



Санкт-Петербургский  
государственный  
университет  
www.spbu.ru

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ «САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

ИНСТИТУТ НАУК О ЗЕМЛЕ  
КАФЕДРА ОСАДОЧНОЙ ГЕОЛОГИИ

# КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ АУТИГЕННЫХ КАРБОНАТОВ В КАТАГЕНЕЗЕ И ИХ ВОЗМОЖНАЯ СВЯЗЬ С УГЛЕВОДОРОДАМИ

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
ПО НАПРАВЛЕНИЮ «ГЕОЛОГИЯ»

ВЫПОЛНИЛА:  
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ:

УРАЗМУРАТОВА ЗАРИНА ФАЙЗУЛЛАЕВНА  
КРЫЛОВ АЛЕКСЕЙ АЛЕКСЕЕВИЧ, К.Г.-М.Н, ДОЦЕНТ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

2020



**Целью** работы является изучение кристаллизации аутигенных карбонатов в зоне катагенеза в перспективных нефтегазоносных провинциях, выявление источников углерода и их возможной связи с углеводородами.

Были поставлены следующие задачи:

- Изучить геологическое строение региона по литературным данным
- Составить представление об условиях генерации углеводородов и кристаллизации карбонатов в диагенезе и катагенезе на основе литературных данных
- Изучить изотопно-геохимические особенности образцов из региона
- Выявить условия их формирования и составить заключение о механизмах их кристаллизации



# ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ЗАПАДНО-СИБИРСКОГО РЕГИОНА

- Двухэтажное платформенное строение плиты
- Баженовский горизонт и подстилающие его свиты абалакская и георгиевская формируют единый комплекс морских пород с повышенным содержанием органического вещества, сформировавшийся в юрское – меловое время в максимум трансгрессии на Западно-Сибирской плите.





# ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ РАЗЛИЧИЯ КАТАГЕНЕЗА И ДИАГЕНЕЗА

Диагенез начинается сразу после накопления осадка и заканчивается на стадии образования горных пород. Движущей силой диагенетических процессов, в первую очередь, является активность микроорганизмов.

Катагенез – стадия бытия и глубинного преобразования осадочного вещества под действием высокой температуры и высокого давления.

В данной работе при рассмотрении кристаллизации карбонатов стадия катагенеза выделена условно в области с температурами выше 50°C, поскольку, начиная с этой температуры CO<sub>2</sub> генерируется за счет температурной деструкции карбоксильных групп у керогена, а микробы перестают быть активными.

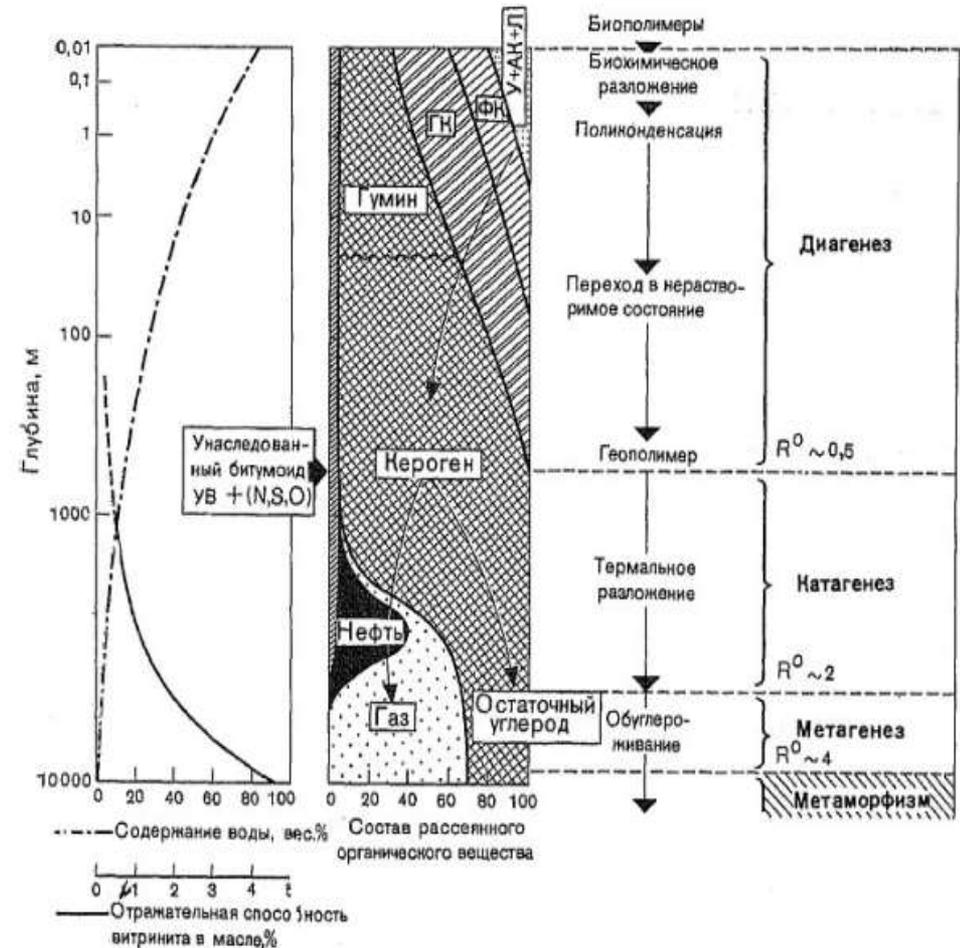


Схема эволюции органического вещества с момента его отложения до начала метаморфизма по Б. Тиссо и Д. Вельте, 1981 г.

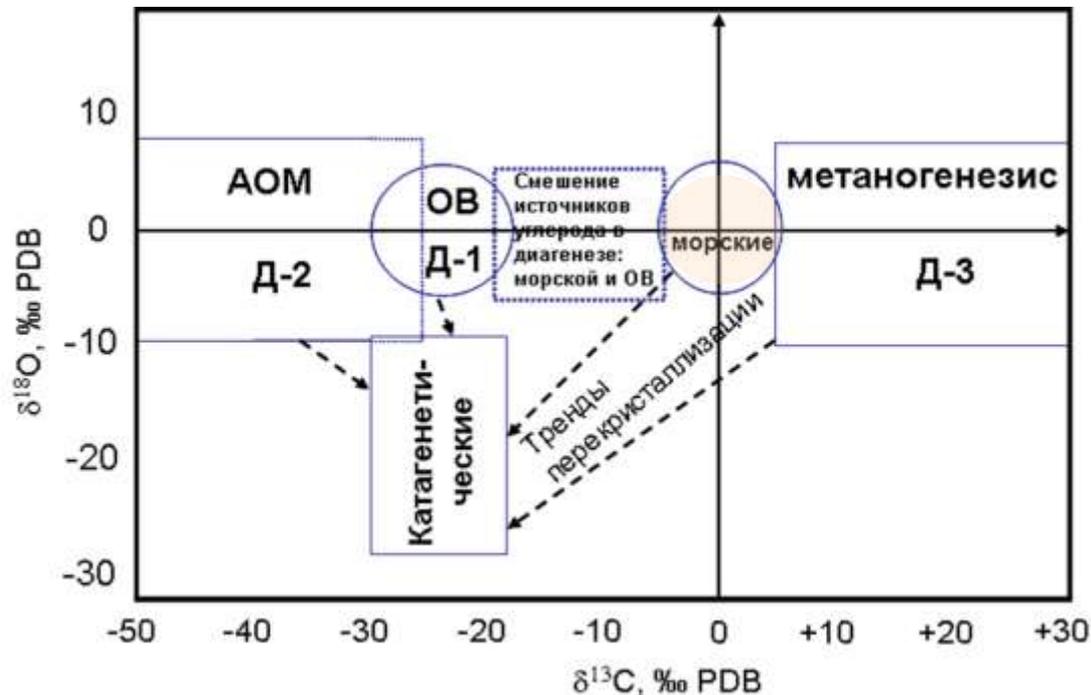


- 1) органогенные-биохемотрогенные;
- 2) диагенетические за счет микробиальной деструкции органического вещества («диагенетические-1»);
- 3) диагенетические за счет аэробного/анаэробного окисления биохимического/катагенетического метана («диагенетические-2»);
- 4) диагенетические за счет микробиальной генерации метана («диагенетические-3»);
- 5) «гидротермальные» (окисление абиогенного метана);
- 6) «катагенетические» (деструкция керогена).



# ОРГАНОГЕННЫЕ-БИОХЕМОГЕННЫЕ («МОРСКИЕ»)

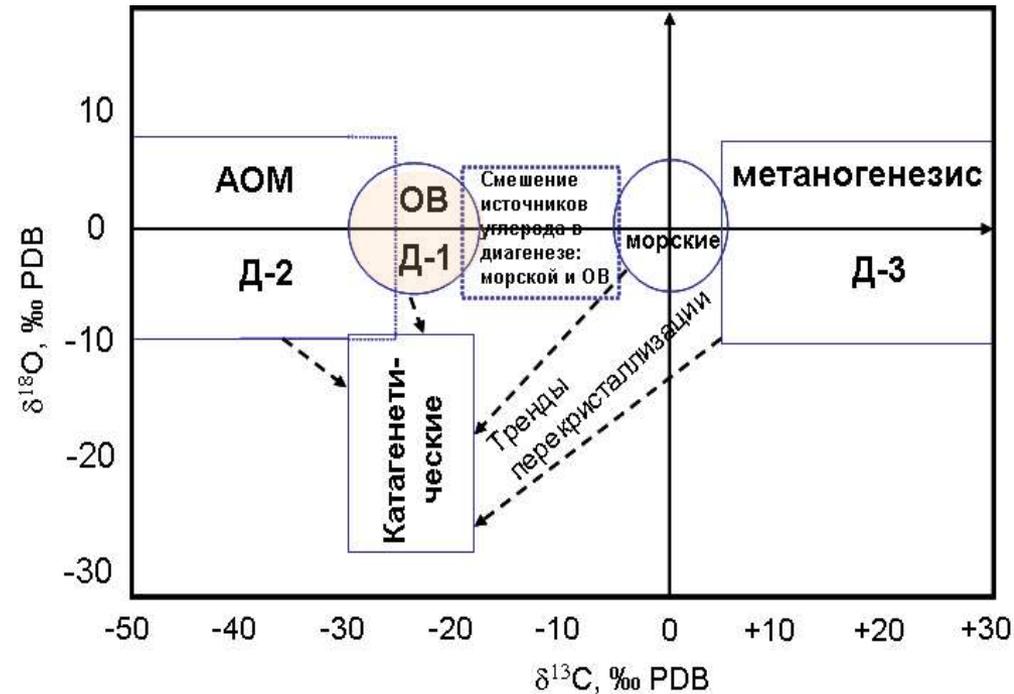
Источником углерода и кислорода в карбонатах является морская, океаническая или озерная вода, что, в первом приближении, приводит к близости их изотопных ( $\delta^{13}\text{C}$  и  $\delta^{18}\text{O}$ ) составов (  $0 \pm 3 \text{‰}$  )





## «ДИАГЕНЕТИЧЕСКИЕ-1»

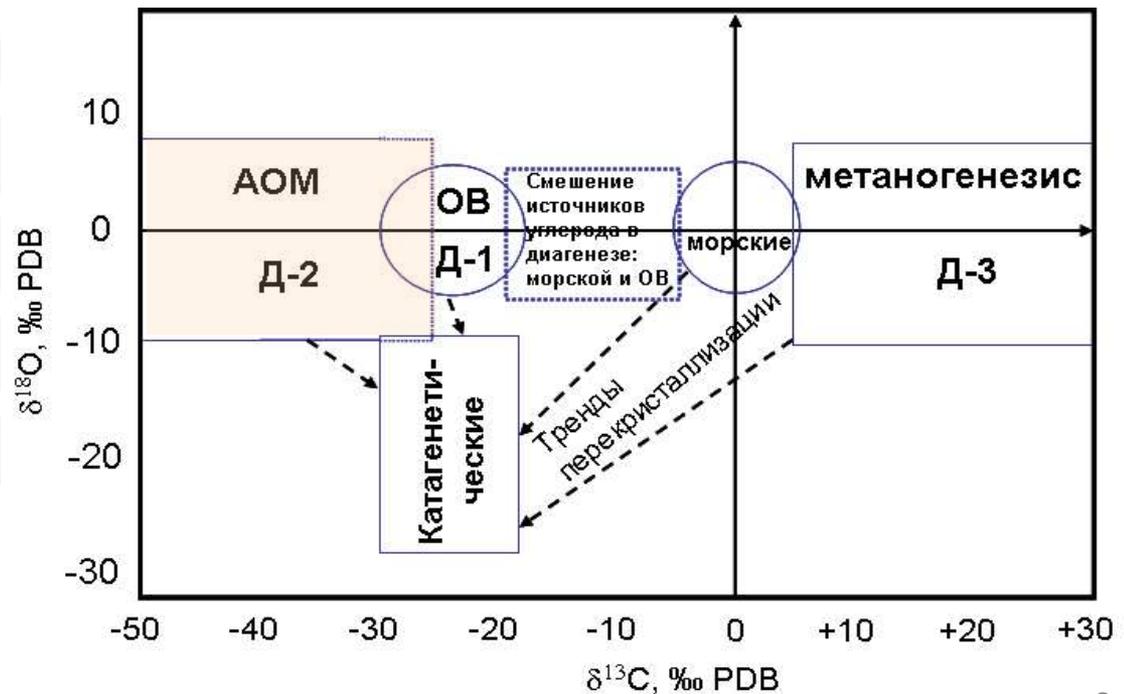
- $\delta^{13}\text{C}$  в карбонатах «диагенетических-1» будут стремиться к  $-25\text{‰ VPDB}$
- Значения  $\delta^{18}\text{O}$  варьируют около  $\sim 0\text{‰ VPDB}$  ( $\sim$  от  $-4$  до  $+5\text{‰}$ , в зависимости от  $T^\circ\text{C}$  и  $S, \text{‰}$  воды). Однако, фиксируется незначительное облегчение значений  $\delta^{18}\text{O}$  с глубиной ниже поверхности дна.





## «ДИАГЕНЕТИЧЕСКИЕ-2»

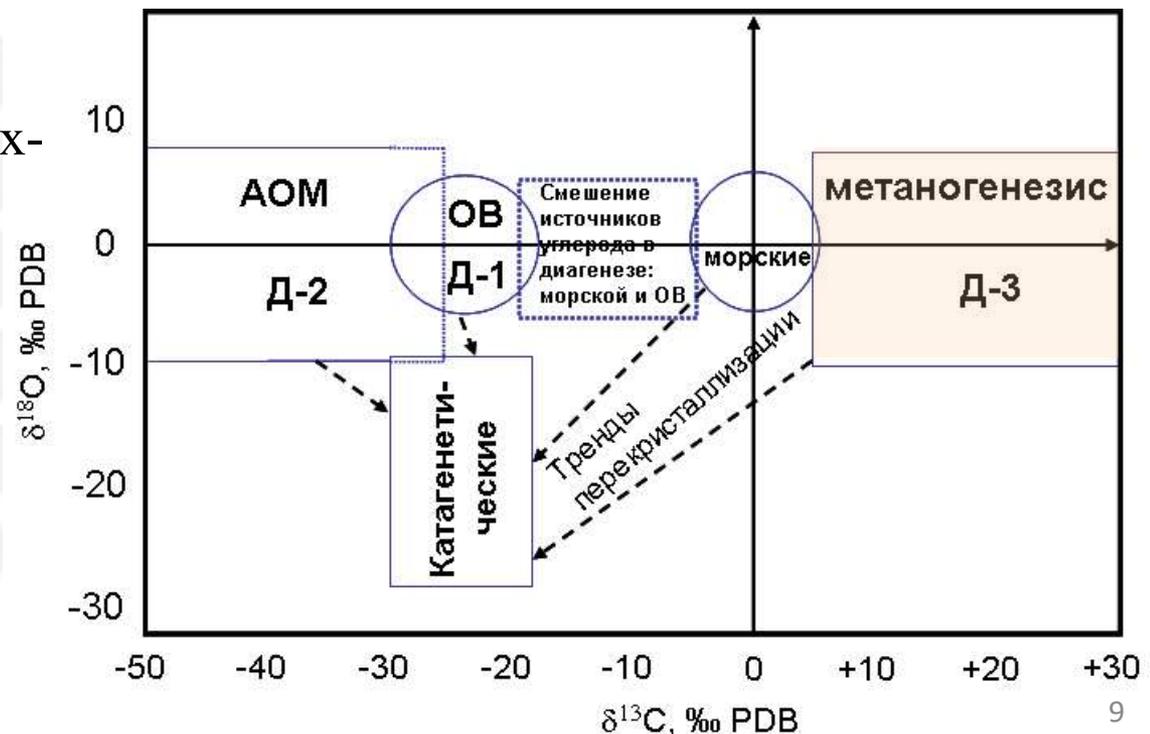
- $\delta^{13}\text{C}$  легче  $-25\text{‰}$
- Значения  $\delta^{18}\text{O}$ , как правило, будут близки к таковым в «морских» и «диагенетических-1» карбонатах ( $-10 - 0 \text{‰}$ )





## «ДИАГЕНЕТИЧЕСКИЕ-3»

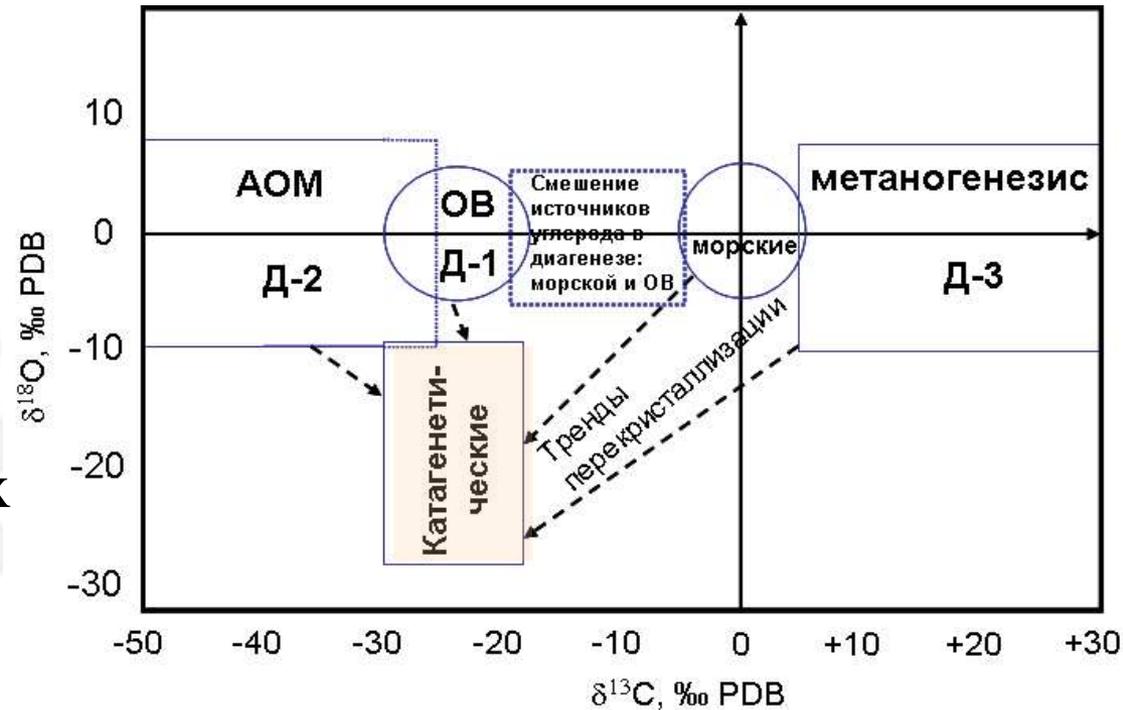
- Величины  $\delta^{13}\text{C}$  превышают  $+5\text{‰}$  и могут достигать до  $+21.9\text{‰}$
- Значения  $\delta^{18}\text{O}$ , в основном, схожи с таковыми у «диагенетических-2» карбонатов ( $-10 - 0\text{‰}$ ). Тем не менее, у «диагенетических-3» карбонатов должна наблюдаться тенденция к некоторому облегчению величин  $\delta^{18}\text{O}$ , связанному с большей глубиной их кристаллизации.





## «КАТАГЕНЕТИЧЕСКИЕ»

Выделяются наличием относительно легкого изотопного состава углерода ( $\delta^{13}\text{C} \sim$  от  $-15$  до  $-25\text{‰}$  VPDB) и легкого состава кислорода, поскольку формирование карбонатов при повышенных температурах приводит к концентрированию изотопов  $^{16}\text{O}$  (от  $-10$  до  $-30\text{‰}$ )





- **Кальцит:**

1)  $10^3 \ln \alpha(\text{кальцит-H}_2\text{O}) = 18.03 \cdot (10^3 \cdot T^{-1}) - 32.42$ , для  $t = 10-40^\circ\text{C}$  (Kim, O'Neil, 1997),

$$T = 18,03 \times 10^3 / (32,42 + 10^3 \ln \alpha_{\text{cal-w}});$$

2)  $10^3 \ln \alpha(\text{кальцит-H}_2\text{O}) = 2.78 \cdot (10^6 \cdot T^{-2}) - 2.89$ , для  $t = 0 - 500^\circ\text{C}$  (O'Neil et al., 1969),

$$T^2 = 2,78 \times 10^6 / (2,89 + 10^3 \ln \alpha_{\text{cal-w}}).$$

- **Доломит:**

3)  $10^3 \ln \alpha(\text{доломит-H}_2\text{O}) = 2.73 \cdot (10^6 \cdot T^{-2}) + 0.26$  (Vasconcelos et al., 2005)

$$T^2 = (-2,73 \times 10^6) / (0,26 - 10^3 \ln \alpha_{\text{dol-w}});$$

4)  $10^3 \ln \alpha(\text{доломит-H}_2\text{O}) = 3.14 \cdot (10^6 \cdot T^{-2}) - 3.14$ , для  $t = 80-350^\circ\text{C}$  (Horita, 2014),

$$T^2 = (3,14 \times 10^6) / (3,14 + 10^3 \ln \alpha_{\text{dol-w}}).$$

- **Анкерит:**

5)  $10^3 \ln \alpha(\text{анкерит-H}_2\text{O}) = 4.073 \cdot 10^6 / T^2 - 4.562 \cdot 10^3 / T + 1.69$  (Zheng, Bottcher, 2016);

6)  $10^3 \ln \alpha(\text{анкерит-H}_2\text{O}) = 2.78 \cdot (10^6 \cdot T^{-2}) + 0.11$  (Fisher, Land, 1986),

$$T^2 = (2,78 \times 10^6) / (10^3 \ln \alpha_{\text{ank-w}} - 0,11).$$

- **Сидерит:**

7)  $10^3 \ln \alpha(\text{сидерит-H}_2\text{O}) = 3.13 \cdot (10^6 \cdot T^{-2}) - 3.50$ , для  $t = 33-197^\circ\text{C}$  (Carothers et al., 1988),

$$T^2 = 3,13 \times 10^6 / (3,50 + \ln \alpha_{\text{sid-w}});$$

8)  $10^3 \ln \alpha(\text{сидерит-H}_2\text{O}) = 2.56 \cdot (10^6 \cdot T^{-2}) + 1.69$ , для  $t = 45-75^\circ\text{C}$  (Zhang et al., 2001),

$$T^2 = 2,56 \times 10^6 / (10^3 \ln \alpha_{\text{sid-w}} - 1,69);$$

9)  $10^3 \ln \alpha(\text{сидерит-H}_2\text{O}) = 2.89 \cdot (10^6 \cdot T^{-2}) - 2.81$  (Becker, Clayton, 1976),

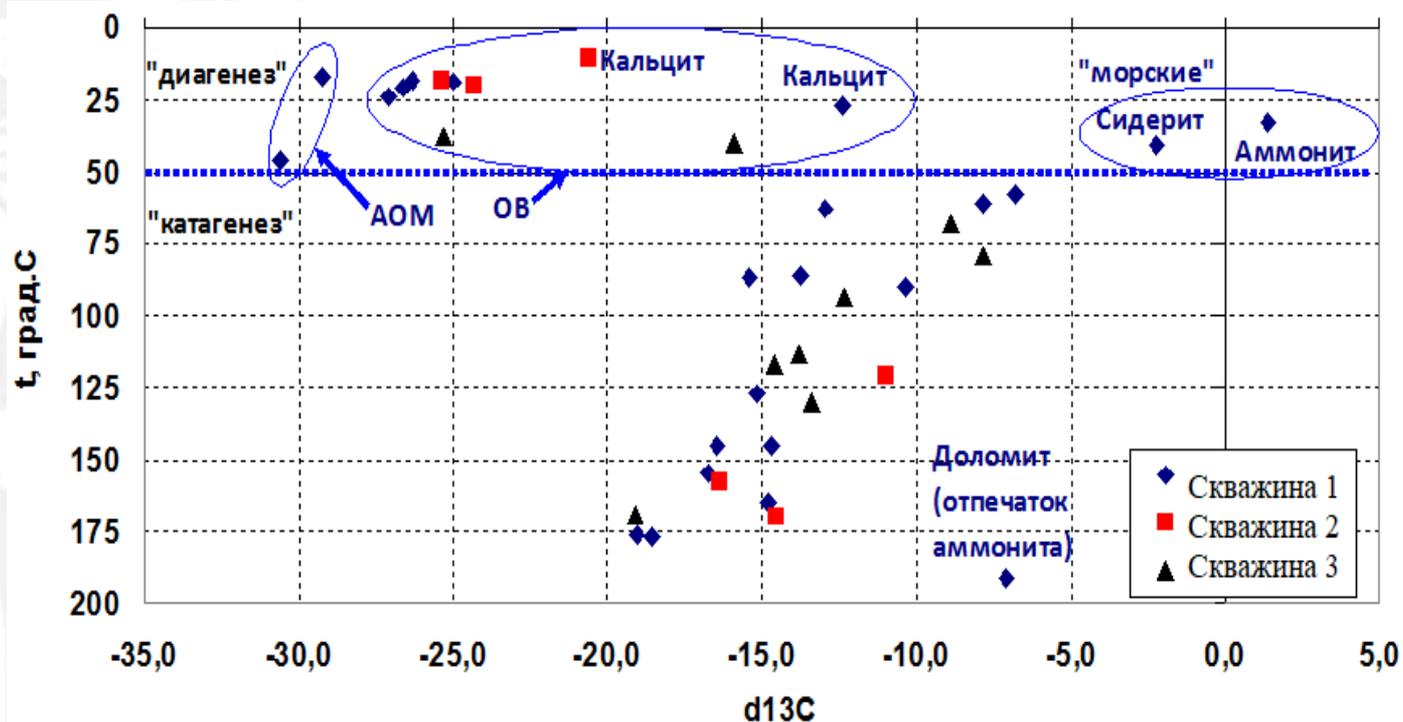
$$T^2 = 2,89 \times 10^6 / (10^3 \ln \alpha_{\text{sid-w}} + 2,81),$$

во всех уравнениях  $T$  обозначает температуру в Кельвинах,  $\alpha$  – коэффициент изотопного фракционирования кислорода.



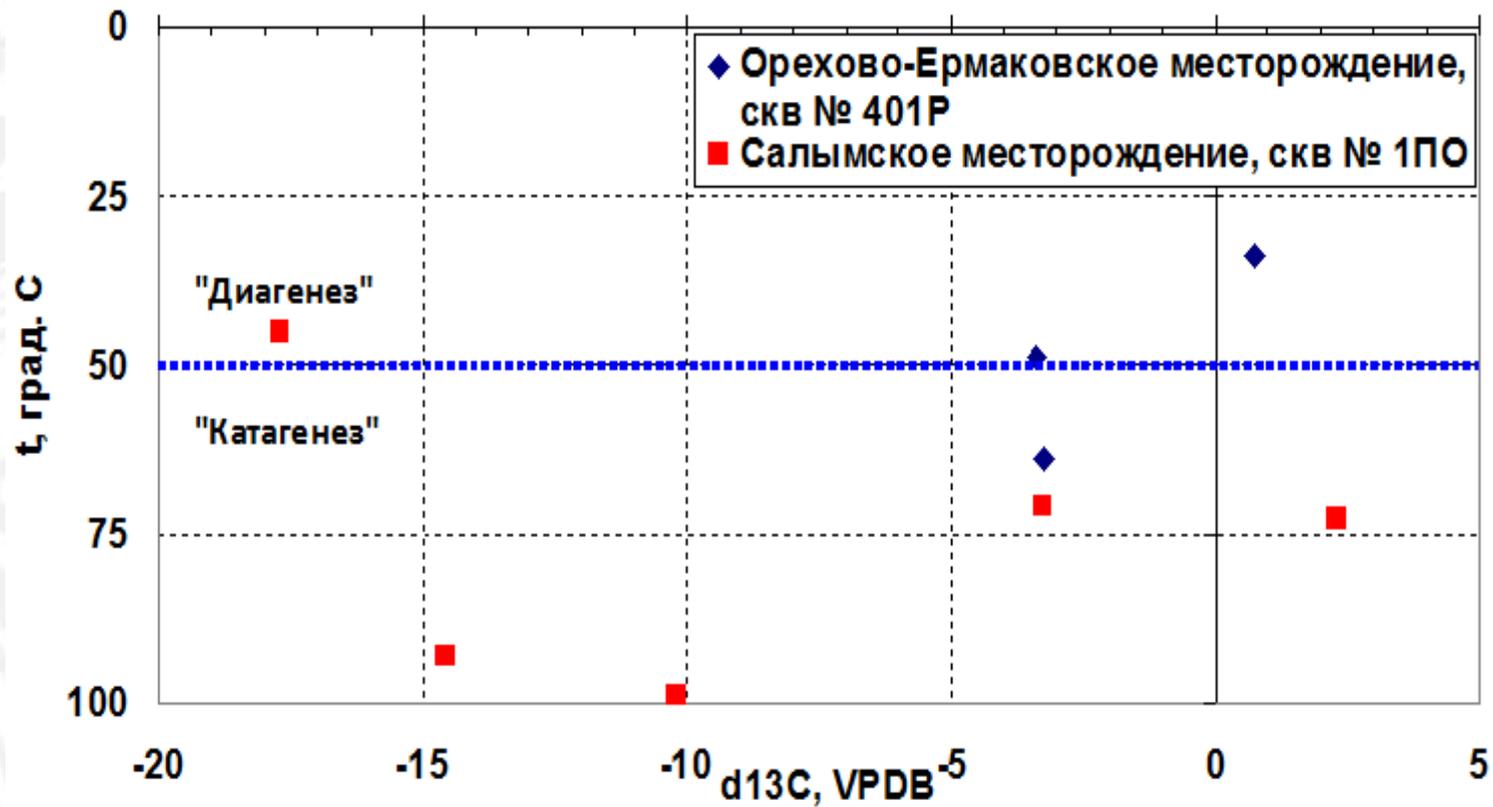
# КАРБОНАТЫ ПАЛЪЯНОВСКОЙ ПЛОЩАДИ

## Результаты интерпретации геохимических анализов



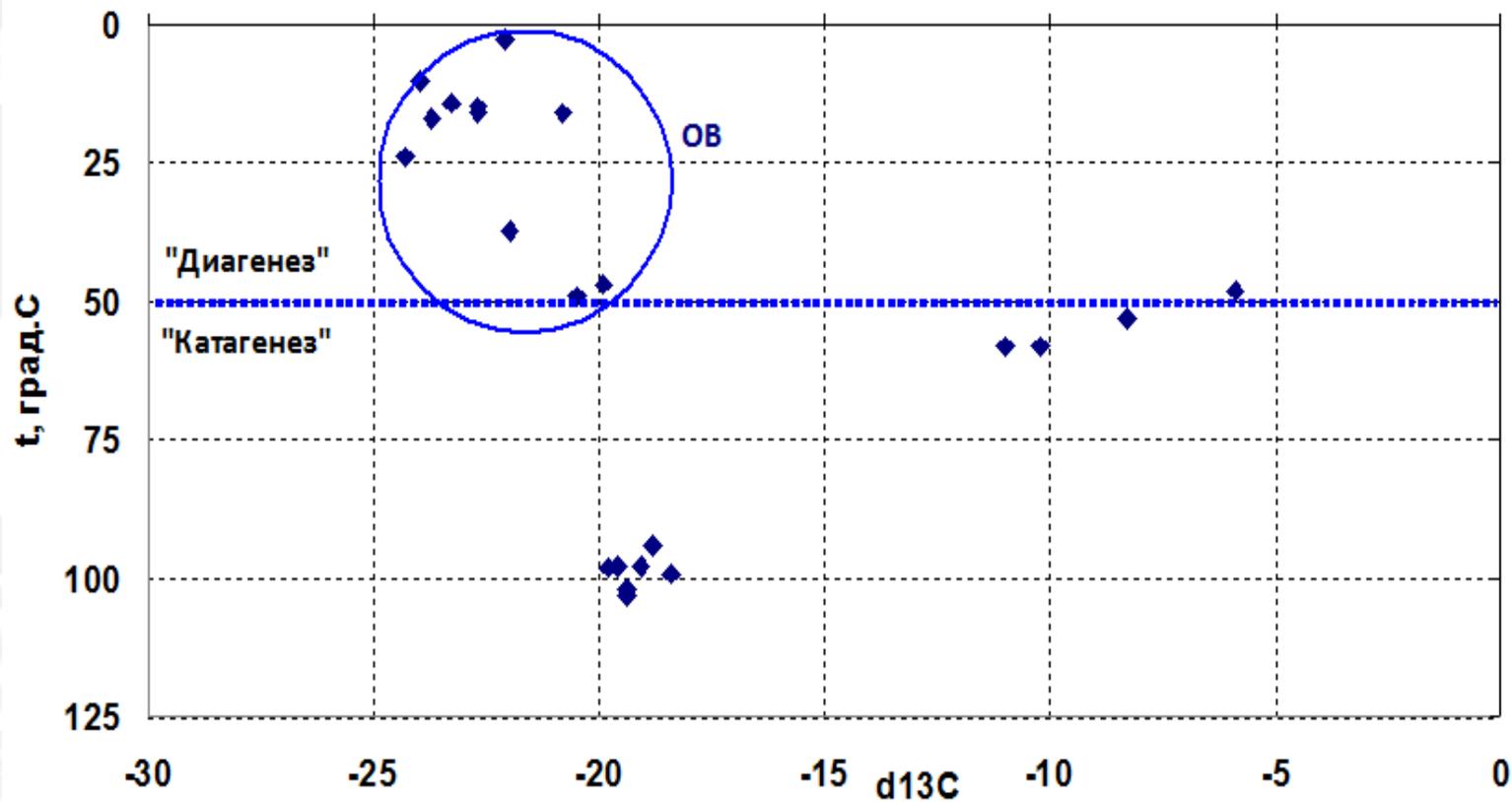


# КАРБОНАТЫ ОРЕХОВО-ЕРМАКОВСКОГО И САЛЫМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ



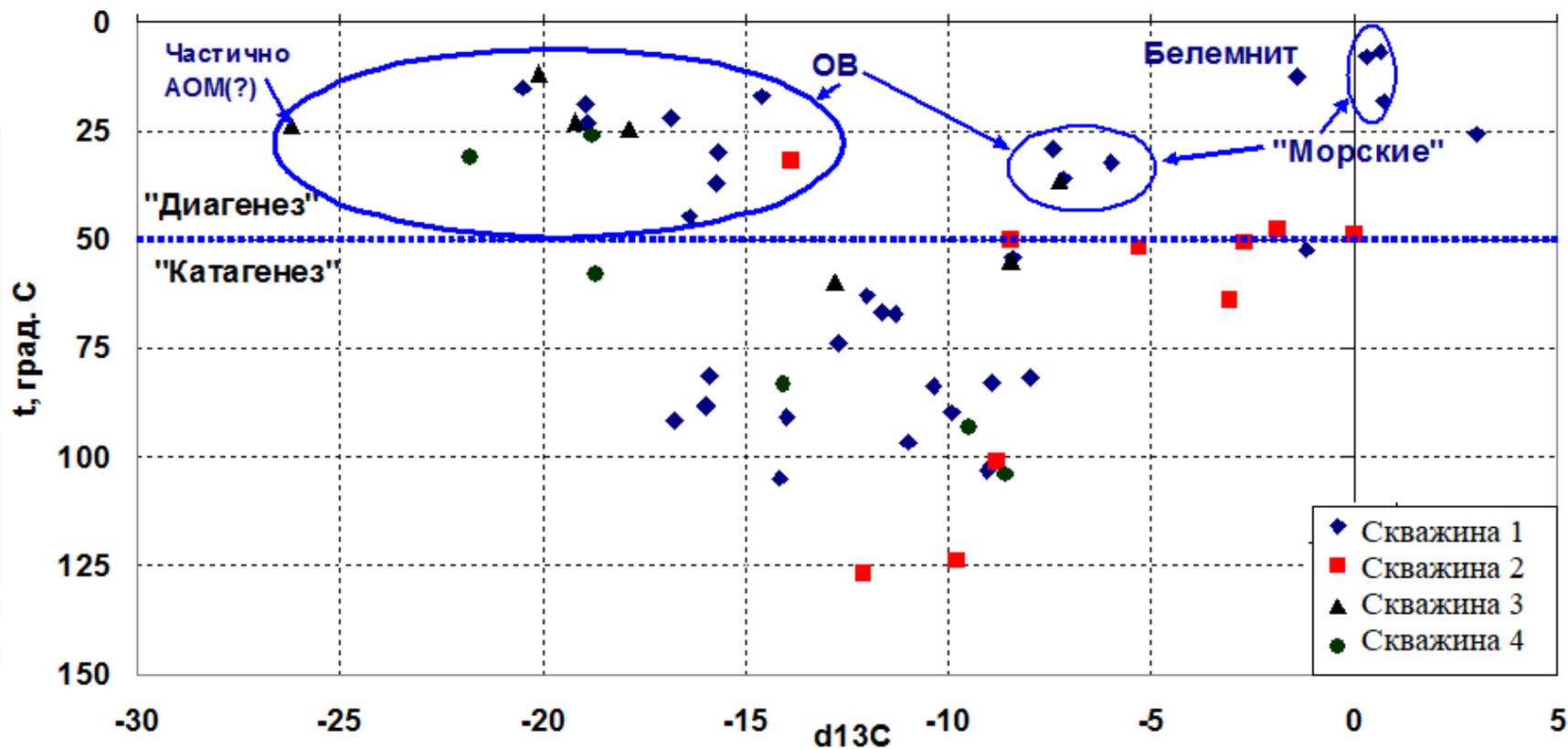


# КАРБОНАТЫ КРАСНОЛЕНИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ.





# КАРБОНАТЫ ПРИОБСКОЙ ПЛОЩАДИ





## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

- На всех изученных площадях присутствуют карбонаты трех основных типов: «морские», «диагенетические-1» и «катагенетические».
- Изотопный состав основной части образцов является результатом смешения этих типов
- Наиболее ярко выражен тренд смешения в ряду «кероген-море»: обогащение легким изотопом  $^{12}\text{C}$  с облегчением значений  $\delta^{18}\text{O}$ .
- Области «диагенетических-1» карбонатов обычно расположены особняком на диаграммах « $\delta^{13}\text{C}$  vs  $\delta^{18}\text{O}$ » и « $\delta^{13}\text{C}$  vs  $t^\circ\text{C}$ ». Тем не менее, между ними и «морскими» карбонатами всегда присутствуют промежуточные по изотопному составу разности, сформированные при смешении углерода в ряду «ОВ-морские».



Спасибо за внимание!

Санкт-Петербургский  
государственный университет  
[spbu.ru](http://spbu.ru)