

Б.Т. Бурганов¹, А.В. Христофоров², Н.Н. Христофорова²

¹Московский физико-технический институт, Москва

²Казанский государственный университет, Казань
 burganovb@mail.ru, akhristo@ksu.ru

ИДЕНТИФИКАЦИЯ СТРУКТУР В ГЕОЛОГИЧЕСКОМ РАЗРЕЗЕ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА КОЭФФИЦИЕНТОВ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ТЕРМОГРАММЫ СКВАЖИНЫ

В статье описывается метод идентификации структур в геологическом разрезе, основанный на выделении соответствующих им температурных аномалий на термограмме скважины. Предложен алгоритм формирования критериев отбора аномалий, относящихся к искомому типу на основе анализа коэффициентов вейвлет-преобразования термограммы. Метод позволяет выделять на термограмме однотипные аномалии и с высокой степенью надежности относить их к искомым структурам.

Хорошо известно, что термограмма скважины (зависимость вида глубина – температура), находящейся в квазиустановившемся режиме, содержит информацию о структуре геологического разреза. Каждому элементу структуры соответствуют характерные участки термограммы – аномалии. Под аномалией будем подразумевать любые отклонения температуры от идеальной геотермы. Одинаковым элементам соответствуют аномалии одного типа. Это открывает возможность классификации аномалий температуры по типу (Табл.).

Многолетние промысловые исследования и сопоставительный анализ множества термограмм, проведенные авторами статьи, показали, что в пределах каждого типа форма аномалий, а также их масштаб по осям глубин и температур может варьировать в широких пределах. Поэтому простой и естественный способ выявления аномалий, а именно, визуальный анализ термограммы, далеко не всегда возможен.

Задача настоящего исследования состояла в следующем: необходимо разработать алгоритм математической обработки термограммы, позволяющий с максимальной достоверностью выявлять на ней аномалии, принадлежащие к одному типу независимо от вариаций их формы и масштаба. Интервалы глубин, соответствующие выявленным аномалиям, определяют положение искомым структур.

Некоторые типы температурных аномалий различного происхождения показаны в таблице (Khrystoforova et al., 2005). В таблице приведены обобщенные формы аномалий. Реальные аномалии одного типа могут значительно отличаться по форме, но сохранять некоторые общие признаки.

На рис. 1 приведены примеры аномалий одного типа для двух разных скважин – Алькеевская 33 и Трудолобовская 1001 (Мелекесская впадина). Причина происхождения аномалий одинакова – наличие проницаемой зоны. Однако визуально отнести их к одному типу сложно. Для такого отнесения необходимо количественно охарактеризовать признаки, общие для однотипных аномалий.

Идентификация аномалии определенного типа сходна с задачей нахождения участков заданной формы в сигнале. Для решения этой задачи можно с успехом использовать вейвлетный анализ (Misiti et al., 2003). Вейвлетное преобразование сигнала с базовой вейвлетной функцией, на-

строенной на искомый участок, позволяет выделить его на фоне других особенностей сигнала.

Метод конструирования вейвлета эффективен в том случае, когда в сигнале встречается особенность, повторяющаяся по форме участок, на основе которого был сконструирован вейвлет с точностью до произвольного множителя a и параметра растяжения b . Например, если вейвлет сконструирован для обнаружения участков $s(t)$ (Рис. 2а), то с его помощью можно обнаружить подобные участки вида $as/(t - t_0)/b$ (Рис. 2б).

Искомому участку будет соответствовать выраженный экстремум на плоскости коэффициентов вейвлета – преобразования, что позволяет легко определить его положение в анализируемом сигнале.

Если отличия формы искомого участка не ограничиваются только параметрами подобия a и b (Рис. 2с), то идентифицировать участок сигнала, как относящийся к тому же типу методом конструирования вейвлета не удастся. Такая ситуация типична для термограмм скважин, где аномалии одного типа существенно варьируют по форме. Поэтому эффективность метода при анализе термограмм значительно снижается.

Кроме того, на термограмме присутствует много других особенностей. Поэтому при использовании любого базового вейвлета получается большое число экстремумов на плоскости коэффициентов преобразования. Выделить искомый экстремум без применения специальных критериев отбора не всегда возможно.

Для преодоления указанных трудностей необходимо предварительно сформировать некоторые количественные критерии отбора экстремумов, соответствующих участку термограммы искомого типа.

Тип аномалии	Поглощение 1	Приток 2	Слабопроницаемая зона
Типичная форма аномалии на термограмме			
Предполагаемое происхождение	Поглощение флюида из скважины в проницаемую зону	Движение газосодержащего флюида в проницаемой зоне	Наличие флюида в слабопроницаемой зоне

Табл. Некоторые типы температурных аномалий в скважинах.

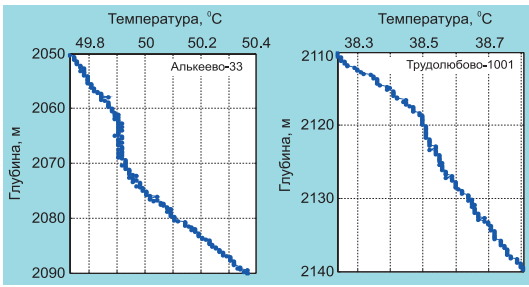


Рис. 1. Температурные аномалии одного типа, но разной формы.

Авторами статьи разработан способ формирования таких критериев. Они вырабатываются путем предварительного анализа термограмм, заведомо содержащих участки искомого типа. Выявляются общие признаки в распределении коэффициентов преобразования, характерные только для участка данного типа. В дальнейшем соответствие этим признакам служит критерием отбора искомого экстремума или группы экстремумов на плоскости коэффициентов вейвлет-преобразования исследуемой термограммы.



Рис. 2. Примеры идентифицируемой (b) и неидентифицируемой (c) особенности сигнала при использовании базового вейвлета, настроенного на участок вида (a).

Алгоритм формирования критериев отбора следующий:

1. Отбирают термограммы скважин, разрез которых заведомо содержит структурные элементы искомого типа;
2. Выделяют участки термограмм, соответствующие искомым элементам;
3. Проводят вейвлетное преобразование участков;

4. На каждой полученной плоскости вейвлет-коэффициентов выявляют группы локальных экстремумов, связанных с искомой аномалией;
5. Определяют характерные признаки найденной груп-

пы, а именно, количество экстремумов в группе, их величину, относительное положение и т.д.

Как показали наши исследования, однотипным аномалиям отвечает определённый набор признаков группы экстремумов, характерный только для аномалий данного типа независимо от их формы и масштаба. Этот набор в дальнейшем используется для анализа исследуемой термограммы.

Для этого проводится вейвлет-преобразование термограммы или ее участка, предположительно содержащего искомую аномалию. На плоскости коэффициентов преобразования выявляются группы экстремумов, удовлетворяющие выработанным критериям. Найденная совокупность экстремумов (например, группа ярких цветовых пятен на рис. 3) указывает на положение искомой аномалии и соответствующего ей структурного элемента по оси глубины.

Такой подход имеет значительно большую гибкость по сравнению с методом конструирования вейвлета, так как позволяет надёжно выделять на термограмме аномалии, значительно отличающиеся по форме в пределах заданного типа.

Покажем возможности предлагаемого метода на следующем примере: требуется ответить на вопрос, есть ли продуктивный пласт в разрезе скважины №15056 Ромашкинского месторождения, и в случае наличия определить его местоположение. Будем искать на термограмме аномалию типа Приток 2 из таблицы. Типичная форма представляет собой сочетание участков с пониженным и повышенным термоградиентом (Рис. 3).

Сначала выработаем критерии отбора на основе известных данных. На рисунке 3 приведены несколько реализаций аномалии типа Приток 2, обусловленной наличием продуктивного пласта в других скважинах Татарстана. Как

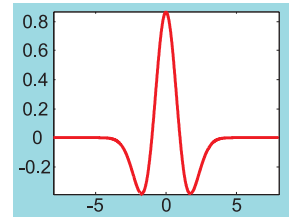


Рис. 4. Вейвлетная функция MexHat.

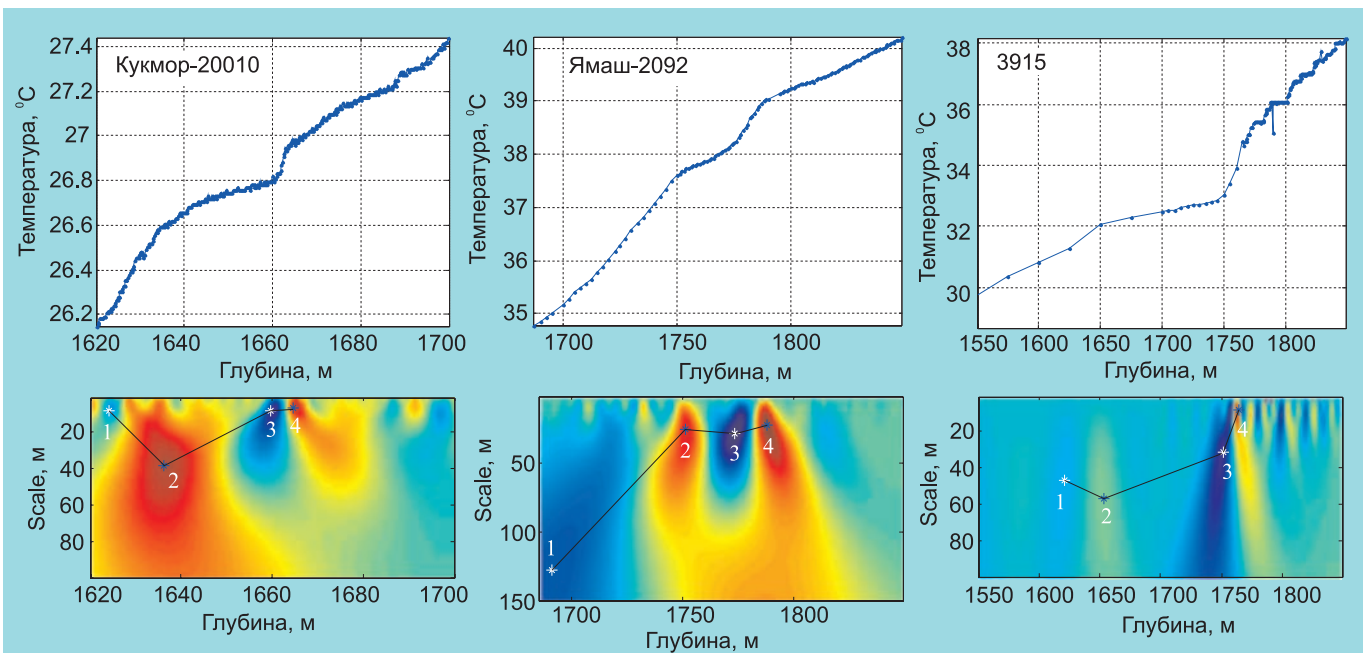


Рис. 3. Температурные аномалии типа Приток 2 (верхний ряд) и соответствующие им плоскости коэффициентов вейвлет-преобразования (нижний ряд).

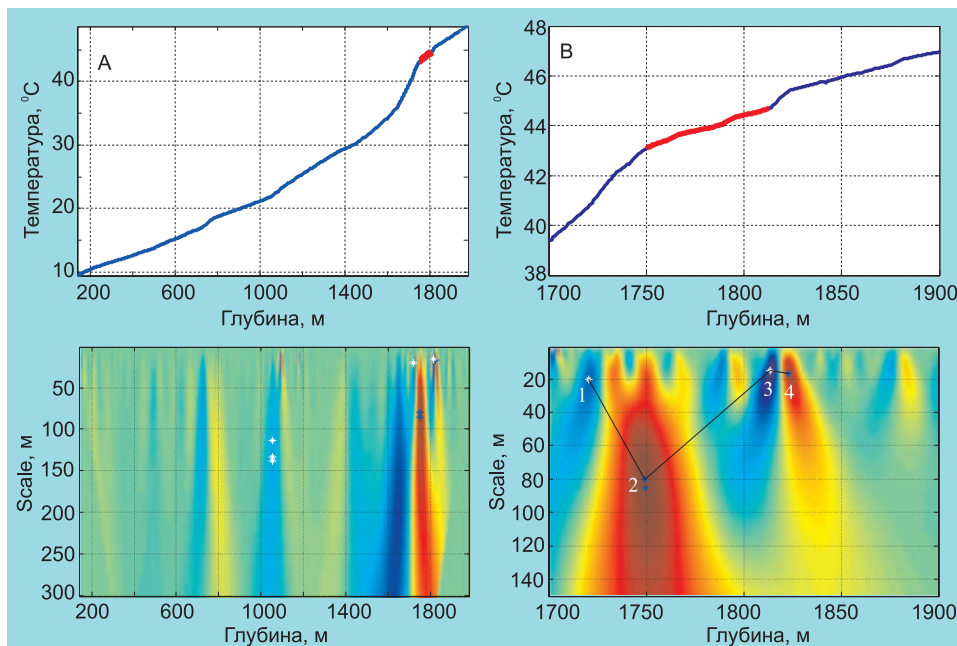


Рис. 5. Термограмма скважины 15056 (верхний ряд) и соответствующие плоскости коэффициентов вейвлет-преобразования (нижний ряд).

видно из рисунков, аномалии заметно отличаются как по форме, так и по масштабу.

Для преобразования в качестве базового вейвлета выберем вейвлет МехНат (Рис. 4), представляющий собой вторую производную гауссовой функции:

$$\psi(x) = \frac{2}{\sqrt{2\sqrt{\pi}}} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) (1-x^2).$$

Распределения коэффициентов вейвлет-преобразования для соответствующих участков термограмм в плоскости “scale” – глубина приведены на цветных рисунках (Рис. 3). Цветовая гамма отражает величину коэффициентов. Для всех трёх реализаций аномалии можно выделить совокупность четырех экстремумов. Им соответствуют области наиболее насыщенного цвета. Экстремумы отмечены знаком «*» и соединены линиями.

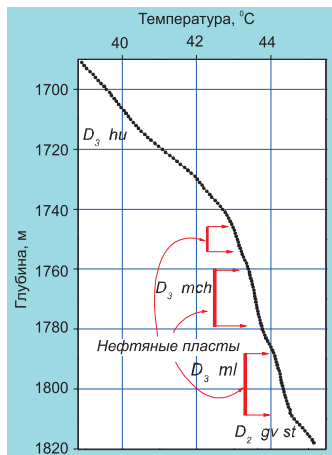


Рис. 6. Продуктивные пласты в скважине 15056 по данным промысловой геофизики.

Все три группы экстремумов имеют общие признаки, например, расстояние между экстремумами пар (красный – синий) пропорционально разности абсолютных значений коэффициентов в них; величина экстремума 2 больше, чем 3 и 4 и т.д.

Используя выработанные критерии отбора, проанализируем термограмму исследуемой скважины 15056 Ромашкинского месторождения (Рис. 5). Группа экстремумов, удовлетворяющая этим критериям, показана на цветных рисунках (Рис. 5) и отмечена знаком (*). На всей термограмме обнаруживается только одна такая группа. Это позволяет выделить на термограмме скважины аномалию

типа Приток 2 и соответствующую ей потенциальную продуктивную зону в интервале глубин 1749.8 – 1813.8 м (интервал выделен красным цветом на участках термограммы на рис. 5).

Для сравнения на рис. 6 для той же скважины стрелками указаны интервалы глубин, соответствующие продуктивным пластам по данным промысловой геофизики. Согласно этим данным, пласты находятся в интервале глубин 1746 – 1808 м, что вполне удовлетворительно согласуется с нашими результатами.

Выводы

- Термограмма каждой скважины содержит информацию о структуре её геологического разреза. Каждому элементу структуры

соответствует характерный участок термограммы.

- Предлагаемый метод анализа коэффициентов вейвлет-преобразования термограммы позволяет надёжно выделять на термограмме участки, соответствующие основной структуре в геологическом разрезе.

Литература

Khristoforova N., Khristoforov A., Muslimov R. Location of Loosely-Aggregated Zones in the Crystalline Basement by Temperature Logging. *Georesources*, 1 (9) 2005. 27-30.

Misiti M., Misiti Y., Oppenheim G., Poggi J.-M. *Les ondelettes et leurs applications*. Hermes, 2003.

Российская академия наук, Министерство природных ресурсов РФ, Министерство образования и науки РФ, Отделение наук о Земле РАН, Межведомственный литологический комитет, Институт геологии и геохимии УрО РАН, Уральский государственный горный университет



28-30 октября 2008 г.
Екатеринбург

V Всероссийское
литологическое
совещание

Типы седиментогенеза и литогенеза и их эволюция в истории Земли

1. Седиментогенез и фациальные реконструкции.
2. Литогенез и стадийный анализ.
3. Осадочные бассейны и их эволюция в истории Земли.
4. Полезные ископаемые в осадочных комплексах.

http://www.igg.uran.ru 620075, Екатеринбург, Почтовый пер., д. 7, Институт геологии и геохимии УрО РАН. Тел.: (343)371-4246, maslov@igg.uran.ru, amas2004@mail.ru; тел.: (343)371-00-43, доб. 110, mizens@igg.uran.ru; факс: (343)371-52-52