

## Influence of Erosion-karst Processes on Lithological Features of Productive Strata in Bobrikovian-Tournasian Oil Reservoir

R.R. Kharitonov<sup>1</sup>, Yu.M. Aref'ev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>JSC «Tatneftprom-Zyuzeyevneft», Mamykovo, Russia

<sup>2</sup>Institute for problems of ecology and subsoil use of Tatarstan Academy of Sciences, Kazan, Russia

**Abstract.** Erosion-karst processes on the surface of Tournasian land, formed as a result of regression of Devonian-Tournasian Sea, led to both significant morphological transformation of Tournasian paleorelief and formation in the Late Radaevskian-Bobrikovian transgression of sand lenses with secondary clay-carbonate cement with a predominance of carbonate component. On the example of two adjacent wells it is shown that sandstones with abundant clay-carbonate cement during logging interpretation may be taken for carbonate reservoir rocks, if factors are not taken into account such as increased calcium in seawater of Radaevskian-Bobrikovian basin and carbon dioxide in the atmosphere of Lower Carboniferous. They led to the development of carbonate cement in Viséan sandstone and secondary calcitization in Tournasian rocks.

**Keywords:** erosion-karst processes, incision, reservoir, oil saturation, correlation of sections, clay-carbonate cement, carbonate and clastic rocks.

### References

Gvozdetskiy N.A. Karst. Moscow: Geografiz Publ. 1954. 351 p. (In Russ.)

Igolkina N.S., Krivskaya T.Yu. Dovizeyskiy pereryv na Russkoy platforme [Dovizeysky break on the Russian platform]. *Sovetskaya geologiya = Soviet Geology*. 1977. No. 7. Pp. 71-78. (In Russ.)

**For citation:** Kharitonov R.R., Aref'ev Yu.M. Influence of Erosion-karst Processes on Lithological Features of Productive Strata in Bobrikovian-tournasian Oil Reservoir. *Georesursy = Georesources*. 2016. V. 18. No. 2. Pp. 94-97. DOI: 10.18599/grs.18.2.3

### Information about authors

Ruslan R. Kharitonov – Chief Geologist  
JSC «Tatneftprom-Zyuzeyevneft». Russia, 423024,  
Tatarstan Republic, Nurlatsky district, Mamykovo village  
Phone: +7(84345)4-14-15, e-mail: zuzeev@gmail.com

Yuriy M. Aref'ev – Senior Researcher  
Institute for problems of ecology and subsoil use of  
Tatarstan Academy of Sciences. Russia, 420087, Kazan,  
Daur'skaya str., 28

Manuscript received February 05, 2016

УДК 553.982:550.834

## Прогноз фильтрационно-емкостных свойств продуктивных пластов на основании вейвлет-преобразования данных сейсморазведки

М.И. Саакян<sup>1</sup>, Р.С. Хисамов<sup>2</sup>, Р.А. Алексеев<sup>3</sup>, А.М. Чинарев<sup>3</sup>, Н.С. Гатиятуллин<sup>4</sup>

<sup>1</sup>ФБУ «Государственная комиссия по запасам полезных ископаемых», Москва, Россия

<sup>2</sup>ПАО «Татнефть», Альметьевск, Россия

<sup>3</sup>Татарское геологоразведочное управление ПАО «Татнефть», Казань, Россия

<sup>4</sup>Казанский филиал ФБУ «Государственная комиссия по запасам полезных ископаемых», Казань, Россия

Метод вейвлет-преобразования сейсмических данных в последнее десятилетие находит применение в исследовании резервуаров углеводородов. Разными авторами используются разные методики вейвлет-преобразования. Кроме методик, может варьироваться тип вейвлета и длительность (эффективная частота). Получается большое число возможных вариантов – сотни и тысячи. Авторами создана программа автоматического отбора лучших вариантов вейвлет-преобразования на основе пакета R Statistics. В качестве критерия отбора используется величина коэффициента корреляции между результатом вейвлет-преобразования сейсмических данных и пластовыми параметрами (толщина пласта, пористость, нефтенасыщенность и др.). Методика опробована на Баллаевском месторождении (Татарстан, Россия). Для лучших атрибутов построены регрессионные модели и получены прогнозные карты пластовых параметров.

**Ключевые слова:** сейсморазведка, вейвлет-преобразование, нефть, фильтрационно-емкостные свойства.

DOI: 10.18599/grs.18.2.4

**Для цитирования:** Саакян М.И., Хисамов Р.С., Алексеев Р.А., Чинарев А.М., Гатиятуллин Н.С. Прогноз фильтрационно-емкостных свойств продуктивных пластов на основании вейвлет-преобразования данных сейсморазведки. *Георесурсы*. 2016. Т. 18. № 2. С. 97-101. DOI: 10.18599/grs.18.2.4

Метод вейвлет-преобразования в последнее время находит себе широкое применение в различных областях науки и техники. Неполный список включает в себя раз-

личные инженерные задачи, физику и астрофизику, акустику, решение дифференциальных уравнений, моделирование турбулентности, распознавание речи, сжатие циф-

ровой графики и видео, медицину (анализ медико-биологических показателей), анализ финансовой статистики, а также различные применения области геофизики (анализ данных ГИС, магниторазведки, георадиолокации, сейсмологии) (Addison, 2002). В последнее время появляется все больше публикаций о применении вейвлет-преобразования к данным сейсморазведки, в том числе для исследования резервуаров углеводородов по амплитудно-частотным характеристикам отраженных волн.

Интерес к применению вейвлет-метода для анализа данных сейсморазведки основан на возможности анализировать частотные характеристики в узком пространственном интервале, приуроченном к отражениям сейсмических волн от продуктивного пласта. В комплексе со скважинными данными можно искать связи литологических свойств со значениями параметров вейвлет-разложения сейсмического сигнала и в результате прогнозировать распределение характеристик продуктивного пласта на межскважинном пространстве.

Разными авторами применяются несколько различных методик вейвлет-анализа данных сейсморазведки в различных сейсмогеологических условиях – Мексиканский залив (Castagna et al., 2003), Иран (Saadatinejad et al., 2013, Shokrollahi et al., 2013), Западная Сибирь (Алексеев и др., 2009, Никульников 2012), Китай (Zhu et al., 2009), Нигерия (Sinha et al., 2005) и др. Описано применение нескольких различных методик расчета вейвлет-преобразования сейсмических данных – непрерывное вейвлет-преобразование CWT (Saadatinejad et al., 2013; Shokrollahi et al., 2013), частотное вейвлет-преобразование CWTFT (Никульников, 2012), дискретное вейвлет-преобразование DWT в одномерной и двумерной модификации (Алексеев и др., 2009), методики адаптивного вейвлет-разложения MPD и ISA

(Castagna et al., 2003, Sinha et al., 2005), вейвлет-фрактальная методика WTMM (Liner et al., 2010).

В представляемой работе впервые проведена апробация различных методик вейвлет-анализа сейсморазведочных данных в характерных для территории Татарстана и Поволжья сейсмогеологических условиях. Главной проблемой было обоснование выбора конкретной методики из большого количества методик вейвлет-анализа сейсмических данных. Любой выбор в данных обстоятельствах будет иметь скорее субъективный и случайный характер. Ситуация усложняется тем, что для каждой методики можно использовать один из нескольких типов вейвлет-импульса (например вейвлеты Морле, Гаусса, Мхат и др.), а для каждого вейвлет-импульса следует проводить расчеты для нескольких различных значений длительности («эффективной частоты»). Общее количество вариантов оценивается от нескольких сотен до нескольких тысяч для разных методик, опробование всех возможных вариантов весьма трудоемко. Для решения этой проблемы предложена методика, примененная на Баллаевском участке Ново-Елховского месторождения.

С целью опробования максимально возможного количества методик выбраны следующие критерии автоматизированного отбора наилучших вариантов вейвлет-преобразования.

1. Разработка собственной компьютерной программы Wavelet Selector для автоматического перебора разных вариантов вейвлет-преобразования (тип вейвлета, длительность вейвлета («эффективная частота»), временной интервал расчета на сейсмической записи).

2. Для каждого варианта программа рассчитывает результат вейвлет-преобразования для отдельного нефтеносного пласта.

3. Производится анализ статистических связей с коллекторскими свойствами, определенными по скважинным данным (толщина пласта, пористость, нефтенасыщенность и др.).

4. Выделяются результаты с наилучшей статистической связью с литологическими свойствами нефтяной залежи (вычисляется коэффициент корреляции).

Программа Wavelet Selector создана на основе библиотек пакета вычислительной математики R Statistics, обладающего встроенными процедурами вейвлет-анализа и статистического анализа.

В качестве критерия отбора наилучших вариантов расчета выбрана величина коэффициента корреляции между результатами вейвлет-преобразования сейсмических данных и скважинными данными.

Общая последовательность действий при опробовании методик вейвлет-анализа состоит из следующих этапов (Рис. 1):

1. Выравнивание куба сейсмических данных по интересующему горизонту;
2. Создание базы скважинных параметров в R для интересующего горизонта;
3. Выбор методики вейвлет-преобразования и типа вейвлета;

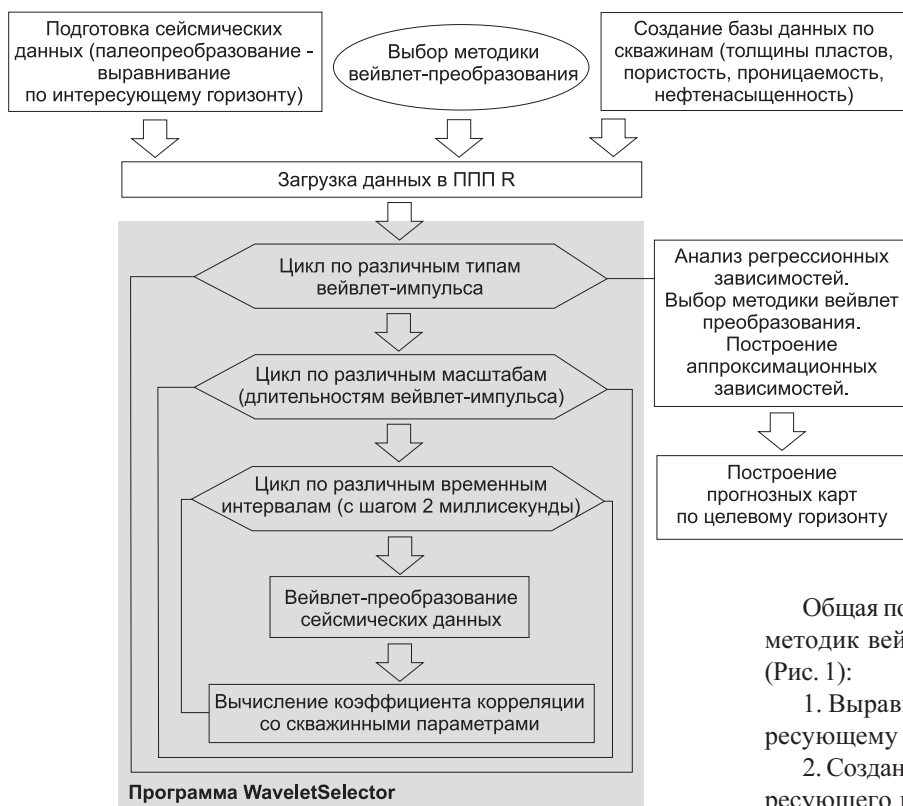


Рис. 1. Схема алгоритма «глобального поиска» в программе Wavelet selector.

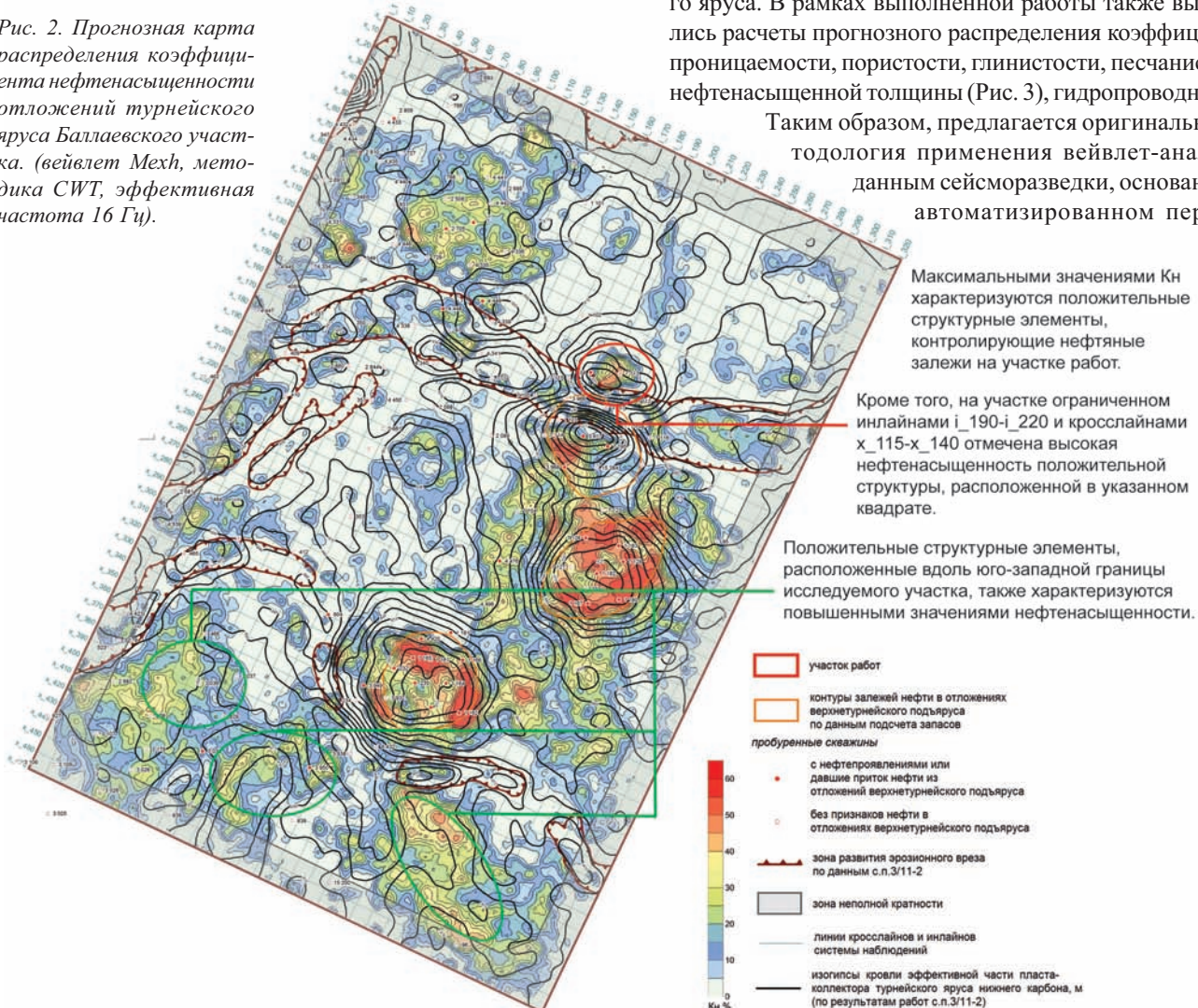
4. Ввод сейсмических данных в R;
5. Ввод скважинных параметров в R;
6. Цикл по различным масштабам (эффективным частотам) вейвлета и временным интервалам. Для каждого сочетания вычисляется вейвлет-преобразование сейсмических данных;
7. Статистический анализ (для каждого варианта расчета вейвлет-преобразования) – вычисление коэффициента корреляции с каждым из скважинных параметров. Выделяются наивысшие коэффициенты корреляции.

Программа Wavelet Selector выполняет шаги 4-7 автоматически.

В программу вводятся сейсмические данные, скважинные параметры и список методик для проведения расчетов. Скважинные параметры используются в виде средне-взвешенных по пласту значений, что является наиболее корректным для тонких пластов (менее 10-15 м), чья толщина ниже разрешающей способности сейсморазведки.

Программа Wavelet Selector производит автоматический перебор всех возможных методик из заданного списка. Для каждой методики производится расчет вейвлет-преобразования сейсмических данных и вычисление коэффициента корреляции между значениями вейвлет-преобразования в окрестностях скважин со значениями скважинных параметров. Результаты работы программы выдаются в виде таблицы «параметры вейвлет-разложения – значение коэффициента корреляции». В программе есть

Рис. 2. Прогнозная карта распределения коэффициента нефтенасыщенности отложений турнейского яруса Баллаевского участка. (вейвлет Mexh, методика CWT, эффективная частота 16 Гц).



возможность задавать порог отбора по величине корреляции, например со значениями коэффициента не ниже 0,7.

Использование описанного алгоритма «глобального поиска» является первым этапом работы. В результате удастся существенно сократить область поиска, и оставить для дальнейшего анализа только лучшие варианты. На втором этапе для этих вариантов проводится визуальная оценка и построение регрессионных моделей. По полученным моделям значения вейвлет-преобразования сейсмического сигнала пересчитываются в значения пластового параметра по всему сейсмическому материалу и строится карта пластового параметра на межскважинном пространстве, которая и является конечным результатом.

Описанная схема применена на Баллаевском участке Ново-Елховского месторождения на территории Татарстана по сейсморазведочным данным МОГТ 3D и ГИС 35 скважин. Анализ проводился по трем продуктивным комплексам в отложениях бобриковского горизонта, турнейского яруса и пашийского горизонта.

С помощью программы Wavelet Selector проведен автоматизированный перебор вариантов расчета. Опробованы методики CWT, CWTFT с вейвлетами Морле, Mexh, Гаусса 1, 3, 4 порядков для эффективных частот 12-40 Гц с шагом 2 Гц и 45-100 Гц с шагом 5 Гц, а также методика DWT с вейвлетами Хаара и Добеши 1-6 уровней разложения. На рисунке 2 представлена прогнозная карта распределения коэффициента нефтенасыщенности для турнейского яруса. В рамках выполненной работы также выполнялись расчеты прогнозного распределения коэффициентов проницаемости, пористости, глинистости, песчаности, нефтенасыщенной толщины (Рис. 3), гидропроводности.

Таким образом, предлагается оригинальная методология применения вейвлет-анализа к данным сейсморазведки, основанная на автоматизированном переборе

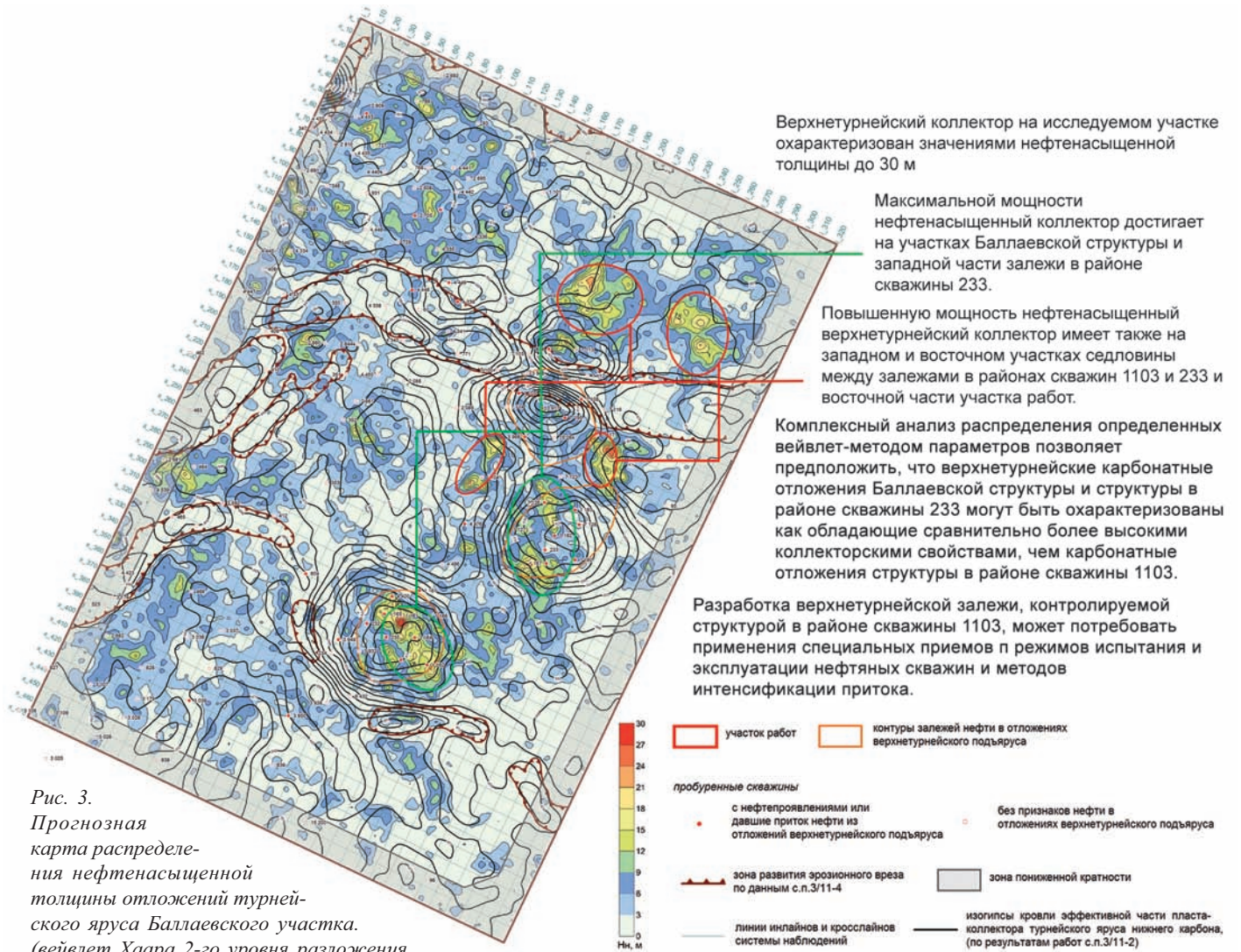


Рис. 3. Прогнозная карта распределения нефтенасыщенной толщины отложений турнейского яруса Баллаевского участка. (вейвлет Хаара 2-го уровня разложения, методика DWT).

различных методик вейвлет-преобразования и автоматической селекции вариантов с наибольшим коэффициентом корреляции со скважинными данными.

Методика прогнозирования свойств пласта по результатам вейвлет-анализа сейсмических данных впервые опробована на территории Татарстана (на площадях ПАО «Татнефть»).

Методика может использоваться на любом участке, где есть результаты сейсморазведки и достаточное для построения регрессионной модели количество скважин.

Предлагаемую вейвлет-методику следует рассматривать, прежде всего, как одну из дополнительных процедур динамической обработки сейсморазведочных данных и использовать как источник дополнительной информации при обосновании подсчетных параметров и коллекторских свойств продуктивных пластов при подсчете запасов нефти и построении геологических моделей нефтяных месторождений.

### Литература

Алексеев В.И., Бобрышев А.Н. Вейвлет-анализ сейсмических изображений. *Геофизика*. 2009. № 3. С. 12-15.  
 Никульников А.Ю. Применение спектральной декомпозиции сейсмической записи с целью картирования тонких стратиграфических элементов осадочных пород. *Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений*. 2012. № 11. С. 30-34.  
 Addison P.S. The illustrated wavelet transform handbook:

introductory theory and applications in science engineering, medicine and finance. *Bristol: Institute of physics publishing*. 2002. 368 p.

Castagna J.P., Sun S., Siegfried R.W. Instantaneous spectral analysis: Detection of low-frequency shadows associated with hydrocarbons. *The Leading Edge*. 2003. No. 22 (2). Pp. 120-127.

Liner C.L., Zheng J., Flynn B. Case History: Spicing up mid-continent seismic interpretation. *80th Annual Int. Meeting, SEG*. 2010. Pp. 1317-1321.

Saadatinejad M.R., Hassani H. Application of wavelet transform for evaluation of hydrocarbon reservoirs: example from Iranian oil fields on the north of Persian Gulf. *Nonlinear processes in geophysics* 2013. No. 20. Pp. 231-238.

Sinha S., Routh P.S., Anno P.D., Castagna J.P. Spectral decomposition of seismic data with continuous-wavelet transform. *Geophysics*. 2005. No. 70 (6). Pp. 19-25.

Shokrollahi E., Zargar G., Riahi M. Using Continuous Wavelet Transform and Short Time Fourier Transform as Spectral Decomposition Methods to Detect of Stratigraphic Channel in One of the Iranian South-West Oil Fields. *International Journal of Science & Emerging Technologies*. 2013. No. 5(5). Pp. 291-299.

Zhu Z.Y., Lu D.Y., Sang S.I., Zhang J.M., Xu P. Research of spectrum decomposition method based on physical wavelet transform and its applications. *Chinese Journal of Geophysics*. 2009. No. 52 (4). Pp. 892-897.

### Сведения об авторах

Максим Игоревич Саакян – заместитель генерального директора ФБУ «Государственная комиссия по запасам полезных ископаемых».

Россия, 119180, Москва, ул. Большая Полянка, 54, стр. 1

*Раис Салихович Хисамов* – доктор геол.-мин. наук, профессор, главный геолог – заместитель генерального директора ПАО «Татнефть».

Россия, 423450, Республика Татарстан, Альметьевск, ул. Ленина, д. 75

*Роман Александрович Алексеев* – ведущий инженер НПЦ "Нейросейсм", Татарское геологоразведочное управление ПАО «Татнефть»

Россия, 420011, Казань, ул. Чернышевского, 23/25  
Тел: +7 (843) 292-54-04

*Алексей Михайлович Чинарев* – начальник НПЦ «Нейросейсм», Татарское геологоразведочное управление ПАО «Татнефть»

Россия, 420011, Казань, ул. Чернышевского, 23/25  
Тел: +7 (843) 292-54-04, e-mail: alexho0@bk.ru

*Накип Салахович Гатиятуллин* – доктор геол.-мин. наук, Директор Казанского филиала ФБУ «Государственная комиссия по запасам полезных ископаемых»

Россия, 420111, Казань, ул. Баумана, 20

Статья поступила в редакцию 03.03.2016

## Prediction of Reservoir Properties of Productive Layers Based on Wavelet Transform of Seismic Data

*M.I. Saakyan<sup>1</sup>, R.S. Khisamov<sup>2</sup>, R.A. Alekseev<sup>3</sup>, A.M. Chinarev<sup>3</sup>, N.S. Gatiyatullin<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>State Reserves Committee, Moscow, Russia

<sup>2</sup>PJSC Tatneft, Almet'yevsk, Russia

<sup>3</sup>Tatar Geological Exploration Department PJSC Tatneft, Kazan, Russia

<sup>4</sup>Kazan Branch of the State Reserves Committee, Kazan, Russia

**Abstract.** Method of wavelet transform of seismic data for the last decade is being used in the study of hydrocarbon reservoirs. Different authors use different methods of wavelet transform. In addition to the methods, type and duration of the wavelet (effective frequency) may vary. A large number of possible options are obtained – hundreds and thousands. The authors have created a program for automatic selection of the best options for the wavelet transform based on the R Statistics package. The correlation coefficient between the result of the wavelet transform of seismic data and reservoir parameters (layer thickness, porosity, oil saturation, etc.) is used as the selection criterion. The method was tested on the Ballayevsky field (Tatarstan, Russia). For the best attributes the regression models are built and prognostic maps of reservoir parameters are obtained.

**Keywords:** seismic survey, wavelet transform, oil, reservoir properties.

### References

- Addison P.S. The illustrated wavelet transform handbook: introductory theory and applications in science engineering, medicine and finance. *Bristol: Institute of physics publishing*. 2002. 368 p.
- Alekseev V.I., Bobryshev A.N. Veyvlet-analiz seysmicheskikh izobrazheniy [Wavelet analysis of seismic images]. *Geofizika = Geophysics*. 2009. No. 3. Pp. 12-15. (In Russ.)
- Castagna J.P., Sun S., Siegfried R.W. Instantaneous spectral analysis: Detection of low-frequency shadows associated with hydrocarbons. *The Leading Edge*. 2003. No. 22 (2). Pp. 120-127.
- Liner C.L., Zheng J., Flynn B. Case History: Spicing up mid-continent seismic interpretation. *80th Annual Int. Meeting, SEG*. 2010. Pp. 1317-1321.
- Nikul'nikov A.Yu. Primenenie spektral'noy dekompozitsii seysmicheskoy zapisi s tsel'yu kartirovaniya tonkikh stratigraficheskikh elementov osadochnykh porod [Application of spectral decomposition of seismic data for the purpose of mapping fine stratigraphic elements of sedimentary rocks]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy = Geology, geophysics and development of oil and gas fields*. 2012. No. 11. Pp. 30-34. (In Russ.)
- Saadatinejad M.R., Hassani H. Application of wavelet transform for evaluation of hydrocarbon reservoirs: example from Iranian oil fields on the north of Persian Gulf. *Nonlinear processes in geophysics* 2013. No. 20. Pp. 231-238.
- Sinha S., Routh P.S., Anno P.D., Castagna J.P. Spectral

decomposition of seismic data with continuous-wavelet transform. *Geophysics*. 2005. No. 70 (6). Pp. 19-25.

Shokrollahi E., Zargar G., Riahi M. Using Continuous Wavelet Transform and Short Time Fourier Transform as Spectral Decomposition Methods to Detect of Stratigraphic Channel in One of the Iranian South-West Oil Fields. *International Journal of Science & Emerging Technologies*. 2013. No. 5(5). Pp. 291-299.

Zhu Z.Y., Lu D.Y., Sang S.I., Zhang J.M., Xu P. Research of spectrum decomposition method based on physical wavelet transform and its applications. *Chinese Journal of Geophysics*. 2009. No. 52(4). Pp. 892-897.

**For citation:** Saakyan M.I., Khisamov R.S., Alekseev R.A., Chinarev A.M., Gatiyatullin N.S. Prediction of Reservoir Properties of Productive Layers Based on Wavelet Transform of Seismic Data. *Georesursy = Georesources*. 2016. V. 18. No. 1. Pp. 97-101. DOI: 10.18599/grs.18.2.4

### Information about authors

*Maksim I. Saakyan* – Deputy General Director, State Reserves Committee

Russia, 119180, Moscow, Bo'shaya Polyanka str. 54, buil. 1

*Rais S. Khisamov* – Doctor of Science (Geol. and Min.), Professor, Deputy General Director – Chief Geologist, PJSC Tatneft

Russia, 423400, Almet'yevsk, Lenin str. 75

*Roman A. Alekseev* – Leading Engineer, Scientific and Production Centre "Neiroseism", Tatar Geological Exploration Department PJSC Tatneft

Russia, 420111, Kazan, Chernyshevskogo str., 23/25

*Aleksey M. Chinarev* – Head of the Scientific and Production Centre "Neiroseism", Tatar Geological Exploration Department PJSC Tatneft

Russia, 420111, Kazan, Chernyshevskogo str., 23/25  
Phone: +7 (843) 292-54-04, e-mail: alexho0@bk.ru

*Nakup S. Gatiyatullin* – Doctor of Science (Geol. and Min.), Head of the Kazan Branch of State Reserves Committee

Russia, 420111, Kazan, Bauman str., 20

Manuscript received March 03, 2016