

**ПРИМЕНЕНИЕ ДИСКРЕТНОГО ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ  
ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО РЕЖИМА СКВАЖИН  
ПОЛИГОНА ЗАХОРОНЕНИЯ ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ**

**Чубаров Д.Л.,**

**научный руководитель канд. геол.-минералог. наук Лукин А.А.**

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет*

настоящее время основным методом оценки гидрогеодинамического влияния скважин является численное гидрогеодинамическое моделирование на персональных компьютерах с использованием специализированных программных комплексов [4].

Проблема оценки гидрогеодинамических границ влияния горнотехнических систем (ГТС) таких как водозаборы подземных вод и полигоны захоронения жидких токсичных отходов (ЖРО) на геологическую среду – насущная экологическая проблема. Применение вейвлет-анализа может позволить достаточно точно определить их воздействия на гидрогеодинамическое поле исследуемой территории. Объектом исследования является полигон захоронения ЖРО Сибирского химического комбината (СХК).

**Цель работы** – выявление технологического воздействия работы эксплуатационных скважин полигона на колебание напоров в наблюдательных скважинах

**Задачи:**

- 1) Изучить опыт использования вейвлет-анализа для решения аналогичных задач и, выбрать оптимальную методику и среду для вейвлет-преобразования дискретных сигналов;
- 2) Провести расчеты на основе фактического материала и отобразить их в виде спектрограмм;
- 3) Проанализировать полученный результат, выявив природные и технологические воздействия работы эксплуатационных скважин полигона на колебание напоров в наблюдательных скважинах.

Изучая статьи, посвященные использованию вейвлет-анализа в разных сферах научно-исследовательской деятельности, было определено, что вейвлет-анализ нашел широкое применение. Так, одна из изученных статей была посвящена использованию вейвлет-анализа для анализа расширенных потерь энергии тонких структур в электронной спектроскопии [3].

В другой статье говорится о применении вейвлет-преобразования в химии, в частности для расчета колебательных частот HONO (азотистой кислоты) и для обнаружения транс-цис-молекулы конформационных изменений в неэмперической молекулярной динамике [1].

Наибольшее же внимание привлекла статья, а точнее одна из глав докторской диссертации Кю Жанга (Kui Zhang), посвященная использованию вейвлет-преобразования для анализа нефтегазоносного пласта и выявления в нем зоны тектонического разлома [2]

Выбор оптимальной среды для дискретного вейвлет-преобразования основывался на ее общедоступности, эффективности и удобности использования. Системы

компьютерной математики Mathcad первыми использовали прямое и обратное дискретное ВП. В ядро систем (начиная с версии Mathcad 8) встроен единственный вейвлет – Добеши db4 (или DB4). При этом реализация ВП происходит с большой скоростью (т.е. эффективностью) и можно осуществлять практическое исследование различных сигналов и временных рядов на выявление как их свойств, так и свойств ВП [7].

Исходным моментом при построении различных вейвлетных разложений, связанных с равномерной сеткой, является кратно-масштабное уравнение. Для получения некоторых вариантов вейвлетных разложений задаются числами  $h_k$  и рассматривают кратно масштабное уравнение вида

$$\phi(t) = \sqrt{2} \sum_k h_k \phi(2t - k) \quad (1)$$

Следует заметить, что отыскание функции  $\phi$  из условия (1) является весьма непростым делом. Основной прием решения этой задачи — применение преобразования Фурье к тождеству (1); это приводит к представлению образа Фурье функции  $\phi$  в виде бесконечного произведения, откуда можно, по крайней мере, извлечь ее значения в двоичных точках вещественной оси (т.е. в точках, являющихся обыкновенными дробями со знаменателем  $2^s$ , где  $s$  — целое число).

Таким образом, для нахождения значений коэффициентов вейвлет-фильтра длиной 4, мы должны решить систему из 4 алгебраических уравнений ( $c_k = h_k$ ):

$$\begin{cases} c_0^2 + c_1^2 + c_2^2 + c_3^2 = 1 & \text{условия ортонормальности} \\ c_2 c_0 + c_3 c_1 = 0 \\ c_3 - c_2 + c_1 - c_0 = 0 \\ 0 c_3 - 1 c_2 + 2 c_1 - 3 c_0 = 0 & \text{нулевые моменты} \end{cases}$$

Решением этой системы являются следующие значения:

$$c_0 = \frac{1 + \sqrt{3}}{4\sqrt{2}} \quad c_1 = \frac{3 + \sqrt{3}}{4\sqrt{2}} \quad c_2 = \frac{3 - \sqrt{3}}{4\sqrt{2}} \quad c_3 = \frac{1 - \sqrt{3}}{4\sqrt{2}},$$

Если остальные коэффициенты  $c_k$  положить равными нулю, то получается вейвлет, называемый 4-вейвлетом Добеши [5]. Алгоритм дискретного преобразования в среде MathCad подробно описан в [6].

В качестве преобразуемой функции были взяты графики изменения гидростатических уровней скважин Сн-84, Сн-106, Сн-93, А4 и Г9 полигона ЖРО СХК. Интервал времени ограничен 4 годами, с 01 января 2005 до 31 декабря 2008 гг., запись дискретная с частотой замеров – один раз в месяц (всего 48 замеров).

Согласно методике, вектор данных  $x$  и вектор вейвлет-спектра  $w$  должны иметь ровно  $N = 2^{n_0}$  элементов ( $n_0$  – целое число). Данное положение было выполнено путем линейной интерполяции исходного сигнала до 128 точек. Затем, в среде MathCad были

проведены расчеты и получены графики спектров разных семейств, а так же спектрограмма каждой из исследуемых скважин (рис. 1 А – Д)

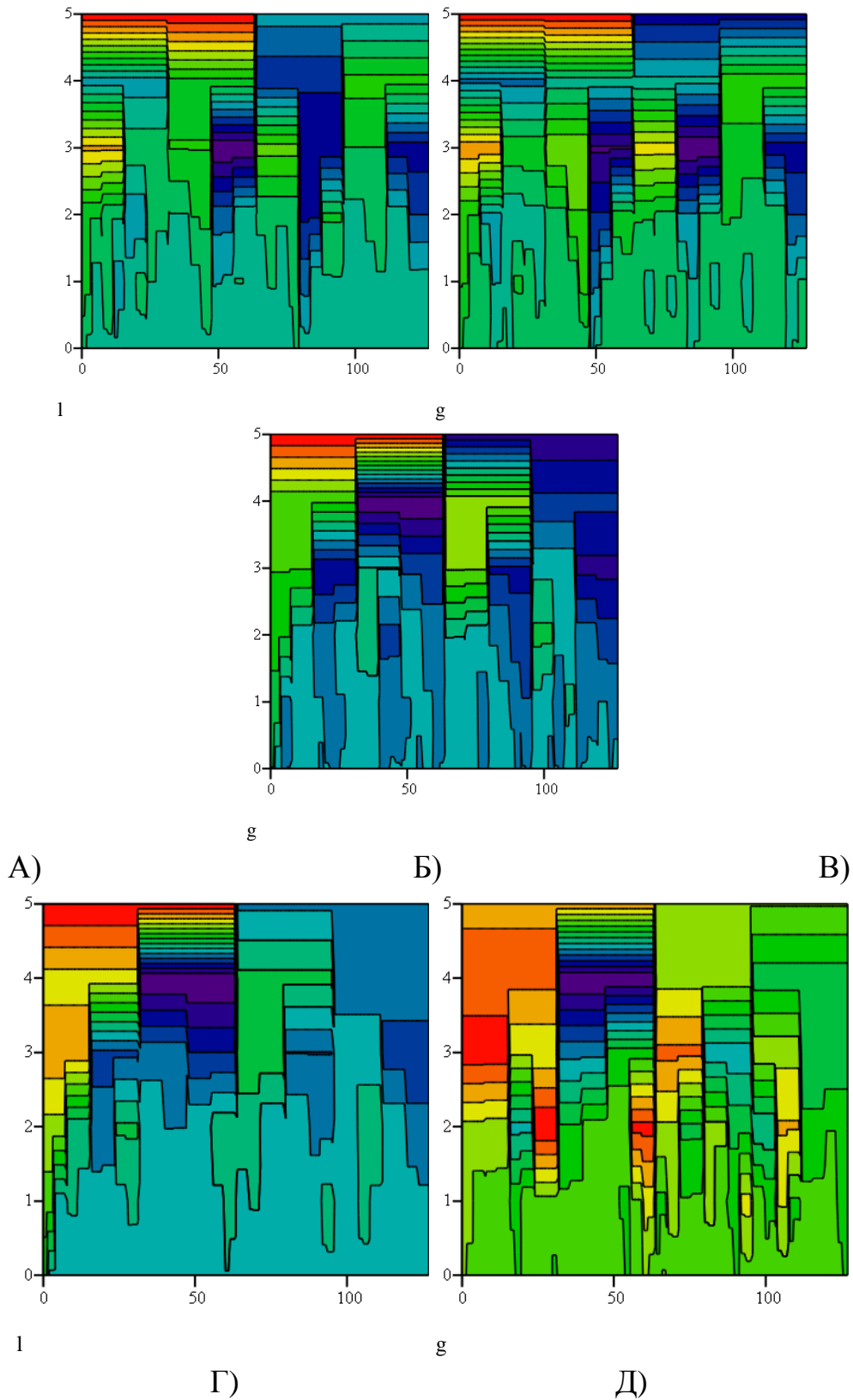


Рис. 1. спектрограмма гидростатических колебаний скважин СН-93(А),СН-106(Б), СН-84 (В), 9-Г(Г), А4(Д), (проекция на

## **Анализ работы**

На полученных спектрограммах гидростатических колебаний скважин можно увидеть ряд закономерностей. На рисунке 1(А) представлена спектрограмма скважины Сн-93, расположенной на удалении 9,8 км от эксплуатационных скважин полигона, на рисунке 1(Б) скважины Сн-106, расположенной на расстоянии 9,7 км. от эксплуатационной скважины. Очевидно, что две данные спектрограммы очень схожи между собой. Максимальные значения обоих расположены в начальных координатах спектров 5го семейства, минимумы – в срединных координатах спектра 3го семейства. Схожесть этих спектрограмм может говорить только об одном – в данных скважинах доминируют исключительно природные колебания, эксплуатационные скважины не оказывают вовсе или оказывают очень малое влияние. Далее, скважина Сн-84 (спектрограмма которой показана на рисунке 1-Б), расположенная на расстоянии 4,5 км от эпицентра полигона. Здесь мы уже видим некоторые изменения. Во-первых, минимум спектра локализован вокруг 50й координаты в 4м семействе спектров. Во-вторых, спектрограмма в основном окрашена в синие оттенки, что говорит о более низких значениях. Обратим внимание на плавное нарастание значений в начальных координатах каждого семейства спектров (в природных колебаниях здесь наблюдалось что-то, похожее на волну). Скважина 9-Г, спектрограмма которой представлена на рисунке 1(Г), локализована на расстоянии 1,5 км от полигона. Рисунок спектрограммы в целом похож на аналогичный для скважины Сн-84, минимум спектрограммы так же локализован возле 50х координат спектра 3го семейства, однако, отличие его заключается в том, что оттенки рисунка более теплые, то есть значения спектров всех семейств, в среднем, выше, а так же более ярко выражено повышение значений в начальных координатах спектров. Таким образом, можно заключить, что на скважины Сн-84 и 9-Г эксплуатационная скважина определенно оказывает влияние, но и природные колебания так же вносят свое вклад в общий рисунок спектрограммы. Далее, скважина А-4 (рис. 1-Д), которая находится практически в самом центре полигона на расстоянии 0,3 км от эксплуатационной скважины. Со спектрограммами скважин Сн-84 и 9-Г ее объединяет расположение минимума спектрограммы и нарастание в начальных координатах спектров. Отличительные особенности еще более очевидны. Во-первых, на спектрограмме преобладают более теплые тона, это говорит о повышенных значениях спектров; зон максимума на спектрограмме не одна, как было до этого, а три. Эти особенности подтверждают то, что в данной скважине доминируют техногенные колебания.

## **Выводы**

Методом вейвлет-преобразования дискретных сигналов проведено исследование гидростатического режима скважин на полигоне ЖРО Сибирского химического комбината.

На основе полученных данных определено, что влияние эксплуатационных скважин наблюдается на расстоянии до 1,5 – 4,5 км (скважины А-4, 9-Г, Сн-84), а на расстоянии 9,7-9,8 км (скважины Сн-106, Сн-94) на гидростатический режим скважин эксплуатационные скважины не оказывают практически никакого влияния.

В дальнейшем, для установления более точных границ, планируется рассмотреть показания спектрограмм других скважин, находящихся на разном удалении от эпицентра полигона.

#### Список литературы

1. Asif Rahaman and Ralph A. Wheeler, Wavelet transforms for determining time-dependent vibrational frequencies // *Journal of Chemistry Theory and Computation* №1, – 2005, ,P 769-771
2. Kui Zhang, Kurt J. Marfurt, and Amanda M. Thompson, Seismic azimuthal anisotropy analysis of post-hydraulic fracturing // 80<sup>th</sup> Annual Society of Exploration Geophysicists International Exposition meeting in Denver, Colorado, USA SEG Expanded Abstracts 29, – 2010,P 273-277
3. Shunsuke Muto, Application of spline wavelet transformation to the analysis of extended energy-loss fine structure // *Journal of Electron Microscopy* 49(4): –2000, P 525-529
4. Букаты М.Б. Разработка программного обеспечения для решения гидрогеологических задач // Известия Томского политехнического университета. – 2002. – Т. 305. – № 6. – С. 346–365.
5. Демьянович Ю.К, «Введение в теорию вейвлетов. Курс лекций». Спб.: Изд-во СПбГУ, 2007. – С. 21 – 22;
6. Лукин Ал. А. Оценка гидрогеодинамического влияния режима эксплуатации скважин на основе статистических функций;
7. Яковлев А.Н. Введение в вейвлет-преобразования: Учеб. пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. – С. 37;