствора.

#### Рекомендуемая методика

На основании данных о поведении астатина на каждом этапе очистки была окончательно создана нижеследующая методика количественного выделения радиохимически чистого астатина из висмута, облученного протонами высоких энергий.

Один грамм металлического висмута, облученного протонами с энергией 660 Мэв на внутреннем пучке синхроциклотрона Объединенного института ядерных исследований, растворялся в 5 мл концентрированной азотной кислоты, при нагревании в колбе с обратным холодильником. К азотнокислому раствору добавлялось 40 мл 8 М  $HCl$ , насыщенной хлором. Экстракция проводилась 60 мл диизопропилового эфира в экстракторе с механической мешалкой. Органический слой дважды промывался 15 мл 8 М соляной кислоты. Астатин из эфира рекстрагировался 40 мл 0,1 М раствора станнита натрия в 2М  $NaOH$ . К щелочному раствору добавлялось 10-15 мг теллуриата натрия, 2-3 мг лантана ( $LaCl_3$ ) и 1-2 мг хлороаурата натрия. Раствор от осадка отделялся фильтрованием через стеклянный фильтр № 4. Осаждение теллура станнитом натрия повторялось еще раз. Щелочной фильтрат подкислялся 20 мл концентрированной соляной кислоты, содержащей  $\sim 0,2$  мг  $Te$  /мл. Осаждение теллура из кислого раствора проводилось при энергичном перемешивании. После коагуляции осадка дважды добавлялось по 5 мг теллура. Осадок теллура, содержащий астатин, отделялся от раствора центрифугированием, промывался 6 М соляной кислотой и растворялся в нескольких каплях азотной кислоты. К полученному раствору добавлялось 20 мл 6 М  $HCl$  и теллур осаждался двухлористым оловом. После коагуляции осадка еще раз повторялось осаждение

теллура /5 мг/. Выпавший осадок центрифугировался, промывался концентрированной соляной кислотой и растворялся в 5 мл 8 М HCl при пропускании газообразного хлора. От теллура астатин отделяли экстракцией его в диизопропиловый эфир. Эфирный слой /6 мл/ дважды промывался 1,5-2 мл 8 М HCl и астатин реэкстрагировался водой /два раза по 5 мл/. После экстракции получался раствор радиохимически чистого астатина  $\sim 0,01$  М по HCl, содержащий следы растворителя.

Описанный выше метод выделения астатина из облученного висмута позволяет получать радиохимически чистый астатин и из облученного тория. В данном случае благодаря тому, что сечение образования астатина из тория на три порядка больше, чем из висмута, уже после второго щелочного осаждения теллура получается раствор, практически не содержащий других радиоактивных продуктов, кроме изотопов астатина.

Дальнейшие операции - соосаждение астатина с теллуrom и экстракция диизопропиловым эфиром нужны, в основном, для сброса солей и теллура.

При выделении астатина, образующегося из свинца, методика несколько усложняется. Во-первых, необходимо в начале выделения удалить хлорид свинца, который выпадает при добавлении к азотнокислому раствору соляной кислоты, и, во-вторых, в конце ввести дополнительную очистку астатина дистилляцией из сернокислого раствора.

Облученный свинец /  $\sim 1$  гр/ растворялся в 5 мл 6 М HNO<sub>3</sub>, и к полученному горячему азотнокислому раствору добавлялось 20 мл 4 М HCl. После охлаждения раствор отделялся от выпавших кристаллов PbCl<sub>2</sub> фильтрованием через стеклянный фильтр № 2 и подкислялся 20 мл концентрированной HCl насыщенной хлором. Все последующие операции аналогичны этапам очистки при выделении астатина из висмута.

Дополнительная очистка дистилляцией требуется из-за очень малого сечения образования астатина / $10^{-31}$  см<sup>2</sup>/. Для этого к 10 мл водного раствора астатина, полученного после экстракционного удаления теллура, добавляется равный объем 1 М раствора FeSO<sub>4</sub> в 2 М растворе H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Дистилляция производилась до начала появления кристаллов в перегонной колбе. Отгоняющийся астатин поглощался в 0,5 М растворе NaOH.

Результаты измерений выделенных препаратов астатина

На рис. 2-4 приведены  $\gamma$ -спектры астатина, выделенного из висмута, тория и свинца, снятые через 5-6 часов после облучения металлов протонами с энергией 660 Мэв.

$\gamma$ -спектры At изучались на сцинтилляционном спектрометре /кристалл NaJ(Tl) 3,8 x 2,5 см фотоумножитель ФЭУ-С/ со 128-канальным амплитудным анализатором. Линейность прибора по энергии была не хуже 1%. Разрешающая способность на линии  $Cs^{137}$  /662 Кэв/ составляла 9,5%.

Энергии и периоды наблюдавшихся  $\gamma$ -линий приведены в табл. 3.

Таблица 3.

Результаты измерений энергий  $\gamma$ -излучения и периодов полураспада изотопов астатина, выделенных из Bi, Th и Pb, облученных протонами с энергией 660 Мэв.

Препарат At, выделенный из Bi		Препарат At, выделенный из Th		Препарат At, выделенный из Pb		Лит. данные об энергиях $\gamma$ -излуч. и периодах полураспада изотопов астатина /16/	
$E_\gamma$ , кэв	$T_{1/2}$ , час	$E_\gamma$ , кэв	$T_{1/2}$ , час	$E_\gamma$ , кэв	$T_{1/2}$ , час	$E_\gamma$ , кэв	Изотоп
78 $\pm$ 2 ~50	~6,5	78 ~50	8	80 $\pm$ 1 51 $\pm$ 2	~6 8	79,3 <sup>1/</sup> 51,3 <sup>2/</sup>	- -
243 $\pm$ 5 1186 $\pm$ 8 1458 $\pm$ 14	8,5 10 10,5	242 1180 $\pm$ 10 1460 $\pm$ 15	8,5 $\pm$ 0,2 8,4 $\pm$ 0,3 8,15 $\pm$ 0,3	245 $\pm$ 2 1179 $\pm$ 5 1465 $\pm$ 10	8 8,8 8,8	245 1183 1438 1484	$^{210}_{85}At$ $T_{1/2} = 8,3$ ч.
193 $\pm$ 4 546 $\pm$ 6 788 $\pm$ 8	5 6,5 6	192 542 $\pm$ 6 780 $\pm$ 8	5,5 5,5 6,0	194 543 $\pm$ 4 786 $\pm$ 5	~4 6 5,5	195 546 782	$^{209}_{85}At$ $T_{1/2} = 5,5$ ч.
660	~2	660	2			660 180	$At^{208}$ 1,7 ч.
				32 $\pm$ 2 162 360	~8 ~2,7 ~5		

Примечание: 1/ Рентгеновское излучение.

2/ Пик "вылета" от рентгеновского излучения.

Для препаратов астатина, выделенных из висмута и тория, энергии всех обнаруженных нами  $\gamma$ -линий хорошо соответствуют литературным данным /16/ о  $\gamma$ -излучении  $At^{208}$ ,  $At^{209}$  и  $At^{210}$ . На спектрограммах не видно линии 180 Кэв  $At^{208}$ , так как спектрометр не отделяет ее от линии 190 Кэв  $At^{209}$ .

При измерении препаратов  $At$ , выделенных из свинца, кроме известных  $\gamma$ -линий, найдены 3 линии /660 Кэв с  $T_{1/2} \sim 5$  час, 165 Кэв и 32 Кэв/, которые на основании имеющихся литературных данных нельзя приписать изотопам астатина. Суммарная интенсивность этих линий составляет  $\sim 10\%$  от интенсивности всего препарата.

Определение периодов полураспада отдельных изотопов астатина выполнено достаточно надежно только для препаратов, выделенных из тория. Из-за значительно меньшей радиоактивности препаратов астатина, выделенных из висмута и свинца, приведенные значения периодов полураспада следует рассматривать только как оценочные.

$\alpha$ -спектры астатина изучались на  $\alpha$ -спектрометре /ионизационная камера с 32-канальным амплитудным анализатором/. Мишени для снятия  $\alpha$ -спектров готовились нанесением азотнокислого раствора астатина на полированный платиновый диск.

На рис. 5 дан  $\alpha$ -спектр препарата астатина, выделенного из тория, снятый через 5-6 часов после конца облучения. Четко видны две линии с энергией 5880 Кэв и 7430 Кэв. Интенсивность обеих линий убывает с периодом полураспада 7,3 часа /рис. 6/. Полученные результаты хорошо согласуются с литературными данными об энергии  $\alpha$ -излучения  $At^{211}$  и его дочернего изотопа  $Po^{211}$  и о периоде полураспада  $At^{211}$  /16/. Менее заметна линия с энергией 5630 Кэв и периодом полураспада  $5,7 \pm 0,6$  /рис. 6/, которая отнесена к изотопу  $At^{209}$ . Слабая линия 5750 Кэв, очевидно, принадлежит изотопу  $At^{207}$ .

Абсолютное сечение образования  $At^{211}$  из тория, облученного протонами с энергией 660 Мэв, по нашим определениям составляет  $10 \pm 1$  мб. Сечение же образования  $At^{209}$  на основании данных  $\alpha$ -спектрограммы с учетом его схемы распада /5%  $\alpha$  / и периода полураспада несколько выше  $\sim 15$  мб.

$\alpha$ -спектры препаратов астатина, выделенных из облученных свинца и вис-

мута имеют только две линии :  $Po^{211}$  с энергией 7.430 Кэв и  $At^{211}$  с энергией 5880 Кэв.

Хорошие совпадения измеренных нами энергий  $\gamma$  - квантов и  $\alpha$  - частиц и периодов полураспада  $\gamma$  и  $\alpha$  -активных изотопов  $At$  с литературными данными, позволяют сделать заключение о том, что астатин, выделенный по вышеописанной методике из висмута и тория, облученных протонами с энергией 660 Мэв, является радиохимически чистым. Из свинца выделить астатин в радиохимически чистом виде не удалось, несмотря на тщательную очистку /  $\sim 10^8$  раз/ от продуктов деления и глубокого расщепления.

#### Воспроизводимость результатов

Для определения химического выхода астатина необлученные свинец, висмут и торий растворялись в азотной кислоте, содержащей известное количество астатина. После выполнения всех операций, необходимых для получения радиохимически чистого препарата, радиоактивность оставшегося астатина сравнивалась с эталонным препаратом. Результаты приведены в таблице 4.

Таблица 4.  
Химический выход астатина.

Материал мишени	Выход в %			Среднее в %
	I	II	III	
Pb	50	57	60	56 $\pm$ 4
Bi	67	62	64	64 $\pm$ 2
Th	62	60		61 $\pm$ 2

Сравнительно большие потери астатина /до 50%/ связаны, в основном, с неполным выделением астатина на отдельных операциях очистки.

Потери астатина при растворении металлов в азотной кислоте за счет летучести элемента не превышают 2-3%.

Адсорбция астатина стенками стеклянной посуды существенна, по нашим

наблюдениям, только для солянокислых растворов, содержащих  $\text{SnCl}_2$ . В этих условиях на поверхности стекла марки "пирекс" площадью  $200 \text{ см}^2$  при комнатной температуре в течение 5 минут адсорбируется 20-30 % присутствующего в растворе астатина. Адсорбированный астатин не удается полностью отмыть ни кислотами, ни щелочами. Однако этих потерь можно легко избежать, если подкисление щелочного раствора станнита, содержащего астатин, производить соляной кислотой, к которой добавлены небольшие количества теллура. При этом, вероятно, за счет конкурирующей адсорбции астатина на теллуре, адсорбция элемента стенками стеклянной посуды исключается.

Хорошая воспроизводимость результатов позволяет использовать методику всюду, где необходимо количественное определение астатина, например, при снятии функции возбуждения различных ядерных реакций. Неопределенность выхода  $\pm 5\%$  в данном случае не будет накладывать существенных искажений на общую картину изучаемых процессов.

#### В ы в о д ы

1. Создана методика выделения астатина в радиохимически чистом виде из  $\text{Bi}$  и  $\text{Th}$ , облученных протонами с энергией 660 Мэв.
2. Методика позволяет выделить около 60% астатина из облученных мишеней с неопределенностью выхода  $\pm 5\%$ .
3. Изучено поведение астатина на отдельных этапах очистки и рассмотрены причины потерь при выделении.
4. Хорошая воспроизводимость выходов делает возможным использование методики для определения абсолютных поперечных сечений образования астатина при различных ядерных реакциях.

Авторы благодарят А.Н. Мурина за постоянный интерес к работе и ряд ценных советов.

Рукопись поступила в издательский отдел 10 декабря 1959 года.

Л и т е р а т у р а

1. Б.В. Курчатов, В.Н. Мехедов, Л.В. Чистяков, М.Я. Кузнецова, Н.И. Борисова, В.Г. Соловьев. ЖЭТФ, 35, 1 /7/, 56 /1958/.
2. М.Я. Кузнецова, В.В. Кузнецов, В.Н. Мехедов, В.А. Халкин. Материалы совещания по применению радиохимических методов изучения ядерных реакций и  $\beta$ ,  $\gamma$  - спектроскопии нейтроно-дефицитных ядер, 1, 25, Дубна, 1958г.
3. M. Lindner, R.N. Osborne. Phys.Rev. 103, 378, (1956).
4. D.R. Corson, K.R. McKenzie, E. Segre. Phys.Rev. 58, 672, (1940).
5. G.W. Barton, A. Ghiorso, I. Perlman. Phys.Rev. 82, 13, (1951).
6. А.Н. Мурин, Б.К. Преображенский, И.А. Ютландов, М.А. Якимов. Сессия АН СССР по мирному использованию атомной энергии. 1-5 июля 1955 г. Заседания отделения химич.наук, стр. 160. М-Л-1955.
7. Н.П. Виноградов, И.П. Алимарин, В.И. Баранов, А.К. Лаврухина, Т.В. Баранова, Ф.И. Павлоцкая, А.А. Брагина, Ю.В. Яковлев. Сессия АН СССР по мирному использованию атомной энергии. 1-5 июля 1955 г. Заседания отделения хим. наук, стр. 97. М-Л-1955.
8. R. Wolfgang, E.W. Baker, A.A. Caretto, T.B. Cummig, G. Friedlander and T. Hudis. Phys.Rev. 103, 394, (1956).
9. M. Lefort, G. Simonoff, X. Farrago, Comptes Rendus. 248, 219, (1959).
10. G.L. Johnson, R.F. Leininger, E. Segre, J. Chem.Phys. 17, 1, (1949).
11. G.T. Klivenyi, B. Lakatos. Magyar Kem.Folyorat. 60, 136, (1954).
12. K.W. Bagnall. 'Chemistry of the rare radioelements' L. (1956).
13. E.K. Hyde, J. Chem.Educ. 36, 15, (1959).
14. H.M. Neuman, J. Inorg. Nucl. Chem. 4, 349, (1957).
15. В.И. Кузнецов. Успехи химии, 23, 654 /1954/.
16. D. Strominger, J.M. Hollander, G.T. Seaborg. Rev.Modern.Phys., 30, 11, (1958).

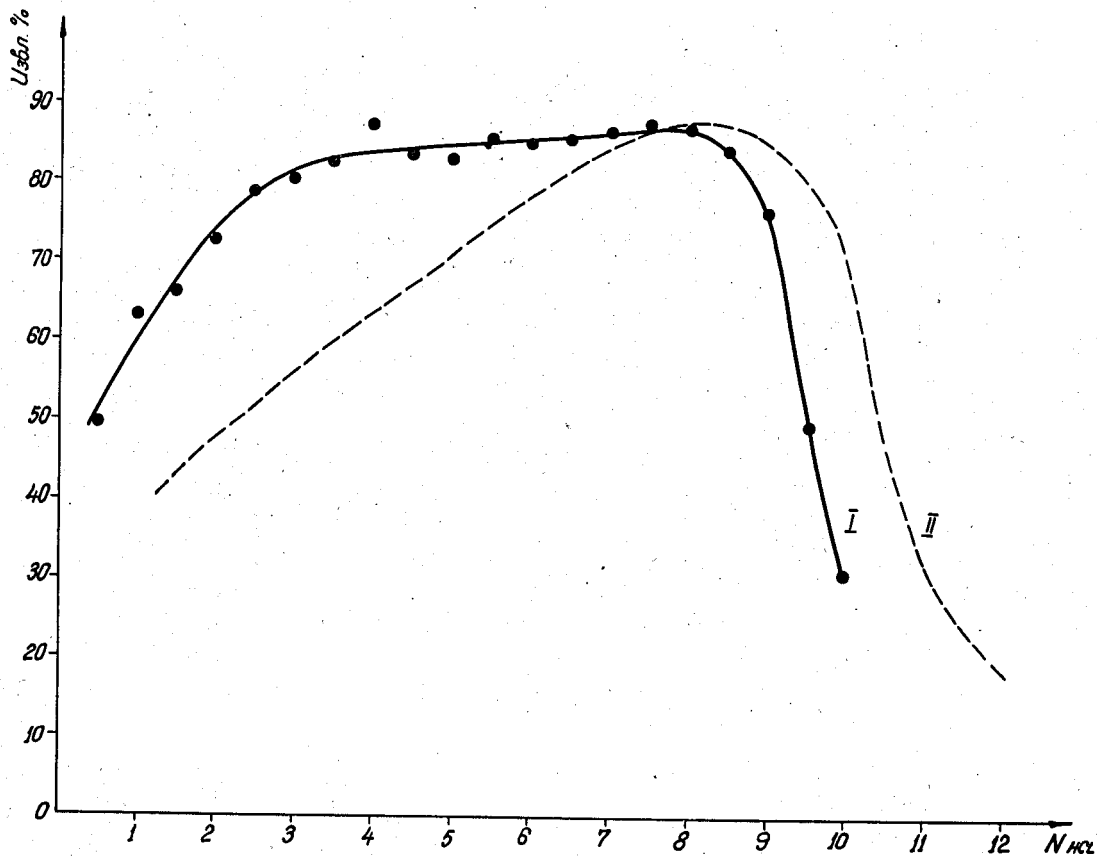
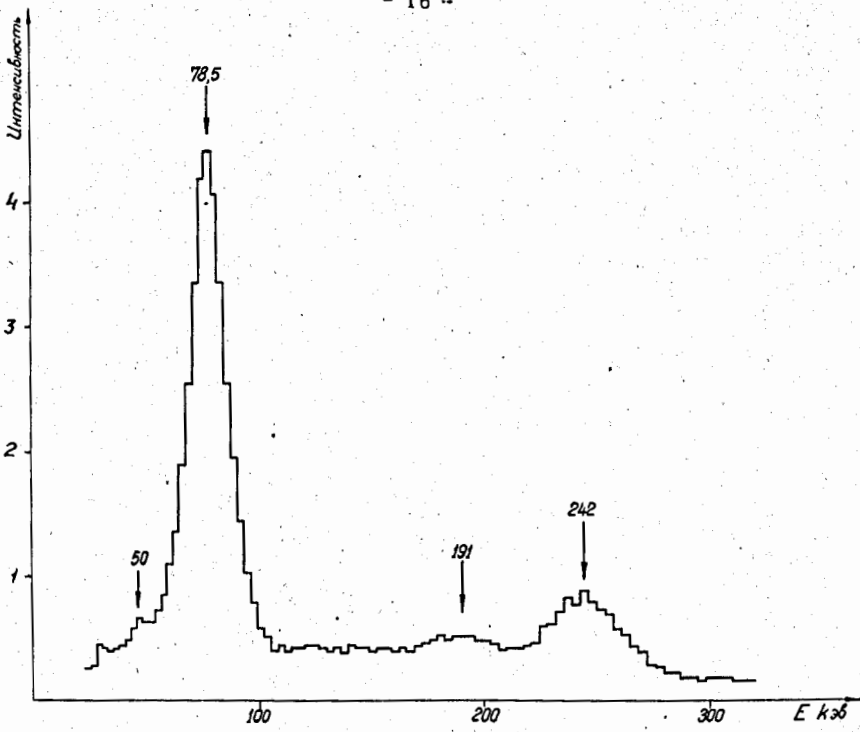
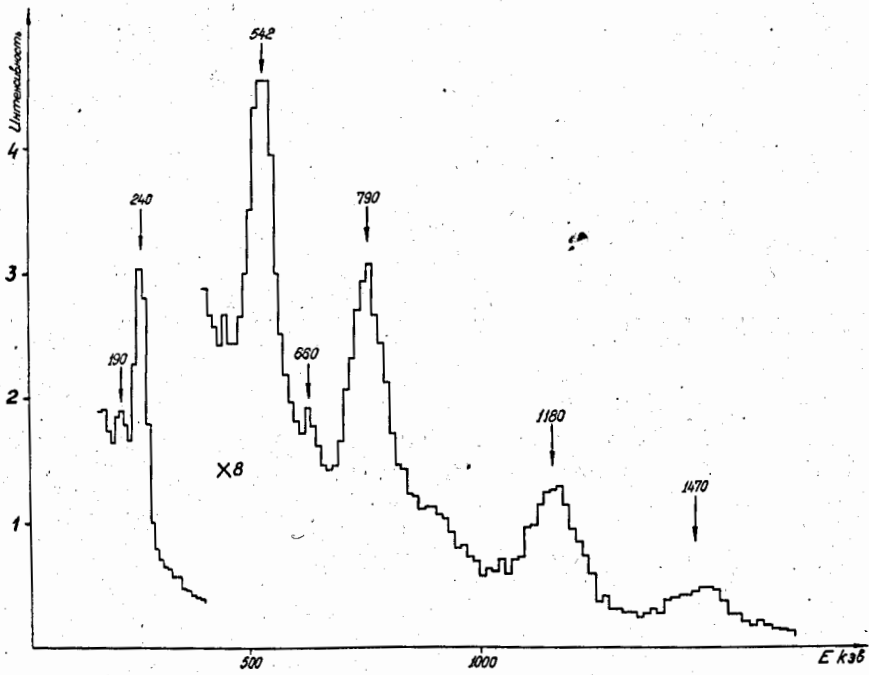


Рис. 1. Экстракция астатина из солянокислых растворов диизопропиловым эфиром: I по данным настоящей работы; II по данным работы /14/.





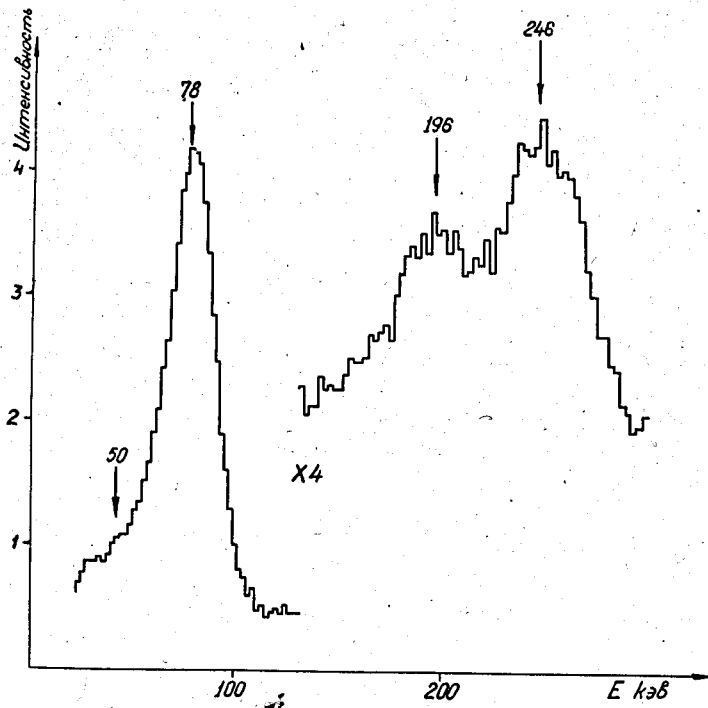
а/



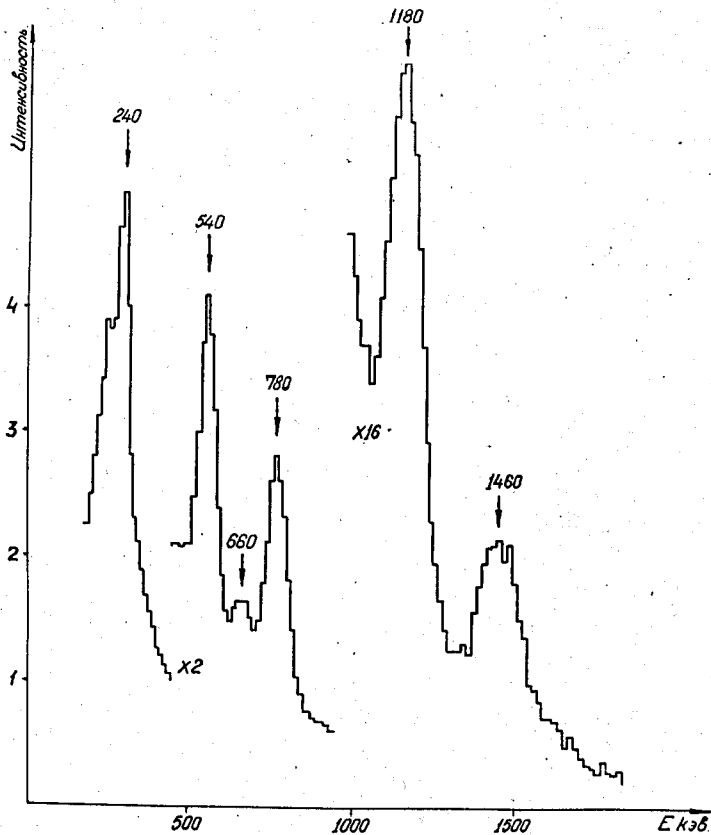
б/

Рис. 2.  $\gamma$  - спектр препарата астатина, выделенного из висмута, облученного протонами с энергией 880 Мэв. а/  $E_{\gamma} < 300$  Кэв; б/  $E_{\gamma} < 1800$  Кэв.

520/6 мр.



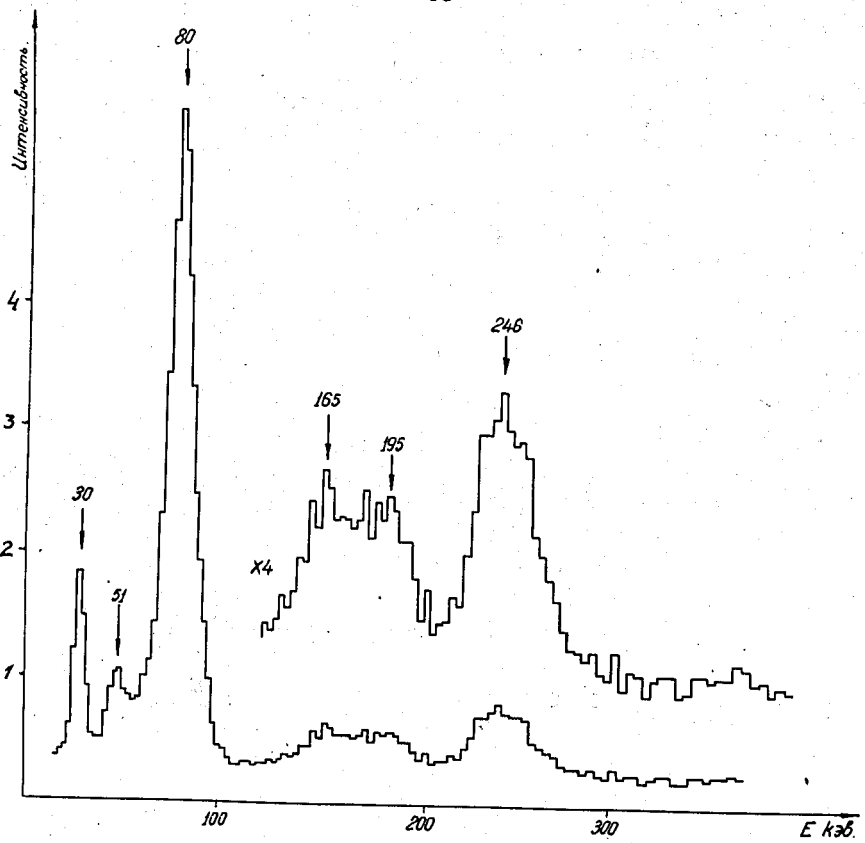
а/



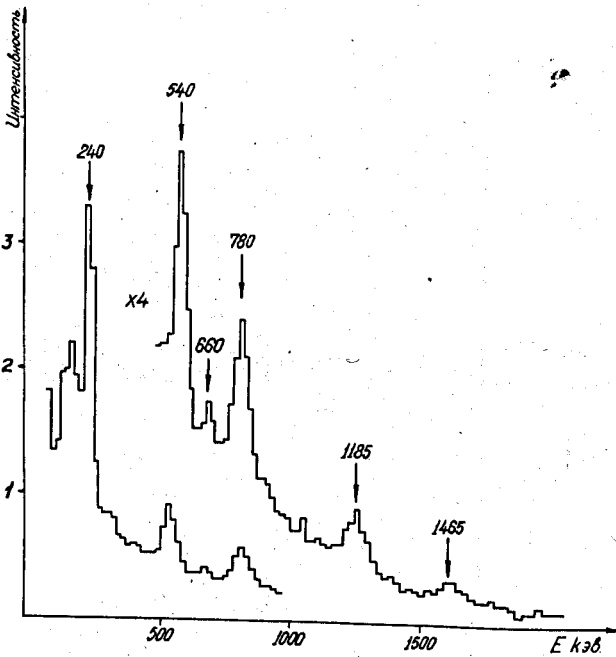
б/

Рис. 3.  $\gamma$  - спектр препарата астатина, выделенного из тория, облученного протонами с энергией 660 Мэв. а/  $E_{\gamma} < 300$  Кэв; б/  $E_{\gamma} < 1800$  Кэв.

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА



a/



б/

Рис. 4.  $\gamma$  - спектр препарата аstatина, выделенного из свинца, облученного протонами с энергией 660 Мэв. а/  $E_\gamma < 300$  Кэв; б/  $E_\gamma < 1800$  Кэв.

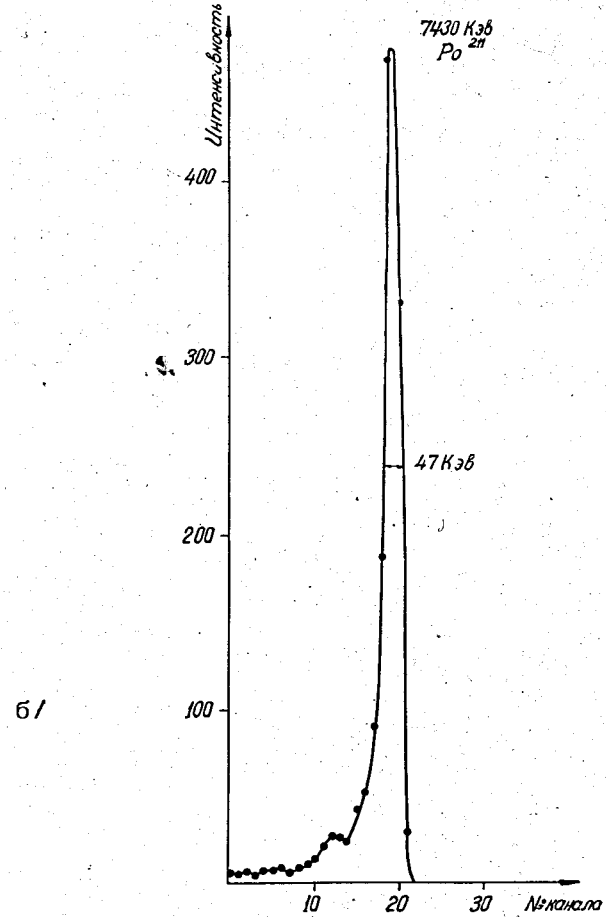
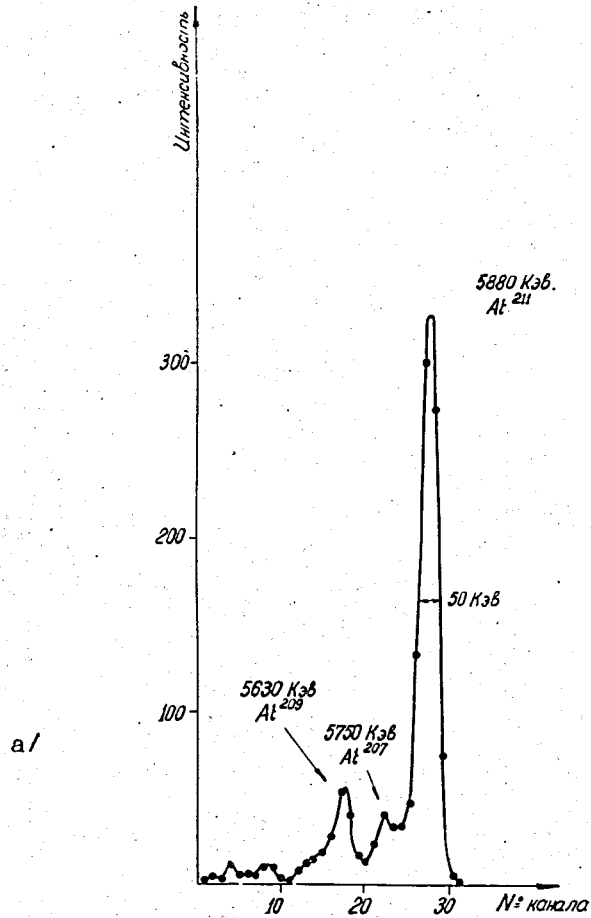


Рис. 5.  $\alpha$  - спектр препарата аstatина, выделенного из тория, облученного протонами с энергией 660 Мэв. а/  $E_{\alpha} < 6000$  Кэв; б/  $E_{\alpha} > 6000$  Кэв.

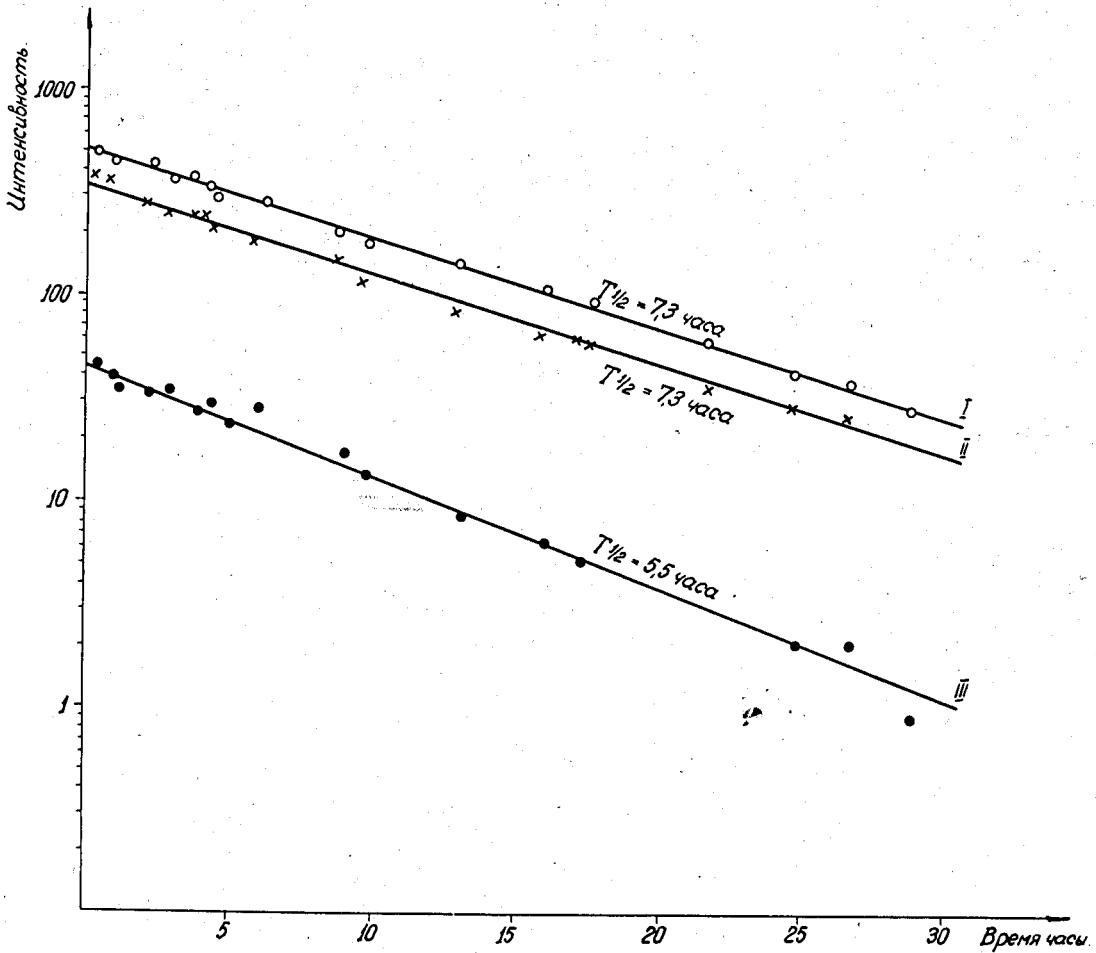


Рис. 6.  $\bar{\text{I}}$  и  $\bar{\text{II}}$ -кривые распада  $\text{At}^{211}$ , построенные по изменению интенсивности линий  $E_{\alpha} = 7430$  Кэв и  $E_{\alpha} = 5880$  Кэв.  $\bar{\text{III}}$ -кривая распада  $\text{At}^{209}$ , построенная по изменению интенсивности линии  $E_{\alpha} = 5630$  Кэв.