Алгоритм предобработки сигнала импульсного нейтронного гамма-каротажа с учетом статистической зависимости соседних элементов спектра

Н. О. Косогова¹, А. А. Власов^{1,2}

¹ *Новосибирский государственный университет*

² *Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН
Новосибирск, Россия*

Аннотация

На фоне множества методов проведения геофизических исследований выделяется и является одним из перспективных, за счет возможности определения состава горных пород, импульсный нейтронный гамма-каротаж. Однако существуют сложности при интерпретации результатов такого исследования. Полученные после предварительной обработки сигнала, записанного в процессе импульсного нейтронного гамма-каротажа, спектры гамма-излучения зашумлены и обладают высокой флуктуацией, что влияет на качественную оценку результатов исследования. Качественная оценка наряду с автоматической важна при работе с каротажными данными. Она позволяет предотвратить передачу заведомо ложных результатов, а также работу неисправных приборов.

В данной статье рассмотрен алгоритм, позволяющий уменьшить флуктуацию с учетом статистической зависимости соседних элементов спектра, для улучшения качественной оценки результатов исследования. Так как спектры сигнала являются случайными величинами, в ходе рассмотрения различных способов обработки спектров решено применять функции сглаживания, а именно В-сплайн. В процессе применения различных вариаций параметров В-сплайна к спектрам гамма-излучения оказалось, что квадратичный одноуровневый В-сплайн с интервалом узлов 7 показал лучшие результаты в достижении цели улучшения качественной оценки. Таким образом, разработан алгоритм дополнительной предобработки, уменьшающий флуктуацию спектров гамма-излучения, для улучшения качественной оценки результатов такого геофизического исследования, как импульсный нейтронный гамма-каротаж.

Ключевые слова

каротаж, импульсный нейтронный гамма-каротаж, обработка экспериментальных сигналов, В-сплайн, уменьшение дисперсии

Для цитирования

Косогова Н. О., Власов А. А. Алгоритм предобработки сигнала импульсного нейтронного гамма-каротажа с учетом статистической зависимости соседних элементов спектра // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2019. Т. 17, № 1. С. 42–52. DOI 10.25205/1818-7900-2019-17-1-42-52

The Algorithm of Pre-Processing a Pulsed Neutron Gamma Ray Logging Signal Taking into Account the Statistical Dependence of the Neighboring Spectrum Elements

N. O. Kosogova¹, A. A. Vlasov^{1,2}

¹ *Novosibirsk State University*

² *Trofimuk Institute of Petroleum-Gas Geology and Geophysics SB RAS
Novosibirsk, Russian Federation*

Abstract

Among many geophysical research methods, pulsed neutron gamma ray logging stands out and is one of the most promising, due to the possibility of determining the composition of rocks. However, there are difficulties in interpret-

ing the results of such research. The gamma ray signal are recorded in the process of pulsed neutron gamma ray logging. The gamma ray spectrums obtained after pre-processing of signal are noisy and have a high fluctuation, which affects the visual analysis of the research results. Visual analysis, on par with automatic, is important when working with logging data. It helps to prevent the transfer of false results and the work of defective devices.

This paper describes an algorithm that allows to reduce fluctuation considering the statistical dependence of neighboring elements of the spectrum to improve the visualization of research results. Since the signals spectrums are random variables, during the consideration of various methods of processing spectrums, it was decided to use smoothing functions, namely the B-spline. After applying different variations of B-spline parameters to gamma ray spectrums, it turned out that a quadratic homogeneous B-spline method with a knots interval – 7 showed best results in achieving the goal of improving visualization. Thus, has been developed algorithm of additional pre-processing that allows reducing fluctuation of gamma ray spectrums, for improve the visualization of the results of pulsed neutron gamma ray logging.

Keywords

logging, pulsed neutron gamma ray logging, processing of experimental signals, B-spline, variance reduction

For citation

Kosogova N. O., Vlasov A. A. The Algorithm of Pre-Processing a Pulsed Neutron Gamma Ray Logging Signal Taking into Account the Statistical Dependence of the Neighboring Spectrum Elements. *Vestnik NSU. Series: Information Technologies*, 2019, vol. 17, no. 1, p. 42–52. (in Russ.) DOI 10.25205/1818-7900-2019-17-1-42-52

Импульсный нейтронный гамма-каротаж

Импульсный нейтронный гамма-каротаж (ИНГК) привлекает к себе особое внимание ввиду уникальной возможности определения химического состава горных пород [1]. ИНГК – это радиоактивный метод проведения каротажа, при котором при помощи генератора нейтронов происходит кратковременное импульсное облучение горных пород потоком быстрых нейтронов, следующее через одинаковые промежутки времени¹. Выпущенные генератором быстрые нейтроны взаимодействуют с околоскважинным пространством, содержащим химические элементы замедлители и поглотители. В ходе столкновений или поглощений нейтронов ядра атомов в процессе ядерной реакции испускают гамма-излучение (гамма-кванты), которое впоследствии и регистрируется датчиками прибора ИНГК (рис. 1). Метод ИНГК предназначен для определения химического состава околоскважинного пространства и пространственно-временных характеристик полученного в ходе ядерных реакций гамма-излучения [2; 3].

Несмотря на привлекательность данного метода, существуют сложности качественной оценки зарегистрированных данных, а скорость проведения исследований для решения прикладных задач ограничена. Чем ниже скорость спускоподъемных работ, тем меньше флуктуация в зарегистрированных данных энергетических спектров гамма-квантов. Рекомендуемая скорость каротажа в открытом стволе скважины составляет 40–50 м/ч², что сопоставимо со скоростью бурения и является самым медленным методом геофизического исследования скважин. Однако даже при такой низкой скорости метод не дает необходимого качества отображения зарегистрированных данных для качественной оценки. В силу того что полученные спектры данных зашумлены и обладают достаточно высокой флуктуацией, их качественная оценка затруднена.

¹ ГОСТ Р 54362-2011 Геофизические исследования скважин. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2012. 19 с.

² Техническая инструкция по проведению геофизических исследований и работ приборами на кабеле в нефтяных и газовых скважинах. Взамен Технической инструкции по проведению геофизических исследований в скважинах. РД 153-39.0-072-01. Введ. 07.05.2001. М.: ООО «Издательство ГЕОС», 2002. 271 с.

Рис. 1. Схема работы прибора ИНГК [3]: **ИНГК** – прибор импульсного нейтронного гамма-каротажа; **Г** – генератор нейтронов; **Э1** – экран, состоящий из (снизу-вверх): парафин, кремний или бор, свинец; **Э2** – экран, состоящий из свинца; **БД** – ближний датчик гамма-излучения; **ДД** – дальний датчик гамма-излучения; **Я** (зеленые) – ядра атомов химических элементов поглотителей; **Я** (розовые) – ядра атомов химических элементов замедлителей; **синие стрелки** – движение нейтронов; **желтые стрелки** – движение гамма-квантов

Fig. 1. Internal organization the Pulsed Neutron Gamma Ray Logging (PNGRL) device [3]: **ИНГК** – Pulsed Neutron Gamma Ray Logging device; **Г** – neutron generator; **Э1** – shielding, consists of (down-up): paraffin, silicon / boron, lead; **Э2** – shielding, consists of lead; **БД** – short-spacing gamma rays detector; **ДД** – long-spacing gamma rays detector; **Я** (green) – atomic nuclei of chemical elements-absorber; **Я** (pink) – atomic nuclei of chemical elements-inhibitor; **blue arrows** – the movement of neutrons; **yellow arrows** – the movement of gamma ray

В данной работе будет рассмотрен алгоритм, позволяющий уменьшить флуктуацию и улучшить возможность качественной оценки зарегистрированных данных ИНГК. Рассмотрим результаты измерения, полученные методом ИНГК, подробнее.

Определение минерального состава горной породы

Как говорилось ранее, при облучении горных пород быстрыми нейтронами происходят ядерные реакции, при которых быстрые нейтроны передают часть своей энергии ядрам атомов химических элементов, из которых состоит околоскважинное пространство. В процессе упругого и неупругого рассеяния энергии быстрых нейтронов замедляются до энергии тепловых нейтронов (0,025 эВ) [4].

В результате первых взаимодействий нейтронов с ядрами атомов химических элементов, наиболее вероятно, происходит неупругое рассеяние. При неупругом рассеянии быстрый нейтрон, сталкиваясь с ядром атома, временно им поглощается. Во время поглощения ядро, получив некоторое количество энергии от нейтрона, переходит в возбужденное состояние. Затем нейтрон переиспускается из возбужденного ядра, замедляясь до энергии ниже 1 МэВ, что происходит за 10^{-10} – 10^{-8} с [1]. Возбужденное ядро, чтобы выйти из возбужденного состояния, за 10^{-14} с производит вторичное гамма-излучение (испускает гамма-кванты) [4]. Этот процесс называется *гамма-излучением неупругого рассеяния* (ГИНР).

Дальнейшее замедление нейтронов происходит при упругом рассеянии. Быстрый нейтрон, сталкиваясь с ядром атома, передает ему часть первоначальной энергии, а сам меняет направление (отклоняется) и продолжает движение уже с меньшей энергией. Энергия нейтрона передается ядру в виде кинетической энергии из-за чего ядро, с которым произошло взаимодействие, начинает движение. Такое замедление быстрых нейтронов происходит до уменьшения их энергии до энергии тепловых нейтронов, которая наблюдается примерно 10^{-6} – 10^{-3} с [1]. Упругое рассеяние не сопровождается гамма-излучением.

После того как нейтроны замедлились и стали тепловыми, происходят реакции радиационного захвата. Такие нейтроны при взаимодействии с ядрами поглощаются. В результате поглощения ядро получает всю энергию от нейтрона и переходит в возбужденное состояние. Чтобы выйти из этого состояния, возбужденное ядро за 10^{-23} с производит вторичное гамма-излучение (испускает гамма-кванты) [4]. Этот процесс называется *гамма-излучением радиационного захвата* (ГИРЗ).

В первые микросекунды измерения происходит регистрация упругих и неупругих взаимодействий, т. е. спектра ГИНР. Далее возникает всплеск излучения гамма-квантов, спектров ГИНР. Так как жизнь тепловых нейтронов в типичных нефтегазовых скважинах колеблется от 100 до 500 мкс [4], спектры ГИНР и ГИРЗ (включая спектры от предыдущих всплесков) накладываются друг на друга на время, пока живут тепловые нейтроны (рис. 2).

Рис. 2. Временные интервалы регистрации спектров ГИНР и ГИРЗ

Fig. 2. Time intervals record Gamma Ray Inelastic Scattering (GRIS) and Gamma Ray Neutron Capture (GRNC) spectrum

Прибор ИНГК регистрирует энергии ГИНР и ГИРЗ, которые впоследствии оцифровываются. Таким образом, результатами измерений метода ИНГК являются массивы спектров гамма-квантов, состоящие из значений (скоростей счета), соответствующих различным энергетическим окнам, энергия в которых варьируется от 0 до 10 МэВ [4]. *Энергетические окна* — это интервалы энергий, возникающие после оцифровки данных. В нашем случае оцифровка образовала 1 024 интервала, следовательно, интервалы энергий составляют $\sim 0,0098$ МэВ.

По полученным спектрам ГИРЗ и ГИНР можно определить такие основные породообразующие химические элементы, как углерод (С), кислород (О), кальций (Са), кремний (Si), железо (Fe), водород (Н) и др. Энергетические характеристики ГИНР и ГИРЗ для основных породообразующих химических элементов представлены в таблице.

Основные породообразующие химические элементы
и их характеристики ГИНР и ГИРЗ [6]

The main rock-forming chemical elements and their characteristics
Gamma Ray Inelastic Scattering (GRIS) and Gamma Ray Neutron Capture (GRNC) [4]

Элемент	Среднее содержание в горных породах, %	Энергия, МэВ	
		ГИНР	ГИРЗ
¹² C	0.02298	4.43	4.95, 3.68, 1.26
¹⁶ O	46.89	6.13, 7.12	2.18, 1.09, 3.27
⁴⁰ Ca	2.87	3.73, 3.90	1.94, 6.42, 4.42
²⁸ Si	28.54	1.78, 2.84	3.54, 4.93, 1.27
⁵⁶ Fe	4.26	1.24, 2.61	7.63, 7.65, 5.9
¹ H	0.99985	—	2.23

Входные данные

Для анализа были взяты данные спектров вторичных гамма-квантов, зарегистрированных во время стоянки на глубине 2963,078 м на месторождении в регионе Среднего Поволжья модулем ИНГК, разработанным во ФГУП «ВНИИА»³, входящем в состав автономного комплекса СКЛ-А-102⁴, созданного в НПП ГА «Луч»⁵. Во время стоянки было произведено 56 измерений (56 спектров) по 1024 значения в каждом. Для анализа было решено взять данные ГИРЗ, поскольку порядок счета их меньше, и, следовательно, флуктуация измерений выше.

Все входные данные, полученные после оцифровки, являются целыми и неотрицательными. В ходе первоначального анализа входных данных на основании распределения хи-квадрат [5] было установлено, что значения спектров в энергетических окнах практически всех измерений, соответствуют нормальному распределению. Иначе говоря, каждое значение спектра является случайной величиной. Таким образом, далее каждый спектр будем называть экспериментом, а среднеарифметическое по всем 56-ти спектрам – математическим ожиданием.

При интерпретации данные представляются в виде графика отношения количества гамма-квантов (логарифмическая шкала измерения) к индексу энергетического окна (от 0 до 1023). График 20-го эксперимента, измеренного во время стоянки на глубине 2963,078 м, представлен на рис. 3.

Далее, в данной статье будет рассмотрен метод, использующий построение В-сплайна для предобработки спектров ГИРЗ, зарегистрированных аппаратурой ИНГК, учитывающий статистические зависимости соседних значений спектров.

³ Официальный сайт ФГУП «ВНИИА». URL: <http://www.vniia.ru> (дата обращения 22.10.2018).

⁴ Аппаратурно-методический автономный комплекс для геофизических исследований эксплуатационных скважин «СКЛ-А-102». URL: <http://www.looch.ru/products/skl-a.html> (дата обращения 20.10.2018).

⁵ Официальный сайт компании ЗАО НПП ГА «Луч». URL: <http://looch.ru> (дата обращения 13.11.2018).

Рис. 3. Входные данные, спектр ГИРЗ, 20-й эксперимент на глубине 2963,078 м

Fig. 3. Input data, the 20th spectrum Gamma Ray Neutron Capture (GRNC) at a depth of 2963.078 m

Интерполяция спектров импульсного нейтронного гамма-каротажа

Предполагается, что каждое значение измеренного спектра ГИРЗ имеет статистическую зависимость от соседних значений, и было бы разумно ее учитывать [2]. В таком случае целесообразно осуществлять предобработку данных с учетом зависимости соседних значений друг от друга для получения более достоверных измерений. Сейчас предобработка осуществляется путем сложения значений зарегистрированных спектров⁶, следующих друг за другом измерений. В данном случае зависимости соседних значений спектра не учитываются, а следовательно, и флуктуация остается относительно высокой.

Для уменьшения флуктуации в экспериментальных данных решено использовать метод интерполяции при помощи В-сплайнов. В-сплайн – совокупность нескольких кусочно-заданных функций, каждая из которых задана на каком-то, попарно не пересекающемся с другими, множестве значений аргумента, имеющих минимальный носитель (минимальное число отрезков, где сплайн отличен от нуля), разделение области определения которых осуществляется при помощи точек-узлов [5].

Для расчета В-сплайна по набору точек, необходимо определить такие параметры, как степень функции, веса точек, а также набор узлов для интерполяции.

Выбор степени В-сплайна основывался на количестве экстремумов результирующей функции. Оптимальным в данном случае оказался квадратичный В-сплайн. В случае применения кубического В-сплайна количество экстремумов было велико, что негативно сказывалось на дальнейшей интерпретации данных.

Веса w для В-сплайна – это неотрицательные числа, сумма которых положительна и равна единице [5]. Веса w считались по формуле

$$w_i = \frac{1}{s_i} / \sum_i \frac{1}{s_i},$$

где s_i – стандартное отклонение по всем экспериментам, i – номер измерения (от 1 до 1 024).

⁶ См.: Техническая инструкция по проведению геофизических исследований...

График полученных значений весов для спектров стоянки на глубине 2963,078 м представлен на рис. 4.

Рис. 4. Значения весов точек В-сплайна для спектров стоянки на глубине 2963,078 м
Fig. 4. The weights of the B-spline points for parking spectra at a depth of 2963.078 m

Рассмотрены два типа узлов: автоматически рассчитанные (применяемой функцией `interpolate.splrep` для языка Python) неравноудаленные узлы и наборы вручную рассчитанных равноудаленных узлов с шагом от 2 до 10.

Вначале был построен неоднородный (узлы не равноудалены друг от друга) В-сплайн с автоматически рассчитанными узлами (рис. 5). Затем составлены массивы однородных узлов и рассчитаны сами В-сплайны по всем наборам узлов. После этого необходимо было определить, при каком наборе узлов для конкретных экспериментальных данных полученный В-сплайн в большей мере соответствует требуемому результату, а именно имеет наименьшую флуктуацию.

Рис. 5. Неоднородный В-сплайн, построенный на данных ГИРЗ 20-го эксперимента, в сравнении с исходными данными и математическим ожиданием
Fig. 5. Heterogeneous B-spline, built the 20th spectrum Gamma Ray Neutron Capture (GRNC) data in comparison with the original data and arithmetic-mean

Для определения степени флуктуации производилось сравнение результатов построения В-сплайнов (с разными наборами узлов) с математическим ожиданием. Для расчетов использовалась формула

$$fl = \sqrt{\frac{\sum_i \left(\frac{x_i - x_i^{appr}}{x_i} \right)^2}{n}}, \quad (1)$$

где x_i – значение, соответствующее i -му энергетическому окну математического ожидания; x_i^{appr} – значение, соответствующее i -му энергетическому окну аппроксимированной функции (с одним из равномерных наборов узлов); i – номер энергетического окна (от 1 до 1 024); n – количество значений.

В расчетах не учитывались значения энергетических окон с 1 по 50 и с 800 по 1 024. В энергетических окнах с 1 по 50 имеется быстро растущий пик значений, сильно влияющий на среднее значение по всем измерениям, что, в свою очередь, влияет на определение флуктуации. Кроме того, в связи с величиной значений данные измерения не нуждаются в предобработке для корректной интерпретации. В энергетических окнах с 800 по 1 024 значения варьируются в среднем в интервале от 0 до 2 и не несут при этом необходимой смысловой нагрузки. Таким образом, флуктуация определялась в интервале энергетических окон с 50 по 800.

В процессе применения формулы (1) строилась таблица, данные из которой приведены на рис. 6, в которой отображалась степень флуктуации при различных типах и шагах узлов. В результате оказалось, что при применении к спектрам ГИРЗ интерполяции однородным В-сплайном с шагом узлов 7 возникает минимальная флуктуация.

№ спектра	1	...	10	...	20	...	30	...	40	...	50	...	56
Шаг узлов													
Auto	0.217283		0.201981		0.188039		0.233012		0.195159		0.243816		0.202049
2	0.288836		0.269883		0.287026		0.279932		0.235236		0.2904		0.275466
3	0.241333		0.222727		0.22919		0.221017		0.200747		0.241792		0.229351
4	0.209028		0.207739		0.199513		0.186911		0.182032		0.223013		0.210476
5	0.270335		0.280353		0.244454		0.195322		0.220305		0.269188		0.242538
6	0.209111		0.247918		0.225934		0.194263		0.206892		0.234967		0.212226
7	0.167897		0.168447		0.154919		0.157773		0.170285		0.15568		0.167861
8	0.157439		0.172441		0.156535		0.164722		0.176631		0.155829		0.175654
9	0.145876		0.180546		0.15951		0.158647		0.174917		0.162061		0.183341
10	0.142442		0.192985		0.17435		0.174023		0.191735		0.166363		0.19328
Min	10		7		7		7		7		7		7

Рис. 6. Значения флуктуации для различных шагов узлов с указанием шага, при котором флуктуация является наименьшей (данные приведены не для всех спектров)

Fig. 6. Degree of fluctuations for various steps of the nodes indicating the step at which the fluctuation is the smallest (is not complete)

Результат сравнения применения однородного В-сплайна с шагом узлов 7 и применения неоднородного В-сплайна с автоматически рассчитанными узлами к экспериментальным данным можно увидеть на рис. 7. Кроме того, на рис. 7 можно заметить, что по сравнению с исходными полученные после обработки спектры лучше поддаются качественной обработ-

ке, и мы можем с большей уверенностью выделить пики, соответствующие определенным химическим элементам.

Рис. 7. Сравнение применения неоднородного В-сплайна и однородного В-сплайна с шагом узлов 7, построенных на данных ГИРЗ 20-го эксперимента, с указанием химического состава на основании данных, представленных в таблице

Fig. 7. Comparing the application of the homogeneous B-spline with a steps nodes is 7 and heterogeneous B-spline with automatically calculated nodes by 20th spectrum Gamma Ray Neutron Capture (GRNC) indicating the chemical composition based on the data presented in table

Заключение

Неоднозначность качественной оценки спектров ИНГК усложняет работу данным методом. Автоматический метод оценки и обработки данных, в свою очередь, является несвоевременным, так как данная информация может повлиять на текущий процесс бурения и не всегда оказывается точной. При помощи алгоритма предобработки сигнала ИНГК, позволяющего минимизировать флуктуацию, качественная оценка интерпретатора данных для определения минерального состава горных пород станет более однозначной и информативной.

В настоящее время рассмотрен и применен к экспериментальным данным, зарегистрированным во время стоянки на глубине 2963,078 м на месторождении в регионе Среднего Поволжья модулем ИНГК, разработанным во ФГУП «ВНИИА», входящем в состав автономного комплекса СКЛ-А-102, созданного в НПП ГА «Луч», метод построения сглаживающего квадратичного однородного В-сплайна с шагом узлов 7, который показал положительные результаты в достижении цели уменьшения флуктуации и позволил улучшить метод предобработки спектральных сигналов.

Для первичного анализа и определения подходящего метода (и его параметров) предобработки данных использовался язык программирования Python, для работы со сплайнами – библиотека `scipy.interpolate` для языка Python.

В дальнейшем планируется оформить данный алгоритм предобработки данных ИНГК в виде встраиваемого программного модуля в программный комплекс «RealDepth5» [6], разрабатываемый в ИНГТ СО РАН⁷ совместно с НПП ГА «Луч». После внедрения модуля бу-

⁷ Официальный сайт ИНГТ СО РАН. URL: <http://www.ipgg.sbras.ru>

дуг произведены испытания в полевых условиях. Также планируется расширить возможности алгоритма для применения его к спектрам импульсного нейтрон-нейтронного каротажа.

Список литературы / References

1. **Хисамутдинов А. И., Банзаров Б. В., Федорин М. А.** Математическое моделирование нестационарного переноса частиц в задачах импульсного нейтронного гамма-каротажа // Научные труды: Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН. Новосибирск, 2008. 54 с.
Khisamutdinov A. I., Banzarov B. V., Fedorin M. A. Matematicheskoye modelirovaniye nestatsionarnogo perenosa chastits v zadachakh impul'snogo neytronnogo-gamma karotazha [Mathematical modeling of nonstationary particle transport in the problems of pulsed neutron gamma ray logging]. In: Nauchnyye trudy: Institut neftegazovoy geologii i geofiziki im. A. A. Trofimuka SO RAN [Scientific works: Trofimuk Institute of Petroleum-Gas Geology and Geophysics SB RAS]. Novosibirsk, 2008. 54 p. (in Russ.)
2. **Косогова Н. О., Власов А. А.** Применение статистической зависимости соседних элементов спектра зарегистрированных сигналов импульсного нейтронного гамма-каротажа для уменьшения флуктуации // Инноватика-2018: Сб. материалов XIV Междунар. школы-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (26–27 апреля 2018 г.) / Под ред. А. Н. Солдатова, С. Л. Минькова. Томск: STT, 2018. С. 361–364.
Kosogova N. O., Vlasov A. A. Statistic dependence for recorded pulsed neutron gamma-ray logging signals adjacent spectrum elements application to reduce fluctuation. In: Innovation-2018: Proc. of 14th International school-conference of students, graduate students and young scientists (April 26–27, 2018). Eds. A. N. Soldatov, S. L. Minkov. Tomsk, STT Publ., 2018, p. 361–364. (in Russ.)
3. **Косков В. Н., Косков Б. В.** Геофизические исследования скважин и интерпретация данных ГИС: Учеб. пособие. Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2007. 317 с.
Koskov V. N., Koskov B. V. Well logging and interpretation of GIS data: A Stud. Manual. Perm, Perm State Technical University Publ., 2007, 317 p. (in Russ.)
4. **Бубеев А. А.** Разработка программно-управляемой аппаратуры спектрометрического импульсного нейтронного гамма-каротажа (ИНГКС) и технологии скважинных измерений: Квалиф. работа. Уральский гос. горн. ун-т; Институт геологии и геофизики. Екатеринбург, 2005. 40 с.
Bubeev A. A. Razrabotka programmno-upravlyayemoy apparatury spektrometricheskogo impul'snogo neytronnogo gamma-karotazha (INGKS) i tekhnologii skvazhinnykh izmereniy [Development of software-controlled spectrometric-pulsed neutron gamma ray logging (PNGRL) equipment and borehole measurement technology]. Qual. Job. in Ural State Mountain University; Institute of Geology and Geophysics. Ekaterinburg, 2005, 40 p. (in Russ.)
5. **Володин И. Н.** Лекции по теории вероятностей и математической статистике: Учеб. пособие. Казань, 2006. 271 с.
Volodin I. N. Lektsii po teorii veroyatnostey i matematicheskoy statistike [Lectures on probability theory and mathematical statistics]. A Stud. Manual. Kazan, 2006, 271p. (in Russ.)
6. **Расковалов П. С., Фаре А. Н., Власов А. А., Ельцов И. Н.** Разработка программного обеспечения для работы с автономными каротажными комплексами и препроцессинга данных // ГЕО-Сибирь-2010: Сб. материалов VI Междунар. науч. конгресса. Новосибирск: Изд-во СГГА, 2010. Т. 2, ч. 2: Недропользование. Горное дело. Новые направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых С. 33–36.
Raskovalov P. S., Faguet A. N., Vlasov A. A., Yeltsov I. N. Software development for self-reacting logging sonds support and data preprocessing. In: GEO-Siberia-2010. Collect. of ma-

terials of the VI International Scientific Congress Novosibirsk, SSAG Publ., 2010, vol. 2, part 2: Subsoil use. Mining engineering. New directions and technologies of prospecting, exploration and development of mineral deposits, p. 33–36. (in Russ.)

Материал поступил в редколлегию

Received

26.12.2018

Сведения об авторах / Information about the Authors

Косогова Наталья Олеговна, магистрант факультета информационных технологий Новосибирского государственного университета (ул. Пирогова, 1, Новосибирск, 630090, Россия)

Natalya O. Kosogova, Master's Student, Faculty of Information Technologies, Novosibirsk State University (1 Pirogov Str., Novosibirsk, 630090, Russian Federation)

n.kosogova@g.nsu.ru

Власов Александр Александрович, кандидат технических наук, доцент, Новосибирский государственный университет (ул. Пирогова, 1, Новосибирск, 630090, Россия), научный сотрудник, Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН (пр. Академика Коптюга, 3, Новосибирск, 630090, Россия)

Alexander A. Vlasov, Candidate of Science (Techniques), Associate Professor, Novosibirsk State University (1 Pirogov Str., Novosibirsk, 630090, Russian Federation); Researcher, Trofimuk Institute of Petroleum-Gas Geology and Geophysics SB RAS (3 Academician Koptug Ave., Novosibirsk, 630090, Russian Federation)

alexander.a.vlasov@gmail.com