

А.А. Чернецкий, стажер, КНТЦ ОАО «НК «Роснефть», e-mail: achernetsky@ Rambler.ru;
М.А. Кузнецов, заместитель генерального директора, ООО «РН-СахалинНИПИморнефть»;
Ю.И. Галушкин, д.т.н., ведущий научный сотрудник, МГУ им. М.В. Ломоносова

ЧИСЛЕННАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТРАППОВ НА КАТАГЕНЕТИЧЕСКОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ПОРОД ПОДТРАППОВЫХ ФОРМАЦИЙ

A NUMERICAL EVALUATION OF THE INFLUENCE OF TRAPS ON KATAGENETIC TRANSFORMATIONS IN UNDERLYING ROCKS

A.A. Chernetsky, CSTC OJSC «Oil company «Rosneft»; M.A. Kuznetsov, JSC «RN - SakhalinNIPIMorNeft»; Y.I. Galushkin, Lomonosov MSU

The work purpose is in acquisition of the numerical evaluation of the width of the trap envelope affecting the underlying sedimentary rock strata and determination of the dependence of the width on different factors. The task solution included the modeling of the process of sedimentary accumulation and the thermal effect caused by the molten basalt erupted onto the sedimentary rock surface.

Keywords: trappean magmatism, metamorphism, contact zone, temperature history.

Трапповый магматизм происходил на Земле на всех континентах в разное время: от 150 до 300 млн лет назад. Наиболее крупные трапповые провинции расположены на Восточно-Сибирской платформе (Россия), на Деканском плоскогорье (Индия), а также на территории Аргентины, Венесуэлы и Колумбии. Трапповый магматизм включает в себя не только поверхностные излияния лавы, но и внедрения магматического тела в осадочную толщу, называемые силлами или интрузиями. Внедрение расплавленного базальтового тела в осадочный чехол могло привести как к разрушению залежей углеводородов и выжиганию месторождений нефти и газа, так и к ускорению процесса созревания органического вещества. Определение степени катагенетического преобразования нефтематеринских пород является важным элементом

оценки перспектив нефтегазоносности любого района. Влияние интрузий на нефтегазоносность осадочных бассейнов рассматривалось в ряде работ [1, 2, 3, 4, 5, 6]. В частности, в работе [5] показано, что модель мгновенного вмещения интрузии в осадочный чехол заметно завышает термический эффект интрузии и что модель с конечным временем формирования интрузии удовлетворительно объясняет размеры ореолов зрелости ряда хорошо датированных интрузивных тел. В настоящей работе анализируется проблема излияния траппов на поверхность, наименее изученная в литературе. Цель работы – получить численную оценку ширины ореола воздействия траппов на низлежащие толщи осадков и установить зависимость этой ширины от различных факторов (входных параметров модели). Под

ореолом термического воздействия подразумевается область, в которой метаморфизм пород превышает фоновое значение (до излияния). Решение задачи включало моделирование процесса накопления осадков и термического воздействия расплавленного базальта, излившегося на поверхность осадочной толщи.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ

Формирование траппов происходит в процессе излияния на поверхность магм, поднимающихся по трещинам из мантии с больших глубин. Решая уравнение теплопроводности в области, включающей формирующиеся траппы, осадки и подстилающий фундамент, можно определить глубинное распределение температур $T(z)$ в осадках в любой момент времени после начала излияния траппов. Таким образом,

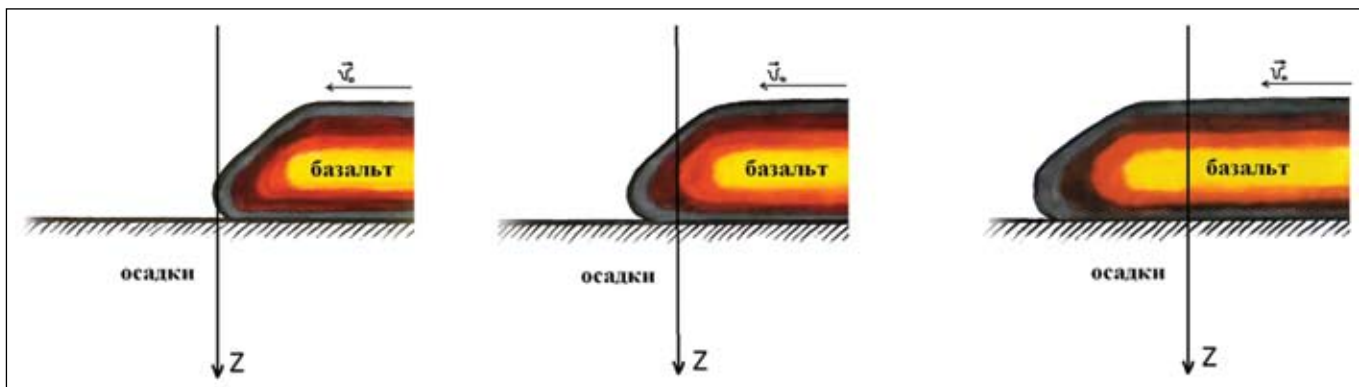


Рис. 1. Модель излияния траппов в оболочке из относительно остывших пород

можно определить температурную историю $T(t)$ в процессе погружения любого бесконечно малого слоя осадков до заданной глубины Z во время формирования и при остывании толщи траппов. Зная эту температурную историю, можно определить степень катагенетического преобразования пород под траппами, рассчитав значения отражательной способности витринита $Ro\%$ пород погружающейся свиты с использованием параметров кинетического спектра созревания витринита из работы [7].

В одномерном случае уравнение теплопроводности для вертикального элемента объема с единичной площадью поперечного сечения и толщиной dZ , в пренебрежении теплогенерацией пород, имеет вид [1]:

$$\frac{\partial [C_v(Z,t) \cdot T(Z,t)]}{\partial t} = \frac{\partial [K(Z,t) \cdot \frac{\partial T(Z,t)}{\partial Z}]}{\partial Z} \quad (1)$$

Здесь C_v – объемная теплоемкость породы, Z – глубина, t – время, T – температура, K – теплопроводность породы. Основной особенностью уравнения теплопроводности (1) является то, что теплофизические параметры C_v и K , а также плотность осадочных пород заметно меняются с глубиной и временем, будучи функциями литологического состава, температуры и особенно пористости пород [8]:

$$\begin{aligned} \rho(Z) &= \rho_m [1 - \varphi(Z) + \rho_w \varphi(Z)], \\ C_w(Z) &= C_{vm} [1 - \varphi(Z) + C_{vw} \varphi(Z)], \\ K(Z) &= K_m [1 - \varphi(Z)] K_w^{\varphi(Z)}, \end{aligned} \quad (2)$$

где C_{vm} и K_m – теплоемкость и теплопроводность скелета породы, C_{vw} и K_w – теплоемкость и теплопроводность воды. Теплопроводность скелета породы

уменьшается с ростом температуры по закону [8]:

$$K_m(T) = K_m(T=0^\circ\text{C}) / (1 + A_1 T) \quad (3)$$

где A_1 – температурный коэффициент матричной теплопроводности. В настоящем исследовании использовалась экспоненциальная зависимость пористости от глубины $\varphi = \varphi(Z)$ [9]:

$$\varphi(Z) = \varphi(0) \exp(-Z/B) \quad (4)$$

где $\varphi(0)$ – пористость осадков при их отложении на поверхности (среднее значение для верхних 100–150 м осадков данной литологии), B – масштаб изменения пористости с глубиной. Эта эмпирическая формула хорошо описывает пористость для осадков однородной литологии.

В качестве граничных условий для уравнения (1) было принято постоянство температуры в основании области счета ($T_{\text{deep}} = 1050^\circ\text{C}$ на

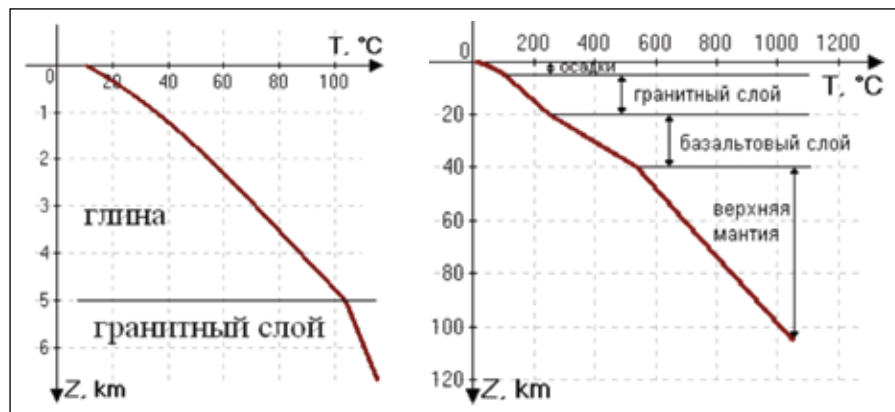


Рис. 2. Модель распределения температур: слева – в осадках, справа – в подстилающем фундаменте

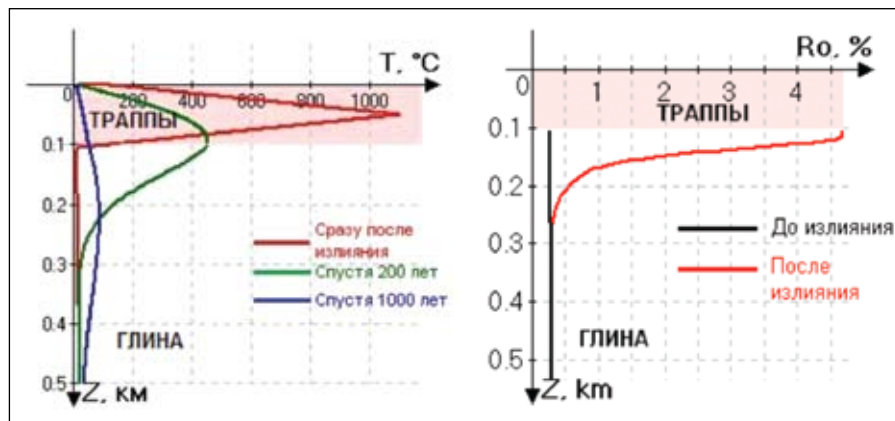


Рис. 3. Слева – глубинные распределения температур $T(z)$ после излияния траппов, справа – вычисленные значения отражательной способности витринита до излияния и после полного остывания траппов

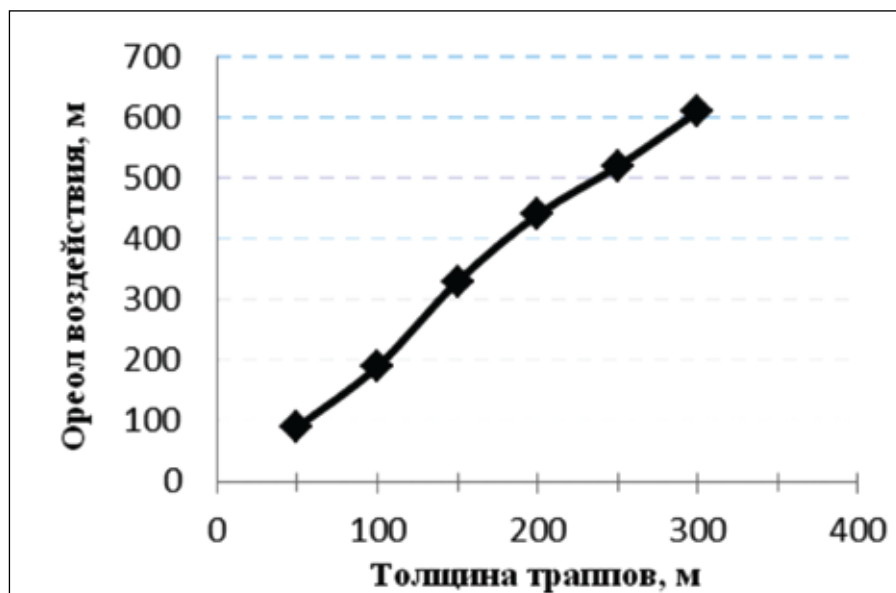


Рис. 4. Толщина зоны контактового метаморфизма как функция толщины траппов

глубине 100 км) и на поверхности ($T_{surf}=10\text{ }^{\circ}\text{C}$).

В нашей модели излияние траппов воспроизводилось последовательным и равномерным увеличением мощности базальтового слоя на поверхности в течение некоторого заданного интервала времени. Считалось, что температура магмы на поверхности Земли была равна 110–120 °С [10]. Формирование траппового покрова воспроизводилось в рамках модели «интрузии в оболочке» [11]. Эта модель предполагает продвижение горячего расплавленного магматического тела в оболочке из относительно остывших магматических пород. При этом температура траппов линейно возрастала от 120 °С на дневной поверхности до 1100 °С в центре траппового слоя, а затем снова линейно убывала до 120 °С на контакте с осадочными породами (рис. 1).

В модели принимались также следующие предположения и упрощения:

1. Источники магмы (вертикальные трещины) находятся далеко от рассматриваемой области и не оказывают термического влияния на нее;
2. В процессе излияния толщина траппового слоя увеличивалась равномерно, со скоростью V (один из параметров модели, который будет варьироваться). Учет поглощения скрытой теплоты плавления при затвердевании расплавленного базальта производился в рамках энтальпийного приближе-

ния [1], когда в интервале температур между солидусом и ликвидусом породы, $T_l < T < T_g$, теплоемкость породы C_v в первом члене уравнения теплопроводности (1) заменялась на модифицированную теплоемкость C'_v :

$$C'_v = C_v + \frac{L\rho}{(T_l - T_s)} \quad (5)$$

где L – скрытая теплота плавления, составляющая 90–100 кал/г для базальта, $T_s=950\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $T_l=1050\text{ }^{\circ}\text{C}$ – температура солидуса и ликвидуса соответственно.

ПРИМЕР

Для примера приведем моделирование излияния 100-метрового слоя траппов на слой осадков мощностью 5 км. Для простоты примем, что литология подстилающих осадков однородна по всей глубине и представлена глиной. Численная модель распределения температур, установившихся в осад-

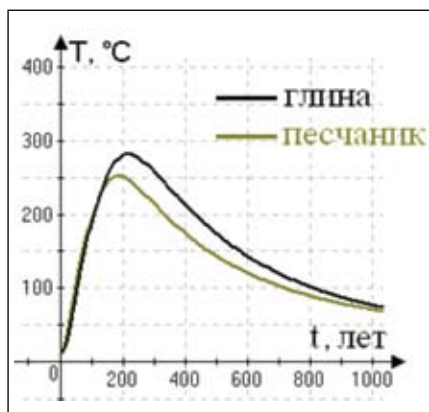


Рис. 5. Температурная история слоя осадков разной литологии

ках и фундаменте до момента излияния траппов, изображена на рисунке 2. Это распределение использовалось как начальное при решении уравнения теплопроводности.

Рисунок 3 (слева) иллюстрирует процесс релаксации температур после излияния траппового слоя на слой глин. На графике изображено температурное распределение в контактной области сразу после излияния траппов, а также спустя 200 и 1000 лет после начала излияния траппового тела мощностью в 100 м. Процесс излияния траппа длился 30 дней. Справа на рисунке 3 изображена зависимость отражательной способности витринита с глубиной, характеризующая размер ореола зрелости пород под траппами.

ВЫВОДЫ

В данной работе была построена модель, описывающая излияние траппов на слой осадков однородной литологии. Полученные результаты согласуются с результатами моделирования внедрений интрузий в работе [11]. Моделирование показывает, что на ширину ореола зрелости органического вещества в подтрапповых формациях влияют в основном следующие факторы:

1. Толщина траппа

В крупнейших трапповых провинциях мира толщина слоя застывшей магмы варьируется от десятков до сотен метров. Моделирование показывает, что зона развития контактового метаморфизма пород составляет примерно удвоенную толщину траппового слоя (рис. 4).

2. Литология осадков

Литология осадков под траппами определяет коэффициенты теплопроводности K и теплоемкости C_v , а также их изменение с глубиной (как функций пористости и температуры). Моделирование показывает, что варьирование литологии осадков в рассмотренных нами пределах (глина – песчаник) приводит к изменению интенсивности катагенетического преобразования пород и слабо влияет на размер ореола зрелости под траппом.

На рисунке 5 изображена вычисленная температурная история $T(t)$ слоя осадков различной литологии, находящегося в 50 м под траппом мощностью в 100



м. По формулам (2): $K_{\text{глин}}=0,831 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{C}$, $C_{\text{Vглин}}=3,618 \text{ МДж/м}^3$
 $^{\circ}\text{C}$, $K_{\text{песч}}=2,188 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{C}$, $C_{\text{Vпесч}}=3,414 \text{ МДж/м}^3$ $^{\circ}\text{C}$. Так как $(K_{\text{песч}}/$
 $C_{\text{Vпесч}}) > (K_{\text{глин}}/C_{\text{Vглин}})$, то в песчанике остывание происходит
 быстрее, чем в глинах.

3. Продолжительность излияния траппов

Вообще, скорость излияния траппов определить очень сложно. Однако если сделать здоровое предположение, что время образования траппового тела намного меньше, чем характерное время остывания этого тела, то параметр продолжительности излияния траппов будет слабо влиять на размер ореола зрелости пород под контактом. Моделирование подтверждает это.

Литература:

1. Карслоу Г., Егер Д. Теплопроводность твердых тел. – М.: Наука, 1964. – С. 487.
2. Феоктистов Г.Д. Метаморфизм глинисто-песчаных пород вблизи от контакта с интрузией. – М.: Наука, 1972. – С. 100.
3. Федотов С.А. Поднятие основных магм в земной коре и механизм излияния базальта по трещинам // Изв. АН СССР, сер. геол., № 10, 1976. – С. 5–23.
4. Wang X., Lerche L., Walters C. The effect of igneous intrusive bodies on sedimentary thermal maturity // Organic Geochemistry, 74, № 6, 1989. – P. 571–584.
5. Galushkin Yu.I. The thermal effect of igneous intrusive bodies on maturity of organic matter // A possible mechanism of intrusion formation, Organic Geochemistry, V. 27, № 11–12, 1997. – P. 645–658.
6. Rodrigues F.M., Villar H.J., Baudino R., Delpino D., Zencich S. Modeling an atypical petroleum system: A case study of hydrocarbon generation, migration and accumulation related to igneous intrusions in the Neuquen Basin, Argentina // Marine and Petroleum Geology, V. 26, 2009. – P. 590–605.
7. Sweeney J.J., Burnham A.K. Evolution of a simple model of vitrinite reflectance based on chemical kinetics: AAPG Bull. 74, №10, 1990. – P. 1559–1570.
8. Doligez B., Bessis F., Burrus J., Ungerer P., Chenet P.Y. Integrated numerical simulation of the sedimentation heat transfer, hydrocarbon formation and fluid migration in a sedimentary basin. The THEMIS model, in J.Burrus eds. Thermal modelling in sedimentary basins. – Paris, 1986. – P. 173–195.
9. Bethke C.M. A numerical model of compaction-driven groundwater flow and heattransfer ant its application to the paleohydrology of intracratonic sedimentary basin // Geophysical Research, V. 90, 1985. – P. 6817–6828.
10. Шейман Ю.М. Тектоника и магматизм. – М.: Наука, 1976. – С. 368–371.
11. Галушкин Ю.И. Термический ореол интрузии и возможный механизм ее вмещения в осадочный разрез поднятия Кэйн-Верде // Геохимия, № 11, 1999. – С. 197–205.

Ключевые слова: трапповый магматизм, метаморфизм пород, ореол воздействия, температурная история.

Тепловизоры testo 881, testo 875 Видеть больше. Знать больше.



- диагностика состояния электрооборудования,
- определение уровня жидкости в резервуарах,
- поиск энергопотерь и т.д

**Тепловизор testo 875 –
119 000 руб. за комплект (с НДС)!**

