

ЯДЕРНО ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗРАСТА

АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ НАХОДОК

Презентация

ученицы 5(9)-В класса

Шевцовой Ирины

- ⊙ **Радиоизотопное или радиометрическое датирование** — метод определения возраста различных объектов, в составе которых есть какой-либо [радиоактивный изотоп](#). Основан на определении того, какая доля этого изотопа успела распасться за время существования образца. По этой величине, зная [период полураспада](#) данного изотопа, можно рассчитать возраст образца.
- ⊙ Радиоизотопное датирование широко применяется в [геологии](#), [палеонтологии](#), [археологии](#) и других науках. Это источник практически всех [абсолютных датировок](#) различных событий [истории Земли](#). До появления радиометрического датирования были возможны только относительные датировки — привязка к определённым геологическим [эрам](#), [периодам](#), [эпохам](#) и т.д., длительность которых была неизвестна.



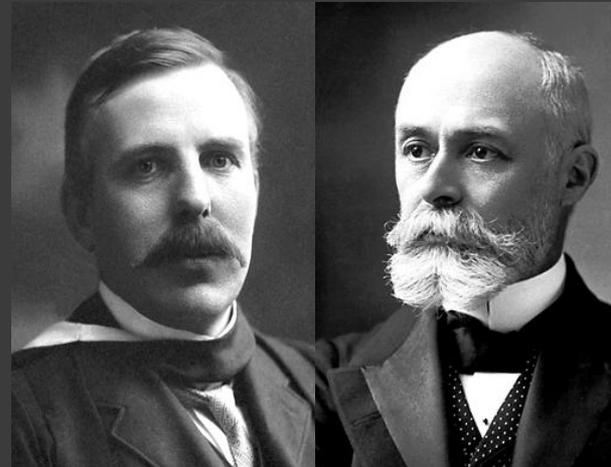
- В различных методах радиоизотопного датирования используются разные изотопы разных элементов. Поскольку они сильно отличаются по химическим свойствам (и, следовательно, по содержанию в различных геологических и биологических материалах и по поведению в геохимических циклах), а также по периоду полураспада, у разных методов отличается область применимости. Каждый метод применим только к определённым материалам и определённому интервалу возрастов. Самые известные методы радиоизотопного датирования — это радиоуглеродный, калий-аргоновый и уран-свинцовый анализ.

Изотопы, используемые для определения абсолютного возраста

Материнский изотоп	Конечный продукт	Период полураспада, млрд лет
^{147}Sm	$^{143}\text{Nd} + \text{He}$	106,00
^{238}U	$^{206}\text{Pb} + ^8\text{He}$	4,46
^{235}U	$^{207}\text{Pb} + ^7\text{He}$	0,70
^{232}Th	$^{208}\text{Pb} + ^6\text{He}$	14,00
^{87}Rb	^{87}Sr	48,80
^{40}K	$^{40}\text{Ar} + ^{40}\text{Ca}$	1,30
^{14}C	^{14}N	5730 лет

История создания

- Идею радиоизотопного датирования предложил [Эрнест Резерфорд](#) в 1905 году, через 9 лет после открытия радиоактивности [Анри Беккерелем](#). Уже через 2 года, в 1907, Бертрам Болтвуд ([Bertram Boltwood](#)), радиохимик из [Иельского университета](#), опубликовал первые определения возраста некоторых геологических образцов. В последующие годы шло интенсивное развитие [ядерной физики](#) и усовершенствование технологий, благодаря чему к середине 20 века была достигнута приемлемая точность радиоизотопных датировок. Этому особенно помогло изобретение [масс-спектрометра](#)^[1]. В 1949 году [Уиллард Либби](#) разработал [радиоуглеродный анализ](#) и продемонстрировал его пригодность на образцах дерева известного возраста (в интервале 1400 — 4600 лет)^[2], за что в 1960 году получил [Нобелевскую премию по химии](#).



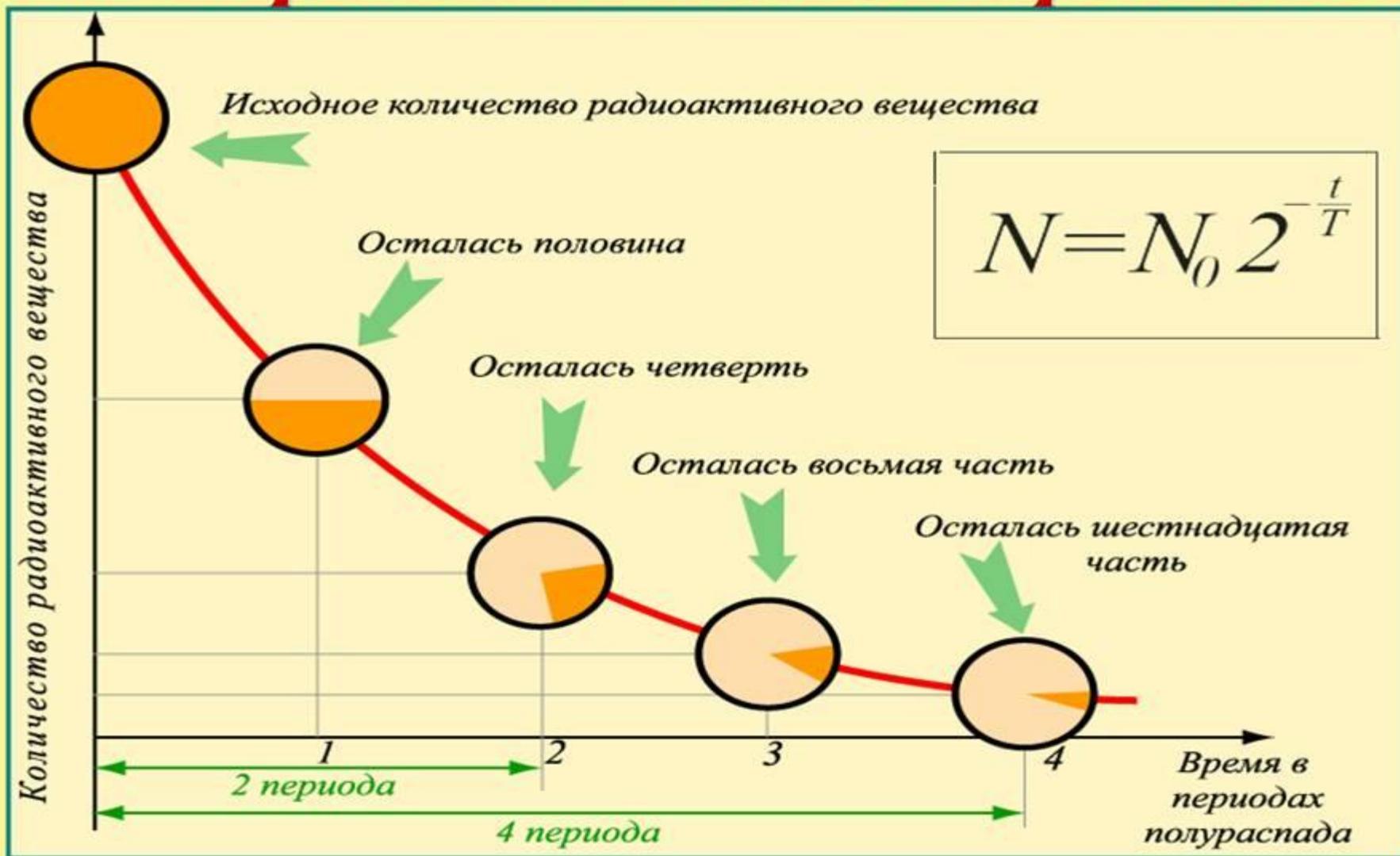
Bertram B. Boltwood



Физические основы

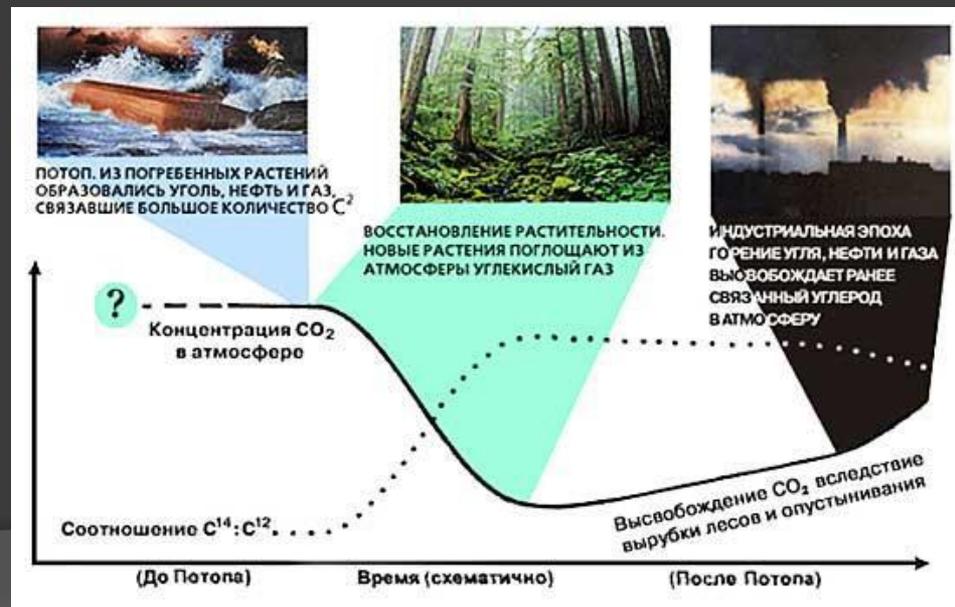
- Количество любого радиоактивного изотопа уменьшается со временем по экспоненциальному закону ([закон радиоактивного распада](#)).
- Таким образом, каждый изотоп имеет строго определённый период полураспада — время, за которое его количество уменьшается вдвое. Период полураспада связан с постоянной распада.
- Тогда можно выразить отношение через период полураспада. Исходя из того, какая часть радиоизотопа распалась за некоторое время, можно рассчитать это время:
- Период полураспада не зависит от температуры, давления, химического окружения, интенсивности электромагнитных полей.
- Единственное известное исключение относится к тем изотопам, которые распадаются путём [электронного захвата](#): у них есть зависимость скорости распада от [электронной плотности](#) в районе ядра. К таким относятся, например, [бериллий-7](#), [стронций-85](#) и [цирконий-89](#). У таких радиоизотопов скорость распада зависит от степени ионизации атома; есть также слабая зависимость от давления и температуры. Существенной проблемой для радиоизотопного датирования это не является. ^[3]

Закон радиоактивного распада



Источники трудностей

- Главные источники трудностей для радиоизотопного датирования — это обмен веществом между исследуемым объектом и окружающей средой, который мог происходить после образования объекта, и неопределённость начального изотопного и элементного состава. Если на момент образования объекта в нём уже было некоторое количество дочернего изотопа, рассчитанный возраст может быть завышен, а если впоследствии дочерний изотоп покидал объект — занижен. Для радиоуглеродного метода важно, чтобы не было нарушенным соотношение изотопов углерода в начальный момент, так как содержание продукта распада — ^{14}N — невозможно узнать (он ничем не отличается от обычного азота), и возраст можно определить только исходя из измерений не распавшейся доли материнского изотопа. Таким образом, необходимо как можно более точное изучение истории исследуемого объекта на предмет возможного обмена веществом с окружающей средой и возможных особенностей изотопного состава.



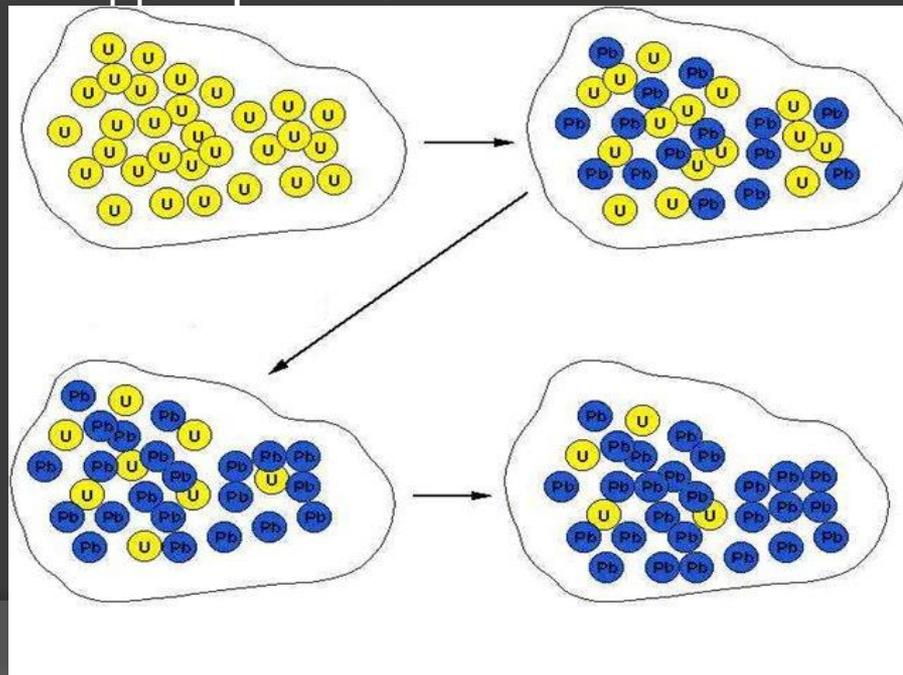
Метод изохрон

- Решить проблемы, связанные с привнесом или потерей материнского или дочернего изотопа, помогает метод изохрон. Он работает независимо от изначального количества дочернего изотопа и позволяет установить, был ли в истории объекта обмен веществом с окружающей средой.
- Этот метод основан на сравнении данных по разным образцам из одного геологического объекта, которые имеют заведомо одинаковый возраст, но отличаются элементным составом (следовательно, содержанием материнского радионуклида). Изотопный же состав каждого элемента в начальный момент должен быть одинаковым во всех образцах. Также эти образцы должны содержать вместе с дочерним изотопом какой-либо другой изотоп того же элемента. Образцы могут представлять как разные минералы из одного куска горной породы, так и разные части одного геологического тела.
- Метод изохрон применяется в разных радиоизотопных методах датировки, таких, как рубидий-стронциевый, самарий-неодимовый и уран-свинцовый.



Уран-свинцовый метод

- Уран-свинцовый метод — один из самых старых и хорошо разработанных способов радиоизотопного датирования и, при хорошем исполнении, самый надёжный метод для образцов с возрастом порядка сотен миллионов лет. При таком возрасте достижима точность порядка 0,1 %^[5]. Позволяет датировать даже образцы, близкие по возрасту к Земле, вследствие большого периода полураспада используемых изотопов урана. Большая надёжность и точность достигается благодаря тому, что используются два изотопа урана, цепочки распада которых кончаются разными изотопами свинца, а также благодаря некоторым свойствам циркона — минерала, обычно используемого для уран-свинцовых датировок.



- Используются следующие превращения:
- $^{238}\text{U} \rightarrow ^{206}\text{Pb}$ с периодом полураспада 4,47 млрд лет
- $^{235}\text{U} \rightarrow ^{207}\text{Pb}$ с периодом полураспада 704 млн лет
- Иногда в дополнение к ним используют распад тория-232 (уран-торий-свинцовый метод):
- $^{232}\text{Th} \rightarrow ^{208}\text{Pb}$ с периодом полураспада 14,01 млрд лет
- Все эти превращения идут во много стадий, но промежуточные нуклиды распадаются намного быстрее материнских.

- Чаще всего для датировок уран-свинцовым методом используют циркон ($ZrSiO_4$); в некоторых случаях — монацит, уранинит, титанит, бадделеит^[6], цирконолит ($CaZrTi_2O_7$)^[7] и даже кальцит и арагонит^{[8][9]}. Циркон имеет большую прочность, стойкость к химическим воздействиям, высокую температуру закрытия и широко распространён в извержённых породах. В его кристаллическую решётку легко встраивается уран и не встраивается свинец, поэтому весь свинец в составе циркона обычно можно считать радиогенным^[7]. В случае надобности количество нерадиогенного свинца можно рассчитать по количеству свинца-204, который не образуется при распаде данных изотопов урана^[10].
- Использование двух изотопов урана, распадающихся до разных изотопов свинца, даёт возможность определить возраст объекта даже в случае потери им некоторой части свинца (например, вследствие метаморфизма). Кроме того, можно определить возраст этого события метаморфизма.



© Геологический музей СПбГУ (СП)



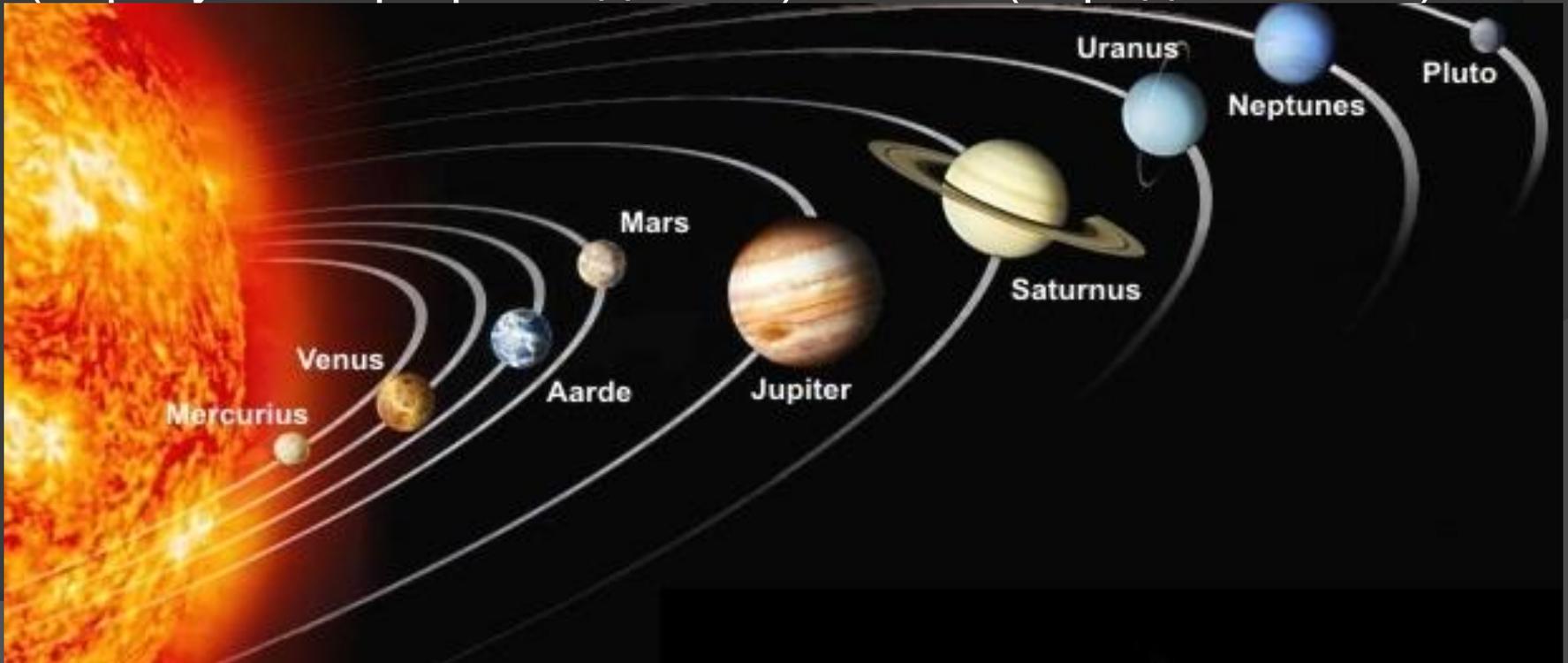
Калий-аргоновый метод

- ⊙ В этом методе используется распад изотопа ^{40}K , который составляет 0,012 % природного калия. Он распадается в основном двумя способами:
- ⊙ β^- -распад (вероятность 89,28 %):
- ⊙ электронный захват (вероятность 10,72 %):



Свинец-свинцовый метод

- Свинец-свинцовый метод обычно используется для определения возраста образцов, состоящих из смеси минералов (его преимущество в таких случаях перед уран-свинцовым методом связано с высокой подвижностью урана). Этот метод хорошо подходит для датировки метеоритов, а также земных пород, испытавших недавнюю потерю урана. Он основан на измерении содержания 3 изотопов свинца: ^{206}Pb (образуется при распаде ^{238}U), ^{207}Pb (образуется при распаде ^{235}U) и ^{204}Pb (нерадиоогенный).



Свинец-свинцовым методом было определено время формирования планет Солнечной системы (то есть возраст Земли). Это впервые сделал Клэр Кэмерон Паттерсон в 1956 году по исследованиям метеоритов разных типов. Поскольку они представляют собой осколки планетезималей, которые прошли гравитационную дифференциацию, разные метеориты имеют разное значение U/Pb , что позволяет построить изохрону. Оказалось, что на эту изохрону ложится и точка, представляющая среднее соотношение изотопов свинца для Земли. Современное значение возраста Земли — $4,54 \pm 0,05$ млрд лет^[9].

ИЗОХРОНА — 1. Линия, соединяющая точки, достигнутые сейсмическими волнами за один и тот же промежуток времени В теории полей времен под И. понимаются уровенные поверхности поля времени. 2. В абсолютной геохронологии прямая линия, все точки которой имеют одинаковый возраст, установленный любым из радиологических методов.

ПЛАНЕТЕЗИМАЛИ -тело, размером от нескольких миллиметров до нескольких километров, которое конденсировалось из облака газа и пыли в стороне от того места, где

Спасибо за просмотр