

**Research of radiogenic heat for the study the Upper Paleozoic strata of the Melekes Depression and the western side of the South Tatar Arch**  
**Исследование радиогенного тепла для изучения осадконакопления толщ верхнего палеозоя Мелекесской впадины и западного борта Южно-**

**Татарского свода.**

G.S. Khamidullina<sup>1</sup>, A.M. Muhamadiev<sup>2</sup>, I.N. Ognev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kazan Federal University, Kremlovskaya St. 4/5, 420111, Kazan, Russia

<sup>2</sup>TNG-LENGIS OOO, Chaikovskogo, 15, 423260, Leningorsk; Tatarstan Republic, Russia

**Введение**

Радиогенное тепло является фундаментальным фактором, влияющим на геологические процессы, такие как тектоника, метаморфизм и геотермальная история. Анализ радиогенного тепла позволяет лучше понять эти процессы и их влияние на формирование и эволюцию геологических структур и месторождений, а также помогает в определении геотермальных условий и тепловых потоков в бассейнах, что в свою очередь влияет на формирование и распределение нефти и газа в резервуарах. Изучение радиогенного тепла и бассейнового моделирования взаимосвязаны и дополняют друг друга, помогая лучше понять и объяснить геологические процессы, формирование месторождений и прогнозирование потенциала нефтегазоносности.

**Объект изучения**

Исследование радиогенного тепла были проведены как составляющая часть бассейнового моделирования для изучения осадконакопления толщ верхнего палеозоя Мелекесской впадины и западного борта Южно-Татарского свода (ЮТС).

Геологический разрез исследуемой территории представлен породами архея-протерозоя (кристаллический фундамент), палеозоя (осадочный чехол) и кайнозоя: девонской, каменноугольной, пермской, неогеновой, четвертичными системами.

**Методика исследований**

Радиогенное тепловыделение можно определить в лаборатории путем измерения содержания *K*, *U* и *Th* с помощью гамма-спектрометрии в образцах зерна или шлама. Но эти методы довольно утомительны и требуют много времени. В 1986 году Райбах вывел линейную зависимость между показателями ГК (в единицах API) и радиогенного тепла *A* [1].

Для расчета радиогенного тепла используется гамма-каротаж. В скважинах содержание калия, урана и тория можно определить по измерениям с помощью прибора для спектрометрии естественного гамма-излучения (NGS), а плотность горных пород - по измерениям с помощью прибора для определения плотности литологии (LDT). Для определения тепловыделения по обычным гамма-каротажам используется метод, основанный на линейной зависимости между GR гамма-излучения и тепловыделением *A* [1].

Данная зависимость использовалась для исследования материала каротажа скважин, расположенных на территории Мелекесской впадины и Западного борта ЮТС.

Расчет радиогенного тепла по ГК вычисляется по формуле (в мкВт/м<sup>3</sup>):

$$A \left[ \frac{mW}{m^3} \right] = 0.0158(GR[API] - 0.8),$$

где GR – гамма-излучение, мкР/ч.

Поскольку практически во всех разведочных и научных скважинах проводится измерение гамма-каротажа, то предложенная линейная зависимость с помощью вышеописанного метода дает возможность получить значения производства радиогенного тепла из нормального гамма-каротажа, приведенного в единицах API. Эта линейная зависимость между GR гамма-излучением и тепловыделением сохраняется для широкого круга горных пород от отложений к кристаллическим и метаморфическим породам и дает значения теплопродукции в пределах допустимой погрешности менее 10%. То есть предложенное соотношение является очень полезным инструментом для определения значений производства тепла в различных геологических средах по всему миру

**Результаты работ**

Обработка каротажных диаграмм с целью получения радиогенного тепла была произведена по данным 11 скважин, расположенных на территории Мелекесской впадины и Западного борта ЮТС. Диаграммы радиогенного тепла и геологические разрезы скважин представлены на рисунках.

На диаграммах скважин, расположенных в пределах Мелекесской впадины, можно увидеть повышенные значения радиогенного тепла в саргаевском, семилукском, мендымском, евлано-ливцевском, данково-лебедянском, заволжском, малевско-упинском, черепетском, серпуховском горизонтах, а также окском надгоризонте. В мендымском и семилукском горизонтах повышенные значения радиогенного тепла вероятно связаны с крупными скоплениями органического вещества. В серпуховском и окском горизонтах связаны с тем, что во время осадконакопления было сильное засоление.

На диаграммах скважин, расположенных в пределах Западного борта ЮТС, можно увидеть повышенные значения радиогенного тепла в задонско-елецком, данково-лебедянском, заволжском, малевско-упинском, черепетском, бобриковском, окском и серпуховском горизонтах. Все повышенные значения связаны с флюидонасыщением. В мендымском и семилукском горизонтах породы темного цвета – представлены доманикоидами.

Высокие значение радиогенного тепла (*A*), наблюдаемые в карбонатных отложениях окского надгоризонта (до 0,399 мкВт/м<sup>3</sup>) и тульского горизонта (до 0,243 мкВт/м<sup>3</sup>), вероятнее всего, связано с тем, что на данной территории осадконакопления происходили в сильно засоленном бассейне (на что указывает светлый цвет пород), где помимо ионов натрия присутствовали ионы калия, которые и могли увеличить значения радиогенного тепла.

В девонских отложениях повышенные значения (*A*), наблюдаемые в семилукском (до 0,413 мкВт/м<sup>3</sup>) и мендымском (до 0,245 мкВт/м<sup>3</sup>) горизонтах, вероятнее всего, связаны с возможной органикой в указанных отложениях. На территории Мелекесской впадины указанные отложения представлены доманикоидами. Предположительно положительные аномалии указывают на процессы углеводородогенерации. На, что указывает битумонасыщение этих пород.

А например, верейский горизонт (до 0,1 мкВт/м<sup>3</sup>), частично сложен глинами, но при этом значения *A* крайне малы. Это вероятнее всего связано с тем, что в данных областях не было сноса радиоактивных элементов во время осадконакопления глинистого материала.

Анализ радиогенного тепла был также рассмотрен с позиции различных условий осадконакопления (см. таблицу).

Анализ распределения радиогенного тепла показал, что самые высокие значения радиогенного тепла известняков наблюдаются в наиболее заглубленных участках донного рельефа. Высокие значения *A* для доломитов наблюдаются в обстановках шельфового мелководья с неустойчивым солевым режимом вод, а для аргиллитов во впадинной области шельфа. Самые низкие значения для известняков наблюдаются в условиях мелководного морского бассейна. Низкие значения *A* для доломита наблюдаются преимущественно во впадинной области шельфа, а для аргиллитов в условиях мелководного морского бассейна.

Таким образом, исследования показали, что повышенные значения радиогенного тепла в мендымском и семилукском, данково-лебедянском, заволжском, малевско-упинском, черепетском, окском и серпуховском горизонтах могут быть связаны как с условиями осадконакопления, так и возможными процессами углеводородогенерации (доманикоиды). Осадконакопление пород доманикоидных формаций верхнедевонско-турнейского возраста происходило преимущественно в восстановительной обстановке. Характерной особенностью этих отложений является обогащенность их органическим углеводородом и сульфидной серой при значительном содержании кремнезема, что свидетельствует о широком развитии восстановительной обстановки осадконакопления.

**Выводы**

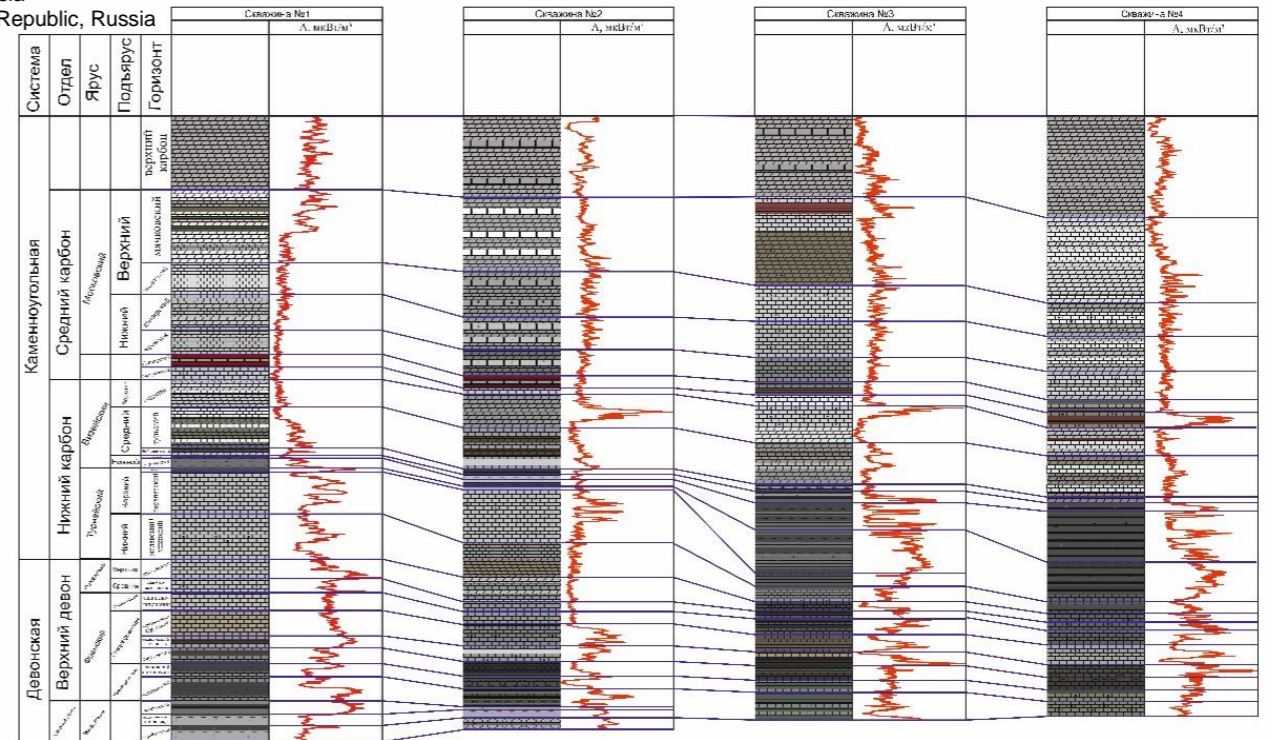
Радиогенное тепло можно получить из гамма-каротажа. Пересчет гамма-каротажа в радиогенное тепло позволяет получать информацию о тепловом поле Земли без проведения термокаротажа. Изучение выработки тепла затем может быть использована для прогнозирования и объяснения изменений температуры с глубиной, для моделирования распределения температуры, для интерпретации вариаций теплового потока и для моделирования термической эволюции осадочных бассейнов.

*Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках соглашения № 075-15-2022-299 о предоставлении гранта в форме субсидий из федерального бюджета на осуществление государственной поддержки создания и развития научного центра мирового уровня «Рациональное освоение запасов жидких углеводородов планеты»*

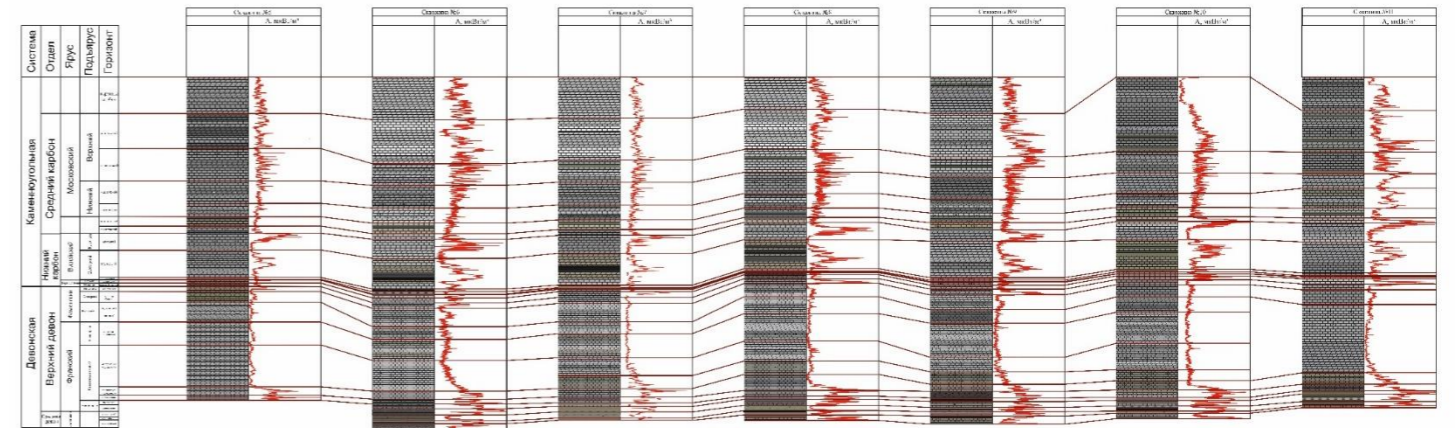
**Литература**

1. Christian Buecker, Ladislaus Rybach, A simple method to determine heat production from Gamma ray logs / Article in Marine and Petroleum Geology, Vol. 13, №4, 1996. – Pp. 373-375.

**Разрезы скважин и диаграммы радиогенного тепла Мелекесской впадины**



**Разрезы скважин и диаграммы радиогенного тепла Западного борта ЮТС**



**Значения радиогенного тепла горных пород для различных условий осадконакопления**

Условия осадконакопления	<i>A</i> известняка, мкВт/м <sup>3</sup>	<i>A</i> доломита, мкВт/м <sup>3</sup>	<i>A</i> аргиллита/глин, мкВт/м <sup>3</sup>	<i>A</i> песчаника, мкВт/м <sup>3</sup>
в обстановке шельфового мелководья	0.045 – 0.1	0.012 – 0.059	0.09 – 0.2	-
в обстановках шельфового мелководья с неустойчивым солевым режимом вод	0.012 – 0.146	0.009 – 0.15	-	-
в умеренно глубоководной области шельфа	0.088 – 0.136	-	0.126 – 0.185	-
в заглубленных склоновых областях шельфа, временами с развитием органогенных построек	0.05 – 0.15	0.05 – 0.12	0.14 – 0.2	-
в относительно заглубленной области шельфа	0.095 – 0.158	-	0.157 – 0.35	-
в наиболее заглубленных участках донного рельефа преимущественно во впадинной области шельфа	0.04 – 0.173	-	-	-
во впадинной области шельфа	0.013 – 0.128	0.001 – 0.039	0.125 – 0.228	-
в условиях мелководного морского бассейна	0.08 – 0.15	0.05 – 0.073	0.132 – 0.29	-
в мелководных морских обстановках	0.025 – 0.15	0.025 – 0.2	0.043 – 0.17	-
в прибрежно-морских обстановках	0.04 – 0.13	0.05 – 0.12	0.08 – 0.2	-
в прибрежно-морских унаследованных впадинных обстановках	0.05 – 0.1	0.05 – 0.1	-	-
в прибрежно-морских унаследованных впадинных обстановках	-	-	0.106 – 0.224	0.032 – 0.088
в условиях мелководного морского бассейна	0.03 – 0.084	0.031 – 0.06	0.03 – 0.095	-
в условиях прибрежно-мелководного морского бассейна	0.06 – 0.1	0.07 – 0.12	-	-
в относительно приподнятых участках донного рельефа мелководного морского бассейна	0.008 – 0.075 и 0.234 – 0.399	0.05 – 0.3	0.071 – 0.123	-
в относительно приподнятых участках донного рельефа мелководного морского бассейна	0.012 – 0.121 и 0.092 – 0.2	0.04 – 0.08	0.096 – 0.266 и 0.031 – 0.095	0.008 – 0.042
в континентальной обстановке	0.011 – 0.046	0.38 – 0.095	0.034 – 0.1	0.02 – 0.09