МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СИБИРСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ»
(ФГБОУ ВПО «СГГА»)

VIII Международные научный конгресс и выставка

ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ-2012

Международная научная конференция

НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ. ГОРНОЕ ДЕЛО. НОВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ ПОИСКА, РАЗВЕДКИ И РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Т. 1

Сборник материалов

Новосибирск
СГГА
2012

УДК 622
С26

Ответственные за выпуск:

Доктор технических наук, академик РАН, директор
Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, Новосибирск
М.И. Эпов

Кандидат технических наук, профессор,
проректор по инновационной деятельности СГГА, Новосибирск
В.А. Середович

Кандидат геолого-минералогических наук,
генеральный директор ФГУП «СНИИГГиМС», Новосибирск
А.С. Ефимов

Доктор технических наук, зам. директора по науке ФГУП «СНИИГГиМС», Новосибирск
Г.М. Тригубович

Доктор геолого-минералогических наук, академик,
председатель Президиума Кемеровского научного центра СО РАН, Кемерово
А.Э. Конторович

Руководитель Регионального агентства по недропользованию
по Сибирскому Федеральному округу, Новосибирск
А.И. Неволько

Доктор физико-математических наук, чл.-корр. РАН,
директор Института горного дела СО РАН, Новосибирск
В.Н. Опарин

Кандидат геолого-минералогических наук,
учёный секретарь ФГУП «СНИИГГиМС», Новосибирск
Ф.А. Мигурский

С26 Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр., 10–20 апреля 2012 г., Новосибирск : VIII Междунар. науч. конф. «Недропользование. Горное дело. Новые направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых» : сб. материалов в 2 т. Т. 1. – Новосибирск : СГГА, 2012. – 231 с.

ISBN 978-5-87693-508-3 (т. 1)
ISBN 978-5-87693-507-6
ISBN 978-5-87693-506-9

В сборнике опубликованы материалы VIII Международного научного конгресса «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012», представленные на Международной научной конференции «Недропользование. Горное дело. Новые направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых».

Печатается по решению редакционно-издательского совета СГГА

Материалы публикуются в авторской редакции

УДК 622

ISBN 978-5-87693-508-3 (т. 1)
ISBN 978-5-87693-507-6
ISBN 978-5-87693-506-9

© ФГБОУ ВПО «СГГА», 2012

Сборник включен в систему РИНЦ.

СОДЕРЖАНИЕ

Н.Н. Неведрова, А.М. Санчаа. Особенности интерпретации данных электромагнитных зондирований становлением поля для решения нефтепоисковых задач в Западной Сибири 9
А.С. Мартьянов, Д.В. Тейтельбаум, А.А. Власов, А.Ю. Соболев. Опыт применения грид-системы в ИНГГ СО РАН и перспективы ее развития 16
А.А. Дучков, И.И. Фадеева, С.А. Казанцев, Ф. Андерссон. Оценка глубинного теплового потока через дно Телецкого озера по результатам мониторинга температуры в донных осадках 22
Б.И. Прилоус. Медленные землетрясения в контексте модели структурированного континуума 28
Е.В. Поспеева, Л.В. Витте, В.В. Потапов. Геологическое истолкование результатов магнитотеллурического зондирования в юго-восточной части Байкальской рифтовой зоны 33
В.В. Плоткин. Восстановление тензора электропроводности по скважинным данным 39
В.В. Оленченко, А.Н. Шеин. Геокриологическое строение пойменных и надпойменных отложений р. Юрибей (Ямал) по данным электрических зондирований 45
Я.К. Камнев, Н.О. Кожевников, Г.Г. Матасова. Измерение магнитной вязкости во временной области лабораторной индукционной установкой 50
В.П. Исупов, С.Л. Шварцев, А.Г. Владимиров, М.Н. Колпакова, С. Ариунбилэг, С.С. Шацкая, Л.В. Куйбида. Гидроминеральные ресурсы соленых озер Западной Монголии 55
Н.Г. Изох. Девонские конодонтовые биофации Щучинского выступа (СЗ Западно-Сибирской геосинеклизы) 61
А.П. Сорокин, М.Н. Шапорина. Перспективы нефтегазоносности Зея-Буреинского осадочного бассейна 63
М.Ю. Скузоватов. Прогноз коэффициента пористости парфеновского горизонта центральных районов Ангаро-Ленской ступени по комплексу данных сейсморазведки и ГИС 68
Л.В. Скопинцева, Т.В. Нефедкина, А.М. Айзенберг, М.А. Айзенберг. Влияние формы криволинейной границы и геометрии системы наблюдений на AVO инверсию закритических PP отражений 72
И.Ю. Сильвестров, Д.А. Неклюдов, В.А. Чеверда. Анализ разрешающей способности и устойчивости определения упругих параметров для различных сценариев наблюдений при выносном ВСП 78
Я.В. Садыкова. Палеодинамические условия формирования подземных вод верхнеюрского гидрогеологического комплекса (на примере южных районов Обь-Иртышского междуречья) 84
С.В. Рыжкова. Эволюция представлений о трансгрессии моря на юг Западной Сибири в байосе и келловее 89

М.И. Протасов, И. Бородин. Построение сейсмических изображений в анизотропных средах по многокомпонентным данным ВСП 94
М.А. Фомин. Сейсмогеологическая характеристика и анализ современной структуры мезозойско-кайнозойских отложений зоны сочленения Западно-Сибирской геосинеклизы и Енисей-Хатангского регионального прогиба 100
К.В. Федин, А.А. Каргаполов, Ю.И. Колесников. Влияние щелевидных дефектов на поле стоячих волн, формирующихся в закрепленной балке под действием акустических шумов 105
М.Ш. Урамаев, А.А. Власов, А.Ю. Соболев. Интегрируемый программный модуль интерпретации данных ВИКИЗ 111
В.Ю. Тимофеев, Е.Н. Калиш, Ю.Ф. Стусь, М.Г. Смирнов, Г.П. Арнаутов, Д.Г. Ардюков, Е.В. Бойко, А.В. Тимофеев. О стабильности значения силы тяжести Земли 117
В.Ю. Тимофеев, Д.Г. Ардюков, Е.В. Бойко, А.В. Тимофеев. Эффективный модуль упругости и моделирование косейсмических смещений Саянского региона 123
Д.А. Новиков, А.Ф. Сухорукова. Высокоминерализованные воды полуострова Юрюнг-Тумус 129
А.Ю. Нехаев. Обстановки осадконакопления геттанг-синемюрского регионального резервуара севера Западной Сибири 134
Г.В. Нестерова, И.Н. Ельцов, Л.А. Назарова, Л.А. Назаров Совместная электрогидродинамическая и геомеханическая модель прискважинной зоны и её использование при интерпретации каротажных диаграмм ВИКИЗ и БКЗ 139
Н.Г. Изох, Н.К. Бахарев, А.Ю. Язиков. Конодонты и брахиоподы из типовых выходов беловского горизонта (нижний девон, северо-восточный Салаир) 144
М.А. Павлова, К.В. Сухорукова, В.Н. Глинских, В.А. Казаненков. Интерпретация материалов геофизических исследований скважин нефтеносного разреза баженовской свиты: литотипы и их физические параметры 147
Д.А. Новиков. Гидрогенно-минеральные комплексы зоны катагенеза северных районов Западно-Сибирского мегабассейна 152
А.В. Левичева. З.Н. Гнибиденко. Магнитостратиграфия континентальных палеоген-неогеновых отложений СКВ. 8 (юг Западной Сибири) 157
П.С. Лапин. Влияние на размещение крупных газовых месторождений волнового характера неоген-четвертичных рельефообразующих процессов (Западно-Сибирская нефтегазоносная провинция) 162
А.С. Кошелев, Д.В. Тейтельбаум, К.С. Сердюк, М.Н. Глущенко, А.А. Власов, А.Ю. Соболев. Параллелизация и оптимизация последовательного алгоритма расчета сигналов для высокочастотного индукционного каротажа 167
А.А. Кох. Гидрогеологическое районирование западной части Хатангского артезианского бассейна 174

Ю.И. Колесников, К.В. Федин, А.А. Каргаполов. Об определении собственных частот и форм колебаний трубопроводов по акустическим шумам 179
Ю.И. Колесников, А.Ф. Еманов, Е.А. Хогоев, А.А. Красников. Применение комплекса сейсмических методов для изучения оползневого склона185
Н.О. Кожевников, Е.Ю. Антонов, М.А. Корсаков, А.К. Захаркин. Проявления и учет индуционно-вызванной поляризации при поисках таликовых зон в районе Пякяхинского нефтегазового месторождения 191
Н.С. Ким. Нефтегазопроизводящие толщи в юрских отложениях восточной части Енисей-Хатангского регионального прогиба..... 196
Е.В. Карташов, М.Н. Балдин, В.М. Грузнов. Особенности применения пассивных концентраторов для геохимической съемки при поиске залежей нефти и газа..... 201
Н.А. Голиков, А.Я. Шевко, М.П. Гора, Е.П. Бессонова. Петрофизические свойства вулканогенных пород разной степени гидротермального изменения в областях активного вулканизма (на примере вулкана Головнина)..... 207
Н.А. Голиков, Э.И. Машинский. Влияние дисперсии фильтрационно-емкостных свойств пород на релаксационныеспектры затухания упругих волн 213
В.В. Филатов, О.Ю. Светозерский. Факторы упорядоченности в задаче прогноза..... 218
С.В. Барсуков, А.А. Белая, Ю.Ю. Дмитриев, А.С. Сверкунов, Е.Н. Махнач, Г.М. Тригубович. Особенности построения высокоточной аэрогеофизической системы серии «Импульс-Аэро» 224
Д.О. Артамонов, О.В. Орлова. Определение химического состава пластовых вод на рентгенофлуоресцентном спектрометре 230
А.С. Сверкунов. Оценка глубинности исследований электромагнитного канала аэрогеофизической системы серии «Импульс-Аэро»..... 235
А.А. Белая, И.И. Иванова, Е.Н. Крупнов, Н.И. Паули, Г.М. Тригубо-вич, М.Р. Халиуллин. Высокогоразрешающая электромагнитная разведка угольных пластов 240
И.В. Суродина. Моделирование диаграмм БКЗ в скважинах с биополимерным раствором 245

CONTENTS

N.N. Nevedrova, A.M. Sanchaa. Features of transient electromagnetic data interpretation for the decision of oil-and-gas problems in Western Siberia . 9
A.S. Martianov, D.V. Teytelbaum, A.A. Vlasov, A.Yu. Sobolev. Experience of using grid system in IPGG SB RAS and aspects of its development 16
A.A. Duchkov, I.I. Fadeeva, S.A. Kazantsev, F. Andersson. Terrestrial heat flow through Teletsk lake bottom estimated from temperature monitoring in bottom sedimaents 22
B.I. Prilous. Slow earthquakes in the context of model of the structured continuum 28
E.V. Pospeeva, L.V. Vitte, V.V. Potapov. Geological interpretation of results of magnetotelluric sounding in the southeast part of Baikal riftzone 33
V.V. Plotkin. Recovering the conductivity tensor on the borehole data..... 39
V.V. Olenchenko, A.N. Shein. Geocryological structure of floodplain and above floodplain sediments of river Yuribey(Yamal) according to electrical sounding data..... 45
Ya.K. Kamnev, N.O. Kozhevnikov, G.G. Matasova. Time-domain magnetic viscosyty measurements with laboratory inductive system 50
V.P. Isupov, S.L. Shvartsev, A.G. Vladimirov, M.N. Kolpakova, S. Ariunbileg, S.S. Shatskaja , L.V. Kuybida. Hydromineral resources of salt lakes in Western Mongolia 56
N.G. Izokh. Devonian conodont biofacies of the Shchuchiy Ledge (NW of the West Siberian Geosyncline) 61
A.P. Sorokin, M.N. Shaporina. Prospect of oil-and-gas content in Zeya-Bureinskiy sedimentary pool 63
M.Yu. Skuzovatov. Porosity prognose of Parfenovo horizon of the central part of Angara-Lensk step by complex of seismic and well-log data 68
L.V. Skopintseva, T.V. Nefedkina, A.M. Aizenberg, M.A. Ayzenberg. The effect of curved interface shape and acquisition geometry on AVO inversion of post-critical PP reflections 72
I.Yu. Silvestrov, D.A. Neklyudov, V.A. Tcheverda. Resolution and stability analysis of elastic parameters reconstruction for different OVSP acquisition scenarios 78
Ya.V. Sadykova. Paleodynamics conditions of upperjurassic ground waters formation (by example of south regions Ob- Irtysh interfluves) 84
S.V. Ryzhkova. Developments in understanding of the sea transgression to the south of West Siberia in the bajocian and callovian 89
M.I. Protasov, I. Borodin. Seismic imaging of multicomponent VSP data in anisotropic medias..... 94
M.A. Fomin. Seismogeologic characteristics and analysis of mesozoic-kainozoic modern structure of the Yenisey-Khatanga regional trough and West-Siberia geosyncline connection zone 100

K.V. Fedin, A.A. Kargapolov, Yu.I. Kolesnikov Influence of slit-like defects on standing waves field forming in fixed beam under the action of acoustic noise 105
M.Sh. Uramaev, A.A. Vlasov, A.Yu. Sobolev. Integrable program module of VIKIZ data interpretation..... 111
V.Yu. Timofeev, E.N. Kalish, Yu.F. Stus, M.G. Smirnov, G.P. Ar-nautov, D.G. Ardyukov, E.V. Boyko, A.V. Timofeev. About stability of Earth's gravity 118
V.Yu. Timofeev, D.G. Ardyukov, E.V. Boyko, A.V. Timofeev. Effective elastic module and modelling of coseismic displacements of Sayan region 123
D.A. Novikov, A.F. Sukhorukova. High-mineralized waters of the Yuryung-Tumus peninsula..... 129
A.Yu. Nekhaev. Sedimentation environments of the hettangian-sinemurian regional reservoir in the north of West Siberia 134
G.V. Nesterova, I.N. Yeltsov, L.A. Nazarova, L.A. Nazarova. Joint electrohydrodynamic and geomechanical model of borehole invironment and application for interpretation electric and electromagnetic logs..... 140
N.G. Izokh, N.K. Bakharev, A.Yu. Yazikov. Conodonts and brachiopods from type section of Belovo horizon (lower devonian, north-eastern Salair) ... 144
M.A. Pavlova, C.V. Suhorukova, V.N. Glinskih, V.A. Kazanenkov. Log data interpretation of the Bagenov formation producing interval: lithotypes and their physical parameters..... 147
D.A. Novikov. Hydrogenic-mineral complexes of the catagenesis zone in the northern West Siberian megabasin..... 152
A.V. Levicheva, Z.N. Gnibidenko. Magnitostratigraphy of continental paleogene-neogene deposits of borehole № 8 (south of West Siberia) 157
P.S. Lapin. Influence on location of large gas fields of wave nature of relief neogene-quaternary processes (the West Siberian oil and gas province) . 162
A.S. Koshelev, D.V. Teytelbaum, K.S. Serduyk, M.N. Glushchenko, A.A. Vlasov, A.Yu. Sobolev. Parallelization and optimization of sequential algorithm of signals modeling for hight-frecuency induction probing..... 167
A.A. Kokh. Hydrogeological zoning of western part of the Khatanga artesian basin 174
Yu.I. Kolesnikov, K.V. Fedin, A.A. Kargapolov. On the determination of pipelines natural frequencies and mode shapes using acoustic noise..... 179
Yu. I. Kolesnikov, A.F. Emanov, E.A. Hogoev, A.A. Krasnikov. Application of seismic techniques to landslide slope study..... 185
N.O. Kozhevnikov, E.Yu. Antonov, M.A. Korsakov, A.K. Zakharkin. The manifestation of and allowing for the inductive induced polarization in search of taliks in the vicinity of the Pyakyakhinskoe oil and gas field... 191
N.S. Kim. Source rocks of jurassic deposits in the eastern part of the Yenisei-Khatanga regional trough..... 196
E.V. Kartashov, M.N. Baldin, V.M. Gruznov. Features of passive concentrators for geochemical survey while searching for oil fields..... 201

N.A. Golikov, A.Ja. Shevko, M.P. Gora, E.P. Bessonova. Petrophisical properties of volcanogenic rocks of different degree of hydrothermal change in areas of the active volcanism (on the example of Golovnin volcano) 207
N.A. Golikov, E.I. Mashinskii. Influence of dispersion of filtration-capacitive properties in rocks on relaxation spectra of wave attenuation 213
V.V. Filatov, O.Yu. Svetozersky. Ordering factors in a predication problem ... 218
S.V. Barsukov, A.A. Belaya, Yu.Y. Dmitriev, A.S. Sverkunov, E.N. Makhnach, G.M. Trigubovich. Architecture features of high-precision airborne geophysical system of an «Impulse-Aero» series 224
D.O. Artamonov, O.V. Orlova. The oil-field water chemical composition determination on x-ray fluorescence spectrometer 230
A.S. Sverkunov. Exploration distance's assessment of electromagnetic channel of aerogeophysical system «Impuls-Aero» type 235
A.A. Belaya, I.I. Ivanova, E.N. Krupnov, N.I. Pauli, G.M. Trigubovich, M.R. Haliullin. High-resolution electromagnetic exploration of coal layers 241
I.V. Surodina. Simulation of diagrams BKZ in the boreholes with the highly conductive drilling mud 245

УДК 550.37

ОСОБЕННОСТИ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЗОНДИРОВАНИЙ СТАНОВЛЕНИЕМ ПОЛЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ НЕФТЕПОИСКОВЫХ ЗАДАЧ В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Нина Николаевна Неведрова
Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, 630090, г. Новосибирск, пр-т Коптюга, д. 3, кандидат геолого-минералогических наук, доцент, старший научный сотрудник Лаборатории электромагнитных полей, тел. (383)333-16-39, e-mail: NevedrovaNN@ipgg.nsc.ru

Айдиса Михайловна Санчаа
Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, 630090, г. Новосибирск, пр-т Коптюга, д. 3, кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник Лаборатории электромагнитных полей, тел. (383)330-49-54, e-mail: SanchaaAM@ipgg.nsc.ru

В статье рассмотрены особенности интерпретации электромагнитных данных методом становления поля для решения нефтепоисковых задач в Западной Сибири. Приведены некоторые результаты.

Ключевые слова: Западная Сибирь, электромагнитные зондирования становлением поля.

FEATURES OF TRANSIENT ELECTROMAGNETIC DATA INTERPRETATION FOR THE DECISION OF OIL-AND-GAS PROBLEMS IN WESTERN SIBERIA

Nina N. Nevedrova
senior lecturer, senior research assistant, Trofimuk institute of petroleum geology and geophysics SB RAS, 3, Akademika Koptyuga Prosp. Novosibirsk, 630090, Russia, phone: (383)333-16-39, e-mail: NevedrovaNN@ipgg.nsc.ru

Aydisa M. Sanchaa
research assistant, Trofimuk institute of petroleum geology and geophysics SB RAS, 3, Akademika Koptyuga Prosp. Novosibirsk, 630090, Russia, phone: (383)330-49-54, e-mail: SanchaaAM@ipgg.nsc.ru

In article features of transient electromagnetic data interpretation for the decision of oil-and-gas problems in Western Siberia are considered. Some results are resulted.

Key words: Western Siberia, transient electromagnetic.

В настоящее время методы электроразведки используются в Западной Сибири для решения нефтепоисковых задач. Основной сложностью при интерпретации данных является низкоомный, малоконтрастный по значениям геоэлектрических параметров разрез нефтеносного мезозойского комплекса. Кроме того, для поиска новых месторождений приходится исследовать все более глубокие горизонты. Учитывая эти обстоятельства, к перспективным можно отнести метод электромагнитных зондирований становлением поля (ЗС),

который имеет высокую разрешающую способность, глубинность, локальность исследования при относительно небольших размерах установки (меньшие глубины залегания исследуемого объекта). Для успешного использования метода повышаются требования к качеству полевых данных, и точности интерпретации. В статье рассмотрены основные результаты опытно-методических работ на нефтеносном участке в Западной Сибири, дана характеристика полевых данных, описана методика интерпретации. Основной целью работ являлось определение возможностей метода ЗС для уточнения строения мезозойских отложений участка, выявления признаков нефтеносности на уровне викуловской свиты. Фактически на этом этапе исследований необходимо определить круг задач, которые могут решать электроразведочные методы, в частности метод ЗС.

Методика работ, интерпретация данных

Участок опытно-методических работ расположен в Среднем Приобье, на правом берегу реки Обь. Измерения методом ЗС выполнены по сети сейсмических профилей прошлых лет. Размещение пунктов ЗС показано на рис. 1. Из множества имеющихся модификаций метода ЗС с учетом физико-географических условий участка исследований был выбран способ с индуктивным возбуждением и регистрацией производной по времени вертикальной компоненты магнитного поля. При индуктивном возбуждении и приеме локальные приповерхностные неоднородности, являющиеся геологическими помехами, влияют слабо, так как порождаемые ими искажения носят в основном гальванический характер. В статье рассмотрены результаты, полученные модификацией метода ЗС с соосной установкой (источник - квадратная петля со стороной 1 000 м, регистрация осуществлялась многовитковой рамкой со стороной в среднем 75 м).

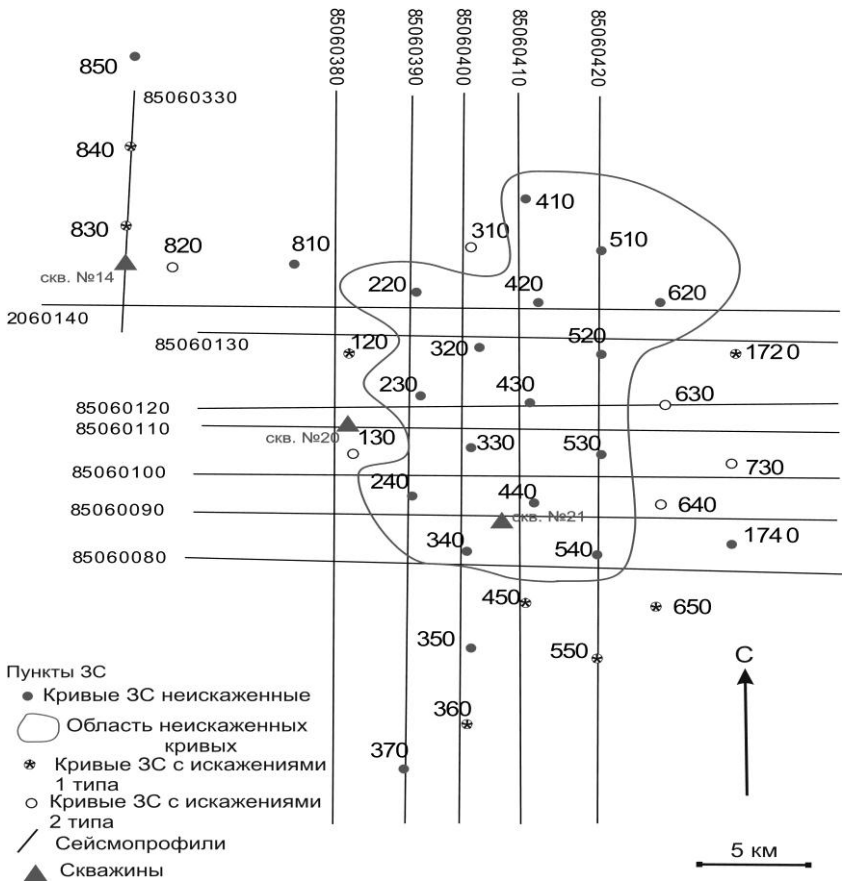


Рис. 1. Схема фактического материала электроразведочных работ методом ЗС с соосными установками

На первом этапе интерпретации был выполнен анализ всего объема полевого материала, отдельно анализировалась каждая кривая ЭДС и ρ_τ. При этом оценивалось качество измерений, возможные искажения экспериментальных данных, рассматривался характер изменения кривых по профилю, их корреляция между собой, выявлялись основные закономерности процесса становления в различных пунктах.

В результате анализа полевых данных с соосными установками была построена карта, где отмечены пункты, в которых получены полные неискаженные кривые становления с хорошо выраженным минимумом и правой восходящей ветвью, полностью соответствующие модели горизонтально слоистой среды. По кривым ЗС, полученным в выделенных на схеме пунктах, можно уверенно определить глубину до опорного электрического горизонта и его удельное электрическое сопротивление (УЭС) с наименьшей погрешностью. Именно с использованием этих кривых формируется предварительная геоэлектрическая модель разреза, которая затем дорабатывается и уточняется на втором этапе интерпретации. Рассмотрим в качестве примера, данные для ЗС № 440 (рис. 2).

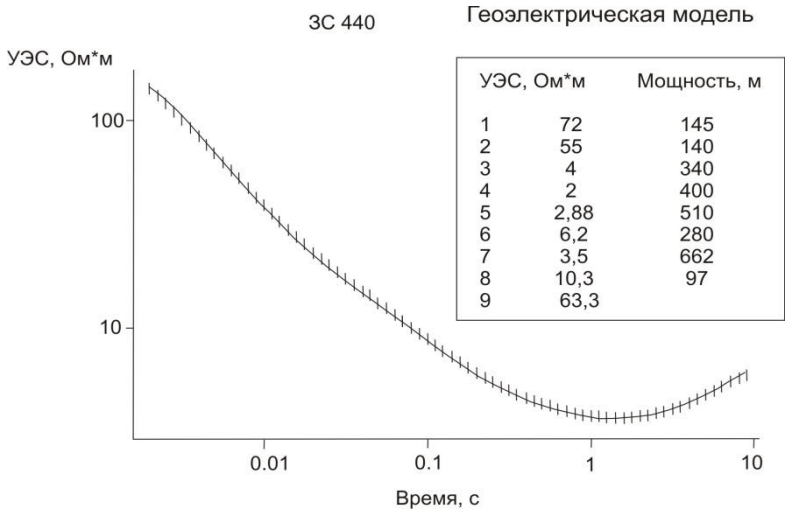


Рис. 2. Теоретическая и полевая кривая по данным для пункта ЗС № 440 (соосная установка); вертикальными штрихами показаны полевые данные, сплошной линией синтетическая кривая

Пункт зондирования расположен в южной части участка. На рисунке вертикальными штрихами показаны полевые данные. Размер штриха характеризует погрешность измерений, которая во всем временном интервале не превышает 5 %. Здесь же сплошной линией выделена синтетическая кривая. Получено очень хорошее совпадение полевой и теоретической кривых, погрешность подбора меньше 5 %. Наблюдаются только незначительные искажения на самых ранних временах (< 0.01 сек), где погрешность подбора достигает 5 %., это связано с приповерхностными неоднородностями разреза. На рис. 2 в его правой части показана полученная при предварительной интерпретации геоэлектрическая модель. Эта модель характеризуется в основном очень низкими значениями удельного электрического сопротивления. Самыми высокоомными являются два верхних слоя, их общая мощность достигает 300 м. Глубже по разрезу сопротивления понижаются в несколько раз (практически на порядок). УЭС опорного электрического горизонта составляет 63 Ом·м. В основном для всей исследуемой площади получены значения УЭС опорного горизонта менее 100 Ом·м.

На втором этапе выполнена количественная интерпретация, при которой определяются наиболее точные электрические и геометрические параметры слоев разреза. Фактически на этом этапе решается обратная задача электромагнитных зондирований с использованием автоматизированных компьютерных комплексов. Весь объем полевых данных ЗС обрабатывался в интерактивных компьютерных системах интерпретации и математического моделирования нестационарных электромагнитных полей. Были использованы две автоматизированные системы, разработанные в электромагнитных лабораториях ИНГГ СО РАН, программные комплексы “Эра” и EMS [3, 4]. Программный комплекс ЭРА – универсальная диалоговая система для работы с данными электроразведки. Эра выполняет обработку и интерпретацию электромагнитных зондирований в рамках моделей горизонтально-однородных

сред. Интерпретационная система EMS является развитием и расширением программного комплекса ЭРА для современных компьютерных средств, в ней заложены значительные перспективы для использования новых модификаций ЗС, а также способов визуализации результатов.

Важным является формирование начального приближения**,** от которого зависит надежность результатов. Точность задания начальной модели определяется количеством имеющихся априорных данных. К этим данным в первую очередь относятся материалы бурения скважин. Для привязки электроразведочных данных важны литолого-стратиграфические характеристики разреза. Кроме того, привлекались данные электрического, электромагнитного каротажа и других геофизических методов обследования скважин. Учитывались результаты наземных геофизических методов (сейсмики, гравиметрии). На площади исследования имеются две скважины: 20 и 21. Рассмотрим в качестве примера локальный участок, где расположена скважина 20. Для построения стартовой геоэлектрической модели для этого участка были выбраны полевые данные, полученные в пунктах ЗС №№ 230, 130, 120. Эти пункты расположены наиболее близко к скважине 20. Было выполнено сопоставление геоэлектрических моделей, полученных в результате инверсии полевых данных, с литолого-стратиграфическим разрезом скважины 20. Рассмотрим геоэлектрические модели для перечисленных пунктов. Все полученные модели содержат девять геоэлектрических горизонтов, соответствующих основным литологическим комплексам разреза. Для двух верхних горизонтов мощности изменяются незначительно, значения УЭС первого слоя изменяются от 100 до 70 Ом·м, второго слоя от 55 до 30 Ом·м. Общая мощность слоев в среднем составляет 300 м. Далее вниз по разрезу наблюдаются низкоомные слои, УЭС которых практически на порядок ниже. Глубины до опорного электрического горизонта получены в интервале от 2 547 м (ЗС 230) до 2568 м (ЗС 130), для ЗС 120 эта глубина составляет 2 577 м, что более всего соответствует глубине до палеозойского основания по данным скважины 20. Значения удельных сопротивлений основной части разреза (горизонты с третьего по седьмой) составляют единицы Ом·м; и только для горизонта, залегающего на опорном (включающего юрские отложения) значения УЭС превышают 10 Ом·м. Таким образом, с учетом имеющейся априорной информации сформирована основная интерпретационная модель, включающая девять геоэлектрических горизонтов, в основном низкоомных и малоконтрастных, что, конечно, осложняет интерпретацию данных и требует высокой точности измерений, которая в этом случае была обеспечена самыми современными аппаратурными средствами. Выбранная модель сохраняется для всей территории исследования. Учитывая детальный анализ характерных искажений, разрез в целом можно аппроксимировать горизонтально-слоистой моделью. На этом основании при обработке и интерпретации данных использованы программные комплексы, основанные на применении слоисто-однородной модели.

Далее рассмотрим один из результатов интерпретации – схему распределения удельного сопротивления шестого геоэлектрического горизонта,

отнесенного по скважинной привязке, к викуловской нефтеносной свите (рис. 3). На схеме прослеживается довольно четкая закономерность: обе скважины с признаками углеводородов расположены в пределах низкоомных аномалий викуловской свиты. Наиболее низкое сопротивление свиты наблюдается в районе пункта ЗС 230, размещенного недалеко от скважины 20, а также в районе пункта 340 – ближайшего к скважине 21. Анализ дополнительной информации показал, что границы низкоомных аномалий ($\rho < 6.5$ Ом м) оконтуривают перспективный на нефтеносность участок.

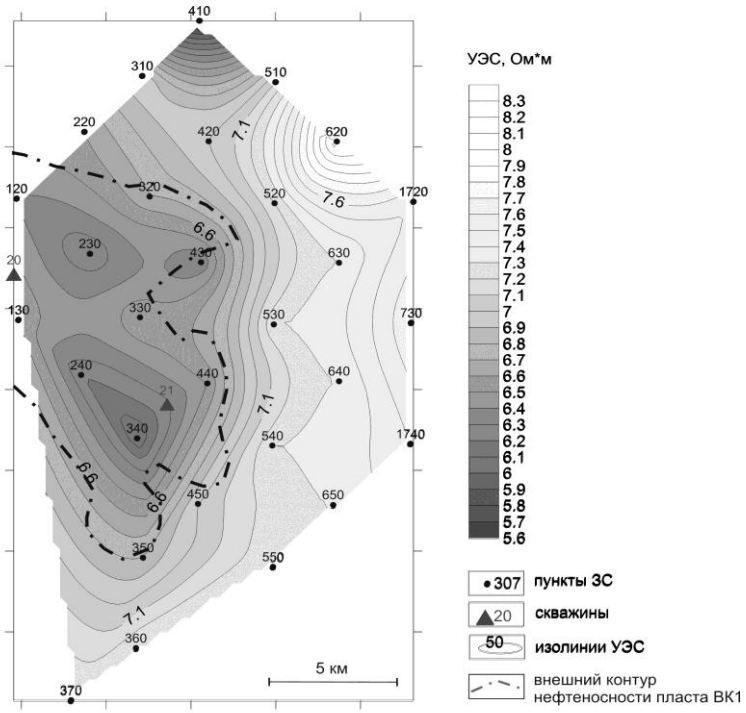


Рис. 3. Схема распределения удельного электрического сопротивления викуловской свиты на участке исследований по данным ЗС (центральные петли)

Выводы

1. Получены количественные геоэлектрические характеристики меловых, юрских, верхней части палеозойских отложений. В геоэлектрической модели выделены горизонты, соответствующие по геологической привязке основным нефтеносным свитам (викуловской, кровли баженовской и доюрского основания).

2. Выявлены антиклинальные структуры в верхней части палеозоя в районе скважин 20, 21. эти структуры контролируются особым распределением удельных сопротивлений палеозоя, в зоне антиклинальных поднятий наблюдаются максимальные градиенты удельных электрических сопротивлений.

3. Установлено, что в районах скважин 20, 21 на уровне викуловской свиты наблюдаются низкоомные аномалии. Границы низкоомных аномалий оконтуривают перспективный на нефтеносность участок.

Авторы выражают глубокую признательность специалистам ЗАО НПП ГА «Луч» (Каюров К.Н., Плотников А.В. и др.) за предоставленные полевые материалы ЗС.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Актуальные проблемы нефтегазоносных бассейнов. Новосибирск. Изд-во НГУ. 2003. С. 8-43.
2. Конторович А.Э. и др. Геология нефти и газа Западной Сибири. - М.: Недра, 1975. - 679 с.
3. Хабинов О.Г., Чалов И.А., Власов А.А., Антонов Е.Ю. Система интерпретации данных зондирований методом переходных процессов EMS // ГЕО-Сибирь-2009: сб. науч. ст. Новосибирск. 2009. С. 108-113.
4. Эпов М.И., Дашевский Ю.А., Ельцов И.Н. Автоматизированная система интерпретации электромагнитных зондирований. – Новосибирск, 1990. – 29 с.

© Н.Н. Неведрова, А.М. Санчаа, 2012

УДК 550.8.053, 004.942

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ГРИД-СИСТЕМЫ В ИНГГ СО РАН И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕЕ РАЗВИТИЯ

Андрей Сергеевич Мартьянов
Новосибирский государственный университет, 630090, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2, студент, e-mail: martianovas@gmail.com

Дмитрий Владимирович Тейтельбаум
Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, 630090, г. Новосибирск, пр. Коптюга, 3, инженер, тел. (383) 333-36-11, e-mail: teytelbaumdv@ipgg.nsc.ru

Александр Александрович Власов
ИНГГ СО РАН, 630090, г. Новосибирск, пр. ак. Коптюга, 3, младший научный сотрудник, e-mail: vlasovaa@ipgg.nsc.ru

Андрей Юрьевич Соболев
ИНГГ СО РАН, 630090, г. Новосибирск, пр. ак. Коптюга 3, кандидат технических наук, научный сотрудник, e-mail: sobolevay@ipgg.nsc.ru

В статье проанализирован двухлетний опыт работы по применению грид-технологий для решения прикладных геофизических задач. Рассмотрены тенденции развития современных грид-систем. Сделаны прогнозы сценариев развития грид-системы, развёрнутой на базе ИНГГ СО РАН.

Ключевые слова: распределённые вычисления, грид.

EXPERIENCE OF USING GRID SYSTEM IN IPGG SB RAS AND ASPECTS OF ITS DEVELOPMENT

Andrey S. Martianov
Novosibirsk State University, 2 Pirogova, Novosibirsk, 630090, student, e-mail: martianovas@gmail.com

Dmitry V. Teytelbaum
A.A. Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, 3 Koptuga, Novosibirsk, 630090, engineer, tel. (383) 333-36-11, e-mail: teytelbaumdv@ipgg.nsc.ru

Alexander A. Vlasov
A.A. Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, 3 Koptuga, Novosibirsk, 630090, Junior Researcher, e-mail: vlasovaa@ipgg.nsc.ru

Andrey Y. Sobolev
A.A. Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, 3 Koptuga, Novosibirsk, 630090, Research Fellow, Candidate of Technical Sciences, e-mail: sobolevay@ipgg.nsc.ru

In article two-year experience on using grid technologies to solve some geophysical tasks is presented. Kinds and tendencies of modern grid-systems development are considered. Conclusions about development of the grid system deployed in IPGG SB RAS are introduced.

Key words: distributed computing, Grid.

Идея объедения свободных компьютерных ресурсов с помощью сети в единую вычислительную среду появилась в 90-х годах XX века. Впервые эта идея воплотилась в совместную работу нескольких суперкомпьютеров, разделяющих свои ресурсы, а впоследствии, и данные. Такие ассоциации получили название грид-систем (или просто гридов) первого поколения. К концу 90-х развитие грид-технологий позволило объединять различные грид-системы в одну. Такие системы назвали гридами второго поколения. Идея объединения компьютерных ресурсов получила дальнейшее развитие в 2000-х годах как результат применения веб-технологий в организации грид-сетей. На этом этапе их применение стало прозрачным для пользователя. Полученная в те годы структура организации грид-сетей считается традиционной и носит название гридов третьего поколения [1].

Пути дальнейшего развития грид-технологий были сформулированы экспертной группой по Гридам Следующего Поколения (Next Generation Grid, NGG) [2] и оформлены как требования к гридам четвёртого поколения или новейшим гридам. Основным тезисом концепции новейших гридов является то, что гриды эволюционируют от инструментария для решения проблем, требующих большого объёма вычислений и данных, к инфраструктуре общего назначения, поддерживающей сложные коммерческие процессы и технологии в среде виртуальных организаций, распределённых по многим административным доменам. При этом на передний план выходят следующие свойства грид-систем: доступность, настраиваемость, интерактивность и управляемость. Подробнее эти свойства будут рассмотрены ниже, при обсуждении критериев классификации грид-систем.

Классификация современных грид-систем согласно работе [1] приведена на рис. 1.

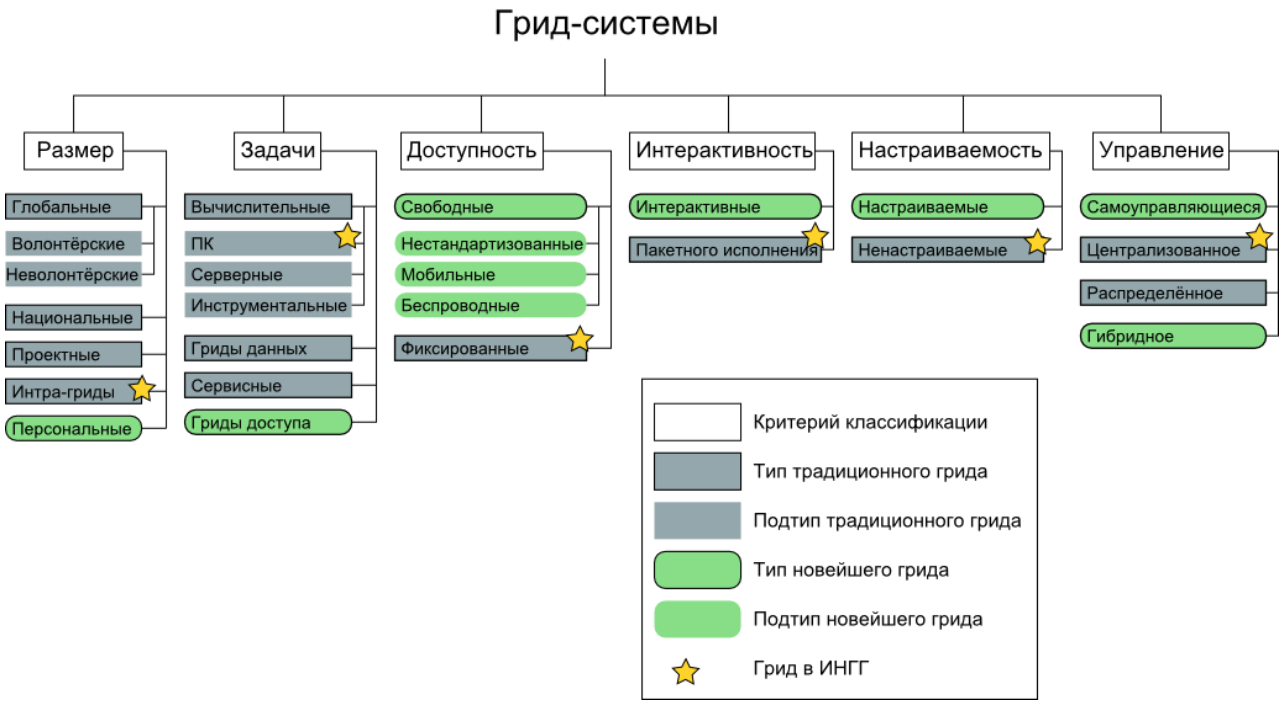


Рис. 1. Классификация грид-систем

В зависимости от географического положения узлов грид-сети выделяют глобальные, национальные, проектные (или партнёрские), интра-гриды, а также персональные гриды. Узлы глобальных гридов расположены по всему миру, причём, в этом случае специально выделяют волонтёрские гриды, к которым может подключиться любой желающий и предоставить свои ресурсы для использования. Узлы национальных гридов расположены в одной стране и, как правило, используются в проектах национального значения при поддержке правительственных фондов. Проектные гриды образуются в результате объединения ресурсов нескольких различных организаций, а грид, базирующийся на мощностях одной организации, называется интра-гридом.

По задачам, решаемым грид-системами, можно выделить вычислительные гриды, использующиеся для ресурсоёмких расчётов. В свою очередь эту группу можно разбить на подгруппы по типу используемых ресурсов: гриды использующие персональные компьютеры, серверы, а также специальное оборудование (например, WWT – World-Wide Telescope, общемировой виртуальный телескоп – использует грид-технологии для анализа и классификации данных от сотен, разбросанных по всему миру телескопов). Гриды данных обеспечивают распределённое хранение больших объёмов информации, а также доступ к ней. Сервисные гриды реализуют механизмы предоставления конкретного объёма ресурсов (циклов CPU, дискового пространства) по требованию. Гриды доступа предназначены для организации работы с группами устройств ввода-вывода, такими как микрофоны, видео-камеры и.т.п.

Доступность подразумевает под собой способность грид-систем работать не только со стационарными ресурсами, такими как серверы или высокопроизводительные рабочие станции, у которых есть фиксированная точка

входа в инфраструктуру грид-сети, а также с мобильными и беспроводными устройствами.

Под интерактивностью грид-систем понимают возможность их использования в режиме реального времени. Традиционные гриды такую возможность исключают, поддерживая пакетное исполнение задач.

Настраиваемость грид-системы означает возможность адаптации доступа к ресурсам для конкретного пользователя.

В зависимости от того, как происходит управление гридом, выделяют централизованное и распределённое управление, характерное для традиционных гридов, а также гибридное управление и самоорганизующиеся гриды.

Система, развёрнутая в ИНГГ СО РАН [3], по всем признакам относится к традиционным гридам. Такая организация является абсолютно адекватной решаемым здесь задачам. Их ресурсоёмкость исключает использование мобильных устройств, которые не отличаются высокой производительностью, при возможности потери прогресса при отключении мобильного устройства из сети. Таким образом, используются только стационарные устройства, вследствие чего структура сети не меняется во времени, и централизованное управление полностью оправдывает себя. Ещё одним фактом, ограничивающим развитие грида, является то, что в качестве вычислительных узлов используются рабочие компьютеры сотрудников института и их использование в грид-сети не должно доставлять неудобств пользователям. Таким образом, внесение элементов интерактивности возможно лишь с введением специальных вычислительных узлов доступных для использования в рамках грид-среды в любое время.

На данный момент в грид-систему института включено около 90 компьютеров, что с учётом многоядерности современных процессоров составляет около 300 вычислительных узлов. С помощью данной системы решаются следующие задачи: трёхмерное моделирование сигналов наземной электроразведки [4], прямое двумерное моделирование для задач бокового каротажного зондирования (БКЗ) [5]. Стоит отметить, что благодаря различным требованиям к вычислительным ядрам этих задач удалось организовать одновременное их вычисление на различных узлах. Например, решение более требовательной к оперативной памяти задачи моделирования сигналов электроразведки происходит на компьютерах с большим объёмом памяти ОЗУ, а моделирование сигналов БКЗ на оставшихся свободных узлах (рис. 1).

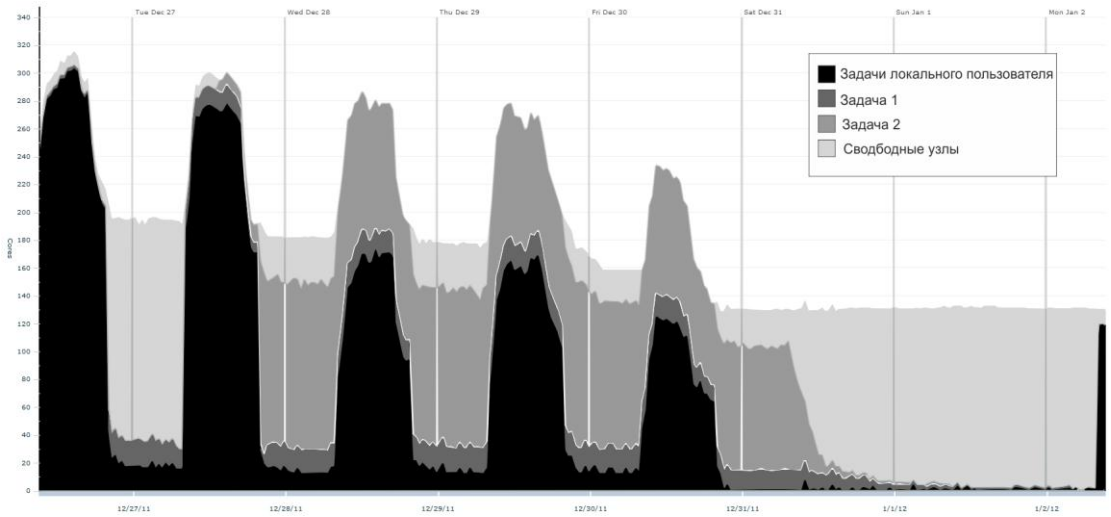


Рис. 1. График загрузки вычислительных узлов грид-сети. Задача 1 - трёхмерное моделирование сигналов наземной электроразведки; задача 2 - прямое двумерное моделирование БКЗ

Из полученного опыта применения грид-технологий для расчёта геофизических задач можно сделать следующие выводы. Прежде всего, работа пользователя в грид-среде без обращения к эксперту весьма проблематична. Это связано с тем, что для успешного решения задач при помощи грида, несмотря на весь прогресс грид-технологий в направлении повышения прозрачности использования грида для пользователя, ему все же необходимо иметь некоторые знания о принципах функционирования грид-систем, а также получить навыки работы с конкретной реализацией грида. При этом на изучение способа запуска задач на конкретной системе, могут потребоваться значительные усилия неопытного пользователя, тем более, если его знания в области информационных технологий не достаточно глубоки.

С другой стороны, необходима поддержка развёрнутой грид-сети, где особое внимание стоит уделить её конфигурированию под решение актуальных в данный момент задач и перераспределению ресурсов и приоритетов между пользователями грид-сети по мере необходимости.

Однако полученный опыт двухлетних работ авторов показывает, что новые типы задач, требующих расчёта в грид-среде, появляются довольно редко, и большую часть времени ведётся расчёт фиксированного набора задач для различных входных данных. Таким образом, возможно и целесообразно предоставление пользователям доступа к грид-системе через создание специальных веб-порталов для удобного запуска каждого вида задач, с возможностью загрузки пользовательских исходных данных. Это, с одной стороны, значительно облегчит работу пользователя, а с другой – защитит от случайных ошибок или ошибок по неопытности. Таким же путём можно значительно облегчить труд администратора грид-системы через подключение веб-интерфейса к инструментам управления системой. Это, если прибегнуть к приведённой выше классификации грид, является шагами к повышению настраиваемости.

На этом пути уже сделаны первые шаги, а именно, реализован веб-доступ к администрированию грид-системы и просмотру статистики по её использованию.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Heba Kurdi. A classification of emerging and traditional grid systems / Heba Kurdi, Maozhen Li, Hamed Al-Raweshidy // IEEE Distributed Systems Online. – 2008. – vol. 9, no. 3.
2. Future for European grids: GRIDs and Service Oriented Knowledge Utilities. Vision and Research Directions 2010 and Beyond, Next Generation GRIDs Expert Group Report 3, January 2006 //Англ. – Режим доступа: ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/ist/docs/grids/ngg3_eg_final.pdf
3. Мартьянов, А. С. Использование свободных сетевых ресурсов предприятия для решения емких вычислительных геофизических задач / А. С. Мартьянов, Д. В. Тейтельбаум,К. С. Сердюк, А. А. Власов, И. Н. Ельцов. / НТВ “Каротажник”. Тверь: Изд. АИС. – 2011. – № 11 (209). – С. 57-64.
4. Иванов, М.И. Программное обеспечение модем 3D для интерпретации данных нестационарных зондирований с учетом эффектов вызванной поляризации / М.И. Иванов, В.А. Катешов, И.А. Кремер, М.И. Эпов / Записки Горного института – 2009. – Т. 183. – С. 242. – 245.
5. Дашевский, Ю.А. Квазитрехмерное математическое моделирование диаграмм неосесимметричных зондов постоянного тока в анизотропных разрезах / Ю.А. Дашевский, И.В. Суродина, М.И. Эпов / Сибирский журнал индустриальной математики. Т. 5 – 2002. – № 3 (11). – С. 76-91.

© А.С. Мартьянов, Д.В. Тейтельбаум, А.А. Власов, А.Ю. Соболев, 2012

УДК 550.361

ОЦЕНКА ГЛУБИННОГО ТЕПЛОВОГО ПОТОКА ЧЕРЕЗ ДНО ТЕЛЕЦКОГО ОЗЕРА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МОНИТОРИНГА ТЕМПЕРАТУРЫ В ДОННЫХ ОСАДКАХ

Антон Альбертович Дучков
Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука, 630090, г. Новосибирск, пр. ак. Коптюга, 3, старший научный сотрудник, e-mail: duchkovaa@ipgg.nsc.ru

Ирина Игоревна Фадеева
Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука, 630090, г. Новосибирск, пр. ак. Коптюга, 3, аспирант, e-mail: fadeevaii@ipgg.nsc.ru

Сергей Алексеевич Казанцев
Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука, 630090, г. Новосибирск, пр. ак. Коптюга, 3, старший научный сотрудник, e-mail: kazantsevsa@ipgg.nsc.ru

Фредрик Андерссон
Лундский университет, Центр математических наук, Box 118, SE-22100, Лунд, Швеция, доцент, e-mail: fa@maths.lth.se

Амплитуда годовых изменений температуры придонной воды даже в наиболее глубокой (глубина - 300 м) части Телецкого озера составляет 0,8-1 °С. Для оценки глубинного теплового потока на фоне сильной климатической помехи был проведен двухлетний мониторинг температуры в осадках до глубины 115 см. Предварительная обработка данных мониторинга дает оценку глубинного градиента G = 115 мК/м, что соответствует аномально высокому тепловому потоку 100-115 мВт/м2. Результат будет уточняться при более точном (численном) моделировании процесса теплопереноса в осадках.

Ключевые слова: тепловой поток, Телецкое озеро, сезонные вариации температуры.

TERRESTRIAL HEAT FLOW THROUGH TELETSK LAKE BOTTOM ESTIMATED FROM TEMPERATURE MONITORING IN BOTTOM SEDIMAENTS

Anton Albertovich Duchkov
Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Novosibirsk, Pr. Ac. Koptyuga, 3, senior research scientist, e-mail: duchkovaa@ipgg.nsc.ru

Irina Igorevna Fadeeva
Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Novosibirsk, Pr. Ac. Koptyuga, 3, PhD student, e-mail: fadeevaii@ipgg.nsc.ru

Sergey Alekseevich Kazantsev
Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Novosibirsk, Pr. Ac. Koptyuga, 3, senior research scientist, e-mail: kazantsevsa@ipgg.nsc.ru

Fredrik Andersson
Lund University, Centre for Mathematical Sciences, Box 118, SE-22100 Lund, Sweden, associate professor, e-mail: fa@maths.lth.se

Teletsk Lake is characterized by considerable seasonal variations of bottom water temperature - even in the deepest part (300 m deep) its amplitude is 0,8-1 °C. For the heat flow estimation in presence of strong seasonal noise we have accomplished a two-year temperature monitoring in bottom sediments down to the depth of 115 cm. Preliminary data analysis results in the deep temperature gradient estimate G = 115 mK/m that corresponds to anomalously high heat flow values about 100-115 mW/m2. This result will be further checked using more accurate (numerical) methods of modeling heat transfer in sediments.

Key words: heat flow, Teletsk Lake, seasonal temperature variations.

Одним из аргументов в пользу рифтогенного или запрудного происхождения Телецкого озера может служить оценка теплового потока через дно озера (для первого случая характерен высокий тепловой поток, для второго – низкий). Однако измерить тепловой поток (ТП) в донных осадках этого озера оказывается затруднительным. Это связано с тем, что даже в наиболее глубокой (порядка 300 м) меридиональной части озера амплитуда годовых изменений придонной температуры составляет 0,8-1 °С. Измерения и расчеты показывают, что эти вариации придонной температуры существенно нарушают температурный режим верхнего слоя (мощностью до 6-7 м) донных осадков [1]. В таких нестационарных условиях ТП может быть определен по данным длительного (1-3 года) мониторинга температуры осадков на нескольких глубинах. Последующая количественная интерпретация результатов мониторинга позволяет выделить глубинный температурный сигнал на фоне значительных климатических помех.

Соответствующий эксперимент был нами начат еще в 2005 г. на вертикали Корбу (рис. 1), где глубина озера превышает 300 м. При этом мы использовали для мониторинга автономный термограф, показанный на том же рисунке. Было предпринято несколько попыток внедрения аппаратуры в осадки на длительное время. В результате удалось зарегистрировать изменения температуры осадков и придонной воды в течение трех месяцев в 2005 г. [2].

Черной точкой на карте отмечен пункт мониторинга температуры дна; К – герметичный контейнер с автономным измерителем температуры (АИТ); С – металлический стержень (1,5 м), Т – стальная трубка с температурными датчиками (терморезисторы). Еще один датчик помещен в контейнер (отмечен точкой) и измеряет температуру корпуса контейнера, находящегося в воде. Датчики 1-5 погружаются в осадки.

Затем аппаратура была внедрена в осадки в том же пункте 11.08.2006. Однако вскоре часть фала, связывающего термограф с берегом, была похищена. Летом 2010 г. удалось зацепить и поднять термограф, потерянный в 2006 г. В памяти прибора сохранились записи температуры по всем каналам за последние 27 месяцев (примерно с июня 2008 г. по август 2010 г.).

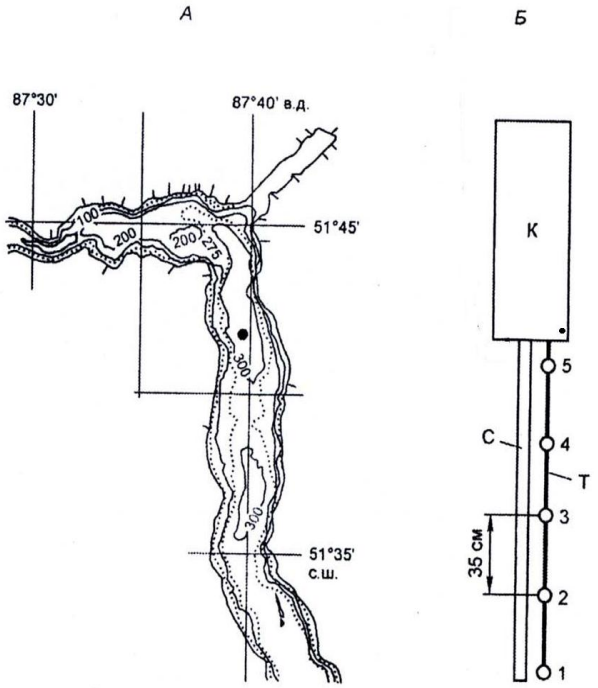


Рис. 1. Фрагмент карты Телецкого озера (А) и общий вид термографа (Б).

Результаты мониторинга показаны на рис. 2. Они, а также следы ила на зонде, свидетельствуют, что четыре нижних датчика располагались все это время в осадках на глубинах 10, 45, 80 и 115 см. Верхний датчик (№5) регистрировал изменения температуры воды непосредственно под контейнером.

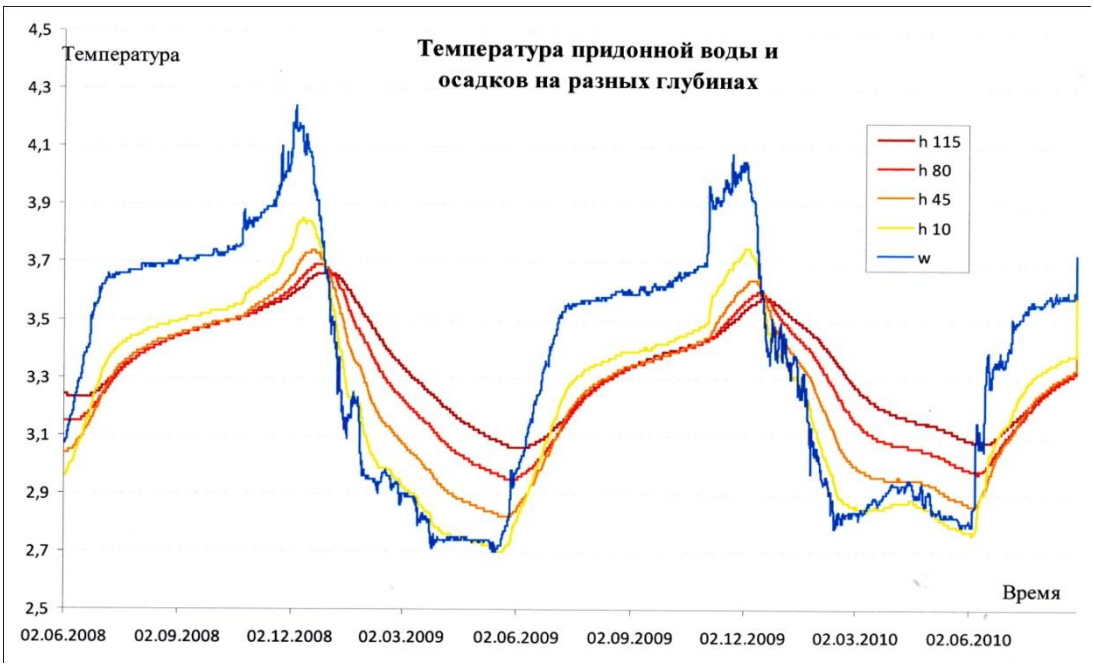


Рис. 2. Результаты мониторинга температуры дна (вода и осадки) центральной части Телецкого озера: июнь 2008 - сентябрь 2010. Синий график – изменения температуры придонной воды, остальные графики – изменения температуры осадков на глубинах 10, 45, 80 и 115 см (врезка). Интервал между измерениями - 1,5 часа (частота измерений - 16 измерений в сутки)

Влияние вариаций температуры придонной воды (ТПВ) может быть удалено из результатов долговременного мониторинга температуры. Это позволит определить глубинные значения геотермического градиента и теплового потока.

Очевидно, что ТПВ могут быть аппроксимированы гармониками ряда Фурье [3]. Для дальнейшей интерпретации мы будем использовать графики мониторинга только за 2 года (с июня 2008 г. по июнь 2010г.), а в качестве поверхностной температуры $T_d(t, z=0)$ принимаем распределение T в осадках на глубине 10 см (желтая кривая на рис. 2).

Наилучшую аппроксимацию наблюденной кривой $T_d(t,\ z\ =\ 0)$ дают 15 гармоник ряда Фурье (рис. 3):

$$T_d(t) = T(t,0) = T_0 + \sum_{n=1}^{15}\left(A_n \cos(\pi n t) + B_n \sin(\pi n t)\right), \qquad (1)$$

основное приближение дается гармоникой годового периода (рис. 3):

$$T(t,0) = T_0 + A_2 \cos(2\pi t) + B_2 \sin(2\pi t), \qquad (2)$$

В (1) и (2) T_0= 3,23^{0}C, A_2=0,158^{0}C, B_2=-0,401^{0}C.

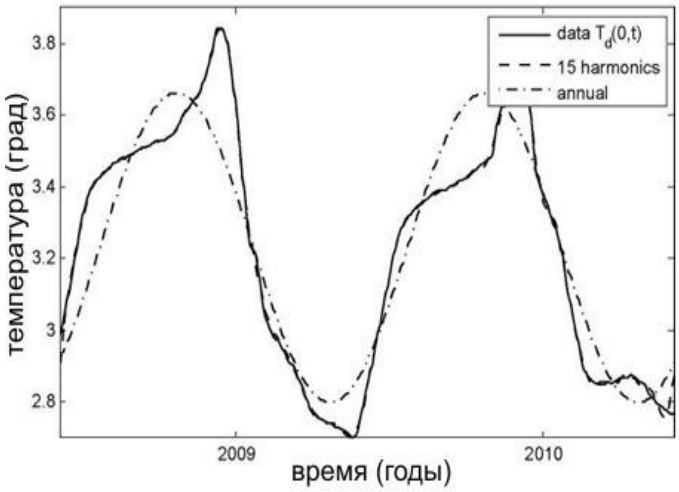


Рис. 3. Представление поверхностной температуры (z = 10 см) гармониками ряда Фурье: сплошная кривая – наблюденная температура на глубине 10 см, штрих-пунктир - одна годовая синусоида и пунктир (практически сливается со сплошным графиком) - 15 первых гармоник ряда Фурье

В ходе интерпретации мы предполагаем, что осадки однородны, глубинный тепловой поток постоянен и ТПВ передаются в осадки только кондукцией. В этом случае температуры на разных глубинах будут связаны одномерным уравнением теплопроводности [3]:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \kappa(z)\frac{\partial^2 T}{\partial z^2}, \qquad (3)$$

при граничных и начальных условиях: $T(t,0) = T_d(t)$, $\left.\frac{\partial T}{\partial z}\right|_{z=Z} = G$, и $T(t_0, z) = T_{in}(z)$, где $T(t,z)$ - температура в осадках на разных глубинах, $\kappa(z)$ - температуропроводность осадков, G - глубинный градиент, $T_{in}(z)$ - температура в момент времени t_0.

Решение одномерного уравнения теплопроводности (3) для однородной среды (κ - константа) и периодического верхнего граничного условия имеет вид:

$$T_d(z,t;G,\kappa) = T_0 + Gz + \sum_{n=1}^{15}\left(A_n\, e^{-z\theta}\cos(\pi nt - z\theta) + B_n\, e^{-z\theta}\sin(\pi nt - z\theta)\right), \qquad (4)$$

где $\theta = \sqrt{\pi n/(2\kappa)}$.

По формула (4) можно рассчитать средние стационарные значения стационарной (не нарушенной ТПВ) температуры T_0 в осадках на глубинах 10, 45, 80 и 115 см:

$T_{10\ см} = 3{,}238^0$C, $T_{45\ см} = 3{,}259^0$C, $T_{80\ см} = 3{,}307^0$C, $T_{115\ см} = 3{,}374^0$C.

Эти значения сопоставлены с глубиной на рис. 4. Они составляют термограмму, которая показывает, что стационарные, не нарушенные климатическим сигналом, значения температуры увеличиваются с глубиной.

Аппроксимировав эти значения Т прямой линией, можно оценить значение глубинного геотермического градиента G = 115 мК/м. По нашим многочисленным измерениям [1] теплопроводность (λ) верхнего метрового слоя донных осадков составляет 0,9-1 Вт/(м*К). Соответственно тепловой поток (ТП= G*λ) оценивается в 100-115 мВт/м^2.

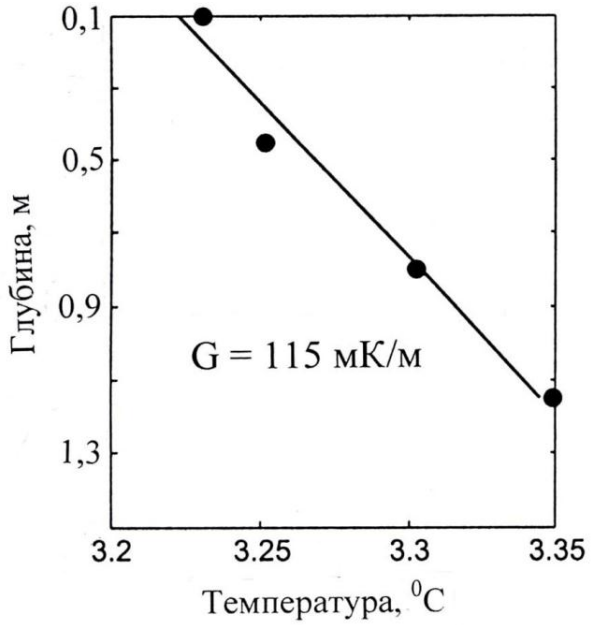


Рис. 4. Термограмма, составленная из ненарушенных значений температур, полученных в результате интерпретации данных долговременного мониторинга Т в осадках Телецкого озера на глубинах 10, 45, 80 и 115 см

Таким образом, количественная интерпретации результатов длительного мониторинга температуры верхнего слоя осадков Телецкого озера привела к аномально высоким значениям геотермического градиента и теплового потока. Такие значения этих параметров характерны для оз. Байкал, где также имеются и другие следы геотермической активности недр (кайнозойский вулканизм, термальные источники). Однако ничего этого нет в районе Телецкого озера. Поэтому полученная оценка ТП требует основательной верификации. Планируется это сделать посредством рассмотрения более сложных моделей теплопереноса в осадочном слое и постановкой нового полевого эксперимента.

Благодарности. Авторы выражают благодарность А.Д. Дучкову за постановку задачи и помощь в работе. Работа проводилась при частичной поддержке в рамках междисциплинарного интеграционного проекта СО РАН № 14 и Шведского фонда по международному сотрудничеству в науке и высшем образовании (the work was partly supported by the Swedish Foundation for International Cooperation in Research and Higher Education).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дучков, А.Д., Казанцев, С.А., Klerkx, J., Дучков, А.А.. Тепловой поток и температурное поле осадочного наполнения впадины Телецкого озера [Текст] / В: Buslov M.M. et al. (eds.) Physical and Geological Environment of Lake Teletskoye – Belgique. Annales - Sciences Geologiques. – Tervuren, 2001, Vol. 105, С. 283-301.

2. Дучков А.Д., Казанцев С.А. Аномальные изменения температурного режима дна (воды и осадков) Телецкого озера в осенне-зимний период [Текст] // Геология и геофизика. – 2007. – Т. 48, № 12. – С. 1366-1370.

3. Карслоу Г., Егер Д. Теплопроводность твердых тел [Текст] / М.: Изд-во «Наука». – 1964. – 487 с.

© А.А. Дучков, И.И. Фадеева, С.А. Казанцев, Ф. Андерссон, 2012

УДК 550-8

МЕДЛЕННЫЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ В КОНТЕКСТЕ МОДЕЛИ СТРУКТУРИРОВАННОГО КОНТИНУУМА

Борис Иванович Прилоус
Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, 630090, г. Новосибирск, пр. акад. Коптюга, 3, научный сотрудник лаборатории многоволновой сейсморазведки, тел. (383)333-39-08, e-mail prilousbi@ipgg.nsc.ru

В статье приведены данные о зарегистрированных скоростях разрывов разломов земной коры, типичных для так называемых медленных землетрясений. Показано, что введение характерного размера микроструктуры приводит в уравнении Релея, определяющем величину скорости разрывов, к появлению таких корней, скорости которых могут приближаться к скоростям медленных землетрясений.

Ключевые слова: медленные землетрясения, структурированный континуум, характерный размер, структура.

SLOW EARTHQUAKES IN THE CONTEXT OF MODEL OF THE STRUCTURED CONTINUUM

Boris Iv. Prilous
A.A. Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3, Akademika Koptyuga Prosp. Novosibirsk, 630090, Russia, researcher of Laboratory of multi-wave Seismic survey, tel. (383)333-39-08, e-mai lprilousbi@ipgg.nsc.ru

The paper presents data on reported rates of fault breaks of earth's crust, typical for the so-called slow earthquakes. It is shown, that introduction of the characteristic size of a microstructure, results in Rayleigh‘s equation, defining the size of speed of ruptures, to the emergence of such roots, whose speeds can approach to speeds of slow earthquakes.

Key words: slow earthquakes, structured continuum, characteristic size, structure.

В докладе на конгрессе "ГЕО-СИБИРЬ-2010" [1] был сделан вывод о том, что в модели структурированного континуума, разработанной Сибиряковым Б.П. [2] появляются новые уравнения движения, следствием которых является возможность существования волн с предельно малыми скоростями, ничем не ограниченными снизу. В настоящем докладе анализируются скорости медленных землетрясений и приводятся результаты вычислений скоростей разрывов в структурированной среде.

Поисковая система Google при наборе запроса на выражение “slow earthquake” – медленные землетрясения дает 41 300 000 ссылок. Огромное количество для изучения и анализа, однако получить достаточное представление о том, что это такое, и чем оно отличается от обычного землетрясения можно, анализируя рисунок из статьи, опубликованной в 2007 г. в журнале “Nature”[3], где приведены зависимости логарифма длительности

зарегистрированных событий от логарифма их сейсмического момента, который является мерой общей суммы освобожденной накопленной энергии (рис. 1).

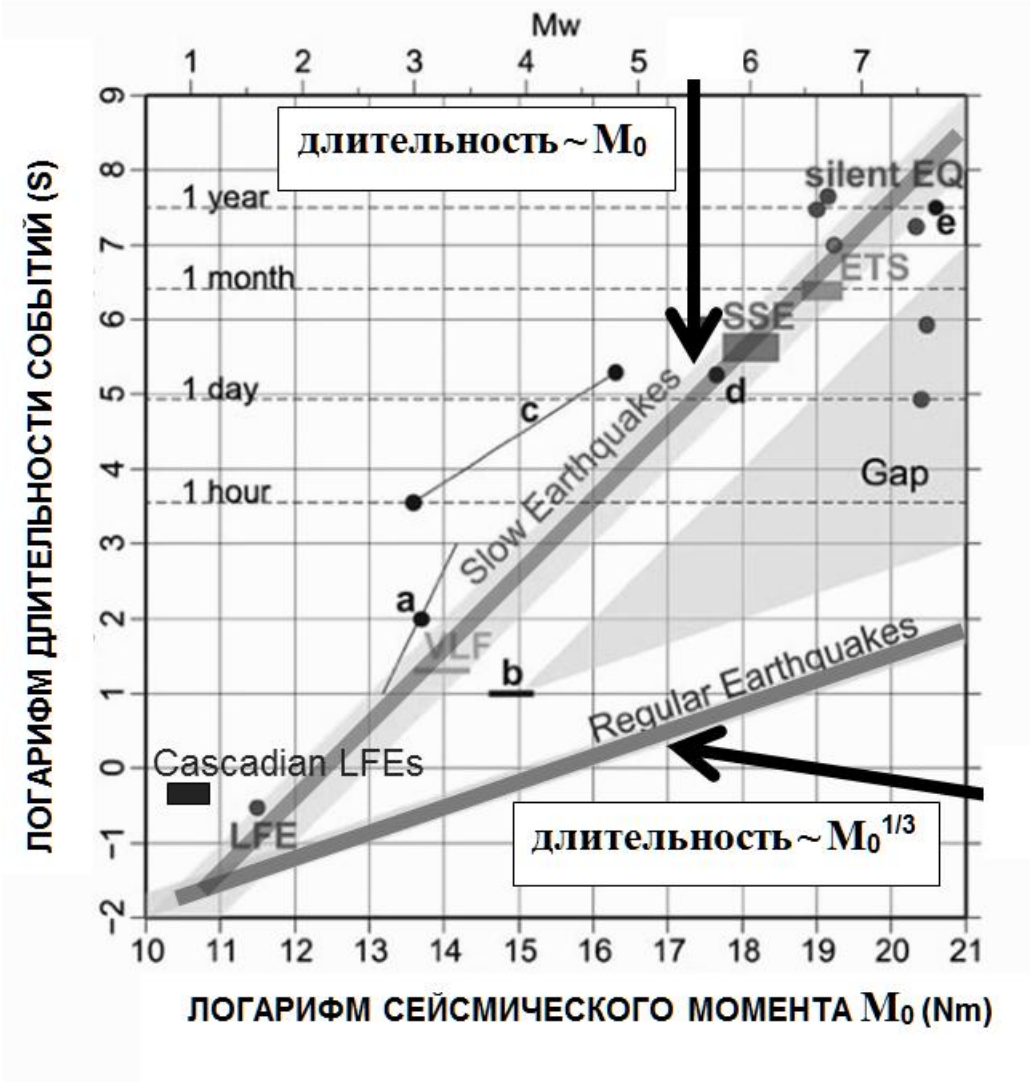


Рис. 1. Продолжительность медленных землетрясений пропорциональна M_0, продолжительность обычных землетрясений пропорциональна корню третьей степени из M_0

На рисунке вдоль верхней прямой, соответствующей медленным землетрясениям, указаны наименования их клонов (в порядке возрастания): LFE (low frequency earthquakes) - низкочастотные землетрясения, VLF (very low frequency earthquakes) - очень низкочастотные землетрясения, SSE (slow slip events) - события медленного скольжения, ETS (episodic tremor and slip) - эпизодический тремор и скольжение, Silent EQ - тихие землетрясения. Накопление данныхо таких явлениях резко ускорилось с появлением спутниковых геодезических систем в 90 гг. XX века.

Еще в 1999 г. в [4] был сделан вывод о том, что такие явления, как медленные землетрясения не только доказывают, что разломы могут способствовать появлению разрывов в широком диапазоне временных

масштабов, но и о том, что сама их медленность может быть обусловлена скоростью распространения разрыва. В 2010 г. в [5] были приведены данные о сравнении скоростей обычных и медленных землетрясений: 1) скорости вспарывания разлома 2 000-3 000 м/сек для обычных землетрясений и 2-3 м/сек для медленных; 2) скорости скольжения разлома 0.1 м/сек для обычных землетрясений и 1.0×10^{-7} м/сек для медленных. Для объяснения механизмов медленных движений разломов были предложены разнообразные модели разрывов разломов в виде уравнений состояния. Возможно ли объяснение столь малых скоростей в модели структурированного континуума?

На рис. 2 изображено движение разрыва со скоростью *V*, а *Vs* – скорость поперечных волн. До каких значений *V* возможно выполнение соотношения *V* < *Vs* ?

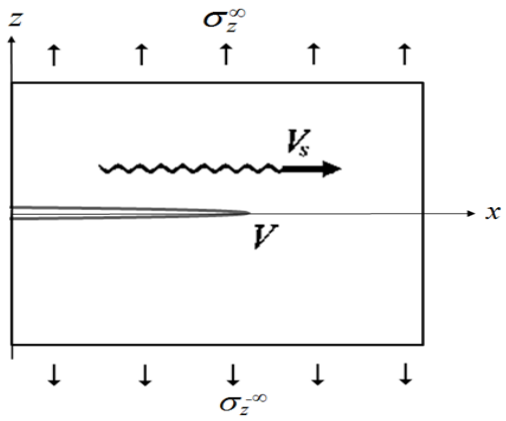


Рис. 2. Модель движения разрыва

В решение задачи для деформаций при движении разрыва вдоль линии z = 0 со скоростью *V* входит псевдорелеевский знаменатель, названный так из-за входящего в него коэффициента $\varsigma = \eta\alpha l_0$, который связан с характерным размером структуры. Корни этого знаменателя определяют возможные варианты поведения скорости движения разрыва.

$$R(\varsigma,\gamma,\eta) = (2-\eta^2)^2 - 4\sqrt{1-\eta^2\frac{\varsigma}{Sin\varsigma}}\sqrt{1-\gamma^2\eta^2\frac{\gamma\varsigma}{Sin\gamma\varsigma}} \qquad (1)$$

В (1) $\varsigma = \eta\alpha l_0$, l_0 - характерный размер структуры среды, η - отношение скорости разлома *V* к скорости поперечных волн *Vs*, $\alpha \sim 1$ - безразмерный коэффициент, $\gamma = V_S / V_P$. Для малых размеров структуры l_0 отношение $\frac{\varsigma}{Sin\varsigma} \to 1$, и уравнение (1) обращается в классическое уравнение Рэлея, корни которого отображены слева на Рис.3, но уже для $\varsigma = 1,4$ значение $\frac{\varsigma}{Sin\varsigma} \to 1,4207$ и кривая корней сдвигается вниз к малым значениям скоростей разрыва *V* (справа на рис. 3). Кроме снижения скорости заметен сдвиг известного значения коэффициента Пуассона от классического значения 0,2630821 к значению 0.3.

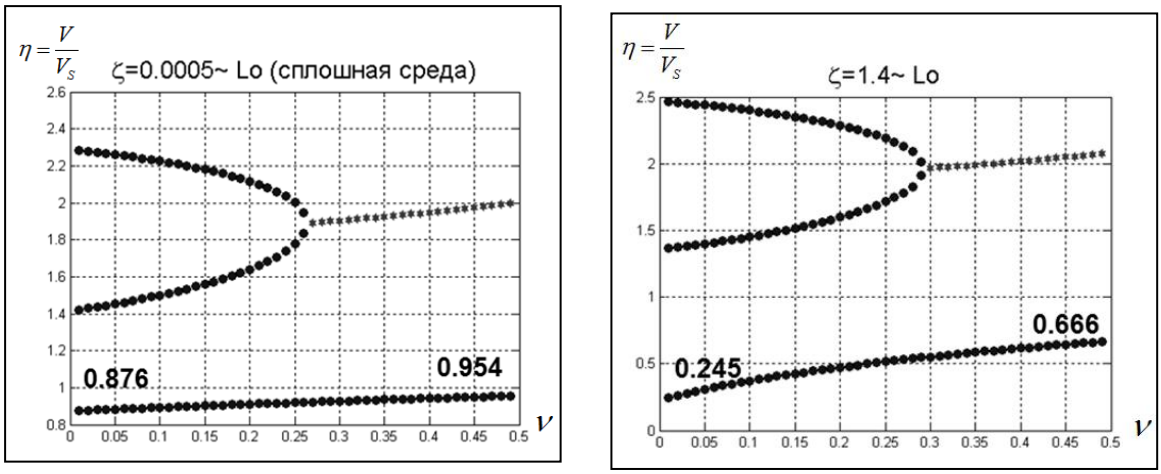


Рис. 3. Изменение скоростей движения разрыва структурированной среды с коэффициентом $\varsigma = 0{,}5 \cdot 10^{-3}$ (слева) и с коэффициентом $\varsigma = 1{,}4$ (справа)

Приведены лишь два из ряда графиков с монотонно сдвигающейся в область малых значений скорости нижней ветвью, что свидетельствует о возможнсти достижения все более низких скоростей разрывов.

Визуализация знаменателя Релея как функции двух переменных: отношения скоростей V/V_S и коэффициента Пуассона (рис. 4) помогает в изучении динамики поведения корней при изменении размеров структуры.

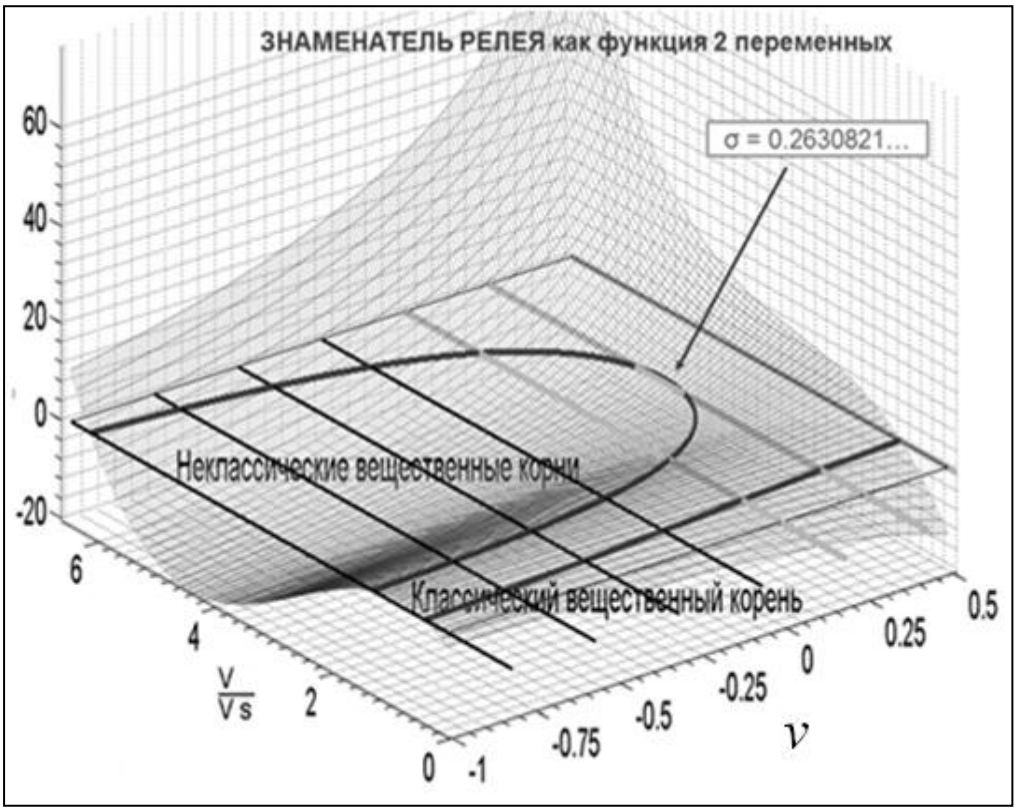


Рис. 4. Визуализация корней знаменателя Релея, как функции отношения скоростей движения разрыва к скорости поперечных волн и коэффициента Пуассона

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙСПИСОК

1. Прилоус Б.И. Возможность существования волн с аномально низкими скоростями в блочных средах, ГЕО-Сибирь-2010. Т. 2. Недропользование. Горное дело. Новые направления и технология поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Ч. 2: Сб. матер. VI международного научного конгресса. - Новосибирск: СГГА, 2010. - С. 37-41.

2. Сибиряков, Б.П. Динамика микронеоднородных геологических сред //Учебное пособие, НГУ, 2004.

3. Ide, S., G. C. Beroza, D. R. Shelly, and T. Uchide, A scaling law for slow earthquakes, Nature, 447, 76-79.

4. Crescentini, L., A. Amoruso, and R. Scarpa, "Constraints on slow earthquakes dynamics from a swarm in central Italy", Science, 286, 2132-2134 (1999).

5. Hirose, H., and K. Obara (2010) Recurrence behavior of short-term slow slip and correlated nonvolcanic tremor episodes in western Shikoku, southwest Japan, J. Geophys. Res. B00A21, doi: 10.1029/ 2008JB006050.

© Б.И. Прилоус, 2012

УДК 551.24: 550.837: 550.372 (571.53-13)

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ИСТОЛКОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЫ

Елена Валентиновна Поспеева
Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН им. А.А. Трофимука, 630090, г. Новосибирск, пр. Коптюга, д. 3, тел. +7(383)-330-78-32, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, e-mail: pospeevaev@ipgg.nsc.ru

Лидия Викторовна Витте
Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН им. А.А. Трофимука, 630090, г. Новосибирск, пр. Коптюга, д. 3, кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник, тел. +7(383)-330-78-32

Владимир Владимирович Потапов
Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН им. А.А. Трофимука 630090 г. Новосибирск, пр. Коптюга, д.3, кандидат технических наук, научный сотрудник, тел. +7(383)-330-41-22, e-mail: potapovvv@ipgg.nsc.ru

Профиль МТЗ располагается в Байкальской рифтовой системе, включая ее Забайкальскую часть. Основной задачей выполненных исследований является комплексный анализ геолого-геофизических данных о составе и структуре земной коры, а также особенностей теплового режима и их отражение в электромагнитном поле.

GEOLOGICAL INTERPRETATION OF RESULTS OF MAGNETOTELLURIC SOUNDING IN THE SOUTHEAST PART OF BAIKAL RIFTZONE

Elena V. Pospeeva
Trofimuk institute of petroleum geology and geophysics SB RAS, 3, Akademika Koptyuga Prosp. Novosibirsk, 630090, Russia, senior research scientist, Ph.D. in Geology and Mineralogy, phone:+7(383)-330-78-32, , e-mail: pospeevaev@ipgg.nsc.ru

Lidiya V. Vitte
Trofimuk institute of petroleum geology and geophysics SB RAS, 3, Akademika Koptyuga Prosp. Novosibirsk, 630090, Russia, research scientist, Ph.D. in Geology and Mineralogy phone:+7(383)-330-78-32,

Vladimir V. Potapov
Trofimuk institute of petroleum geology and geophysics SB RAS, 3, Akademika Koptyuga Prosp. Novosibirsk, 630090, Russia, research scientist, Ph.D., phone: +7(383)-330-41-22, e-mail: potapovvv@ipgg.nsc.ru

Profile MTS settles down in Baikal riftzone, including its Transbaikalian part. The primary target of the executed researches is the complex analysis of the geology-geophysical data about the composition and structure of the earth's crust, and also features of a thermal mode and their reflection in an electromagnetic field.

Результаты

Исследуемый регион в геологическом отношении принадлежит юго-западной части обширного ареала развития позднепалеозойских и раннемезозойских гранитоидов Западного Забайкалья – Баргузинской магматической области. Она представляет собой зонально-симметричную структуру, центральную часть которой образует крупнейший Ангаро-Витимский гранитный батолит, сформированный в достаточно узком возрастном интервале, между 320 и 290 млн. лет. К краевым участкам магматического ареала тяготеют зоны рифтового магматизма, представленные многочисленными массивами щелочных пород, образование которых произошло практически одновременно с магматизмом центральной части ареала (рис. 1) [Ярмолюк и др., 2005]. Профиль МТЗ пересекает юго-западное окончание Баргузинской магматической области, в пределах краевой части Ангаро-Витимского батолита и располагается полностью в Байкальской рифтовой зоне.

Работы МТЗ выполнялись аппаратурой «Phoenix Geophysics Ltd» оснащенной программой первичной обработки данных. Количественная интерпретация в рамках 1D -и 2D инверсии и построение геоэлектрических разрезов выполнены в программном комплексе LineInterMT.

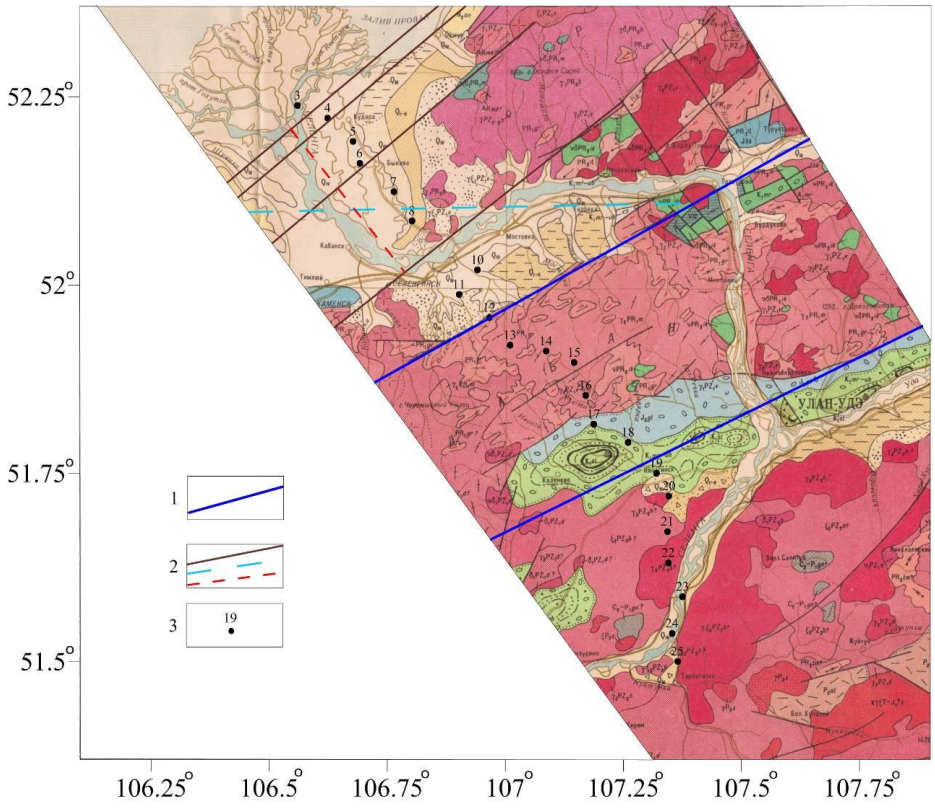


Рис.1 Фрагмент геологической карты с расположением профиля МТЗ.

1 - межблоковые глубинные рифтогенные разломы, 2 - рифтогенные разломы Селенгинского блока (северо-восточные, субширотные, северо-западные), 3 - пункты МТЗ.

Построение геоэлектрических разрезов производилось в несколько этапов. Сначала была выполнена одномерная инверсия продольных кривых (рис. 2, А). Затем была проведена двумерная (2D) инверсия и построен модельный геоэлектрический разрез (рис. 2,Б).

По данным магнитотеллурических исследований в разрезе земной коры изученной территории выделяются три крупных блока – Селенгинский (юго-восточная часть дельты реки Селенги), Хамардабанский и Удино-Витимский.

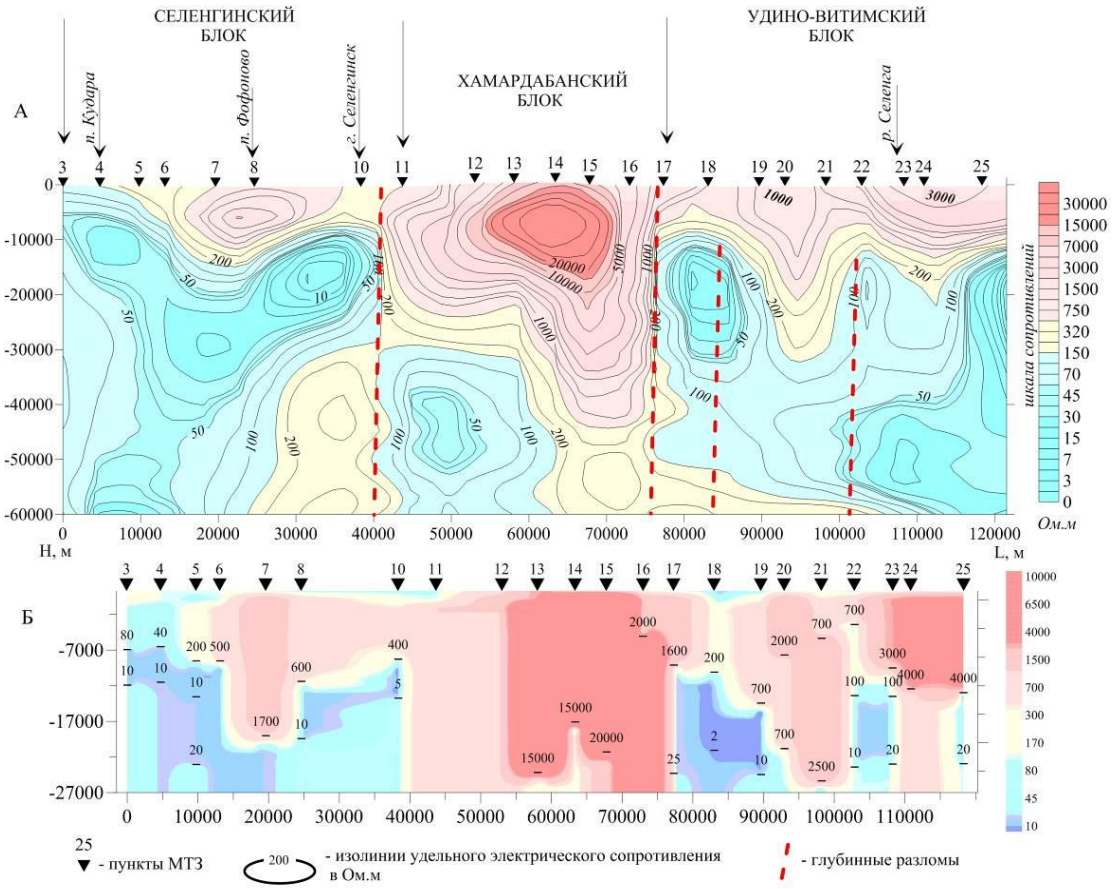


Рис 2 А - Глубинный геоэлектрический разрез по результатам 1D-инверсии, Б - модельный геоэлектрический разрез

Северо-западный отрезок профиля (Селенгинский блок, пункты наблюдений 3-11) пересекает юго-восточную часть дельты реки Селенги, в области развития кайнозойских отложений и рифтогенную впадину, наложенную на кристаллическое основание (граниты баргузинского комплекса) юго-восточного борта реки Селенги. Для Селенгинского блока характерно развитие глубинных рифтогенных разломов нескольких направлений, хорошо выраженных в поле литосферных (спутниковых) магнитных аномалий (рис.3). В разрезе осадочного чехла Селенгинского блока (п.п. 3-11) выделяются три обобщенных геоэлектрических горизонта, общей мощностью 3,5 км, постепенно выклинивающихся в сторону Хамардабана. Сопротивление докембрийских пород фундамента составляет 300-400 Ом.м. В верхней части земной коры, на глубинах 6-8 км отчетливо выделяется внутрикоровый проводящий слой мощностью порядка 10 км и сопротивлением 5-10 Ом. м (рис. 2,Б). Подъем проводящего слоя до глубин 6-8 км является свидетельством

особого теплового режима недр этой части профиля. Об этом свидетельствуют и очень низкие значения удельного электрического сопротивления в интервале глубин 12-60 км.

Хребет Хамардабан (п.п. 11-17) представляет собой сложно построенную геоэлектрическую неоднородность высокого сопротивления, разделяющуюся на северо-западную и юго-восточную части (рис. 2). Первая (п.п. 11-13) с сопротивлением 1000-1600 Ом.м, прослеживается до глубин 30-42 км, вторая (п.п. 14-17) с сопротивлением до 15-20*10^3 Ом.м до глубины 55-58 км. В нижней части земной коры Хамардабанского блока сопротивление составляет 150-200 Ом.м.

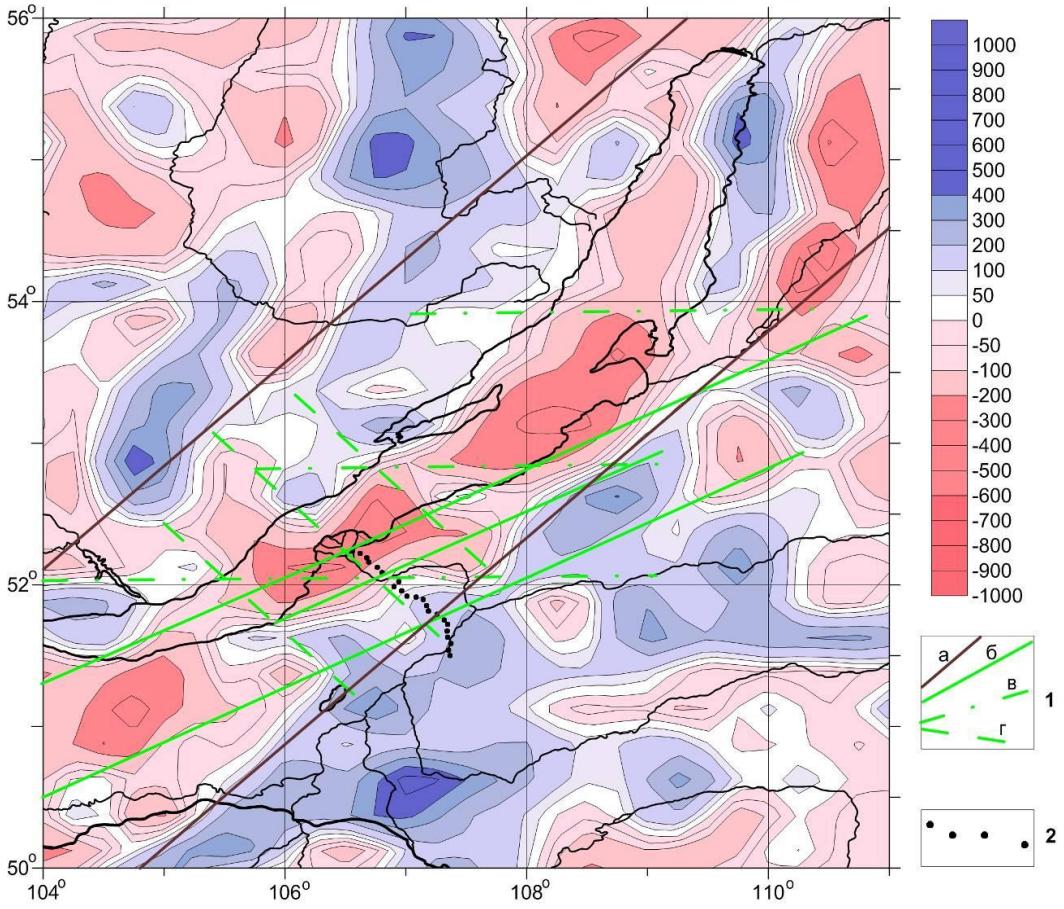


Рис. 3 Литосферные магнитные аномалии.

1 - Глубинные рифтогенные разломы: а - ограничевающие Байкальскую рифтовую впадину, б - контрастные рифтоенные структуры Забайкалья, в - определяющие поперечную зональность Байкальской впадины, г - прочие крупные разломы;
2 - профиль магнитотеллурических зондирований (МТЗ).

Удино-Витимском блок расположен в пределах Удино-Витимской рифтовой зоны, выполненной мезозойскими и кайнозойскими отложениями, особенностью которой является широкое развитие щелочных пород. Взаимоотношения между щелочными породами и гранитами Ангаро-Витимского батолита свидетельствуют о близком возрасте их образования, одновременности внедрения и смешения гранитных и щелочно-базитовых расплавов. В южной части Удино-Витимской впадины (п.п. 20-25) широко

развиты раннемезозойские щелочные и металюминиевые граниты А-типа, относящиеся к центральной части Монголо-Забайкальского пояса [Ярмолюк и др., 2005].

Хамардабанский и Удино-Витимский блоки разделены зоной глубинного разлома (п. 18), которому в геоэлектрическом разрезе соответствует субвертикальная проводящая зона с сопротивлением менее 5-10 Ом.м (рис. 2). Под мезозойско-кайнозойскими осадками небольшой мощности Удино-Витимской рифтовой впадины выделяется неоднородность высокого сопротивления – $2\text{-}3*10^3$ Ом.м. Неоднородность прослеживается до глубин 12-24 км. В разрезе средней части земной коры, на глубине 16-17 км выделяется внутрикоровый проводящий слой с сопротивлением 10-20 Ом.м и мощностью 12-15 км (рис. 2). Далее вниз по разрезу сопротивление пород земной коры составляет 60-100 Ом.м.

Различие в значениях удельного электрического сопротивления рассматриваемых структур определяется особенностями геотермического режима глубинных недр Байкальской рифтовой зоны. Именно в рифтовых зонах создаются наиболее благоприятные условия для сквозь коровой разгрузки глубинных флюидов. Выше упоминалось, что верхняя мантия Байкальской рифтовой зоны содержит большое количество флюидов, восходящих по проницаемым зонам к земной поверхности и непрерывно пополняемых потоками флюидов снизу [Голубев, 2007]. Этот вывод объясняет низкие значения удельного сопротивления пород коры и изменение параметров внутрикорового проводящего слоя (рис. 2).

Выводы

1. Особенности распределения значений удельного электрического сопротивления в земной коре исследуемого района определяются высокой активностью мантии Байкальской рифтовой зоны, определяющей также высокую тектоническую активность, выраженную в формировании глубинных рифтогенных разломов, по которым осуществляется постоянная сквозькоровая разгрузка глубинных флюидов.

2. Результаты исследования не противоречат и в значительной мере подтверждают выводы наших предшественников о существовании проводящего корового слоя. Глубина залегания слоя в Селенгинском блоке составляет 6-8 км, что свидетельствует о высоком тепловом режиме этого блока. Тогда как в Удино-Витимском блоке он залегает на глубинах 16-20 км, характерных для термодинамических условий рифтовых впадин.

3. Интересным результатом является связь высокой проводимости в земной коре Удино-Витимского блока с развитием здесь высокощелочных магматических образований глубинного типа, резко обогащенных окислами железа.

Работа выполнена в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы научно-исследовательские работы по лоту «Проведение научных

исследований коллективами научно-образовательных центров в области геофизики» шифр «2010-1.1-153-047».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алакшин А.М., Лысак С.В., Письменный Б.М., Поспеев А.В., Поспеева Е.В. Глубинное строение и геодинамика Саяно-Байкальской горной области и сопредельных районов Восточной Сибири //Глубинное строение территории СССР. Под редакцией В.В. Белоусова. М. Наука. 1991. С. 88-106.

2. Витте Л.В., Василевский А.Н., Павлов Е.В. Региональные магнитные и гравитационные аномалии Сибирского кратона и их геологическая природа //Геофизический журнал. 2009.Т. 31. С. 21-40

3. Голубев В.В. Кондуктивный и конвективный вынос тепла в Байкальской рифтовой зоне. Новосибирск. Академическое издание «Гео». 2007. 218 с.

4. Ярмолюк В.В., Коваленко В.И., Козловский А.М., Воронцов А.А., Соватенко В.В. Позднепалеозойская-раннемезозойская рифтовая система центральной Азии: состав и источники магматизма. Закономерности формирования и геодинамика. // Проблемы тектоники центральной Азии. Москва, ГЕОС, с. 197-236

© Е.В. Поспеева, Л.В. Витте, В.В. Потапов, 2012

УДК 550.386 + 551.594

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ТЕНЗОРА ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ПО СКВАЖИННЫМ ДАННЫМ

Валерий Викторович Плоткин
Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, 630090, г. Новосибирск, пр. Коптюга, 3, ведущий научный сотрудник, e-mail: plotkinvv@ipgg.nsc.ru

Проведены численные эксперименты по восстановлению тензора электропроводности анизотропной среды с помощью скважинных данных электромагнитных зондирований. Показано, что на основе анализа зависимости компонент электромагнитного поля вдоль оси скважины возможно полное восстановление тензора электропроводности.

Ключевые слова: тензор электропроводности, электромагнитное зондирование.

RECOVERING THE CONDUCTIVITY TENSOR ON THE BOREHOLE DATA

Valery V. Plotkin
Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Koptyug, 3, Novosibirsk, 630090, Russian Federation, leading research scientist, e-mail: plotkinvv@ipgg.nsc.ru

Numerical experiments on the recovering conductivity tensor of the anisotropic medium are carried out using data of electromagnetic borehole sounding. It is shown that the complete recovering the conductivity tensor is possible by the analysis of components of the electromagnetic field changing along the borehole axis.

Key words: the conductivity tensor, electromagnetic sounding.

Известно, что слоистая среда, составленная из многочисленных тонких изотропных пластов с различной электропроводностью, проявляет себя как макроанизотропная среда. Существуют также среды, для которых анизотропия свойств характерна на микроуровне. Важно, что такие среды часто соответствуют реальным породам, в частности, нефтяным коллекторам. При бурении тонкослоистых нефтяных коллекторов возникает проблема определения пространственной ориентации скважины и углов ее оси относительно составляющих пластов. Поскольку такую среду можно рассматривать как анизотропную, возникает предположение, нельзя ли решить данную задачу с помощью восстановления компонент эффективного тензора электропроводности среды по каким либо данным, получаемым при электромагнитном зондировании в скважине. В данной работе показана возможность полного восстановления тензора электропроводности анизотропной среды по данным о компонентах электромагнитного поля на оси скважины, возбуждаемого магнитным диполем.

Рассмотрим однородную анизотропно проводящую среду. В такой среде тензор электропроводности в системе координат его главных осей описывается диагональной матрицей $\hat{\sigma}'$, а в лабораторной системе координат имеет вид $\hat{\sigma}$:

$$\hat{\sigma}' = \begin{pmatrix} \sigma_{x'} & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{y'} & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{z'} \end{pmatrix}, \quad \hat{\sigma} = \begin{pmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{yx} & \sigma_{yy} & \sigma_{yz} \\ \sigma_{zx} & \sigma_{zy} & \sigma_{zz} \end{pmatrix} = V\hat{\sigma}'V^T, \qquad (1)$$

где V матрица поворота системы координат. Матрица поворота V унитарна и обратное преобразование осуществляется транспонированной матрицей V^T. Столбцы матрицы V являются собственными векторами тензора электропроводности в лабораторной системе координат. Матрица поворота может быть вычислена методами приведения тензора к диагональному виду, а также выражена с помощью углов Эйлера, характеризующих поворот системы координат:

$$V = \begin{pmatrix} \cos\psi\cos\varphi - \cos\vartheta\sin\psi\sin\varphi & -\cos\psi\sin\varphi - \cos\vartheta\sin\psi\cos\varphi & \sin\vartheta\sin\psi \\ \sin\psi\cos\varphi + \cos\vartheta\cos\psi\sin\varphi & -\sin\psi\sin\varphi + \cos\vartheta\cos\psi\cos\varphi & -\sin\vartheta\cos\psi \\ \sin\vartheta\sin\varphi & \sin\vartheta\cos\varphi & \cos\vartheta \end{pmatrix} \qquad (2)$$

где ϑ - угол нутации, ψ - угол прецессии и φ - угол чистого вращения.

В качестве источника поля используем магнитный диполь, направленный вдоль оси OZ и расположенный в точке $z = 0$. Рассчитаем компоненты электромагнитного поля диполя вдоль этой оси в анизотропной среде с тензором электропроводности в виде (1)-(2). Направление осей OX и OY соответствует выбору (1)-(2). Для расчета компонент поля в этом случае, а также в среде с другими характеристиками будем применять численный метод, описанный в работе [1]. Электромагнитное поле представляем в виде разложения по двумерным пространственным Фурье-гармоникам по осям OX и OY. Амплитуды этих гармоник на нескольких уровнях выше и ниже источника рассчитываем численно по методу [1]. Последующее суммирование рядов в точках на оси скважины дает искомые компоненты поля.

Полученные значения компонент электромагнитного поля диполя вдоль его оси используем как входные "экспериментальные" данные для решения обратной задачи определения параметров анизотропии зондируемой среды – главных значений тензора электропроводности $\sigma_{x'}$, $\sigma_{y'}$, $\sigma_{z'}$ и углов ϑ, ψ и φ. Задавая произвольными начальные значения этих параметров, попытаемся восстановить их первоначальные значения (при которых были рассчитаны входные значения компонент поля) с помощью минимизации функционала Ф

$$\Phi = \sum_p \Phi(F_p), \quad \Phi(F_p) = \left\{ \sum_n \left| F_{p0}(z_n) - F_{pj}(z_n) \right|^2 \right\} \Big/ \left\{ \sum_n \left| F_{p0}(z_n) \right|^2 \right\}, \qquad (3)$$

в котором слагаемые $\Phi(F_p)$ соответствуют вкладам учитываемых компонент ($p = x, y, z$) магнитного ($F = H$) или электрического ($F = E$) полей. F_{p0} и F_{pj} обозначают "экспериментальное" значение p-ой компоненты этих

полей и ее расчетное текущее значение после j-ой итерации соответственно в точках оси OZ с координатами z_n.

В процессе минимизации функционала (3) вводились шесть независимых безразмерных переменных $\xi_1,\ldots,\xi_6$

$$\sigma_{x',y',z'} = \sigma_0\{a_{\min} + a_{\max}[th(\xi_{1,2,3}) + 1]\},$$
$$\vartheta = 90°\left[1 + \sin(\xi_4)\right], \quad \psi = 180°\left[1 + \sin(\xi_5)\right], \quad \varphi = 180°\left[1 + \sin(\xi_6)\right], \tag{4}$$

где σ_0 - базовое значение электропроводности, $a_{\min}$ и $a_{\max}$ -предельные параметры, характеризующие априори известные минимально и максимально возможные значения электропроводности в исследуемой среде. Такой выбор продиктован ограничениями в диапазоне изменений этих величин.

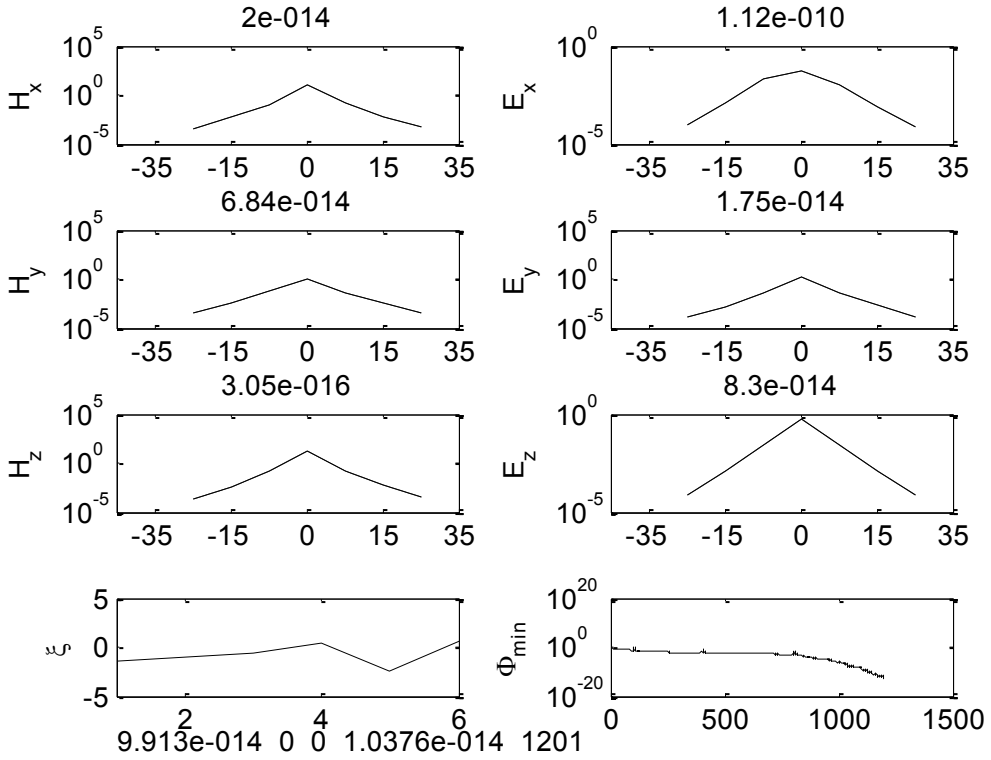
Численные расчеты проведены для следующих значений параметров: σ_0=1 См/м, $\sigma_{x'} = \sigma_0$, $\sigma_{y'}$=2 σ_0, $\sigma_{z'}$=0.5 σ_0 ϑ=45°, ψ=20° и φ=30° в объеме с размерами по осям 100x150x80 метров для временного периода T=1_{10}-4 с. Поле по осям OX и OY представлялось Фурье-гармониками до 11 порядка.

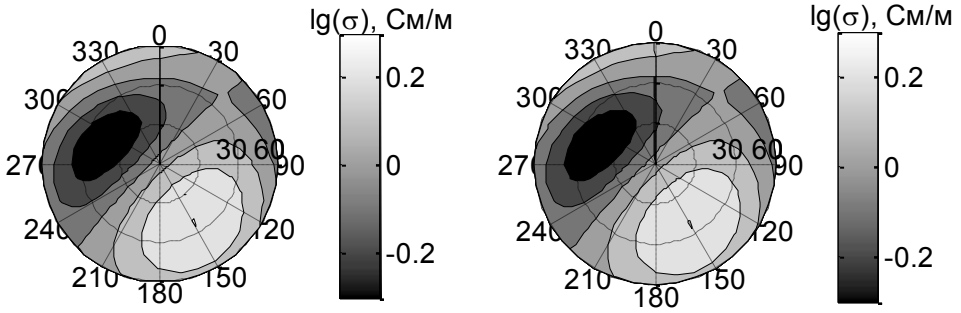
Графически тензор электропроводности удобно отображать в виде полярной диаграммы угловой зависимости эффективного значения электропроводности $\sigma_{ef} = \vec{e}(\hat{\sigma}\vec{e})$ от направления электрического поля, задаваемого произвольным единичным вектором $\vec{e}$. Диаграмму будем представлять в полярных координатах, в которых радиальная координата соответствует зенитному углу $\vec{e}$ относительно оси OZ, а угловая – азимуту направления $\vec{e}$ относительно оси OX. Подобные угловые диаграммы позволяют наглядно судить о качестве восстановления тензора электропроводности при решении обратной задачи.

На приведенных рисунках представлены результаты восстановления эффективного тензора электропроводности. Отметим, что результаты восстановления практически не зависят от выбора стартовой модели среды. Рис. 1 соответствует случаю, когда при минимизации в функционале невязок учитывался только вклад компонент магнитного поля, а на рис. 2 отображен вариант с использованием вклада всех шести компонент электромагнитного поля.

Восстановление компонент тензора электропроводности только по компонентам магнитного поля, измеренным на оси скважины, оказывается более простым, и достигается за меньшее количество итераций. Это указывает на возможность определения эффективного тензора электропроводности окружающей скважину среды по измерениям вдоль оси скважины только компонент магнитного поля. Расчеты также показали, что восстановление искомого тензора электропроводности по измерениям лишь одной продольной (вдоль оси скважины) компоненты магнитного поля затруднительно.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 12-05-00014).

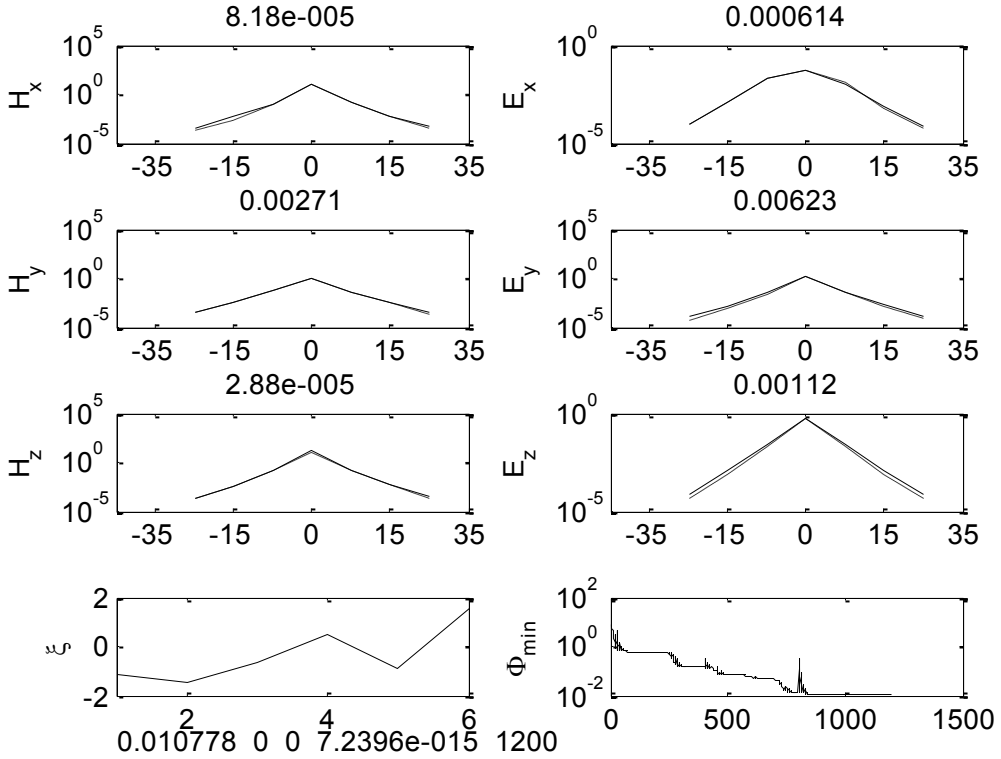


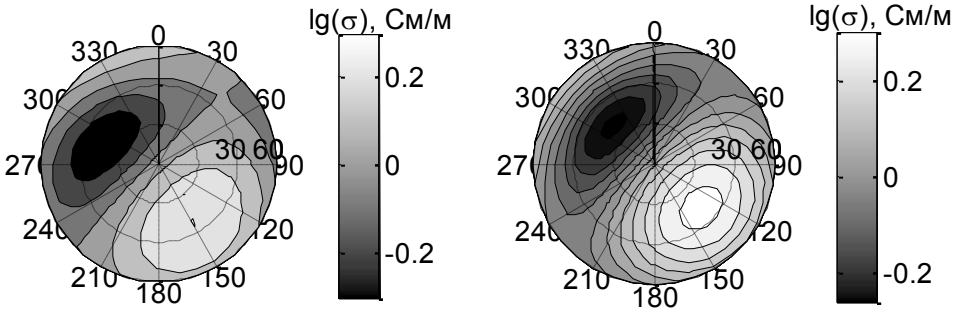


Исходный тензор $\hat{\sigma}_{ik}$			Восстановленный тензор $\hat{\sigma}_{ik}$		
1.4322	-0.1944	-0.5015	1.4322	-0.1944	-0.5015
-0.1944	0.9428	0.4826	-0.1944	0.9428	0.4826
-0.5015	0.4826	1.1250	-0.5015	0.4826	1.1250

Рис. 1. Зависимости компонент поля от глубины на оси скважины (верхние три ряда, сплошная линия – входные данные, пунктир – результат минимизации, цифры в титулах – относительная погрешность различия кривых). Четвертый ряд – итоговые значения переменных $\xi_1,\ldots,\xi_6$ (слева) и график минимизации (справа, по оси абсцисс – номер итераций). Пятый ряд - изолинии эффективной электропроводности σ_{ef} (в полярных координатах, в См/м) в зависимости от направления $\vec{e}$, задаваемого зенитным углом (радиальная координата) и азимутом (угловая координата). Ось OX - азимут 0º, ось OY - азимут 90º, ось OZ - вниз

Восстановление производилось на основе подгонки с использованием только трех компонент магнитного поля на оси скважины. После 1201 итерации.





Исходный тензор $\hat{\sigma}_{ik}$			Восстановленный тензор $\hat{\sigma}_{ik}$		
1.4322	-0.1944	-0.5015	1.1628	-0.2282	-0.5227
-0.1944	0.9428	0.4826	-0.2282	1.1927	0.5581
-0.5015	0.4826	1.1250	-0.5227	0.5581	1.2251

Рис. 2. То же, что на рис. 1

Восстановление производилось на основе подгонки с использованием всех шести компонент электромагнитного поля на оси скважины После 1200 итерации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Карчевский А.Л. Аналитическое решение уравнений Максвелла в частотной области для горизонтально-слоистых анизотропных сред // Геология и геофизика. - 2007. - Т. 48. - № 8. - С. 889-898.

© В.В. Плоткин, 2012

УДК 550.837

ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ПОЙМЕННЫХ И НАДПОЙМЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ Р. ЮРИБЕЙ (ЯМАЛ) ПО ДАННЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЗОНДИРОВАНИЙ

Владимир Владимирович Оленченко
Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, 630090, г. Новосибирск, пр. ак. Коптюга, 3, старший научный сотрудник лаборатории геоэлектрики, тел. (383) 333-28-16, e-mail: OlenchenkoVV@ipgg.nsc.ru

Александр Николаевич Шеин
Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, 630090, г. Новосибирск, пр. ак. Коптюга, 3, научный сотрудник лаборатории геоэлектрики, тел. (383) 330-41-22, e-mail: SheinAN@ipgg.nsc.ru

В работе представлены результаты электрических зондирований речных пойменных и надпойменных отложений с целью оценки геокриологического строения грунтов верхней части разреза. Установлена глубина залегания и мощность пластовых льдов. Изучено строение полигонально-жильной структуры. Выявлены признаки палеоклиматических изменений мерзлой толщи.

Ключевые слова: Ямал, многолетнемерзлые породы, электрические зондирования, электротомография.

GEOCRYOLOGICAL STRUCTURE OF FLOODPLAIN AND ABOVE FLOODPLAIN SEDIMENTS OF RIVER YURIBEY(YAMAL) ACCORDING TO ELECTRICAL SOUNDING DATA

Vladimir Vladimirovich Olenchenko
Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics (IPGG) SB RAS, 3, Akademika Koptyuga Prosp., Novosibirsk, 630090, Russia, Senior Research Scientist, tel. (383) 333-28-16, e-mail: OlenchenkoVV@ipgg.nsc.ru

Alexandr Nickolaevich Shein
Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics (IPGG) SB RAS, 3, Akademika Koptyuga Prosp., Novosibirsk, 630090, Russia, Research Scientist, tel. (383) 333-41-22, e-mail: SheinAN@ipgg.nsc.ru

The results of the electrical soundings of the river floodplain and floodplain sediments in order to estimate geocryological structure of near-surface section are presented. The depth and thickness of massive ice beds are determined. The structure of ice wedges is studied. Paleoclimate factors of changes in permafrost are detected.

Key words: Yamal, permafrost, electric sounding, ERT.

Геофизические методы давно и успешно применяются при изучении таких сложных объектов и явлений природной геологической среды, какими являются многолетнемерзлые породы. В основном для подобного рода исследований используются электроразведочные методы. На полуострове Ямал

электроразведка широко применяется при изысканиях под строительство объектов нефтегазодобывающей отрасли. С её помощью расчленяют разрез по литологии, выделяют пластовые и жильные льды, криопэги [1, 2]. Однако возможности электроразведки позволяют решать не только прикладные, но и фундаментальные задачи для смежных наук о Земле – геокриологии, гляциологии.

В данной работе представлены некоторые результаты электрических зондирований пойменных и надпойменных отложений р. Юрибей. Основная цель исследований – оценка геокриологического строения грунтов верхней части разреза (ВЧР).

Район работ расположен на полуострове Ямал в пределах нижнего течения р. Юрибей примерно в 40 км от устья реки при впадении в Байдарацкую губу Карского моря. Данная территория относится к зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород с мощностью от 50-150 м в пойме Юрибея [2]. Особенностью района работ является повсеместное развитие пластовых и полигонально-жильных льдов [3, 4].

Исследования проводились на двух участках. Первый участок располагался в пойме на полуострове, в месте слияния рек Юрибей и Яртасё. Пойма реки выполнена голоценовыми аллювиальными отложениями в виде горизонтально-слоистых средне- и мелкозернистых песков с растительным детритом. На поверхности развиты многочисленные морозобойные трещины шириной раскрытия до нескольких десятков сантиметров, по которым происходит рост ледяных жил. Второй участок находился на высокой надпойменной плейстоценовой террасе, на склоне юго-восточной экспозиции, сложенной также песками и супесями. На поверхности террасы развит полигональный микрорельеф, проявлены такие криогенные процессы как морозобойное растрескивание, образование пятен-медальонов. Глубина сезонного оттаивания на момент исследований составляла 0.05-0.3 м.

Вертикальные электрические зондирования в модификации электротомографии выполнялись с применением многоканальной аппаратуры Syscal Pro (Iris Instruments, Франция). Количество подключаемых электродов - 24 шт., шаг измерений изменялся от 0.5 до 5.0 м в зависимости от детальности исследований. Количественная интерпретация данных проводилась программой Res2Dinv (Geotomo Software Sdn. Bhd, Малайзия).

В пойме Юрибея электрические зондирования проведены в профильном и площадном варианте. Задачей профильных измерений являлась оценка геокриологического строения разреза на максимально возможную глубину на двух перпендикулярных профилях вдоль и поперек полуострова. Площадные детальные зондирования проводились для изучения строения полигонально-жильной структуры.

Разрез удельного электрического сопротивления (УЭС) грунтов поперек полуострова показан на рис. 1а. Профиль начинается от р. Яртасё с низкой поймы, затопляемой во время паводков, пересекает старое русло Юрибея и выходит на песчаную незатопляемую возвышенность. В верхней части разреза грунты различаются по УЭС, что мы связываем с разной дисперсностью

отложений, а не с их температурным режимом. В начале и середине профиля преобладают пониженные сопротивления, связанные с тонкодисперсными отложениями старого русла р. Юрибей (40-60 м), а на незатопляемой возвышенности (70-115 м) сопротивление песков возрастает за счет увеличения их крупности.

В интервале глубин 4-19 м выделяется пласт высокого сопротивления (более 50000 Ом·м), интерпретируемый нами как пластовый лед (рис. 1б). Характер залегания кровли пласта в краевых частях определяется тепловым режимом грунтов. Отепляющее действие р. Яртасё и р. Юрибей приводит к формированию подруслового талика, т. е. кровля пластового льда начинает резко погружаться при приближении к руслам рек. Под старым руслом Юрибея (в районе 50 м профиля) подрусловой талик не выражен на разрезе сопротивлений, что возможно связано с прекращением отепляющего действия воды и восстановлением многолетнемерзлой толщи.

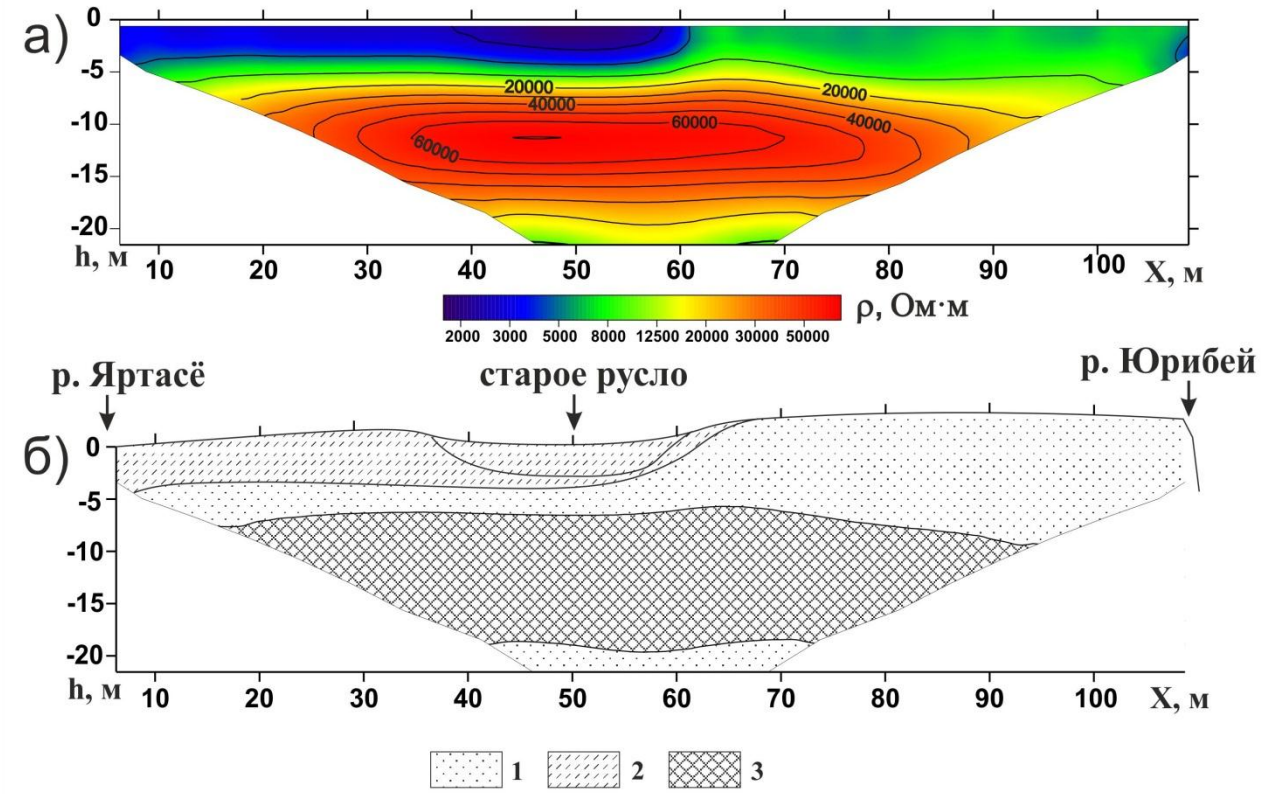


Рис. 1. Разрез УЭС по поперечному профилю (а) и его интерпретация (б): 1- пески; 2- супеси; 3- пластовый лед

Детальные зондирования над полигонально-жильной структурой позволили оценить ее строение в поперечном разрезе (рис. 2). Вмещающие ледяную жилу грунты хорошо дифференцируются по сопротивлению. Пониженными значениями УЭС выражена более прогретая верхняя часть сезонномерзлого слоя до глубины 0.5 м, а жила льда выделяется аномально высоким сопротивлением на фоне УЭС мерзлого песка. Наличие морозобойной трещины также проявляется на разрезе локальной аномалией повышенного

сопротивления (в районе 10.5 м профиля). На глубине 4 метра выделяется кровля слоя высокого сопротивления – пластового льда. По характеру распределения аномально высокого УЭС в разрезе можно предположить, что на глубине жильный лед переходит в пластовый.

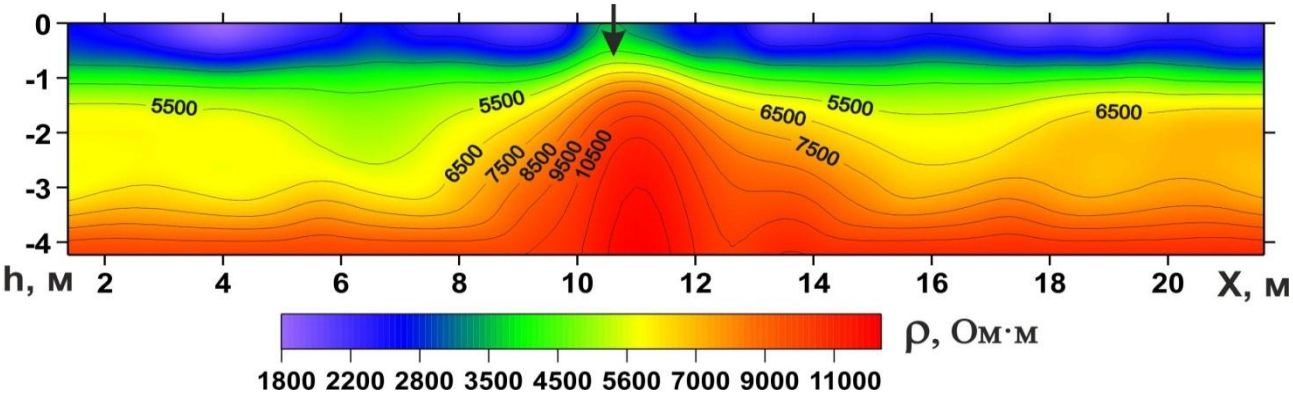


Рис. 2. Разрез УЭС грунтов через полигонально-жильную структуру. Положение морозобойной трещины на профиле показано стрелкой

Плотная сеть наблюдений позволила составить трехмерную модель распределения удельного электрического сопротивления среды, в которой локализуется аномалия высокого сопротивления, вызванная ледяной жилой.

На рисунке 4 представлен разрез сопротивлений пород через плейстоценовую террасу (4а) и его геологическая интерпретация (4б).

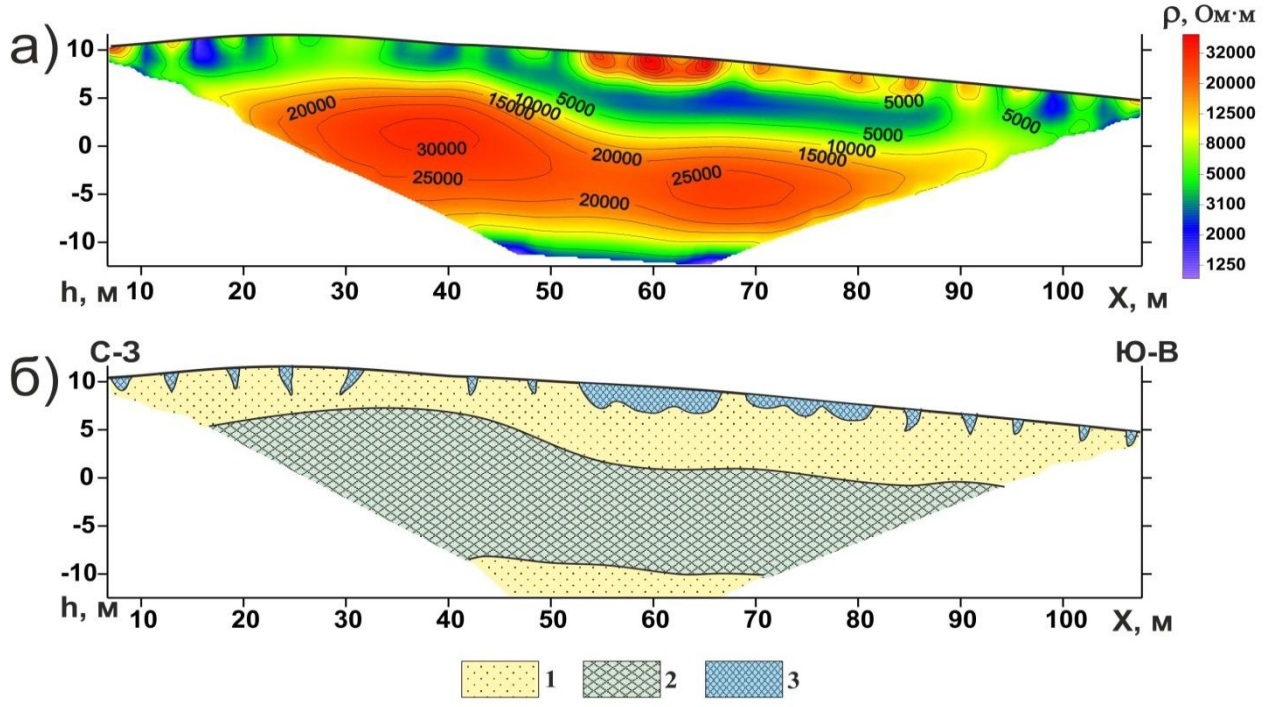


Рис. 3. Разрез удельного электрического сопротивления пород через плейстоценовую террасу (а) и его интерпретация (б): 1 - пески и супеси; 2 - лед пластовый; 3 - жильный лед и высокольдистые грунты

Разрез состоит из преимущественно песчаных отложений, с глубины 5-8 м слоем высокого сопротивления выделяется пластовая залежь льда переменной (10-15 м) мощности. Погружение кровли высокоомного горизонта на склоне юго-восточной экспозиции, вероятно, является следствием протаивания пластового льда в период прошлого потепления климата. Подобная информация может оказаться полезной при определении возраста пластовых льдов и реконструкции палеоклимата.

Таким образом, по данным элетротомографии установлено, что в пойме Юрибея и надпойменных отложениях в пределах площади исследований развиты пластовые льды, залегающие на глубине около 4-6 м и имеющие мощность около 15 м. На разрезах сопротивлений они выделяются слоем аномально высокого УЭС (более 50 000 Ом·м). Жильные льды, развитые по морозобойным трещинам, на разрезах УЭС выделяются субвертикальными аномалиями повышенного сопротивления. Детальные зондирования над полигонально-жильной структурой показали, что жильный лед на глубине контактирует с пластовым. На склоне террасы юго-восточной экспозиции отмечается погружение кровли пластового льда вероятно связанное с формированием чаши протаивания в период прошлого потепления климата.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зыков Ю.Д. Геофизические методы исследования криолитозоны: Учебник [Текст]. – М.: Изд-во МГУ, 2007. – 272 с.

2. Полуостров Ямал (инженерно-геологический очерк) [Текст] / Под ред. В.Т. Трофимова. – М.: Изд-во МГУ, 1975. – 277 с.

3. Дубиков Г.И. Инъекционные ископаемые льды на полуострове Ямал [Текст] / Г.И. Дубиков, М.М. Корейша // Известия АН СССР, сер. географ. – 1964. – № 5. – С. 58-65.

4. Стрелецкая И.Д. Пластовые льды в дислоцированных четвертичных отложениях Западного Ямала [Текст] / И.Д. Стрелецкая, М.З. Каневский, А.А. Васильев // Криосфера Земли. – 2006. – Т. X. – № 2. – С. 68–78.

© В.В. Оленченко, А.Н. Шеин, 2012

УДК 550.837

ИЗМЕРЕНИЕ МАГНИТНОЙ ВЯЗКОСТИ ВО ВРЕМЕННОЙ ОБЛАСТИ ЛАБОРАТОРНОЙ ИНДУКЦИОННОЙ УСТАНОВКОЙ

Ярослав Константинович Камнев
Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, 630090, г. Новосибирск, пр. Коптюга, 3, аспирант, тел. (383) 330-79-08, e-mail: KamnevYK@ipgg.nsc.ru

Николай Олегович Кожевников
Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, 630090, г. Новосибирск, пр. Коптюга, 3, главный научный сотрудник, тел. (383) 333-28-16, e-mail: Kozhevnikov-NO@ipgg.nsc.ru

Галина Гельевна Матасова
Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, 630090, г. Новосибирск, пр. Коптюга, 3, ведущий научный сотрудник, тел. (383) 335-64-33, e-mail: MatasovaGG@ipgg.nsc.ru

В статье приведены результаты измерений переходных характеристик образцов магнитовязких базальтов.

Ключевые слова: переходные процессы, магнитная вязкость, суперпарамагнетизм, базальт.

TIME-DOMAIN MAGNETIC VISCOSYTY MEASUREMENTS WITH LABORATORY INDUCTIVE SYSTEM

Yaroslav K. Kamnev
A.A. Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3 Prosp. Koptyuga, Novosibirsk, 690090, Ph.D. student, tel. (383) 330-79-08, e-mail: KamnevYK@ipgg.nsc.ru

Nikolai O. Kozhevnikov
A.A. Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3 Prosp. Koptyuga, Novosibirsk, 690090, general researcher, tel. (383) 333-28-16, e-mail: Kozhevnikov-NO@ipgg.nsc.ru

Galina G. Matasova
A.A. Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3 Prosp. Koptyuga, Novosibirsk, 690090, leading researcher, tel. (383) 335-64-33, e-mail: MatasovaGG@ipgg.nsc.ru

The paper discuses inductive transient response, measured on magnetically viscous basalt cores.

Key words: transient response, magnetic viscosity, superparamagnetism, basalt.

Явление магнитной вязкости известно физикам с 40-х годов прошлого столетия. В геофизике с этим эффектом так же давно знакомы, однако, в основном, как с помехой, осложняющей измерения. В палеомагнетизме выявление и устранение вязкой намагниченности является важной частью исследований. После появления в начале 80-х годов прошлого столетия высокочувствительной аппаратуры для измерения индукционных переходных

процессов, эффекты магнитной вязкости стали заметны и в электроразведке [1]. При работах методом переходных процессов (МПП) релаксация намагниченности ультрадисперсных частиц ферримагнитных минералов наводит в приёмной петле ЭДС, сравнимую или даже превышающую индуцируемую вихревыми токами. Магнитную вязкость рассматривают преимущественно как помеху, осложняющую интерпретацию данных МПП в терминах электропроводности. Однако магнитные свойства и пространственное распределение однодоменных частиц ферримагнитных минералов представляют собой источник геологически-содержательной информации. В связи с этим целесообразно изучить эффект магнитной вязкости в лабораторных условиях во временной области.

Проявления магнитной вязкости в геологических средах связаны преимущественно с релаксацией намагниченности однодоменных частиц ферримагнитных минералов. Если однодоменная частица мала, или температура велика, её магнитный момент может испытывать тепловые флуктуации. Под действием внешнего магнитного поля частицы пытаются выстроиться по его направлению. После выключения магнитного поля в результате тепловых флуктуаций приобретённая намагниченность постепенно исчезает. Это явление называют суперпарамагнетизмом. После выключения поля остаточная намагниченность (J_r) убывает во времени по экспоненциальному закону

$$J_r = J_0 \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right),$$

где J_0 – намагниченность в момент выключения внешнего поля, t – время после выключения поля, и τ_0 – постоянная времени релаксации процесса. Время релаксации процесса $\tau_0=f_0^{-1}\exp(K_u v/kT)$ зависит от f_0 – коэффициент частоты, K_u – энергия анизотропии, v – объём частицы, k – постоянная Больцмана, T – абсолютная температура. В геологических средах однодоменные частицы представлены ансамблями с широким спектром размеров. Как правило имеет место равномерное распределение времён релаксации частиц, при этом увеличение и спад намагниченности среды, при включении и выключении внешнего магнитного поля, происходит по логарифмическому закону.

Электроразведочный метод переходных процессов основан на изучении магнитного поля вихревых токов, устанавливающихся после выключения тока в источнике. Для возбуждения и регистрации переходных процессов используются горизонтальные незаземлённые петли. При исследовании среды, содержащей суперпарамагнитные (СПМ) частицы, релаксация намагниченности создаёт переменный магнитный поток через приёмную петлю, и индуцирует в ней ЭДС. Так как спад намагниченности в большинстве случаев имеет логарифмический характер, ЭДС в приёмной петле описывается зависимостью at^{-1}.

За основу лабораторной установки для изучения проявлений магнитной вязкости была взята полевая станция FastSnap [2] для работ методом переходных процессов. Она позволяет измерять сигналы в диапазоне 0,01 мкВ – 1 В, с диапазоном времён измерения 10 мкс – 0,5 с. Материал для исследований

был представлен образцами керна базальтов, проявление вязкости которых было ранее установлено в палеомагнитном центре ИНГГ СО РАН. Для возбуждения и измерения переходных процессов использовались многовитковые катушки. Схема установки изображена на рис. 1.

Чем больше объём образца, тем больше в нём SPM частиц, соответственно больше ЭДС переходного процесса. Поэтому первые измерения проводились на образцах цилиндрической формы диаметром 63 мм и высотой 30 мм. Результаты измерений приведены на рис. 2. Во всех случаях ЭДС переходного процесса описывался at^{-1}. Подобные переходные характеристики указывает на присутствие в образцах SPM частиц, и не могут быть связанны с релаксацией вихревых токов или поляризуемостью среды [3]. Диапазон амплитуды параметра a составляет около 2-х порядков.

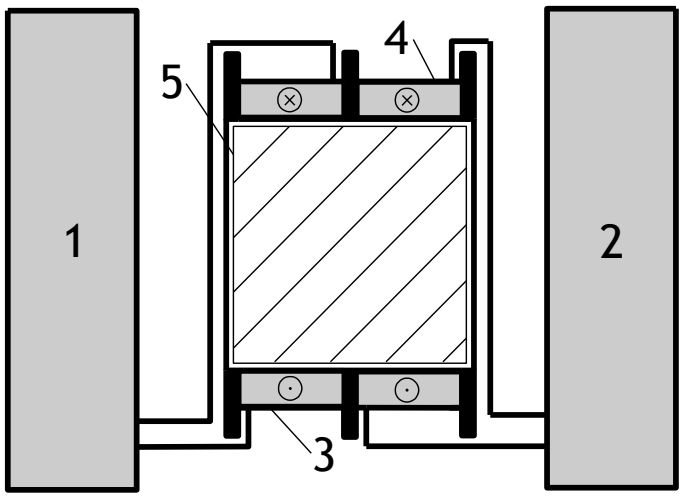


Рис. 1. Схема установки для измерения магнитной вязкости во временной области: 1 – коммутатор тока; 2 – измеритель; 3 – генераторная обмотка; 4 – измерительная обмотка; 5 – образец

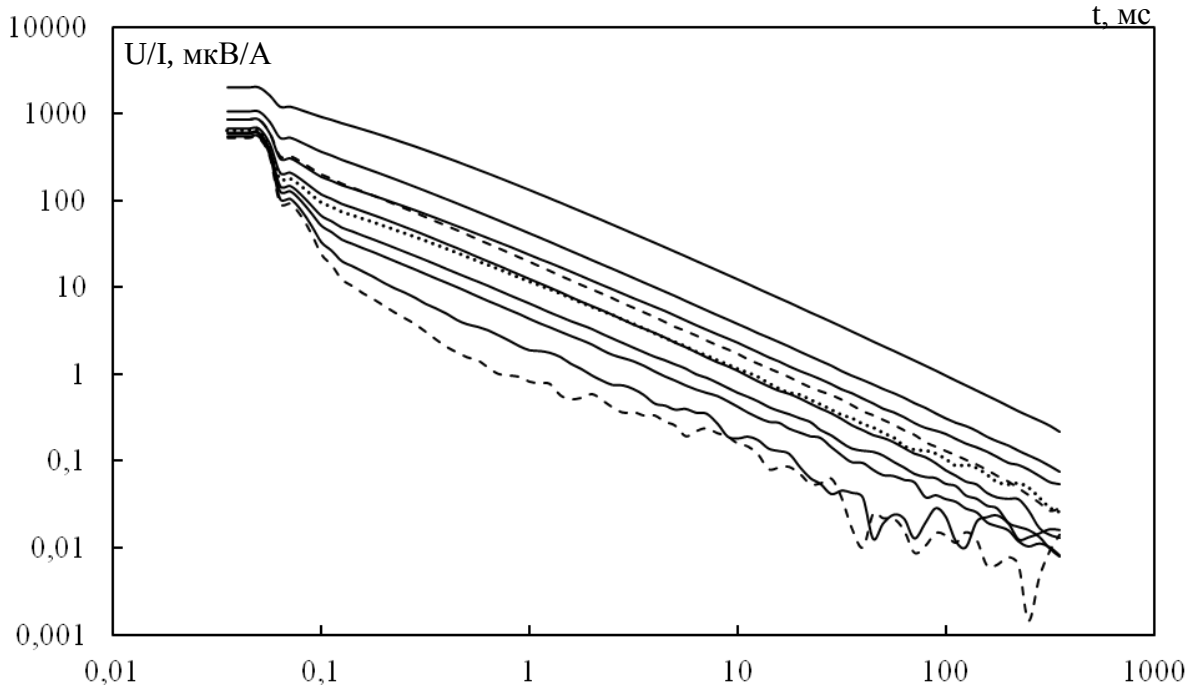


Рис. 2. Индукционные переходные процессы, измеренные на цилиндрических образцах керна базальтов

Следующая серия измерений проводилась на кубических образцах размером 2 см × 2 см × 2 см, изготовленных из того же керна, что и цилиндрические образцы. Использовалась индукционная система с кубической катушкой. Из полученных результатов (рис.3) видно, что амплитуда переходных характеристик меньше чем при использовании цилиндрических образцов примерно на порядок. Поэтому шумы измерительной системы начинают искажать переходные характеристики на ранних временах. Из-за этого переходные процессы не всех образцов удалось аппроксимировать степенной функцией вида at^{-1}.

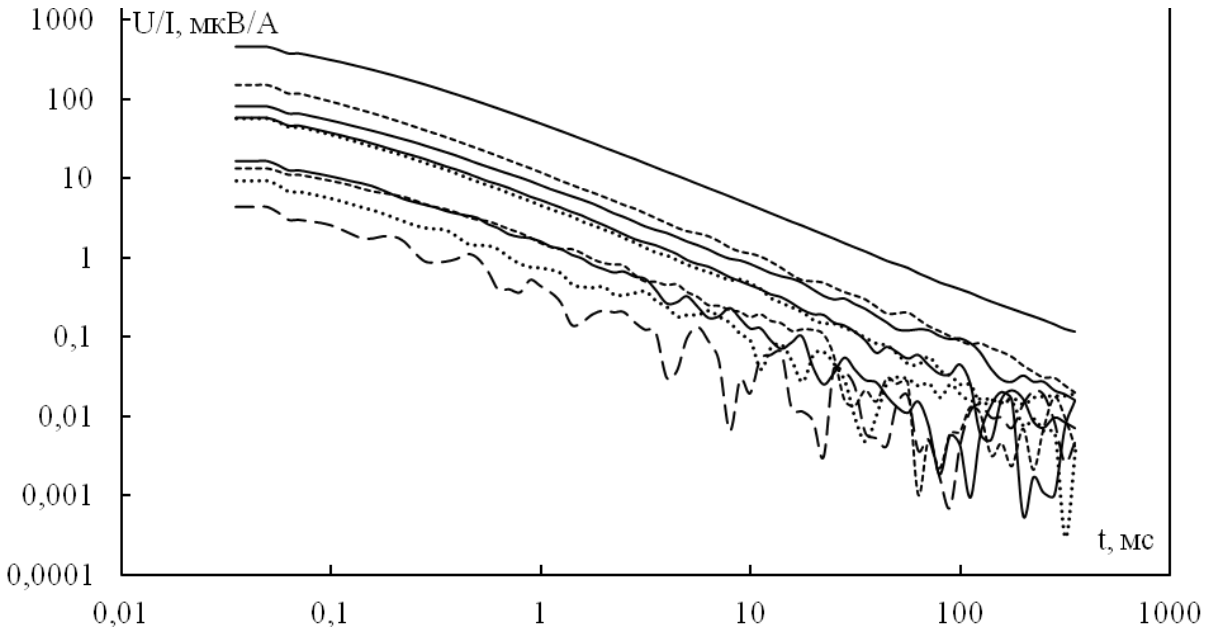


Рис. 3. Индукционные переходные характеристики,измеренные на образцах базальтов кубической формы

Оценка погрешностей измерений проводилась по специальной методике. Для оценки уровня шумов системы проводились измерения без образцов и без подачи тока в генераторную петлю. Среднеквадратичное отклонение амплитуды шумов от нуля, с учётом усреднения по 100 реализациям, составила 0,01мкВ. Исследовалась также воспроизводимость результатов измерений. Были проведены десятки измерений переходных процессов одних и тех же образцов. Во время измерений искусственно изменялись условия их проведения, что позволило изучить влияние возможных источников систематических погрешностей (таких как температура, ориентация образца и т.п.). Выяснилось, что среднеквадратичное отклонение переходных процессов составляет не более 5 % от их амплитуды (рассчитывалось в интервале переходных процессов, где их амплитуда была на несколько порядков выше амплитуды переходного процесса катушки и амплитуды шумов). Также было изучено влияние силы тока в генераторной обмотке на ЭДС переходного процесса. В результате этих

измерений показано, что измерительная система является линейной по отношению к силе тока.

Хотя переходные характеристики цилиндрических образцов удаётся измерять с низкой погрешностью, для изготовления таких образцов необходимо большое количество кернового материала. Более удобным представляется использование небольших кубических образцов, которые являются стандартными в палеомагнитных исследованиях. Первые попытки работы с кубическими образцами выявили проблемы. Так, из-за того что количество SPM частиц в кубических образцах невелико ЭДС переходного процесса лишь незначительно превышает уровень шумов измерительной системы. Бороться со случайными шумами можно увеличением накопления количества измерений. Однако подобная мера значительно увеличивает время измерения, а так как при длительных измерениях генераторная обмотка измерительной катушки нагревается, образец нагревается. Исследования влияния температуры на отклик SPM частиц показали, что нагревание образца на 10^0C увеличивает магнитную восприимчивость примерно на 10%, поэтому при проведении измерений необходимо обеспечивать постоянство температуры образца. Ещё один способ повысить чувствительность измерительной системы – минимизировать переходный процесс измерительной катушки. Это позволит измерять переходную характеристику SPM частиц на более ранних временах, где ЭДС переходного процесса больше.

В целом метод измерения релаксации намагниченности SPM частиц во временной области представляется перспективным. Лабораторная установка требует дальнейших доработок для повышения чувствительности и устранения причин погрешностей. После усовершенствования станет эффективным инструментом для лабораторного измерения геологических сред с магнитной вязкостью. Вероятно, эта установка найдёт применение и в палеомагнитных исследованиях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Buselli. G. The effect of near-surface superparamagnetic material on electromagnetic measurements [Text] / Buselli. G. / Geophysics, vol. 47 (September 1982) p. 1315-1324.

2. Телеметрическая аппаратура FastSnap для малоглубинных электромагнитных зондирований [Электронный ресурс] / ссылка на сайт: http://www.sibgeosystems.ru/hardware/FastSnap/

3. Кожевников, Н.О. Магнитная вязкость траппов и её связь с аномалиями электромагнитного поля в методе переходных процессов / Н.О. кожевников, С.В. Снопков // Геология и геофизика. – 1995. - т. 36. - № 5. - с. 91-102.

© Я.К. Камнев, Н.О. Кожевников, Г.Г. Матасова, 2012

УДК: 546.623’ 46' 54.055

ГИДРОМИНЕРАЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ СОЛЕНЫХ ОЗЕР ЗАПАДНОЙ МОНГОЛИИ

Виталий Петрович Исупов
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, 630128, г. Новосибирск, ул. Кутателадзе 18, зав. лабораторией, тел. (383)336-38-37, e-mail: isupov@solid.nsc.ru

Степан Львович Шварцев
Томский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, 634021, г. Томск, просп. Академический, 4, директор филиала, тел. (3822)492-163, e-mail: tomsk@igng.tsc.ru

Александр Геннадиевич Владимиров
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии и минералогии СО РАН, 630090, г. Новосибирск, пр. ак. Коптюга, 3, главный научный сотрудник, тел. (383)333-35-23, e-mail: vladimir@uiggm.nsc.ru

Марина Николаевна Колпакова
Томский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, 634021, г. Томск, просп. Академический, 4, младший научный сотрудник, тел. (3822)492-163, e-mail: tomsk@igng.tsc.ru

Содов Ариунбилэг
Институт геологии и минеральных ресурсов АНМ, Монголия, г. Улан - Батор, ведущий сотрудник ИГМР АН МНР, тел. 976-11-343723, e-mail: s_ariunbileg@yahoo.com

Светлана Станиславовна Шацкая
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, 630128, г. Новосибирск, ул. Кутателадзе, 18, старший научный сотрудник, тел. (383)217-04-54, e-mail: shatskaya@solid.nsc.ru

Леонид Васильевич Куйбида
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химической кинетики и горения СО РАН, 630090, г. Новосибирск, ул. Институтская, 3, старший научный сотрудник, тел. (383)333-29-44, e-mail: kuibida@kinetics.nsc.ru

В статье приведены данные по составу и гидроминеральным ресурсам соленых озер Западной Монголии. Концентрация U-238 в озерных водах достигает 3 мг/л, Li - 100 мг/л, Br - 1 г/л, B - 100 мг/л. Крупнейшее соленое озеро Западной Монголии (Хяргас нуур) содержит (в тоннах): U-238 (6000), Li (20000), Br (240000), B (240000). Полученные данные позволяют предполагать, что накопление урана в озерных водах обусловлено двумя основными факторами: локализацией озер и их водосбора на территории урановорудных зон, а также наличием в них карбонат (гидрокарбонат) - ионов.

Ключевые слова: гидроминеральные ресурсы, соленые озера, Западная Монголия.

HYDROMINERAL RESOURCES OF SALT LAKES IN WESTERN MONGOLIA

Vitaly P. Isupov
Institute of Solid State Chemistry and Mechanochemistry, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, 18 Kutateladze, Novosibirsk, 630128, Head of laboratory, tel. (383)336-38-37, e-mail: isupov@solid.nsc.ru

Stepan L. Shvartsev
Tomsk Division of the Institute of Petroleum-Gas Geology and Geophysics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (IPGG SB RAS), Academician av., 4, Tomsk, 634021, Head of division, tel. (3822)49-21-63, e-mail: tomsk@igng.tsc.ru

Aleksandr G.Vladimirov
Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (IGM SB RAS), Koptyug Av., 3, Novosibirsk, 630090, Leading research scientist, tel. (383)333-35-23, e-mail: vladimir@igm.nsc.ru

Marina N. Kolpakova
Tomsk Division of the Institute of Petroleum-Gas Geology and Geophysics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (IPGG SB RAS), Academician av., 4, Tomsk, 634021, Junior research scientist, tel. (3822)49-21-63, e-mail: tomsk@igng.tsc.ru

Sodov Ariunbileg
Institute of Geology and Mineral Resources of MAS, Mongolia, Ulaan Batar, Leading research scientist, tel. 976-11-343723, e-mail: s_ariunbileg@yahoo.com

Svetlana S. Shatskaja
Institute of Solid State Chemistry and Mechanochemistry, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, 18 Kutateladze, Novosibirsk, 630128, Senior research scientist, tel. (383)217-04-54, e-mail: shatskaya@solid.nsc.ru

Leonid V. Kuybida
Institute of Chemical Kinetics and Combustion of the Siberian Branch of the RAS, Institutskaya 3, Novosibirsk, 630090, Senior research scientist, tel. (383)333-29-44, e-mail: kuibida@kinetics.nsc.ru

Data on the study of composition and hydromineral resources of salt lakes in Western Mongolia are presented. Concentration U-238 in lake waters reaches 3 mg/l, Li - 100 mg/l, Br - 1 г/л, B - 100 mg/l. The largest salt lake of Western Mongolia (Hjargas lake) contains (tons): U-238 (6000), Li (20 000), Br (240000), B (240000). Proceeding from new data, uranium accumulation in water has been attributed to (i) location of the lakes and their watersheds in potential provinces of U-bearing rocks and (ii) uranium complexing with carbonate in presence of carbonate (bicarbonate) anions.

Key words: hydromineral resources, salt lakes, Western Mongolia.

Гидроминеральное сырье крупных соленых озер за последние годы стало объектом повышенного интереса и интенсивного изучения в качестве источника рентабельного извлечения не только традиционных товарных продуктов (поваренная соль, сода, сульфат натрия), но и соединений лития, брома, калия, бора, магния. Наглядным примером могут служить салары Южной Америки, а также соленые озера Китая, в которых запасы ценных компонентов (лития,

бора, брома и др.) исчисляются сотнями и более тысяч тонн [1]. Привлекательность использования озерных вод в качестве гидроминерального сырья обусловлена: 1) наличием больших возобновляемых запасов месторождений в пределах крупных гидрогеологических систем; 2) экологической чистотой добычи и производства продукции; 3) возможностью применения испарительного концентрирования вод с последовательным выделением ценных компонентов; 4) низкой себестоимостью продуктов за счет комплексного использования гидроминерального сырья.

В последнее время все большее внимание привлекают к себе гидроминеральные ресурсы не только крупных, но и более мелких по размеру соленых озер, широко распространенных на территории Центральной Азии. Интерес к этим объектам обусловлен как постепенным истощением крупных озерных бассейнов, так и расширением спектра элементов, извлечение которых потенциально возможно из гидроминерального озерного сырья (уран, редкие элементы).

С этой точки зрения интерес представляют соленые озера Монголии. Республика Монголия имеет аридный климат и для нее характерно широкое развитие минерализованных озер, как правило, приуроченных к бессточным котловинам. Несмотря на большое количество работ по гидрогеохимии этих озер, основное внимание в них уделялось изучению макрокатионного состава [2-5], их редкометалльные ресурсы практически не исследованы. Поэтому целью настоящей работы явилось изучение макро и микрокомпонентного состава соленых озер Западной Монголии и оценка их гидроминеральных ресурсов.

Работа выполнена при поддержке Сибирского отделения РАН в рамках совместных Российско-монгольских гидрохимических экспедиций 2007 - 2011 гг. [6-9]. В ходе экспедиционных работ было исследовано около 40 соленых озер Западной Монголии различного гидрогеохимического типа. Отфильтрованные пробы воды собирались в пластиковые 0.5 л бутылки для анализа макрокомпонентов и в полипропиленовые бутылки на 250 мл для анализа микрокомпонентов. Пробы для анализа микрокомпонентов были подкислены азотной кислотой марки “осч” до pH = 1-2. В отобранных пробах определялось значение pH раствора, E_h и значение электропроводности. Кроме того, в полевых условиях определялось содержание карбонат - и гидрокарбонат-ионов и содержание диоксида углерода. Одновременно с помощью GPS-навигатора производилось определение места отбора проб (точность определения координаты отбора 6-10 м). Химический анализ отобранных проб производился в лабораторных условиях в аккредитованном учебно-научно-производственном центре «Вода» при ТПУ и в ИХТТМ СО РАН. Обзорный анализ элементного состава озёр Монголии выполнялся на масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой Agilent 7500 a (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer). Содержание Li, Na, K, Ca, Mg, Sr, Si определяли также на спектрометре Сатурн-2 М и Varian AA 280 FS в режиме эмиссии и абсорбции. Содержание макрокомпонентов выполнялось с использованием комплекса методов, принятых для анализа соленых вод.

Минерализация изученных озер варьирует в очень широких пределах: от практически пресных (оз. Толбо нуур, оз. Ачит нуур, оз. Хар нуур, оз. Хар Ус нуур) с концентрацией до 1 г/л до сильно минерализованных (оз. Давсан нуур, оз. Сангийн Далай нуур, оз. Тонхил нуур и др) с концентрацией до 418 г/л. Макрокомпонентный состав озерных вод свидетельствует о том, что среди анионов превалируют хлор, сульфат и карбонат ионы. Доминирующим катионом является натрий, в ряде случаев наблюдается повышенное содержание магния. Содержание гидрокарбонатов в большинстве озер колеблется от 130 мг/л до 4,7 г/л, а карбонат-ионов достигает 1,5 г/л.

Анализ озерных вод свидетельствует о повышенном содержании в ряде озер лития (до 100 мг/л), стронция (до 10 мг/л), рубидия (до 1 мг/л). Помимо редких металлов озерные воды содержат значительные концентрации других ценных компонентов: брома (до 1 г/л), бора (до 250 мг/л), урана (до 3 мг/л). Таким образом, содержание микрокомпонентов в озерных водах во многих случаях превышает промышленные кондиции на гидроминеральное сырье. Содержание микрокомпонентов (Li, Br, B) в озерных водах коррелирует с их минерализацией с коэффициентами, варьирующимися от 0,64 до 0,79, что указывает на важную роль процессов эвапоризации озерных вод в концентрировании этих элементов. Для урана достаточно высокая корреляция (на уровне 0,6 - 0,7) наблюдается между концентрацией урана и гидрокарбонат (карбонат) ионов, что указывает на важную роль образования карбонатных комплексов уранил-ионов в процессах накопления урана в озерных водах. Наличие повышенного содержания урана в озерных водах обусловлено тем, что эти озера и площадь их водосбора находятся на территории урановорудных районов Монголии. Взаимодействие поверхностных и подземных вод с урансодержащими породами приводит к выщелачиванию урана в форме карбонатных комплексов, растворимых в воде. Накопление урансодержащих вод в бессточных озерах и последующее испарение озерных вод приводит к концентрированию урана в содовых озерах.

На основании полученных результатов, а также имеющихся в литературе сведений по объему озер [3], выполнена предварительная оценка содержания редких металлов и других ценных компонентов в минерализованных озерных водах, приведенная для некоторых озер в таблице 1. Как видно из табл. 1, наибольшие запасы редкометалльного сырья (Li, Rb, Sr) и других ценных компонентов (Br, U-238) сосредоточены в озере Хяргас нуур. Стоимость содержащегося в этом озере урана в пересчете на его трехокись составляет 1 млрд. долларов США.

Таблица 1 Рудогенерирующий потенциал некоторых минерализованных озер Западной Монголии

Озеро	Запасы, т					
	Li	Rb	B	Sr	Br	U^{238}
Урег Нур	450	30	3900	6390	7000	166
Хяргас нуур	19800	1023	$2{,}4 \cdot 10^5$	79200	$2{,}4 \cdot 10^5$	5940
Увс нуур	6700	Н.о	$1{,}1 \cdot 10^5$	Н. о	$3{,}0 \cdot 10^5$	673
Дерген нуур	2200	700	12200	1440	13500	150
Хар Ус нуур	300	0,3	480	510	870	21
Телмен нуур	1000	14	4320	3500	15400	54
Сангийн Далай нуур	85	17	1670	1	1330	9,5

Таким образом, соленые озера Западной Монголии представляют собой ценное гидроминеральное сырье для получения соединений урана, брома, бора, лития и др. Повышенное содержание урана, которое наблюдается в большинстве соленых озер Западной Монголии, требует модификации существующих традиционных галургических методов переработки озерных вод.

Работа выполнена при финансовой поддержке междисциплинарного интеграционного проекта СО РАН №99 (Литий России, 2006-2008 гг.), междисциплинарного интеграционного проекта СО РАН №38 (2009-2011 гг.), междисциплинарного интеграционного проекта СО РАН №110, проекта РФФИ-Монг_а №09-05-90210 и проекта СО РАН – АНМ №6, а также при поддержке экспедиционных проектов СО РАН 2007-2011 гг.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Garrett D. Handbook of Lithium and Natural Calcium Chloride. Their Deposits, Processing, Uses and Properties. Elsevier. 2004. 457 p.

2. Рассказов А.А. и др. Озера МНР и их минеральные ресурсы. М.: Наука, 1991. 136с.

3. Церэнсодом Ж. Монгол орны нуурын каталог. Улаанбаатар: Шуувун Сараал. 2000. 141 с. (На монг).

4. Писарский Б.И., Намбар Б., Арьядагва Б. Карта минерализованных вод Монголии. 2003. Улан-Батор. (На монг).

5. Лувсандорж Ш. Минеральные озера Монголии и возможности использования их солей. Улан-Батор: Изд-во АН МНР. 1973. 147 с. (На монг).

6. Исупов В.П., Владимиров А.Г., Ляхов Н.З., и др. Ураноносность высокоминерализованных озер Северо-Западной Монголии //ДАН. – 2011. - Т. 437. - №.1. - С. 85-89.

7. Исупов В.П., Владимиров А.Г., Шварцев С.Л., и др. Химический состав и гидроминеральные ресурсы соленых озер Северо-Западной Монголии. // Химия в интересах устойчивого развития. - 2011. - т. 19. - № 2. - С. 141-150.

8. Исупов В.П., Владимиров А.Г., Шварцев С.Л., и др. Редкометалльные ресурсы минерализованных озер Монголии // Материалы Всероссийского научно-практического

совещания с международным участием «Литий РОССИИ: минерально-сырьевые ресурсы, инновационные технологии, экологическая безопасность», Новосибирск, 2011, С. 56-58.

9. Шварцев С.Л., Исупов В.П., Владимиров А.Г., и др. Главные факторы литиеносности и ураноносности бессточных озер Западной Монголии. // Материалы Всероссийского научно-практического совещания с международным участием «Литий РОССИИ: минерально-сырьевые ресурсы, инновационные технологии, экологическая безопасность», Новосибирск, 2011, с. 86-92.

© В.П. Исупов, С.Л. Шварцев, А.Г. Владимиров, М.Н. Колпакова, С. Ариунбилэг, С.С. Шацкая, Л.В. Куйбида, 2012

УДК 56.016.3: 551.734(571.1)

ДЕВОНСКИЕ КОНОДОНТОВЫЕ БИОФАЦИИ ЩУЧИНСКОГО ВЫСТУПА (СЗ ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ ГЕОСИНЕКЛИЗЫ)

Надежда Георгиевна Изох
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, г. Новосибирск, 630090, пр. Коптюга, 3, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Лаборатории палеонтологии и стратиграфии палеозоя, тел. (383)333-24-31, e-mail: IzokhNG@ipgg.nsc.ru

Выявлены конодонтовые биофации девона Щучинского выступа. Наиболее распространены полигнатусовые биофации.

Ключевые слова: конодонты, биофации, девон, Щучинский выступ.

DEVONIAN CONODONT BIOFACIES OF THE SHCHUCHIY LEDGE (NW OF THE WEST SIBERIAN GEOSYNCLINE)

Nadezhda G. Izokh
Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (IPGG SB RAS), Novosibirsk, Russia, 630090, Acad. Koptyug av. 3, PhD in Geology, Senior research scientist, Laboratory of Paleozoic paleontology and stratigraphy, Tel. (383)333-24-31, e-mail: IzokhNG@ipgg.nsc.ru

Devonian conodont biafacies from Shchuchiy Ledge were identified. Polygnatid biofacies most widely distributed.

Key words: conodonts, biofacies, Devonian, Shchuchiy Ledge.

Сведения о распространении девонских конодонтов на восточном склоне Полярного Урала и Щучинском выступе все еще немногочисленны [1-3]. На восточном склоне Полярного Урала находки конодонтов чаще всего приурочены к кремнисто-терригенным отложениям [1]. Установленные ассоциации конодонтов представлены космополитными таксонами и в основном характеризуют позднедевонский – раннекаменноугольный интервал [там же]. В разрезе по ручью Ныpдвоменшор (северная часть массива Рай-Из), выделенные комплексы конодонтов из кремнистых пород характеризуют несколько стратиграфических уровней от среднего девона по нижний фамен верхнего девона [там же]. Пограничный интервал верхнего девона-нижнего карбона северо-западной части массива Сыум-Кей горы Наунтин-Пэ охарактеризован единичными конодонтами [там же].

В 1999-2002 гг. сотрудниками ИНГГ СО РАН были проведены геологические исследования рифогенных комплексов Щучинского выступа для обоснования нефтепоисковых работ [4]. Конодонты были получены из девонских карбонатных пород, выходы которых расположены на трех участках Янганапинском, Щучинском и Сибилейском [2, 3]. Большинство находок конодонтов относится к Янганапинскому участку. Встреченные здесь

ассоциации характеризуют стратиграфический интервал от верхнего эмса нижнего девона по средний фамен верхнего девона. На основе анализа распространения конодонтовых элементов во всех разрезах Янганапинского участка в основном можно выделить полигнатусовые биофации. В позднеэмсском интервале установлена белоделловая биофация.

В разрезах на Щучинском участке выявлены верхнеэмсские, эйфельские и франские конодонты. Для эмсско-эйфельского интервала характерна неопандеродусовая биофация, а для франского - полигнатусовая.

На Сибилейском участке ранний девон охарактеризован пандоринеллиновой биофацией, которая в эйфельско-раннеживетском интервале сменяется полигнатусовой.

Проведенный анализ ассоциаций конодонтов показал, что в основном во всех разрезах Щучинского выступа преобладает полигнатусовая биофация, которая характеризует склоновые фации. В меньшей степени распространены белоделловая, неопандеродусовая и пандоринеллиновая биофации, характеризующие более мелководные условия.

На юго-востоке полуострова Ямал (Новопортовская площадь, скв. 301) установлена монотипная ассоциация девонских конодонтов рода *Belodella: Belodella devonica* (Stauffer, 1940) и *Belodella triangularis* (Stauffer, 1940), которая характеризует мелководную белоделловую биофацию.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 11-05-00737, 11-05-01105), Программ РАН 23 и 28, Интеграционного проекта 93, выполняемого совместно с УрО РАН. Автор координирует свои исследования с программами работ по проекту 596 IGCP.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аристов В.А., Руженцев С.В. Стратиграфия сланцево-кремнистых и вулканогенно-осадочных отложений палеозоя и история геологического развития Полярного Урала [Текст] / В.А. Аристов, С.В. Руженцев // Стратиграфия. Геологическая корреляция. – 2000. - Т. 8. - № 2. – С. 9-18.

2. Изох Н.Г., Елкин Е.А., Бахарев Н.К. Конодонты девона Щучьинского выступа (Западно-Сибирская геосинеклиза) [Текст] / Н.Г. Изох, Е.А. Елкин, Н.К. Бахарев / Современная палеонтология: классическая и нетрадиционная. Тезисы докладов LII сессии Палеонтологического общества при РАН (3-7 апреля 2006 г., Санкт-Петербург). - Санкт-Петербург: ВСЕГЕИ, 2006. - С. 58-60.

3. Изох Н.Г. Биостратиграфия по конодонтам девонских отложений Щучьинского выступа (СЗ Западно-Сибирской геосинеклизы) [Текст] / Н.Г. Изох // ГЕО-Сибирь-2011. Т. 2. Недропользование. Горное дело. Новые направления и технология поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Ч. 1: сб. матер. VII Междунар. научн. конгресса «ГЕО-Сибирь-2011», 19-29 апреля 2011 г., Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2011. С. 96-99.

4. Каныгин А.В., Сараев С.В., Бахарев Н.К., Беляев С.Ю., Брехунцов А.М., Дещеня Н.П., Клец А.Г., Хромых В.Г., Фомин А.Н. Палеозой Щучьинского выступа: модель геологического строения островодужных комплексов в фундаменте Западно-Сибирской геосинеклизы [Текст] / А.В. Каныгин, С.В. Сараев, Н.К. Бахарев, С.Ю. Беляев, А.М. Брехунцов, Н.П. Дещеня, А.Г. Клец, В.Г. Хромых, А.Н. Фомин // Геология и геофизика. - 2004. - Т. 45. - № 1. - С. 59-78.

© Н.Г. Изох, 2012

УДК 553.981/982(571/1)

ПЕРСПЕКТИВЫ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ЗЕЯ-БУРЕИНСКОГО ОСАДОЧНОГО БАССЕЙНА

Анатолий Петрович Сорокин
Амурский научный центр ДО РАН, 675000, Амурская область, г. Благовещенск, пер. Релочный, д. 1; доктор геолого-минералогических наук, член-корреспондент РАН, профессор; председатель, тел. (4162)225301; amurnc@ascnet.ru

Мария Николаевна Шапорина
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН; Российская Федерация, 630090, г. Новосибирск, пр. ак. Коптюга, 3; кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник Лаборатории нефти и газа мезозоя; тел. (383)3066363; ShaporinaMN@ipgg.nsc.ru

Приведено сравнение Зея-Буреинского осадочного бассейна с бассейном Сунляо (Китай), в пределах которого открыты месторождения углеводородов. Разрез осадочных отложений Зея-Буреинского бассейна сложен мощными терригенными отложениями юрско-мелового и кайнозойского возраста. Литологические исследования этих отложений показали наличие в них коллекторов и флюидоупоров, имеющих зональное или региональное распространение. В разрезах ряда скважин установлены нефтегазопроявления. На основе выполненного сравнительного анализа сделан вывод о перспективности Зея-Буреинского осадочного бассейна для поисков скоплений нефти и газа.

Ключевые слова: Дальний Восток, Китай, осадочные бассейны, нефтегазоносность.

PROSPECT OF OIL-AND-GAS CONTENT IN ZEYA-BUREINSKIY SEDIMENTARY POOL

Anatoly P. Sorokin
Amur Scientific Centre Russian Academy of Sciences Far East Branch, 1, Relochniy, Blagoveshchensk, Amur Region, 675000, Russian Federation; DSc., Prof., Correspoding member of RAS, Chairman; tel. (4162)225301; amurnc@ascnet.ru

Maria N. Shaporina
Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (IPGG SB RAS), Acad. Koptyug av., 3, Novosibirsk, 630108, Russian Federation; PhD in Geology, Research scientist, Laboratory of petroleum geology of Mesozoic, tel. (383)3066363; ShaporinaMN@ipgg.nsc.ru

The Zeya-Bureya sedimentary basin was compared with the Sunljao basin (China) where hydrocarbon fields were discovered. The sedimentary section in the Zeya-Bureya basin is composed of Jurassic-Cretaceous and Cenozoic thick terrigenous deposits. The lithological studies of these deposits have shown that the reservoir rocks and seals of zonal and regional distribution are present in them. Oil and gas shows have been revealed in the sections of a number of wells. On the basis of the performed comparative analysis, the conclusion has been drawn that the Zeya-Bureya sedimentary basin is prospective for oil and gas exploration.

Key words: Far East, China, sedimentary basins, oil-and-gas content.

До настоящего времени промышленных скоплений нефти и газа в Амурской области не установлено. Однако к числу перспективных относится целый ряд континентальных бассейнов Дальнего Востока России – Зея-Буреинский, Среднеамурский, Верхнезейский и др. и Китая - Сунляо, Санцзянский, Хайларский, Эрляньский, Бахайваньский и др. Наиболее крупный из них – бассейн Сунляо расположен южнее Зея-Буреинского, в пределах Восточно-Азиатского рифтогенного пояса. Оба бассейна характеризуются значительными размерами (80-170 тыс. км^2) и мощностью осадочного чехла (3-7 км) [1].

В 1959 г. в бассейне Сунляо было открыто уникальное месторождение нефти Дацин, приуроченное к антиклинальной структуре - Сунгарийскому своду. В дальнейшем, в пределах этого бассейна открыты месторождения нефти: Чаояньгоу, Саньчжао, Фуюй, Синьли, Мутао, Хуньганцзы и др. Юго-восточнее Сунгарийского свода обнаружено газоносное поле площадью до 20000 км^2, в пределах которого выявлено 4 залежи газа.

Площадь нефтеносного поля в центральной части бассейна Сунляо составляет до 90000 км^2. Большинство из них приурочено к центральной наиболее погруженной части бассейна, а в ее пределах - к антиклинальным поднятиям, представленных валами, и к их склоновым частям [1]. В разрезе бассейна выделено девять основных продуктивных толщ, содержащих 33 нефтегазоносных пласта песчаников: 25 в отложениях юры и восемь в отложениях мела.

Главная нефтематеринская формация имеет позднемеловой возраст. Нефть бассейна Сунляо типично континентальная. Залежи нефти выявлены в интервале глубин 750-1200 м. Нефтеносные пласты песчаников имеют мощность до 72 м.

Отмечается структурное и литолого-фациальное сходство Зея-Буреинского бассейна и бассейна Сунляо [1].

Зея-Буреинский осадочный бассейн входит в состав Восточно-Азиатского нефтегазоносного пояса. Большая его часть находится в пределах Амурской области РФ, меньшая (правобережье р. Амура) – на территории Китая.

В Зея-Буреинском бассейне отложения представлены средним и верхним отделом юрской системы, всей меловой системой, палеогеном, неогеном. Юрские образования представлены екатеринославской свитой сложенной песчаниками, алевролитами и аргиллитами.

Разрез нижнего мела представлен итикутской и поярковской свитой. Итикутская свита представлена песчаниками, алевролитами и эффузивными образованиями. Поярковская свита имеет пестрый состав, изменяющийся так же по латерали. Большей частью она сложена песчаниками, алевролитами, аргиллитами и эффузивными образованиями кислого и основного состава. Верхний мел представлен завитинской свитой, на большей части территории бассейна сложенной глинами, алевролитами, песчаниками. Залегающая выше цагаянская свита представлена песчаниками, песками, гравелитами, алевролитами и др.

В пределах Зея-Буреинского бассейна наибольший интерес представляют наиболее крупные прогибы: Белогорский, Лермонтовский, Михайловский, в каждом из которых пробурены поисковые скважины. В южной части Зея-

Буреинского бассейна признаки нефтегазоноснсоти были установлены при испытаниях ряда скважин и по результатам анализов образцов керна.

Бурение скважин и геофизические исследования на территории Зея-Буреинского осадочного бассейна, позволившие получить представления о его глубинном строении, проводятся с 1960 года. В 1968 году Э.Н. Лишневским [2] была опубликована структурная схема поверхности домезозойского фундамента центральных и южных районов Зея-Буреинской депрессии.

При построении схемы использовались данные по 30 скважинам, результаты сейсморазведки КМПВ (750 км профилей) и результаты геологической съемки на территории выходов фундамента на поверхность. Интерполяция данных между опорными точками проводилась с использованием материалов площадных гравиметрических, электроразведочных и магнитометрических наблюдений.

Для уточнения структурной схемы Э.Н. Лишневского нами использовались Карта аномального магнитного поля СССР (1964), Гравиметрическая карта СССР (1964) и данные по более 100 скважинам, вскрывшим фундамент.

Коррекция структурной поверхности фундамента была выполнена таким образом, чтобы отрицательным структурам соответствовали отрицательные аномалии поля силы тяжести, а гравитационные максимумы - положительным структурам. Таким образом, изменилась конфигурация таких отрицательных структур как Белгородский, Спасовский, Сычевский, Комиссаровский и некоторых других прогибов.

Анализ отчетов по поисковым работам на бурый и каменный уголь, геолого-съемочным и нефтепоисковым работам позволил составить выборку с порядка 100 скважинами, вскрывших фундамент. Равномерное распределение этих скважин на территории Зея-Буреинского бассейна позволило скорректировать структурную поверхность фундамента по результатам бурения.

Выделение разрывных нарушений проведено на основе анализа гравитационных и магнитных данных. Критерием для выделения разрывных нарушений являются протяженные гравитационные ступени, сопровождающиеся узкими, линейно вытянутыми знакопеременными магнитными аномалиями. Изолинии кривизны гравитационного поля отражают наиболее контрастные изменения аномалий силы тяжести, так называемые гравитационные ступени.

Таким образом, конфигурация поверхности структурной карты по кровле отложений фундамента и сеть разрывных нарушений претерпели некоторые изменения, по сравнению с основой 1964 года.

По материалам многочисленных исследователей породы фундамента представлены интрузивным комплексом основного и кислого состава: гранитами, гранодиоритами, диоритами, кристаллическими сланцами и др., фундамент перекрывается корой выветривания относительно небольшой мощности. Существенная тектоническая активность, проявившаяся в образовании многочисленных грабенообразных прогибов в Зея-Буреинском бассейне, могла обеспечить наличие обширных зон трещиноватости фундамента.

Построение структурных карт по кровлям завитинской и поярковской свит основалось на пересчетах сеточной модели рельефа кровли фундамента и данных бурения. Однако отметим, что в связи с весьма неравномерным распределением скважин, вскрывших завитинскую и поярковскую свиту на территории Зея-Буреинского осадочного бассейна точность структурных построений невысока.

Исследования коллекторских свойств отложений Зея-Буреинского осадочного бассейна показало, что наиболее низкие значения пористости характерны для песчаников екатеринославской свиты – пористость в среднем 9,31 %, выше по разрезу значения пористости возрастают от итикусткой свиты к поярковской и завитинской (средние значения 16,7 %; 22 % и 26 % соответственно). Изменения проницаемости по разрезу весьма неравномерно в каждой из свит - встречаются как непроницаемые разности песчаников, так и со значениями проницаемости до 2,785 мкм^2 Наибольшие значения проницаемости характерны для песчаников поярковской свиты. В цагаянской свите для прогноза нефтегазоносности интерес представляют только песчаники нижней подсвиты. Отложения средней и верхней подсвит находятся в зоне активного водообмена, в зоне сильной проницаемости инфильтрационными пресными водами. Песчаники нижней посвиты цагаянской свиты характеризуются наиболее высокими коллекторскими свойствами. Эффективная пористость составляет в среднем 27 %. Проницаемость составляет в среднем 0,52 мкм^2.

В меловом интервале разреза отмечается ряд зональных флюидоупоров. представленных покровами эффузивов и пластами пепловых туфов в отложениях итикутской свиты, мощными глинистыми пачками поярковской свиты и мощным глинистым прослоем в кровле завитинской свиты. Песчаные разности нижней подсвиты цагаянской свиты перекрыты мощной толщей (до 45 м) аргиллитоподобных глин.

Геохимические исследования, проводившиеся по ряду скважин южной и центральной части ЗББ показали, что из всего объема мезозойских пород свойствами нефтематеринских пород обладают глинисто-алевролитовые отложения пород поярковской и завитинской свит. В разрезе цагоянской свиты отмечается присутствие аллохтонного битумоида.

Наиболее обильные нефтегазопроявления характерны для поярковской и завитинской свит. Высокая концентрация ТУВ, по сравнению с содержанием метана в составе исследованных газов, свидетельствует о том, что по сравнению с метановыми залежами Западно-Сибирского бассейна, образовавшимися в глубинной зоне газообразования, в Зея-Буреинском бассейне процессы газообразования и битумообразования могли протекать одновременно.

Породы екатеринославской и итикутской свит исследованы слабо. Поэтому, вывод об их низких коллекторских свойствах не может быть окончательным.

Итак, перспективными участками на обнаружение нефтегазопроявлений можно считать наиболее крупные прогибы Зея-Буреинского осадочного бассейна, где ожидается наибольшая мощность отложений осадочного чехла,

Кроме того, не ясны перспективы выветрелых и трещиноватых пород, залегающих в кровле фундамента.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Нефтегазоносность юга дальнего Востока и сопредельных регионов (сопоставительный анализ) / Буряк В.А., Бакулин Ю.И., Беспалов В.Я., Врублевский А.А., Гагаев В.Н., Галичанин Е.Н., Кириллова Г.Л., Лошак Н.П., Нигай Е.В., Пляскин В.А., Троян В.Б. Хабаровск, 1998. с. 245.
2. Лишневский Э.Н. О строении поверхности фундамента Нижне-Зейской впадины // Геотектоника. 1968. № 5. С. 62-71.

© А.П. Сорокин, М.Н. Шапорина, 2012

УДК 550.81.:553.3/9

ПРОГНОЗ КОЭФФИЦИЕНТА ПОРИСТОСТИ ПАРФЕНОВСКОГО ГОРИЗОНТА ЦЕНТРАЛЬНЫХ РАЙОНОВ АНГАРО-ЛЕНСКОЙ СТУПЕНИ ПО КОМПЛЕКСУ ДАННЫХ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ И ГИС

Максим Юрьевич Скузоватов
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения РАН, 630090, г. Новосибирск, пр-т Коптюга, 3, младший научный сотрудник Лаборатории геологии нефти и газа докембрия и палеозоя, тел. (383) 3066370, e-mail: SkuzovatovMJ@ipgg.nsc.ru.

В статье проанализированы характерные особенности строения парфеновского горизонта центральных районов Ангаро-Ленской ступени (Ангаро-Ленское и Левобережное месторождения). Проанализирована связь амплитуд отраженных волн, данных акустического каротажа и петрофизических параметров.

Ключевые слова: Ангаро-Ленское месторождение, парфеновский горизонт, коэффициент пористости.

POROSITY PROGNOSE OF PARFENOVO HORIZON OF THE CENTRAL PART OF ANGARA-LENSK STEP BY COMPLEX OF SEISMIC AND WELL-LOG DATA

Maksim J. Skuzovatov
Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (IPGG SB RAS), Acad. Koptyug av., 3, Novosibirsk, 630090, Junior researcher, Laboratory of petroleum geology of Precambrian and Paleozoic, tel. (383) 3066370, e-mail: SkuzovatovMJ@ipgg.nsc.ru

The specific features of the Parfenovo Horizon structure, central part of Angara-Lensk Step (Angara-Lensk and Levoberezhnoe fields) are analyzed. The relations between seismic amplitudes, sonic log data and porosity are interpreted.

Key words: Angara-Lensk field, Parfenovo Horizon, porosity coefficient.

В настоящее время на юге Сибирской платформы формируется крупный центр газодобычи, способный обеспечить не только внутренние потребности субъектов Российской Федерации в сырье, но и экспорт в страны Азиатско-Тихоокеанского региона. Предпосылкой этого послужило открытие в 1987 г. уникального по запасам Ковыктинского газоконденсатного месторождения.

Формирование залежей Ковыктинского месторождения представляет собой результат взаимодействия литолого-фациальных и тектонических факторов. Не менее важным явилась близость Прибайкальского очага нефтегазогенерации, обеспечившего заполнение гигантской по размеру залежи.

Открытие и разведка Ковыктинского месторождения послужило толчком для активизации геолого-разведочных работ. Результатом этого стало открытия новых месторождений в пределах центральных районов Ангаро-Ленской ступени. Так, в 2004 г. было открыто Левобережное месторождение с залежью в

базальном горизонте венда, а позже, в 2006 г. – Ангаро-Ленское, где были получены промышленные притоки газа из парфеновского горизонта. В 2007 г. Чиканский и Хандинский блоки Ковыктинского ГКМ были выделены в самостоятельные месторождения с залежами в парфеновском горизонте. В 2010 г. западнее Левобережного было открыто Усть-Илгинское месторождение.

Очевидно, что на первоначальной стадии исследования территории при прогнозе нефтегазоносности использовались критерии, полученные на эталонном Ковыктинском ГКМ, что впоследствии не всегда давало положительные результаты при бурении глубоких скважин.

Комплексные исследования специалистов ИНГГ СО РАН, включавшие анализ и интерпретацию сейсморазведочных, скважинных материалов, данных петрофизических замеров, позволили сделать вывод о том, что геологическое строение Ангаро-Ленского и Левобережного месторождений существенно отличается от такового на Ковыктинском. Установлено, что терригенные отложения венда накапливались в иных фациальных обстановках, распределение фильтрационно-емкостных характеристик отложений по разрезу более сложное [1, 2]. Данные утверждения позволяют считать неправомерным применение на Ангаро-Ленском и Левобережном месторождениях критериев прогноза, выявленных на Ковыктинской площади.

Вследствие этого автором для территории Ангаро-Ленского и Левобережного месторождений была проведена по ранее применявшейся на Ковыктинском ГКМ методике работа, включающая анализ сейсмических волновых полей, данных ГИС и петрофизических параметров [3].

Анализ геолого-геофизических данных по Ковыктинскому ГКМ и ряду смежных с ним площадей (Ангаро-Ленская, Правобережная, Чиканская и др.) дает основание говорить о существенных различиях в строении парфеновского горизонта. Для Ковыктинской площади характерно разделение песчаной пачки на пласты П1 и П2, различные по литологическим характеристикам, что ярко проявлено на диаграммах ГК, НГК и АК. В западном и юго-западном направлениях при сохранении низких показаний ГК различия акустических свойств нивелируются. При этом толщины песчаников сокращаются до 15-20 м. Алеврито-глинистая пачка, залегающая ниже песчаников, по своим литолого-акустическим свойствам ничем не отличается от аналогичной пачки на Ковыктинской площади.

Характерные различия проявляются также и в волновом поле. Результаты одномерного математического моделирования с использованием данных АК показали, что резкое изменение акустических свойств на границе карбонатной (преображенский горизонт) и терригенной (парфеновский горизонт) части вендского разреза напрямую связано с амплитудными характеристиками волнового пакета М. В пределах Ангаро-Ленского, Левобережного месторождений различия акустических свойств песчаных и глинистых отложений становятся менее контрастными, а иногда практически нивелируются, что четко отражено как на модельных трассах, так и на реальных разрезах. В результате моделирования волнового поля для скважин Ангаро-Ленского месторождения, в разрезе которых парфеновский горизонт

характеризуются пониженными скоростями продольных волн, сделан вывод о незначительном изменении амплитудных характеристик при частичном и полном замещении песчаников на алеврито-глинистые разности.

В рамках выполненных исследований была собрана база данных петрофизических замеров по скважинам Ангаро-Ленского и Левобережного месторождений. Для обнаружения связи данных ГИС и емкостных свойств коллектора осуществлено построение осредненных пластовых моделей по кривым акустического каротажа и коэффициента пористости. Для скважин Ангаро-Ленского месторождения получена достаточно высокая корреляционная связь параметров, квадрат коэффициента корреляции составил 0,69 (рис. 1). Для всех скважин территории корреляционная связь слабая, квадрат коэффициента корреляции меньше 0,5.

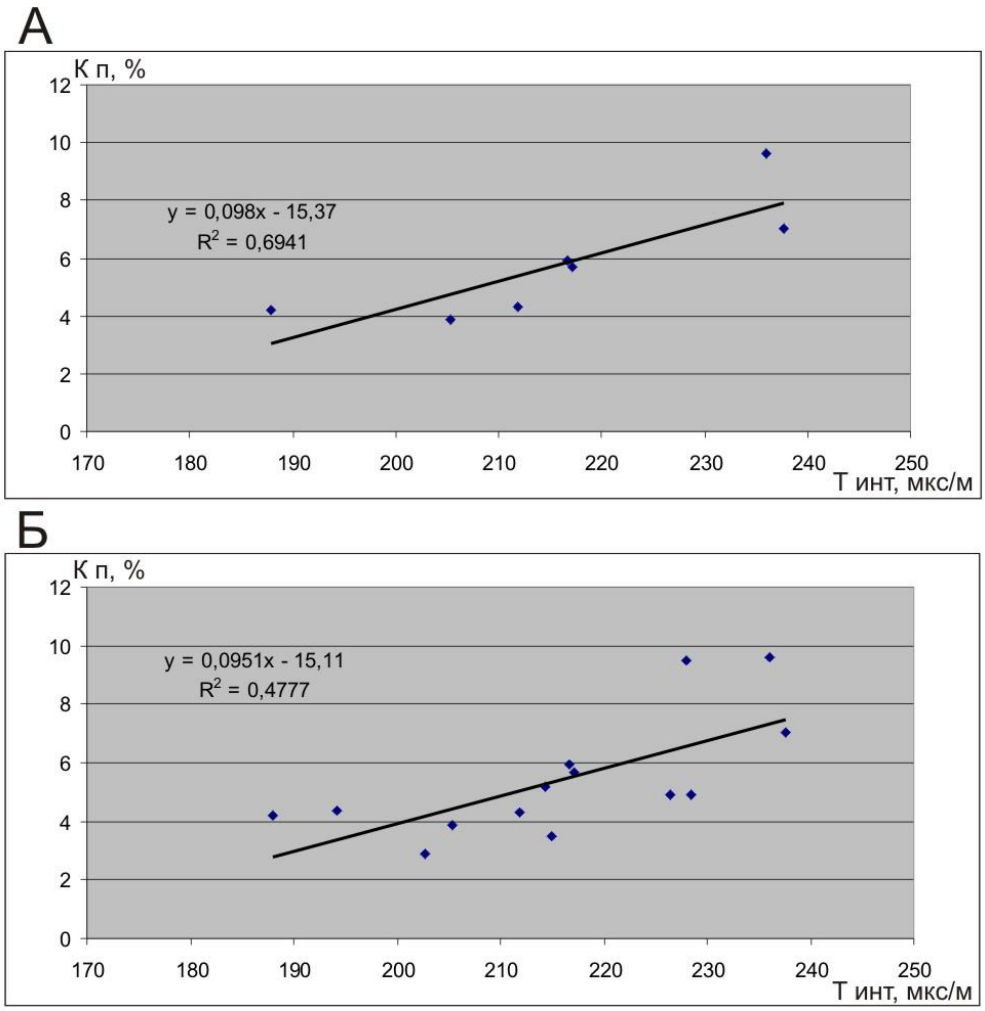


Рис. 1. Графики зависимости среднего коэффициента пористости парфеновского горизонта и среднего интервального времени по акустическому каротажу по скважинам Ангаро-Ленского месторождения (А) и по всем скважинам территории (Б)

Таким образом, результаты исследований подтверждают неправомерность применения критериев прогноза, выявленных на Ковыктинском ГКМ, на

смежных с ним территориях. Тесная связь параметров - скоростей продольных сейсмических волн и емкостных характеристик – наблюдаются лишь в скважинах Ангаро-Ленского месторождения, наименее удаленных от Ковыктинского, где толщины песчаников парфеновского горизонта составляют 50-60 м. При толщинах песчаных пластов менее 30 м прогноз коллекторов методом стандартной сейсморазведки становится затруднительным, что дает поле для дальнейших исследований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хабаров, Е.М., Вараксина, И.В., Кротова, М.М. и др. Литолого-петрофизическая характеристика парфеновского горизонта венда центральной части Ангаро-Ленской ступени // Сборник материалов V Междунар. науч. конгресса «ГЕО-Сибирь-2009». – 2009. – С. 103-107.

2. Советов, Ю.К. Верхнедокембрийские песчаники юго-запада Сибирской платформы. Н.: Наука. - 1977. - 228 с.

3. Скузоватов, М.Ю. Комплексирование данных ГИС, сейсморазведки и петрофизических исследований при прогнозе фильтрационно-емкостных свойств парфеновского горизонта Ковыктинского месторождения // Труды всеросс. науч. конференции с участием иностранных ученых «Трофимуковские чтения молодых ученых-2011». - 2011. – С. 285-286.

© М.Ю. Скузоватов, 2012

УДК 550.34

ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ КРИВОЛИНЕЙНОЙ ГРАНИЦЫ И ГЕОМЕТРИИ СИСТЕМЫ НАБЛЮДЕНИЙ НА AVO ИНВЕРСИЮ ЗАКРИТИЧЕСКИХ PP ОТРАЖЕНИЙ

Любовь Викторовна Скопинцева
Statoil ASA, Arkitekt Ebbelsvei 10, Rotvoll, N-7005 Trondheim, Norway, Senior Engineer Geophysics, PhD, tel. +47 418 5 44 11, e-mail: lyus@statoil.com

Татьяна Викторовна Нефедкина
Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, 630090, Новосибирск, пр. акад. Коптюга 3, канд. геол.-мин. наук, старший науч. сотр., тел. (383)333-39-09, e-mail: NefedkinaTV@ipgg.nsc.ru

Аркадий Маркович Айзенберг
Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, 630090, Новосибирск, пр. акад. Коптюга 3, канд. физ.-мат. наук, старший науч. сотр., тел. (383)335-64-57, e-mail: AizenbergAM@ipgg.nsc.ru

Милана Аркадьевна Айзенберг
Statoil ASA, Sandsliveien 90, 5254 Bergen, Norway, Senior Researcher Reservoir Geophysics, PhD, tel. +47 45 22 06 86, e-mail: mayz@statoil.com

В статье исследуется AVO-инверсия на больших удалениях от источника, основанная на эффективных коэффициентах отражения (ЭКО), которые обобщают плоско-волновые коэффициенты отражения (ПВКО) для криволинейных границ, неплоских волн и сейсмических частот. Основываясь на наших предыдущих результатах для плоских границ, мы обобщаем улучшенный подход к AVO-инверсии на случай криволинейных границ. На примерах синтетических данных мы показываем, что точность AVO-инверсии на больших удалениях от источника зависит как от кривизны и формы отражающей границы, так и от геометрии систем наблюдений.

Ключевые слова: AVO инверсия, закритические удаления, эффективные коэффициенты отражения, криволинейная граница.

THE EFFECT OF CURVED INTERFACE SHAPE AND ACQUISITION GEOMETRY ON AVO INVERSION OF POST-CRITICAL PP REFLECTIONS

Lyubov V. Skopintseva
Statoil ASA, Arkitekt Ebbelsvei 10, Rotvoll, N-7005 Trondheim, Norway, Senior Engineer Geophysics, PhD, tel. +47 418 5 44 11, e-mail: lyus@statoil.com

Tatyana V. Nefedkina
Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Pr.Ac.Koptyug 3, 630090 Novosibirsk, Russia, Senior Science Researcher, PhD, tel. +7 (383)333-39-09, e-mail: NefedkinaTV@ipgg.nsc.ru

Arkady M. Aizenberg
Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Pr.Ac.Koptyug 3, 630090 Novosibirsk, Russia, Senior Science Researcher, PhD, tel. +7 (383)335-64-57, e-mail: AizenbergAM@ipgg.nsc.ru

Milana A. Ayzenberg
Statoil ASA, Sandsliveien 90, 5254 Bergen, Norway, Senior Researcher Reservoir Geophysics, PhD, tel. +4745 22 06 86, e-mail: mayz@statoil.com

In this paper we investigate long offset AVO inversion, based on effective reflection coefficients (ERCs) that generalize plane-wave reflection coefficients (PWRCs) for curved interfaces, nonplane waves and seismic frequencies. Based on our previous results for plane interfaces, we generalize the improved approach to AVO inversion for the curved interfaces. Using the synthetic data examples, we show that accuracy of long-offset AVO inversion depend on interface curvature and shape and acquisition geometry.

Key words: AVO inversion, post- critical offsets, effective reflection coefficients, curved interface.

Введение. Традиционные AVO методы используют линеаризованные аппроксимации плоско-волновых коэффициентов отражения (ПВКО), полученные в предположении слабых контрастов сейсмических параметров на почти плоской границе, и пригодные на докритических углах падения. На около-критических и закритических углах падения линеаризованные ПВКО не могут адекватно описать наблюдаемые AVO данные, поскольку не учитывают интерференцию отраженной и головной волн. Это приводит к ухудшению результатов AVO инверсии. В [3] мы представили новый подход к AVO инверсии, основанный на эффективных коэффициентах отражения (ЭКО) [1]. ЭКО адекватно описывают отражения от криволинейных границ при любых углах падения. В [3] мы показали, что включение в AVO инверсию закритических отражений от плоской границы значительно повышает точность оценки параметров. В этой работе мы обобщаем новый подход для криволинейных границ, исследуем влияние кривизны и формы границы и систем наблюдений на точность AVO инверсии закритических отражений.

AVO инверсия на основе ЭКО. Детерминистическая AVO инверсия может быть определена как оценка параметров модели среды путём минимизации невязки между наблюдёнными и модельными AVO данными:

$$F\left(\vec{\mathrm{y}}\right)=\sqrt{\sum_{n=1}^{N}\left[A_{obs}\left(\mathrm{x}_n\right)-A_{\mathrm{mod}}\left(\mathrm{x}_n\right)\right]^2}\rightarrow \quad \min$$

где $\vec{\mathrm{y}}$ - вектор неизвестных модельных параметров; x_n , $n=1,2,\ldots,N$ - координаты сейсмоприёмников, N - число сейсмоприёмников. В данной работе неизвестными параметрами являются скорости и плотности.

Наблюдённые AVO данные $A_{obs}\left(\mathrm{x}_n\right)$ могут быть получены из сейсмических данных с помощью подхода, описанного в [3]. Они представляют собой среднеквадратичные амплитуды X и Z компонент отраженной продольной волны, нормированные на их средние значения и умноженные на геометрическое расхождение. Модельные AVO данные могут быть представлены в виде [3]:

$$A_{\mathrm{mod}}\left(x_n\right)=R_{\mathrm{mod}}\left(x_n\right)/\left[\frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}R_{\mathrm{mod}}\left(x_n\right)\right],\ \text{где}\ R_{\mathrm{mod}}\left(x_n\right)\cong\sqrt{\int_{\omega_{\min}}^{\omega_{\max}}\left|\,\chi(x_n,\omega)\,\right|^2\left|\,S\left(\omega\right)\,\right|^2 d\omega}$$

Здесь $\chi(x_n, \omega)$ есть эффективный коэффициент отражения упругой PP-волны (ЭКО), экстраполированный на уровень приёмников, $S(\omega)$ есть спектр падающей сферической волны.

ЭКО P-волны $\chi(x_n, \omega) = \chi\left[\theta, k\, r^*(\mathrm{x_n})\right]$ зависит от угла падения (отражения) θ и безразмерного параметра $k\, r^*(x_n)$, где $k = \omega / V_{P1}$ – волновое число, $r^*(\mathrm{x_n})$ - кажущийся радиус кривизны волнового фронта в приёмнике:

$$r^*(\mathrm{x_n}) = \frac{1 + \cos^2\theta}{\cos^2\theta\left[K_{11}^*(\mathrm{x_n}) - \delta K_{11}(\mathrm{x_n})\right] + K_{22}^*(\mathrm{x_n})},$$

где $K_{11}^*(\mathrm{x_n})$ и $K_{22}^*(\mathrm{x_n})$ являются кажущимися кривизнами волнового фронта отражённой P-волны в лучевой плоскости и перпендикулярной к ней, соответственно. Они зависят от главных кривизн границы D_{11}, D_{22} и смешанной кривизны D_{12}. Компенсирующая кривизна фронта $\delta K_{11}(\mathrm{x_n}) = \left[l_2(\tilde{\mathrm{s}}_\mathrm{n}, \mathrm{x_n}) + \left(-D_{11}/\cos\theta\right)^{-1}\right]^{-1}$ приближённо описывает локальное отклонение волнового фронта головной PP волны от конической формы в плоскости падения, $l_2(\tilde{\mathrm{s}}_\mathrm{n}, \mathrm{x_n})$ - расстояние от точки отражения до приёмника.

Синтетическое моделирование. X и Z компоненты 3D PP синтетического волнового поля рассчитывались методом наложения краевых волн (МНКВ) [1]. Моделирование выполнено для модели, представляющей собой два изотропных однородных полупространства, разделённых криволинейной границей, имеющей гауссову форму (рис. 1). Граница представлена формулой $z = B + A\exp\left(-C\,x^2 - D\,y^2\right)$, где $B = 0.7$ km, $A = -0.2$ km, C и D - параметры крутизны границы.

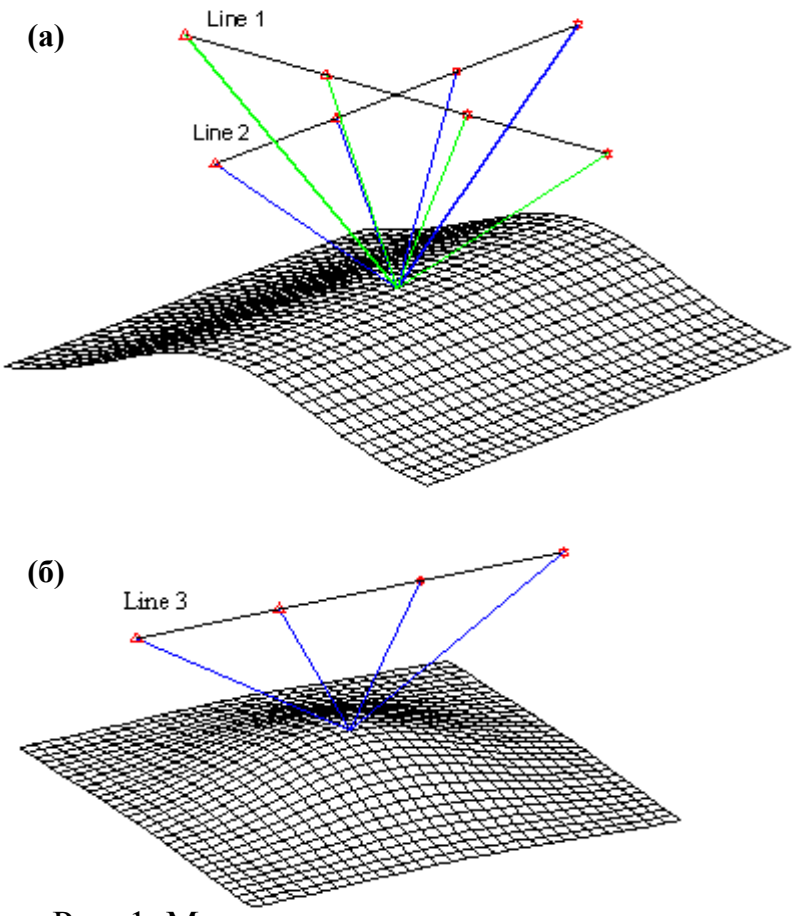


Рис. 1. Модели среды и геометрия системы наблюдений. (а) Линейная антиклинальная граница, (б) Изометрическая антиклинальная граница

Расчёт сейсмограмм проведён

для двух типов антиклинальной границы: изометрическая - с параметрами крутизны C = D = 1 km-2 (рис. 1, б) и линейная, где C =1 km-2 и D = 0 km-2 (рис. 1, а).

Верхнее полупространство описывается скоростями $V_{P1} = 2000$ m/s, $V_{S1} = 1100$ m/s и плотностью $\rho_1 = 1800$ kg/m^3; в нижнем полупространстве скорости равны $V_{P2} = 2800$ m/s, $V_{S2} = 1600$ m/s и плотность $\rho_2 = 2100$ kg/m^3. Мы рассматриваем сейсмограмму ОГТ для точки, находящейся на вершине антиклинальной отражающей границы. Сейсмограммы рассчитаны для трёх различных приёмных линий; поперёк линейной антиклинали (line 1); вдоль линейной антиклинали (line 2) и для изометрической антиклинали (line 3). Источники и приёмники размещены вдоль приёмных линий, для которых $z = 0$ и $y = 0$. Шаг между источниками/приемниками 25 m. Расстояние источник-приёмник изменяется от 0 до 2.75 km и покрывает докритические, околокритические и закритические удаления. Для рассматриваемой точки ОГТ кривизны границы $D_{11} = -0.4$ km^{-1} и $D_{22} = 0$ km^{-1} для line 1, $D_{11} = 0$ km^{-1} и $D_{22} = -0.4$ km^{-1} для line 2, $D_{11} = D_{22} =$ -0.4 km^{-1} для line 3. Волновой импульс падающей P-волны имеет симметричный спектр с колокольной огибающей, частотами от $f_{\min} = 3$ Hz до $f_{\max} = 62$ Hz и доминантной частотой $f_d = 38$ Hz.

Анализ данных. Чтобы исключить эффект расхождения волнового фронта волны, генерируемой точечным источником, наблюдённые данные должны быть откорректированы за геометрическое расхождение. Геометрическое расхождение контролирует распространение энергии вдоль лучевой трубки и может быть строго определено по формулам лучевого метода с учётом кривизны границы [2]. Для изометрической антиклинальной границы геометрическое расхождение значительно больше, чем для вытянутой структуры и плоской границы, и зависит от кривизны.

При расчёте модельных AVO данных мы используем кажущийся радиус кривизны волнового фронта $r^*(\mathrm{x_n})$, от которого зависит ЭКО. Эффективные коэффициенты отражения учитывают поперечную диффузию энергии при отражении от криволинейной границы, однако не в полной степени из-за достаточно грубой аппроксимации для $r^*(\mathrm{x_n})$ Расчёты показали, что $r^*(\mathrm{x_n})$ для изометрической антиклинали ближе к $r^*(\mathrm{x_n})$ для плоской границы, чем для линейной антиклинали.

На докритических удалениях и в закритической области наблюдённые и модельные AVO данные практически совпадают друг с другом. Однако в области околокритического амплитудного максимума между ними наблюдаются расхождения по причине грубой аппроксимации параметра $r^*(\mathrm{x_n})$.

Результаты AVO-инверсии. Нелинейная AVO-инверсия проведена с использованием оптимизационного метода Нелдера-Мида для полного диапазона удалений. Предполагалось, что параметры верхнего слоя известны, определялись параметры нижнего слоя. Инверсия выполнена для трёх сценариев. В первом сценарии (Case 1) кривизна границы не учитывается; во

втором сценарии (Case 2) кривизна границы учитывается только в геометрическом расхождении, тогда как при построении модельных AVO данных она игнорируется; в третьем сценарии (Case 3) кривизна границы учтена как в геометрическом расхождении, так в модельных AVO данных. Результаты представлены на рис. 2. Мы видим, что учёт кривизны границы в геометрическом расхождении обеспечивает значительное улучшение оценок параметров для Line 1 и Line 3. Учёт кривизны границы в модельных данных не даёт существенное улучшение результатов инверсии. Однако для умеренно криволинейных границ (C=D=1) погрешности определения параметров колеблются для разных систем наблюдений в пределах 1-4%. Наихудшие результаты получены для Line 2.

Заключение. Синтетическое моделирование показало, что кривизна границы существенно влияет на AVO инверсию отражений на около- и закритических удалениях. Мы предлагаем способ учета кривизны границы с помощью использования ЭКО в AVO инверсии, где параметр $r^*(\mathrm{x_n})$ является ключевым параметром. Однако результаты AVO инверсии показали, что полученная нами грубая аппроксимация параметра $r^*(\mathrm{x_n})$ дает удовлетворительные результаты инверсии лишь для слабокриволинейный границ. Наилучшие результаты инверсии наблюдаются для изометрических структур. Это связано с тем, что применяемая в настоящее время аппроксимация для $r^*(\mathrm{x_n})$ пренебрегает астигматизмом волновых фронтов. Учет более сильных кривизн границы требует более точных аппроксимаций параметра $r^*(\mathrm{x})$ при вычислении модельных AVO данных.

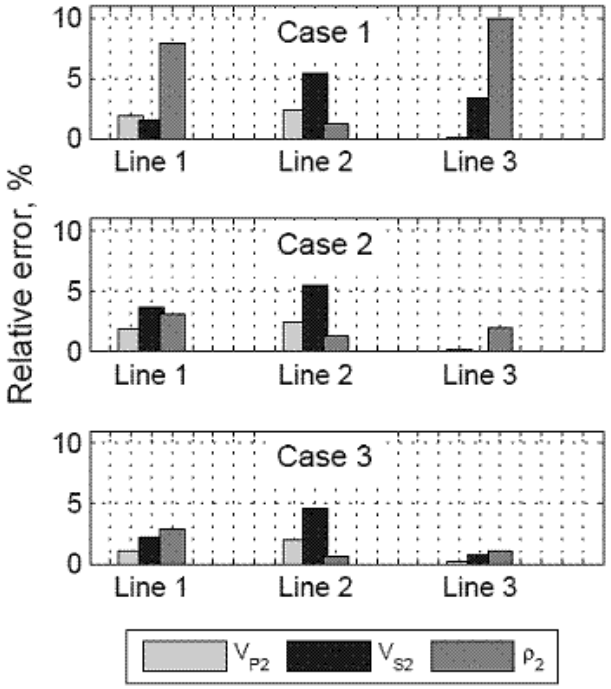


Рис. 2. Результаты инверсии для трёх различных сценариев: кривизна границы не учитывается (Case 1), кривизна границы учитывается только в геометрическом расхождении (Case 2), кривизна границы учтена в геометрическом расхождении и в кажущемся радиусе кривизны волнового фронта (Case 3). В инверсии использованы докритические, околокритические и закритические удаления

Благодарности

Авторы благодарят Statoil ASA и Сибирское отделение РАН (Междисциплинарный интеграционный проект СО РАН № 127) за финансовую поддержку этих исследований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ayzenberg, M., Tsvankin, I., Aizenberg, A.M. and Ursin, B. [2009] Effective reflection coefficients for curved interfaces in transversally isotropic media. *Geophysics*, 74, WB33-WB53.

2. Červený, V., J. Langer, and I. Pšenčík, [1974] Computation of Geometric Spreading of Seismic Body Waves in Laterally Inhomogeneous Media with Curved Interfaces. Geophys. J. R. astr. Soc., 38, 9–19.

3. Skopintseva, L.V., Ayzenberg, M.A., Landrø, M., Nefedkina, T.V., Aizenberg, A.M. [2011] Long-offset AVO inversion of PP reflections from plane interfaces using effective reflection coefficients. *Geophysics*, 76, No. 6, p. c65-c79.

© Л.В. Скопинцева, Т.В. Нефедкина, А.М. Айзенберг, М.А. Айзенберг, 2012

УДК 550

АНАЛИЗ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УПРУГИХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ СЦЕНАРИЕВ НАБЛЮДЕНИЙ ПРИ ВЫНОСНОМ ВСП

Илья Юрьевич Сильвестров
Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, 630090, г. Новосибирск, пр. Коптюга, 3, старший научный сотрудник, тел. (383) 330-27-96, e-mail: silvestroviy@ipgg.nsc.ru

Дмитрий Александрович Неклюдов
Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, 630090, г. Новосибирск, пр. Коптюга, 3, старший научный сотрудник, тел.(383) 330-27-96, e-mail: neklyudovda@ipgg.nsc.ru

Владимир Альбертович Чеверда
Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, 630090, г. Новосибирск, пр. Коптюга, 3, заведующий лабораторией, тел. (383) 330-27-96, e-mail: cheverdava@ipgg.nsc.ru

В статье рассмотрена зависимость разрешающей способности и устойчивости обращения полных волновых полей для различных сценариев наблюдений в методе выносного ВСП.

Ключевые слова: обращение полных волновых полей, ВСП, устойчивость, разрешающая способность.

RESOLUTION AND STABILITY ANALYSIS OF ELASTIC PARAMETERS RECONSTRUCTION FOR DIFFERENT OVSP ACQUISITION SCENARIOS

Ilya Yu. Silvestrov
Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3 Kuptuga, Novosibirsk 630090, senior researcher, tel. (383) 330-27-96, email: silvestroviy@ipgg.nsc.ru

Dmitry A. Neklyudov
Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3 Kuptuga, Novosibirsk 630090, senior researcher, tel. (383) 330-27-96, email: neklyudovda@ipgg.nsc.ru

Vladimir A. Tcheverda
Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3 Kuptuga, Novosibirsk 630090, head of laboratory, tel. (383) 330-27-96, email: cheverdava@ipgg.nsc.ru

In this paper we consider a methodology which can be used for efficiency analysis of different acquisition scenarios for OVSP survey with applications to full-waveform inversion.

Key words: full-waveform inversion, VSP, resolution, uncertainty, survey design.

1. Введение. В настоящее время всё существеннее сказывается тот факт, что нефтяные месторождения, расположенные в наиболее доступных и изученных районах начинают истощаться. Поиск новых месторождений приходиться вести в районах с весьма сложными геологическими условиями. При этом возникает необходимость применять новые методы регистрации и обработки геофизических данных, которые позволили бы извлекать как можно

более полную и достоверную информацию о строении среды. При разработке новых систем наблюдений и процедур обработки, важным этапом является их теоретическое обоснование: анализ тех возможностей и ограничений, которыми они в принципе обладают. Общепризнано, что одним из самых информативных методов извлечения количественной информации об упругих параметрах среды из сейсмических данных является обращение полных волновых полей (FWI). На этапе планирования эксперимента существует возможность перейти к рассмотрению задачи в линеаризованной постановке, где линеаризация производится относительно «правильной» модели. В «правильную» модель закладываются основные характеристики геологического строения интересующего района, а также целевого объекта, свойства которого наиболее интересны при проведении сейсмических исследований. Линеаризованный оператор FWI может быть аппроксимирован матрицей. Фундаментальные свойства решения, математическая взаимосвязь параметров модели с параметрами системы наблюдений содержится в этой матрице, и могут быть детально проанализированы с привлечением хорошо развитого аппарата линейной алгебры [3]. Для этого строится сингулярное разложение (SVD) матрицы FWI, на основании которого в общем виде может быть оценено качество решения (его разрешённость и устойчивость) при различных сценариях проведения наблюдений и заданном уровне помех [2]. В данной работе мы применяем подобную методологию применительно к анализу сценариев наблюдений в методе ВСП. Показывается, что при инверсии давления, измеренного в скважине, в принципе, существует возможность восстановления упругих параметров среды. Основным достоинством таких систем наблюдений (использование гидрофонов вместо геофонов) является значительное ускорение работ (т.к. нет необходимости прижимать регистрирующие приборы к стенкам скважины) а, значит, их удешевление. Совместная обработка давления и многокомпонентных данных, в идеале, даёт заметное улучшение устойчивости результата к некоррелированным помехам. Однако отметим, что эти выводы получены в идеализированных условиях, т.к. известно, что для данных ВСП, полученных при измерении давления в скважине, заполненной жидкостью, характерно наличие очень сильных коррелированных помех. Их причина – возникновение трубной волны на границе упругость-жидкость. На данном этапе нами предполагается почти полное их подавление на этапе обработки. При любом сценарии наблюдений наиболее надёжно будет определяться Р-импеданс. Наименее надёжный параметр – плотность.

2. Метод. Теоретической основой предлагаемого подхода является анализ линейного уравнения вида:

$$L\vec{m} = \vec{d}, \qquad (1)$$

где L -линеаризованный оператор прямой задач, правая часть $\vec{d}$ представляет собой невязку волновых полей: 1) компонент вектора смещений (в данном случае, двумерного, 2С); 2) давления (Р); 3) совместных данных (2С+Р)). $\vec{m}$ - вектор, описывающий искомое возмущение параметров модели.

В настоящей работе мы рассматриваем составную линейную систему:

$$L: \qquad \begin{bmatrix} \hat{L}(\omega_1) \\ \vdots \\ \hat{L}(\omega_N) \end{bmatrix} \begin{pmatrix} | \\ \vec{m} \\ | \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \vec{d}(\omega_1) \\ \vdots \\ \vec{d}(\omega_N) \end{pmatrix}, \qquad (2)$$

здесь $\hat{L}(\omega_j)$ - борновский оператор для фиксированной частоты ω_j. Будут изучены три случая, когда система (2) состоит из 1) борновских операторов для упругости; 2) борновских операторов для давления; 3) одновременно из нормированных операторов для случая 1) и 2). Приводя систему (2) к нормальному виду, получим:

$$L^*L: \qquad \left[\sum_j \hat{L}^*(\omega_j)\hat{L}(\omega_j)\right]\vec{m} = \sum_j \hat{L}^*(\omega_j)\vec{d}(\omega_j), \qquad j = 1,\ldots,N_f \qquad (3)$$

Система (3) играет центральную роль в нашем исследовании. Для её построения в явном виде, необходимо рассчитать матрицы Грина в референтной среде для каждой частоты ω_j. После построения системы (3) для каждого конкретного сценария (что делается очень быстро, имея насчитанные матрицы Грина), выполняется её сингулярное разложение. Анализ сингулярного разложения позволяет оценить разрешающую способность и устойчивость результатов инверсии в каждом случае. Далее мы на конкретном примере покажем основные принципы, используемые при решении поставленных задач.

3. Описание модели и системы наблюдений. Фрагмент модели и геометрия наблюдений приведена на рис. 1. Вмещающая среда является вертикально-неоднородной. Предполагается, что в окрестности скважины находится малое 2D возмущение упругих параметров. Таким образом моделируется локальная нефтенасыщенная зона в пласте «сухого» песчаника. Относительные возмущения P- и S-импедансов (Ip, Is) составляют 1-1.5 %, возмущение плотности: 4-6 % (сравнение профилей для вмещающей среды и среды с возмущением представлены на рис. 2). Восстановление параметров производится внутри целевой области X = [15, 550] м, Z = [4130, 4190] м. Приёмники расположены в вертикальной скважине от поверхности, Z = 0, до забоя, Z = = 4 350 м. с равномерным шагом по глубине (мы рассматриваем два случая, hr = 6 и 12 м.). Источник типа центра расширения расположен на поверхности с выносом 2 130 м. от устья. В качестве функции источника использовался импульс Рикера с доминирующей частотой 60 Гц. В

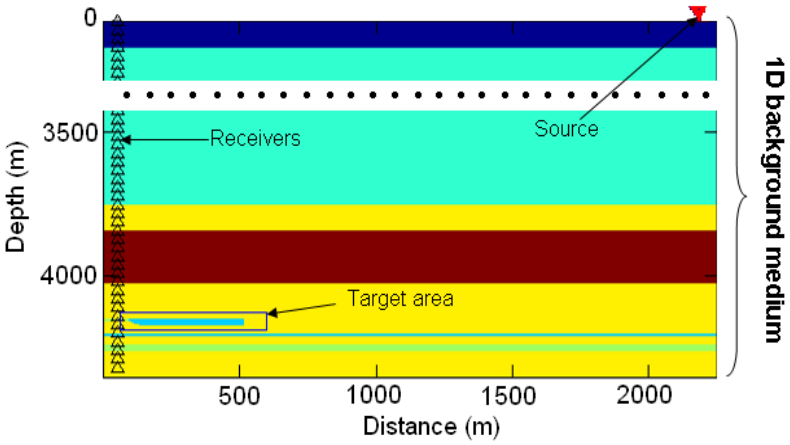


Рис. 1. Фрагмент модели и геометрия наблюдений

общем случае расчёт матриц Грина – очень затратная процедура, т.к. необходимо многократно решать прямую задачу (в общем случае, это число равно количеству точек сетки в целевой области). Однако, в данном примере, вмещающая среда не зависит от горизонтальной координаты X. Это означает, что достаточно рассчитать матрицы Грина для одного сечения X = const и далее выбирать необходимые значения из уже насчитанных массивов. Мы вычисляем матрицы Грина в частотной области с помощью итерационного метода «с почти аналитическим» предобуславливателем, предложенного в [4]. Вектор правых частей $\vec{d}$ представляет собой волновое поле, рассеянное на целевом объекте для каждой частоты ω_j . $\vec{d}$ вычисляется как действие соответствующего борновского оператора на вектор, задающий возмущение модели. Давление рассчитывалось как для упругой формации (т. е. без учёта скважины, заполненной жидкостью) через нормальные компоненты тензора напряжений: $P = 0.5 \cdot (\sigma_{XX} + \sigma_{ZZ})$. Для оценки устойчивости каждого из сценариев наблюдений к помехам, в рассчитанные сейсмограммы вносилась аддитивная помеха (белый гауссовский шум с нулевым мат. ожиданием) с заданным уровнем (40dB по отношению к полной сейсмограмме).

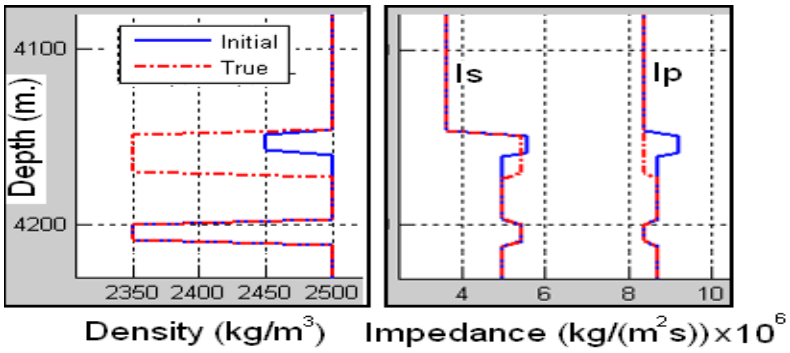


Рис.2: Сечения плотности и импедансов для вмещающей (синим) и возмущённой модели (красным)

4. Обращение. Для каждого сценария наблюдений строился оператор (3) для набора из 25 частот, равномерно расположенных в интервале [5,125]Гц. с шагом $\Delta f = 5$ Гц. Далее строилось его SVD разложение, $[L^* L] = V \Sigma V^*$, где V- ортогональная матрица, столбцы которой (правые сингулярные векторы) являются базисом в пространстве моделей, $\Sigma = diag(\sigma^2)$ - диагональная матрица, на диагонали которой в убывающем порядке расположены квадраты сингулярных чисел исходной матрицы (2). Искомое возмущение (точнее, его оценка) находится как действие r-псевдообратной матрицы [1] на данные, искажённые помехой: $\vec{m}_{EST} = [L^* L]_r^+ \vec{d} = [V \Sigma_r^{-1} V^*] \vec{d}$, где r- означает число ненулевых сингулярных чисел, взятых для построения псевдообратной матрицы. Параметр r определяет число обусловленности усечённой системы ($cond = \sigma_1 / \sigma_r$), т. е. устойчивость решения к помехам и его разрешённость. r - играет роль регуляризирующего параметра.

Успешное решение обратной задачи всегда подразумевает компромисс между разрешённостью результата и его устойчивостью. Улучшение в разрешающей способности может достигаться только за счёт потери

устойчивости. При оценке устойчивости, в свою очередь, необходимо учитывать ещё и уровень помех в данных, предполагаемый или измеренный. Для каждого сценария наблюдений, при заданном уровне помехи существует оптимальное значение параметра усечения r-, при котором достигается минимум среднеквадратической ошибки (MSE, англ. mean-squared error) между восстановленными параметрами модели и их правильными значениями. Критерий оценки результатов обращения для различных сценариев был основан на этой величине. Модели, построенные при оптимальном значении r- можно назвать «наилучшими достижимыми моделями». Среднеквадратическая ошибка представляется как сумма двух слагаемых: $MSE = trace[\mathrm{cov}\,\vec{m}_{EST}] + \left\|\vec{m}_{True} - R\vec{m}_{True}\right\|^2 = \tilde{U}^2 + \tilde{B}^2$. Первое слагаемое – след матрицы ковариации модели описывает дисперсию параметров модели, т.е. устойчивость их определения; второе слагаемое – разрешённость восстановленных параметров (здесь R – означает матрицу разрешающей способности, $\vec{m}_{True}$ - правильное распределение параметров). Матрицы $[\mathrm{cov}\,\vec{m}_{EST}]$ и R строятся при известном SVD линейного оператора (2). Для иллюстрации эффективности восстановления целевого объекта при различных сценариях наблюдений мы используем величину: $K_{QC} = \tilde{U}/\left\|\vec{m}_{True}\right\| + \tilde{B}/\left\|\vec{m}_{True}\right\| = U + B$, в некотором смысле близкую к относительной среднеквадратической ошибке: $RRMSE = \sqrt{\left(\tilde{U}/\left\|\vec{m}_{True}\right\|\right)^2 + \left(\tilde{B}/\left\|\vec{m}_{True}\right\|\right)^2}$. На рис. 3. приведены значения K_{QC} при восстановлении упругих параметров Ip, Is, ρ для различных сценариев наблюдений при фиксированном уровне помех. При этом указывается, какая часть ошибки вызвана неустойчивостью, а какая - разрешающей способностью.

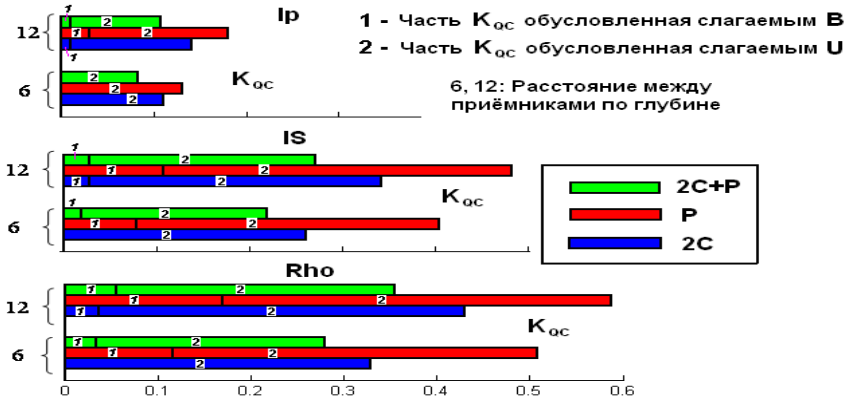


Рис. 3. Величина K_{QC} при восстановлении упругих параметров для различных сценариев наблюдений (указаны цветом). Верхний рисунок соответствует P-импедансу; средний - S-импедансу; нижний – плотности

Благодарности

Работа частично поддержана Российским Фондом Фундаментальных Исследований, гранты 10-05-00233, 11-05-00947, 11-05-12022 и 12-05-00943.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Kostin V., Tcheverda V., R-pseudoinverse for compact operator in Hilbert spaces: existence and stability [Text]/ Kostin V., Tcheverda V // *J. Inverse and Ill-Posed Problems* –1995–V.3.–P. 131-148.

2. Lebrun D., Richard V., Mace D. and Cuer M. SVD for multioffset linearized inversion: Resolution analysis in multicomponent acquisition [Текст]/ Lebrun D., Richard V., Mace D., Cuer M.// *Geophysics* – 2001–V.66 – P. 871-882.

3. Menke, W. Geophysical Data Analysis: Discrete Inverse Theory [Text] / Menke W.// - 1989- 2nd edn, Academic Press, New York.

4. Neklyudov D., Silvestrov I., Tcheverda V., Frequency domain iterative solver for elasticity with semi-analytical preconditioner [Text]/ Neklyudov D., Silvestrov I., Tcheverda V.*// 81st SEG Annual Meeting* – 2011–extended abstracts – P. 2931-2935.

© И.Ю. Сильвестров, Д.А. Неклюдов, В.А. Чеверда, 2012

УДК 553.98:556.3 (571.511)

ПАЛЕОДИНАМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ВЕРХНЕЮРСКОГО ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА (НА ПРИМЕРЕ ЮЖНЫХ РАЙОНОВ ОБЬ-ИРТЫШСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ)

Яна Владиславовна Садыкова
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук, 630090, г. Новосибирск, пр. ак. Коптюга, 3, младший научный сотрудник Лаборатории гидрогеологии осадочных бассейнов Сибири, тел. (383) 363-80-44, e-mail: SadykovaYV@ipgg.nsc.ru

В настоящей статье представлены результаты палеодинамических реконструкций верхнеюрского гидрогеологического комплекса южных районов Обь-Иртышского междуречья Западно-Сибирского мегабассейна. В их основу положен принцип построения карт разуплотненных толщин водоупорных и водоносных горизонтов. Восстановление первоначальных мощностей осуществлялось с помощью методики Г.И. Алексеева с соавторами. В результате построений оценено пространственное взаимоотношение водоупорных и водоносных горизонтов, выделены зоны внутреннего питания и скрытой разгрузки подземных вод, показаны основные направления движения флюидов.

Ключевые слова: седиментационные воды, элизионный водообмен, палеодинамические реконструкции, верхнеюрский гидрогеологический комплекс, палеопьезомаксимумы, палеопьезоминимумы, зоны скрытого питания и разгрузки подземных вод, Обь-Иртышское междуречье, Западно-Сибирский мегабассейн.

PALEODYNAMICS CONDITIONS OF UPPERJURASSIC GROUND WATERS FORMATION (BY EXAMPLE OF SOUTH REGIONS OB- IRTYSH INTERFLUVES)

Yana V. Sadykova
Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (IPGG SB RAS), Acad. Koptyug av., 3, Novosibirsk, 630090, Junior scientist, Laboratory of hydrogeology of sedimentary basins of Siberia, Tel. (383) 363-80-44, e-mail: SadykovaYV@ipgg.nsc.ru

In this paper the result of paleodynamic reconstruction of Upper Jurassic hydrogeological complex ground waters of Ob- Irtysh interfluves of West-Siberian megabasin was presented. Paleohydrodynamic reconstruction method was based upon construction of maps of water-bearing and waterproof horizons possessing the original thickness. The original thickness restoration was carried out by the method of G.I. Alekseev et al. This allowed to estimate the spatial interrelation of the water-bearing and waterproof horizons, to differentiate zones of ground waters internal feed and cryptic relief and to elucidate the main directions of fluids movements.

Key words: sedimentation waters, elisions water cycle, paleodynamic reconstruction, Upper Jurassic hydrogeological complex, paleopiezomaximum, paleopiezominimum, inside feed and relief ground waters zones, Ob- Irtysh interfluves, West-Siberian megabasin.

Пластовые воды играют важную роль в формирование залежей нефти и газа. Палеогидродинамические исследования применяются для выяснения условий образования гидродинамических систем, основных закономерностей

динамики подземных вод отдельных комплексов, расчетов объемов седиментационных вод отжатых при уплотнении пород. Полученные данные используются для выявления основных путей миграции подземных вод и водорастворенного органического вещества, условий генерации, аккумуляции и деградации залежей углеводородов.

Методы восстановления палеогидродинамических условий на элизионных этапах развития бассейнов разработаны Г.И. Алексеевым, М.С. Бурштаром, И.К. Гавич, А.А. Карцевым, В.В. Колодием, Ю.В. Мухиным, А.Д. Назаровым, И.И. Нестеровым, Б.П. Ставицким, Я.А. Ходжакулиевым, Г.П. Якобсоном и многими другими [1-6].

Региональные закономерности распределения нефтегазовых скоплений в верхнеюрском комплексе южных районов Обь-Иртышского междуречья в значительной мере обусловлены расположением и развитием в историческом аспекте благоприятных для их формирования гидродинамических зон [6].

На элизионных этапах гидрогеологической истории движение подземных вод обусловлено в основном уплотнением осадков. В результате повышения геостатической нагрузки за счет увеличения мощности вышезалегающих отложений глины уплотняются и выжимаемые из них воды поступают в вышележащие и подстилающие песчаные пласты. Дальнейшее движение отжатых из глин вод в водоносных комплексах и направленность этого движения зависит от разности геостатических нагрузок в зонах с различными мощностями пород (прогибов и поднятий), перекрывающих водоносную толщу [4, 5].

По мере погружения наибольшее количество осадков накапливается в пределах отрицательных тектонических элементов, где геостатические нагрузки максимальны. В пределах положительных тектонических элементов они значительно ниже. Поэтому прогибы рассматриваются как зоны пьезомаксимумов, или зоны создания напоров, а поднятия, где геостатические нагрузки ниже как зоны пьезоминимумов. Разность геостатических нагрузок обуславливает движение вод из прогибов к разделяющим их поднятиям, где происходит скрытая разгрузка подземных вод [3].

Современные мощности осадочных пород залегающих на больших глубинах существенно отличаются от палеомощностей. Под действием геостатических нагрузок одновременно с отжатием вод происходит уменьшение толщин глинистых пластов. При проведении расчетов по восстановлению первоначальных мощностей использовалась методика Г.И. Алексеева с соавторами [1]. Полученные данные по палеомощностям водоносного и водоупорных горизонтов верхнеюрского гидрогеологического комплекса южных районов Обь-Иртышского междуречья по 577 скважинам позволили построить серию серия карт палеотолщин, разуплотненных на момент формирования кровли баженовской свиты. Они отражают особенности строения водонапорной системы, существовавшей на территории исследований в конце волжского века.

На полученных картах выделены зоны внутреннего питания (палеопьезомаксимумы) и скрытой разгрузки (палеопьезоминимумы)

подземных вод и показаны основные направления движения флюидов. На основе полученных материалов составлено восемь палеодинамических разрезов, на которых установлены основные пути миграции и участки аккумуляции флюидов в пределах территории исследований. Рассмотрим верхнеюрскую водонапорную систему на момент окончания формирования баженовского водоупорного горизонта.

В пределах только что сформированных осадков баженовской свиты кровля совпадала с поверхностью дна седиментационного бассейна, а подошва находилась на глубине от 0 возле выступов фундамента до 70 метров. Верхняя часть баженовского водоупора представляла собой осадок, а нижняя — молодую породу. В пределах сформированной толщи активно происходили процессы элизионного водообмена. Некоторая часть отжатых вод возвращалась в бассейн седиментации, а основная часть поступала в коллекторы верхневасюганского водоносного горизонта.

В это время глины георгиевской свиты уже претерпели некоторое уплотнение, их мощность являлась вторичной. Элизионных воды, отжимаемые из глин георгиевского водоупорного горизонта частично поступали в верхневасюганский водоносный комплекс, а также просачивались в слабоуплотненные глинистые осадки баженовской свиты.

Восточная часть исследуемой территории представляла собой обширную область повышенных палеотолщин верхневасюганского водоносного горизонта. Это связано с замещением отложений васюганской свиты осадки наунаской. Здесь полностью отсутствует водоупор для верхневасюганского водоносного горизонта снизу. В этой связи значительные массы флюидов могли поступать в результате вертикальной миграции из нижезалегающих отложений нижне-среднеюрского и палеозойского гидрогеологических комплексов. Области повышенных толщин были расположены также в пределах Колтогорско-Нюрольского желоба, Кыштовского наклонного мазопрогиба, Муромцевско-Седельниковского наклонного мезопрогиба и в центральной части Межовского структурного мегамыса. Поскольку породы верхневасюганского водоносного горизонта являются коллекторами, то повышенные палеотолщины в это время свидетельствуют о лучших коллекторских свойствах и являются дополнительным благоприятным палеогидрогеологическим условием для выявления залежей углеводородов.

Глины нижневасюганского водоупорного горизонта претерпели к концу волжского века значительное уплотнение. Элизионные воды, отжимаемые из них под действием геостатической нагрузки, равномерно распределялись между верхневасюганским и нижезалегающими водоносными горизонтами. В целом, в нижневасюганском водоупорном горизонте преобладали процессы вертикальной миграции элизионных флюидов.

Комплексный анализ карт палеотолщин водоносного и водоупорных горизонтов верхнеюрского гидрогеологического комплекса позволил построить палеогидродинамическую схему верхневасюганского гидрогеологического комплекса, на которой отражены зоны внутреннего питания и скрытой

разгрузки подземных вод и показаны основные направления латеральной миграции флюидов.

Зонами внутреннего питания подземных вод верхнеюрского комплекса являются наиболее погруженные части Колтогорско-Нюрольского желоба, Муромцевско-Сидельниковского прогиба, Кыштовского наклонного мезопрогиба, Межовского структурного мегамыса, центральной и восточной частей Барабинско-Пихтовой мегамоноклизы, Бакчарской мезовпадины и Парабельского наклонного мегавала. Зонами скрытой разгрузки - поднятия и их борта, расположенные в пределах Верхневасюганской антеклизы, Игольско-Талового куполовидного поднятия, Пудинского куполовидного мезоподнятия, западной части Барабинско-Пихтовой мегамоноклизы и зоны сочленения Северо-Межовской мегамоноклинали с Межовским структурным мегамысом. Основные потоки элизионных вод были направлены от внутренних зон питания к зонам скрытой разгрузки (рис. 1).

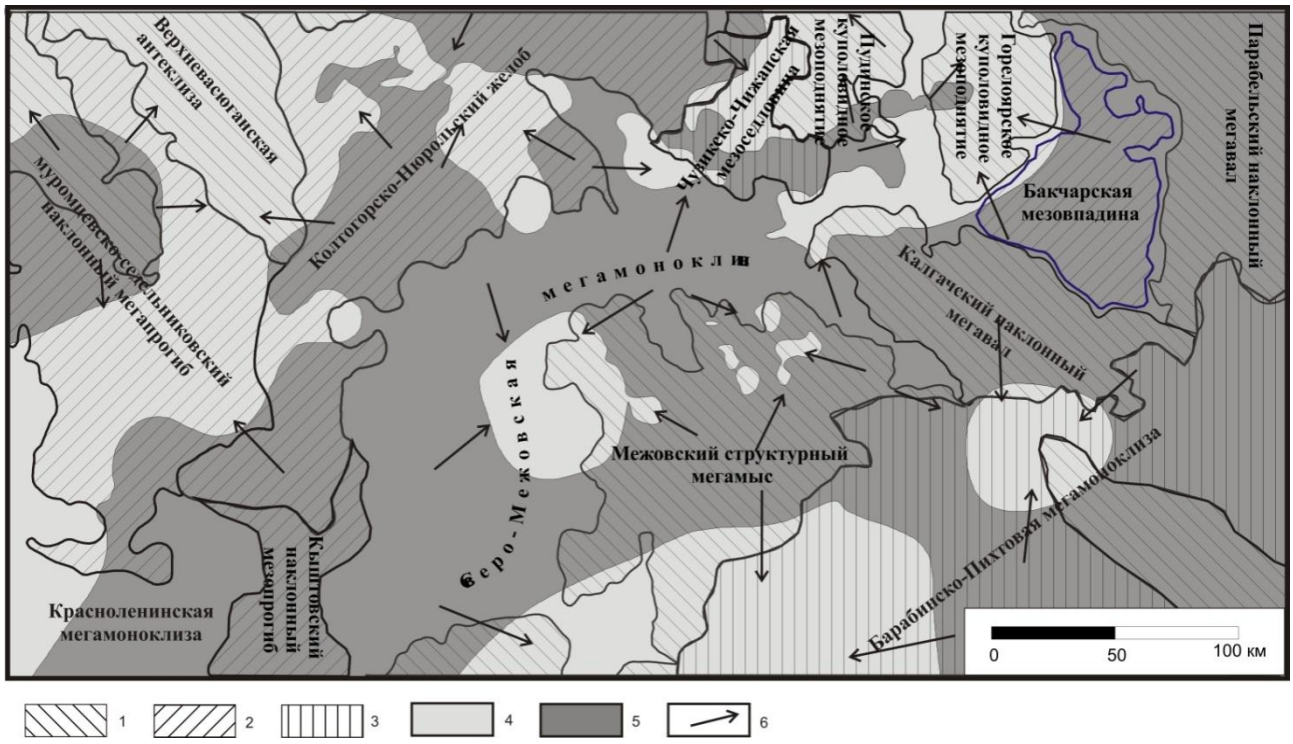


Рис. 1. Палеогидродинамическая схема верхнеюрского водоносного комплекса южных районов Обь-Иртышского междуречья

Контуры крупных тектонических элементов: 1 - положительных, 2 - отрицательных, 3 - промежуточных; палеогидродинамические зоны: 4 - скрытой разгрузки подземных вод, 5 - внутреннего питания подземных вод; 6-основные направления движения подземных вод.

Таким образом, проведенный анализ позволил откартировать основные зоны внутреннего питания, скрытой разгрузки подземных вод и наметить пути их миграции. Подземные воды верхнеюрского гидрогеологического комплекса образовались за счет заполнения коллекторов седиментагенными водами в течении элизионных этапов и метеогенными во время инфильтрационных

этапов развития водонапорной системы. Затем они постепенно смешивались с отжимаемыми элизионными водами из глин подстилающих и перекрывающих водоупорных горизонтов. Химический состав подземных вод верхнеюрского комплекса определялся соленостью седиментогенных вод и дальнейшими процессами метаморфизации и взаимодействия в системе «вода-порода-газ-органическое вещество» на стадиях диагенеза и катагенеза вмещающих пород.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алексеев, Г.И. Методика изучения уплотнения терригенных пород при палеогеологических реконструкциях / Г.И. Алексеев, В.Н. Андреев, А.А. Горелов, Л.Л. Казьмин. - М.: Наука, 1982. - 144 с.
2. Бурштар, М.С. Методика построения региональных схематических карт палеогидродинамической обстановки / М.С. Бурштар, А.Д. Назаров // Советская геология. - 1970. - № 9. - С. - 19-33.
3. Карцев, А.А. Палеогидрогеология/ А.А. Карцев, С.Б. Вагин, Е.А. Басков. – М.: Недра, 1969. - 152 с.
4. Любомиров, Б.Н. Палеогидрогеологические условия формирования нефтяных и газовых залежей Тимано-Печорской провинции/ Б.Н. Любомиров // Советская геология. – 1963. - № 11. - С. 89-99.
5. Ходжакулиев Я.А. Палеогидрогеологические исследования при поисках нефти и газа / Я.А. Ходжакулиев, Л.А. Абукова. - М.: Недра, 1985. - 209 с.
6. Якобсон, Г.П. Палеогидрогеологические и современные гидрогеологические закономерности формирования и размещения нефтегазовых месторождений / Г.П. Якобсон. - М.: Недра, 1973. - 268 с.

© Я.В. Садыкова, 2012

УДК 551.762.2 (571.1)

ЭВОЛЮЦИЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О ТРАНСГРЕССИИ МОРЯ НА ЮГ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ В БАЙОСЕ И КЕЛЛОВЕЕ

Светлана Владимировна Рыжкова
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения РАН, 630090, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, кандат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Лаборатории геологии нефти и газа мезозоя, тел. (383)306-61-73, e-mail: rizhkovasv@ipgg.nsc.ru

В статье рассмотрен вопрос о границах распространения байосской и келловейской трансгрессий на юге Западной Сибири. На основе анализа геолого-геофизических материалов, полученных в результате бурения на Завьяловской площади, установлено, что находка фауны, ранее относимая к байосу, имеет келловейский возраст. Следовательно, келловейская трансгрессия моря на юге Западной Сибири по имеющимся палеонтологическим данным подтверждается, а свидетельств морского осадконакопления в этой краевой части юрского осадочного бассейна в байосе не установлено.

Ключевые слова: стратиграфия, байос, келловей.

DEVELOPMENTS IN UNDERSTANDING OF THE SEA TRANSGRESSION TO THE SOUTH OF WEST SIBERIA IN THE BAJOCIAN AND CALLOVIAN

Svetlana V. Ryzhkova
Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (IPGG SB RAS), Acad. Koptyug av., 3, Novosibirsk, 630090, PhD in Geology, Senior research scientist, Laboratory of petroleum geology of Mesozoic, tel. (383)306-63-71, e-mail: rizhkovasv@ipgg.nsc.ru

The article addresses the problem of defining the boundaries for the areas of distribution of the Bajocian and Callovian transgressions in the south of West Siberia. Based on the analysis of the geological and geophysical data obtained from the drillings in Zavyalovskaya area, fauna formerly referable to the Bajocian age, has proven to be of the Callovian age. Therefore, the marine transgression taken place in the Callovian in the south of West Siberia is confirmed according to the paleontological data available. There has been no evidence of the marine sedimentation documented in the Bajocian, at this margin of the Jurassic sedimentary basin.

Key words: stratigraphy, Bajocian, Callovian.

Как известно, на этапах трансгрессии моря в пределах бассейна осадконакопления происходит формирование преимущественно глинистых толщ. На последующих этапах литогенеза они преобразуются в региональные флюидоупоры нефтегазоносных комплексов. В сейсмическом разрезе к ним приурочены хорошо выраженные отражающие горизонты. В связи с этим, изучение этапов трансгрессии имеет важное не только теоретическое (изучение седиментогенеза осадочных толщ), но и практическое значение (стратиграфическая привязка сейсмических отражающих горизонтов).

Для средней юры Западной Сибири выделяют два этапа развития трансгрессии байосский и келловейский [1, 2]. В качестве обоснования широкого площадного распространения байосской трансгрессии сопоставимого с келловейской приводились находки фауны, относимые к байосу на юге Западно-Сибирского осадочного бассейна на Завьяловской площади [3, 4]. Ревизия палеонтологических коллекций, проведенная согласно усовершенствованным биостратиграфическим шкалам юры Сибири в 70-х годах прошлого века, показала их келловейский возраст [5]. В современных работах [6] эти находки фауны не фигурируют, и граница распространения мелководноморской области седиментации сохранилась без изменений. Соответственно встает вопрос о равнозначности площадей распространения байосской и келловейской трансгрессий на юге Западной Сибири.

Для ответа на этот вопрос были проанализированы геолого-геофизические материалы, полученные в результате бурения на Завьяловской площади, расположенной на северо-западе Омской области. Структура была подготовлена по материалам сейсмических работ и введена в глубокое поисковое бурение в 1956 г. В пределах площади до 1959 г. пробурено пять скважин (№ 1-5). Скважина № 2 ликвидирована по техническим причинам при забое 2559 м. На забое этой скважины были вскрыты юрские породы. Юрская часть разреза, несмотря на фрагментарную характеристику по керну, не охарактеризована материалами геофизических исследований скважин (ГИС), поэтому эта скважина при анализе не учитывалась. Таким образом, в работе использованы разрезы четырех скважин, вскрывших доюрское основание, по которым имеются литологические и геофизические материалы по юрской части разреза.

Согласно тектонической карте фундамента Западно-Сибирской плиты Завьяловская площадь расположена в пределах центральной части Казахстанско-Салымского блока каледонид [6]. В тектоническом плане юрского структурного яруса Завьяловская локальная структура приурочена к северо-восточному борту Красноленинской мегамоноклизы [7]. В тектоническом плане мезозойско-кайнозойского осадочного чехла 1998 г. под ред. В.И. Шпильмана, Н.И. Змановского и Л.Л. Подсосовой – к северо-западному борту Муромцевской мегавпадины.

В пределах площади толщина юры изменяется от 91 до 298 м. В сводовой части структуры, в скв. № 4, толщина юры равна 91 м, а в скв. № 1 – 125 м. Максимальная толщина юры 298 м установлена в разрезе скважины № 5, которая пробурена на юго-западном склоне структуры. В скв. № 3 на северо-восточном склоне структуры толщина юры составляет 236 м.

В разрезах скважин по результатам анализа описаний керна и имеющимся материалам геофизических исследований скважин (КС – кажущееся сопротивление, ПС – потенциал самопроизвольной поляризации, КВ – кавернометрия, ГК – гамма каротаж, НГК – нейтронный гамма каротаж) в юрской части разреза выделяется несколько толщ.

Для удобства описания выделенные толщи пронумерованы снизу вверх. Так как в данной работе не ставилась задача стратиграфического расчленения разрезов скважин Завьяловской площади, вопрос принадлежности выделенных

толщ к определенным свитам рассматривается только при наличии находок фауны или флоры и их возрастной датировки.

Первая толща, залегающая в основании юрской части разреза, выделена в разрезах скважин № 5 и № 3. Ее толщина в юго-западной части структуры почти в два раза больше, чем в северо-восточной (134 и 78 м, соответственно). Керн из этой толщи представлен в основном темно-серыми алевролитами местами слюдисто-глинистыми и светло-серыми песчаниками от мелко- до среднезернистых. Характерно обилие углефицированного растительного детрита. Отдельные прослои сильно карбонатизированы. Присутствуют редкие прослои темно-серого углистого аргиллита или аргиллита с крупными растительными остатками. Толща на диаграммах КС характеризуется перемежаемостью высокоомных (до 200 Омм) до 6 м толщиной и низкоомных пачек (5-15 Омм). Диаграмма ПС дифференцированная с резкими отрицательными аномалиями. Для северо-восточной части структуры характерна большая толщина низкоомных пачек и меньшее количество аномалий ПС. Толща палеонтологически не охарактеризована.

Вторая толща выделена в разрезах трех скважин: № 3 (толщина 65 м) и № 5 (41 м) и в скважине № 1 (60 м). Толща имеет специфическое строение. В керне она представлена темно-серыми иногда с буроватым или зеленоватым оттенком аргиллитами, алевролитами глинистыми или песчанистыми и песчаниками мелко- и среднезернистыми известковистыми. Для аргиллита характерна комковатость сложения. Переходы от аргиллита к алевролиту постепенные, а к песчаникам резкие. Верхняя часть толщи характеризуется наибольшим количеством песчаников. На склонах структуры выделяется пласт песчаника среднезернистого состава слабоизвесткового толщиной 14 м. На электрокаротажных диаграммах толща выражена слабодифференцированными кривыми КС и ПС. В скв. № 1 на своде структуры значения КС не превышают 5 Омм. В направлении от свода к склонам структуры увеличивается количество прослоев характеризующихся более высокими значениями КС, причем в юго-западной части структуры они достигают 20 Омм. Толща характеризуется наличием крупных остатков древесины.

Третья толща выделена в разрезах четырех скважин. Наименьшая толщина характерна для северной части свода структуры (скв. № 1 – 39 м). Сопоставимую толщину имеет толща в южной части свода структуры и на северо-восточном склоне (скв. № 4 – 56 м и скв. № 3 – 62 м, соответственно). Наибольшая толщина характерна для юго-западного склона структуры (скв. № 5 – 94 м). Толща характеризуется циклическим переслаиванием песчаных и глинистых пачек. Первые представлены песчаниками от мелко- до крупнозернистых светло-серых. Глинистые пачки состоят из аргиллитов темно-серых с буроватым оттенком и алевролитов серых и темно-серых косослоистых. Аргиллиты прослоями сидеритизированы. По всей толще отмечается пиритизация. Пирит мелкокристаллический местами образует скопления. В толще присутствуют прослои аргиллитов комковатого сложения. На электрокаротажных диаграммах толща выражена резкодифференцированными

кривыми КС и ПС. Значения КС не превышают 20 Омм. Аномалии ПС имеют четкие границы.

Четвертая толща, как и ниже- и вышележащие, выделена в разрезах четырех скважин. Ее толщина изменяется от 5 до 9 м. Керном охарактеризована только в одной скважине № 5. Представлена аргиллитами темно-серыми с прослоями алевритистого аргиллита. В отдельных интервалах количество алевритового материала увеличивается. В породе присутствуют редкие, но хорошей сохранности обломки фораминифер и двустворчатых моллюсков. По материалам электрокаротажа характеризуется низкими около 5 Омм значениями КС и высокими показаниями ПС.

Пятая толща характеризуется наименьшими изменениями толщин – от 21 до 26 м. Керн отбирался во всех скважинах, но из разных частей толщи. Разрез толщи состоит из аргиллитов темно-серых почти черных с буроватым или коричневатым оттенком иногда алевритистых и алевролитов массивных или глинисто-кремнистых. На диаграммах ГИС характеризуется значениями КС от 20 до 50 Омм, недифференцированной кривой КВ и высокими показаниями ГК.

Находки морской фауны установлены в верхних трех толщах. Третья толща характеризуется не только наибольшим количеством найденной фауны, но и удовлетворительной степенью ее сохранности. Именно в этой толще найдены двустворчатые моллюски, на байосский возраст которых ссылаются при обосновании наличия морских отложений на юге Западной Сибири.

Указанные моллюски найдены Ф.Р. Корневой в скважине Завьяловская № 4 в интервале 2474-2477 м. По материалам 1961 года они относятся к Pseudomonotis cf. Decussate Goldf. [8]. В последующих публикациях, они упоминаются как Meleagrinella cf. decussata Munst [9].

Следует отметить, что в 50-х годах прошлого века стратиграфическая шкала Западной Сибири только разрабатывалась и датировка находок фауны производилась по положению в разрезе. Стратиграфическое расчленение разреза проводилось на основе выделения литологических схожих толщ, а не на геохронологической основе. К концу 60-х годов прошлого века был накоплен достаточный палеонтологический материал для построения биостратиграфических шкал, что позволило дать хронологическую характеристику выделенных свит [2].

Ревизии палеонтологических материалов, проведенные в 60-70-х годах прошлого века, позволили более точно обосновать возраст третьей толщи. В скважине № 5 в тех же слоях что и в скважине № 4 в интервале 2 558-2 564 м были определены фораминиферы Ammodiscus aff. buticus Dain, Recuvoides disputabilis Dain, Globulina oolithica (Terq.) [10]. По заключению Козыревой В.Ф., эти фораминиферы указывают на оксфордский возраст вмещающих отложений. В скважинах № 1 и № 5 Войцель З.Я., Ивановой Е.А. и Климко С.А. определены келловей-кимериджские споро-пыльцевые комплексы. В 1972 году по решению коллоквиума по аммонитам и двустворчатым моллюскам Meleagrinella cf. decussata Munst, найденная в скважине № 4, отнесена к келловею [5].

В последующие годы биостратиграфическая шкала по двустворчатым моллюскам продолжала совершенствоваться в направлении детализации характеристики родов по видам и подвидам. Фауна, найденная на Завьяловской площади, характеризуется плохой сохранностью, и это отмечалось еще на первых этапах ее изучения. Поэтому, что-то новое добавить к характеристике возраста третьей толщи невозможно. Следовательно, возрастная датировка фауны, сделанная в 1972 г. не подлежит ревизии.

Таким образом, согласно современным биостратиграфическим шкалам описанная третья толща юры относится к васюганской свите келловей-оксфорда и найденная в ней фауна имеет возраст не старше келловея [2]. Следовательно, келловейская трансгрессия моря на юге Западной Сибири по имеющимся палеонтологическим данным подтверждается, а свидетельств морского осадконакопления в байосе на этой территории не установлено.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гурова Т.И., Казаринов В.П. Литология и палеогеография Западно-Сибирской низменности в связи с нефтегазоносностью. - Москва: Гостоптехиздат, 1962. - 296 с.
2. Шурыгин Б.Н., Никитенко Б.Л., Девятов В.П. и др. Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири. Юрская система. - Новосибирск: Издательство СО РАН Филиал «ГЕО», 2000. - 480 с.
3. Тесленко Ю.В. Стратиграфия и флора юрских отложений Западной и Южной Сибири и Тувы. Тр. СНИИГГИМС. – Москва: «Недра», 1970. – вып. 42. – 204 с.
4. Гурари Ф.Г., Девятов В.П., Казаков А.М., Мухина И.П., А.С. Турбина Прослои морских отложений в "континентальной" тюменской серии Западной Сибири // Советская геология. - 1992. - № 8. - С. 81-85.
5. Булынникова А. А., Ясович Г. С. Юрская система // Стратиграфо-палеонтологическая основа детальной корреляции нефтегазоносных отложений Западно-Сибирской низменности. Тр. ЗапСибНИГНИ. – Тюмень, 1972. - вып. 48. - С. 5-19.
6. Геологическое строение и нефтегазоносность нижней-средней юры Западно-Сибирской провинции / Ф.Г. Гурари, В.П. Девятов, В.И. Демин и др., - Новосибирск: Наука, 2005 – 156 с.+вкл.
7. Конторович В.А., Беляев С.Ю., Конторович А.Э., Красавчиков В.О., Конторович А.А., Супруненко О.И. Тектоническое строение и история развития Западно-Сибирской геосинеклизы в мезозое и кайнозое // Геология и геофизика. - 2001. - т. 42. - № 11-12. - С. 1832-1845.
8. Тесленко Ю.В. О среднеюрской флоре Западно-Сибирской низменности и ее значении в изучении юрских флор Сибири // Материалы по палеонтологии и стратиграфии Западной Сибири. Тр. СНИИГГМС. – Ленинград: Гостоптехиздат, 1961. – С. 5-12.
9. Гайдебурова Е.А., Трушкова Л.Я., Турбина А.С. О размыве татарской свиты // Решения и труды межведомственного совещания по доработке и уточнению унифицированной и корреляционной стратиграфических схем Западно-Сибирской низменности (г. Тюмень, 21-27 марта 1967 г.). – Тюмень, 1969. – ч. 1. - с. 119-120.
10. Аргентовский Л.Ю., Бочкарев В.С., Брадучан Ю.В. и др. Стратиграфия мезозойских отложений платформенного чехла Западно-Сибирской плиты // Проблемы геологии Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции. Тр. ЗапСибНИГНИ. – Москва: Недра, 1968. – Вып. 11. – С. 27-95.

© С.В. Рыжкова, 2012

УДК 550

ПОСТРОЕНИЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В АНИЗОТРОПНЫХ СРЕДАХ ПО МНОГОКОМПОНЕНТНЫМ ДАННЫМ ВСП

Максим Игоревич Протасов
Институт нефтегазовой геологии и геофизики, 630090, г. Новосибирск, ул. Коптюга, 3, старший научный сотрудник, тел. (383)330-27-96, e-mail: protasovmi@ipgg.nsc.ru

Игорь Бородин
Шлюмберже, 77042, США, г. Хьюстон, ул. Брайр парк, 3600 , главный геофизик, тел.+1 (713) 789-9600, e-mail: iborodin@slb.com

В статье предложено обобщение метода построение изображений на анизотропные среды. Основой алгоритма являются Гауссовы пучки в анизотропных средах. Работоспособность метода продемонстрирована на данных, полученных для реалистичной модели среды.

Ключевые слова: анизотропия, Гауссовы пучки, построение изображений, многокомпонентные данные.

SEISMIC IMAGING OF MULTICOMPONENT VSP DATA IN ANISOTROPIC MEDIAS

Maxim I. Protasov
Institute of petroleum geology and geophysics, 3 Koptyug st., Novosibirsk 630090, senior research scientist, tel. (383)330-27-96, e-mail: protasovmi@ipgg.nsc.ru

Igor Borodin
Schlumberger, 3600, Briar Park, Houston, USA, 77042, principal geophysicist, tel.:+1(713) 789-9600, e-mail: iborodin@slb.com

The article presents the generalization of the imaging procedure for anisotropic media. The basis of the algorithm is Gaussian beams in anisotropic media. The efficiency of the method is demonstrated on data obtained for a realistic model of the medium.

Key words: anisotropy, Gaussian beams, imaging, multi-component data.

Введение. В настоящее время представление среды в качестве анизотропной стало частью стандартных процессов обработки данных. Что касается включения анизотропии в процесс построения изображений, то здесь сначала была обобщена миграция Кирхгоффа (см. Burridge и др., 1998). Но на сегодня, пожалуй, наиболее популярной является анизотропная миграция, основанная на конечных разностях – так называемая миграция в обратном времени (см. Du X., Fletcher R., Fowler P. J., 2010).

Метод, представленный в данной работе, позволяет строить изображения в истинных амплитудах данных ВСП в анизотропных средах. Он является обобщением метода, разработанного в работе Protasov et al. (2010) и Protasov, Tcheverda (2011). Описываемая процедура основывается на использовании Гауссовых пучков в анизотропных средах (Номфилов,1981).

Метод. Рассматривается полуплоскость $R^+_2 = \{x, z : z > 0\}$, заполненная неоднородной упругой средой с параметрами Ламе и плотностью $c_{ijkl} = c^0_{ijkl} + c^1_{ijkl}$, $\rho = \rho_0 + \rho_1$. Параметры $c^0_{ijkl}(x,z)$, $\rho_0(x,z)$ задают макромодель, которая считается заданной, тогда как $c^1_{ijkl}(x,z)$, $\rho_1(x,z)$ отвечают за быстрые осцилляции модели (Рис. 1). Считается, что вдоль оси x=0 (“скважина”) зарегистрированы волновые рассеянные/отраженные волновые поля для заданного набора источников:

$$\vec{\varphi}(z_r; x_s; \omega) = \int \Gamma \circ L_1 < \vec{u}_0 > d\varsigma\, d\eta,\ H_1 \le z_r \le H_2. \qquad (1)$$

Здесь

$$(L_1 < \vec{u}_0 >)_{x_j} \equiv -\sum_{i,l,k=1}^{2} \frac{\partial}{\partial x_i}\left(c^1{}_{ijkl}(x,z) \frac{\partial u_{0x_l}}{\partial x_k} \right) - \rho^1 \omega^2 u_{0x_j};\ x_1 \equiv x, x_2 \equiv z;$$

где $\bar{u}_0(\xi,\eta; x_s, 0; \omega)$ это падающее волновое поле, которое распространяется в макромодели от источника $(x_s,0)$. С другой стороны $\Gamma(0, z_r; \xi, \eta; \omega)$ это матрица Грина, посчитанная в макромодели. Задача состоит в отыскании функций c^1_{ijkl}, ρ_1 либо их комбинации на основе данных (1).

Для того чтобы восстановить быстро осциллирующую компоненту модели в точке $\bar{x} = (x_i, z_i)$ трассируются два QP-луча в направлении системы наблюдения. Вдоль этих лучей строятся Гауссовы пучки (Рис. 2). Затем вычисляются нормальные производные данных пучков и их потенциалы в точках расположения приёмников:

$$\vec{T}^r_{gbp}(z_r; \omega; \gamma, \beta_2) = \vec{u}^{gbr}_{qp}(x, z_r; \bar{x}; \gamma, \beta_2; \omega) \cdot 2\rho_0 i \cdot \bar{v}^x{}_{qp} \left(\frac{v_{qp}}{c_{qp}} \right)^{1/2} \Bigg|_{x=0};$$

$$T^s_{gbp}(x_s; \omega; \gamma, \beta_2) = u^{gbs}_{qp}(x_s, z; \bar{x}; \gamma, \beta_2; \omega) \cdot \left(\frac{v_{qp}}{c_{qp}} \right)^{1/2} \frac{2\rho_0 \cdot \bar{v}^z{}_{qp}}{(\bar{p}^s_{qp}, \bar{g}^s_{qp})} \Bigg|_{z=0}.$$

Использование метода перевала, а также асимптотического анализа на основе метода стационарной фазы даёт следующее соотношение:

$$\tilde{f}^{qpqp}(x; \beta_2) \approx \int -\left(\frac{\cos(\beta_2)}{c_{qp}(\bar{x}; \beta_2)} + \frac{\cos(\beta_1)}{c_{qp}(\bar{x}; \beta_1)} \right)^2 \cdot T^s_{gbp}(x_s; \omega; \gamma, \beta_2) \cdot \vec{T}^r_{gbp}(z_r; \omega; \gamma, \beta_2) \cdot \vec{\varphi}(z_r; x_s; \omega) dx_s dz_r d\gamma d\omega =$$

$$= \iint\limits_{X_{par}(\bar{x})} d\bar{p} \iint\limits_{V(\bar{x})} f^{qpqp}(\bar{y}; \gamma(\bar{p}), \beta_2) \cdot \exp\left(i \cdot \bar{p} \cdot (\bar{x} - \bar{y}) \right) d\bar{y}, \qquad (2)$$

с функцией

$$f^{qpqp}(\bar{y}; \gamma(\bar{p}), \beta_2) = \sum_{i,j,l,k=1}^{2} c^1{}_{ijkl} \cdot g^s_j \cdot g^r_l \cdot p^s_i \cdot p^r_k + \rho^1 \cdot g^s_j \cdot g^r_l. \qquad (3)$$

Как можно видеть, правая часть (2) есть не что иное, как суперпозиция двумерного пространственного преобразования Фурье, применяемое к функции f^{qpqp}, и его квазиобратного осреднения. Осреднение происходит по углу наклона γ.

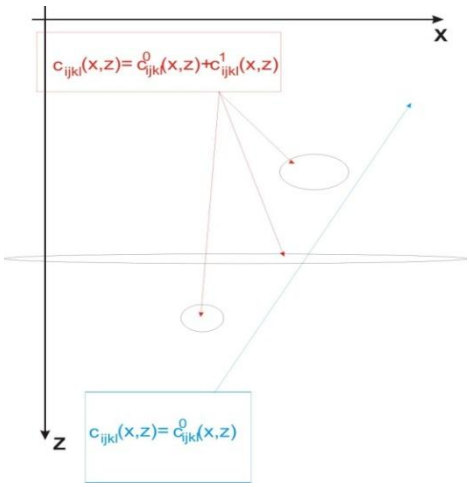


Рис. 1. Представление модели

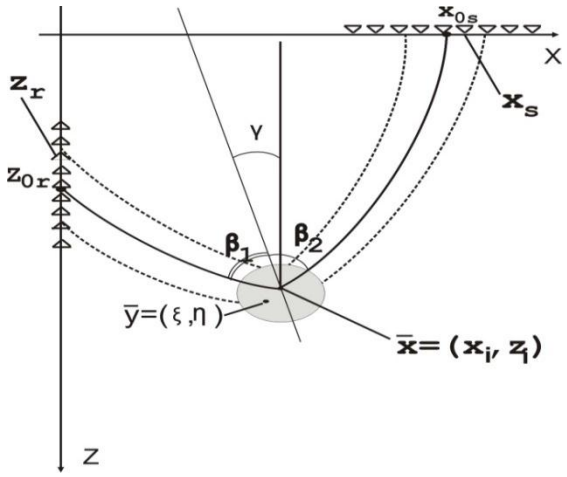


Рис. 2. Геометрия метода

Численные результаты. Численные результаты были получены для TTI модели, которая содержит слои с различными наклонами (см. рис. 2). Многокомпонентные синтетические данные были посчитаны посредством конечно-разностного моделирования. Целевая область, выбранная для построения изображений, обозначена чёрным прямоугольником на рис.2. Выбраны следующие углы раствора β_2= 45° и углы наклона γ = [25°:5:65°], β_1 вычисляется для каждой точки, в которой строится изображение, по правилу $\sin(\beta_2)/c_{qp}(\bar{x};\beta_2) = \sin(\beta_1)/c_{qp}(\bar{x};\beta_1)$. Разработанный алгоритм был применён в изотропной и анизотропной макро моделях. Селективные изображения представлены на рис. 4a (изотропная модель) и рис. 4b (анизотропная модель).

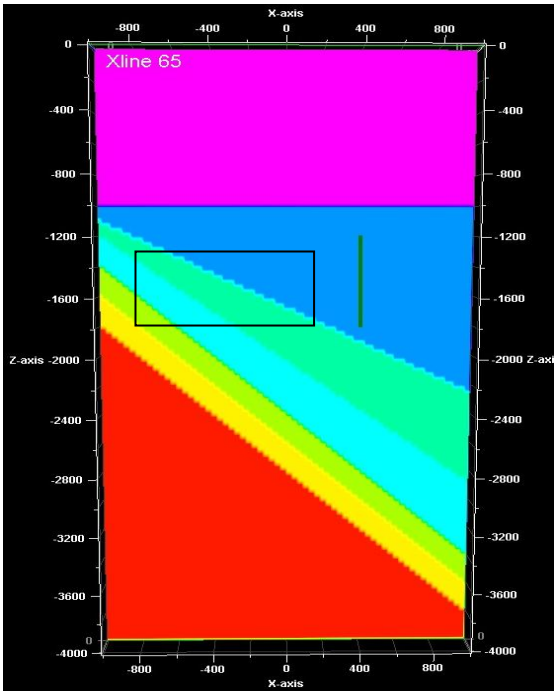


Рис. 2. TTI модель. Система наблюдения и целевая область

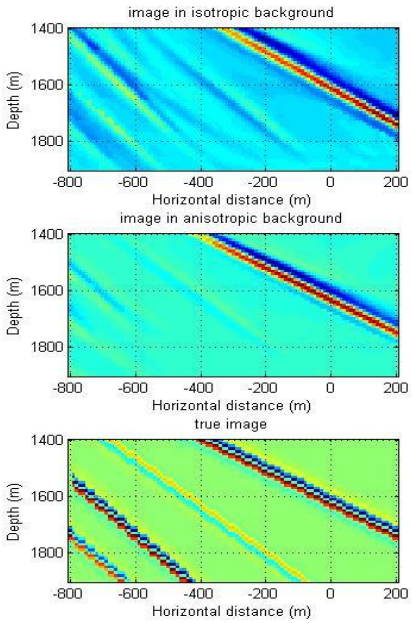


Рис. 3. Изображения в изотропной модели (вверху), в анизотропной (середина), истинная модель (внизу)

Сумма селективных изображений и истинная модель представлены на рис. 3.

Мы видим, что положения границ отличаются от истинных на рис. 4a, и естьвидимые артефакты, связанные с обменом волн. То же самое мы видим на рис. 3 (вверху), более того изображение является дефокусированным. Это является следствием неучёта анизотропии. Но положение границ правильно изображено на рис. 4b и на рис. 3 (в центре), а также нет видимых артефактов, и изображение является достаточно сфокусированным. Освещение двух правых границ на всех селективных изображениях неплохое, поэтому амплитуды восстанавливаются довольно хорошо. Но освещение двух левых границ на разных селективных изображениях значительно отличается, и, следовательно, амплитуды восстанавливаются не так хорошо на суммарном изображении. Также следует подчеркнуть, что каждое селективное изображение дает наилучшие восстановления границы, где угол наклона границы является самым близким к углу наклона селктивного изображения.

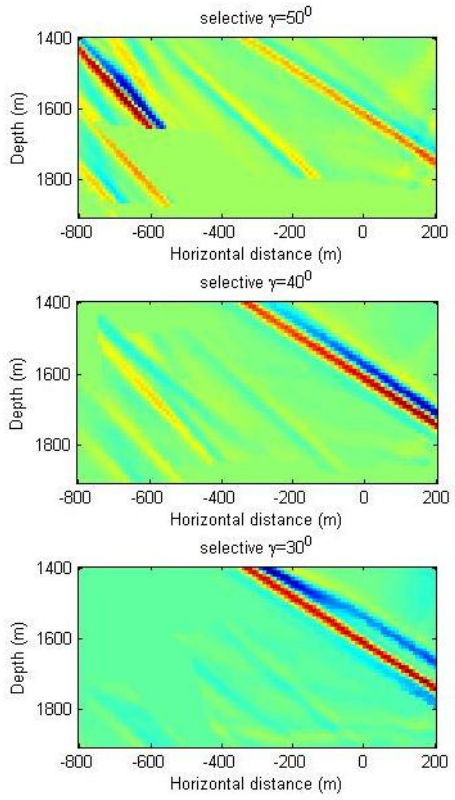


Рис. 4a. Селективные изображения в изотропной модели

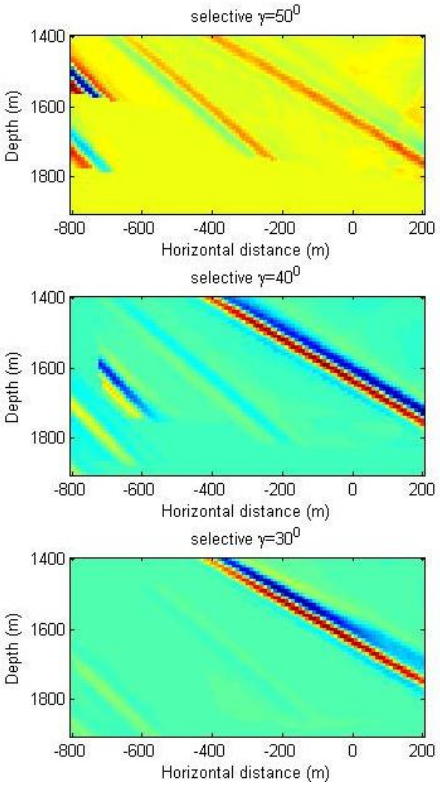


Рис. 4b. Селективные изображения в TTI модели

Заключение. Представленный здесь анизотропный аналог ранее развитой процедуры построения изображений на основе гауссовых пучков наследует все свойства своего изотропного вариант. Данная методика имеет важное свойство, позволяющее получать селективные изображения, содержащие только лишь заданным образом ориентированные отражающие элементы. На этой основе может быть получена информация о распределении в среде неоднородностей субсейсмического масштаба. Стоит отметить, что данный подход не требует предварительного разделения P-и S-волн. В случае анизотропной модели, правильность анизотропии должна быть гарантирована, в противном случае изображение будет неправильным.

Благодарности.

Исследования, описанные в этой публикации, были сделаны в сотрудничестве с Московским научно-исследовательским центром компании Шлюмберже и Хьюстонским технологическим центром компании Шлюмберже ВестернДжико, и частично поддержаны Российским Фондом Фундаментальных Исследований, гранты 10-05-00233, 11-05-00947, 11-05-12022 и 12 - 05-00943.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Номофилов, В.Е. Асимптотические решения системы дифференциальных уравнений второго порядка, сосредоточенные в окрестности луча [Текст] В.Е. Номофилов // Зап. научн. семин. ЛОМИ. – 1981. – т.104. – С.170-179.

2. Alkhalifah, T. An acoustic wave equation for anisotropic media [Text] / T. Alkhalifah // Geophysics. – 2000. – v. 65. – P. 1239–1250.

3. Ball, G. Estimation of anisotropy and anisotropic 3-D prestack depth migration, offshore Zaire [Text] / G. Ball // Geophysics. – 1995. – v. 60. – P. 1495–1513.

4. Burridge, R., De Hoop M.V., Miller, D. and Spencer, C. Multiparameter inversion in anisotropic media [Text] / R. Burridge, M.V. De Hoop, D. Miller, and C. Spencer // Geophys. J. Int. – 1998. – v. 134. – P. 757–777.

5. Du, X., Fletcher, R. and Fowler, P. J. Pure P-wave propagators persus pseudo-acoustic propagators for RTM in VTI media [Text] / X. Du, R. Fletcher and P.J. Fowler // 72nd EAGE Annual Conference and Exhibition. – 2010. – Extended Abstracts. – C013.

6. Etgen, J. and Brandsberg-Dahl, S. The pseudo-analytical method: application of pseudo-Laplacians to acoustic and acoustic anisotropic wave propagation [Text] / J. Etgen and S. Brandsberg-Dahl // 79th SEG Annual International Meeting. – 2009. – Extended Abstracts. – P. 2552–2555.

7. Grechka, V., Zhang, L. and Rector, J.W. Shear waves in acoustic anisotropic media [Text] / V. Grechka, L. Zhang and J.W. Rector // Geophysics. – 2004. – v. 69. – P. 576–582.

8. Protasov, M.I. and Tcheverda, V.A. True amplitude imaging by inverse generalized Radon transform based on Gaussian beam decomposition of the acoustic Green's function / M.I. Protasov and V.A. Tcheverda // Geophysical Prospecting. – 2011. – v. 59(2). – P.197–209.

9. Protasov M.I., Tcheverda V.A., Borodin I., and Shevchenko, A. Elastic Gaussian beam imaging of walk-away VSP data / M.I. Protasov, V.A. Tcheverda, I. Borodin, and A. Shevchenko, // 80th SEG Annual International Meeting. – 2010. – Extended Abstracts. – P. 4319–4323.

© М.И. Протасов, И. Бородин, 2012

УДК 551.24:551.76 (571.1:571.5)

СЕЙСМОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОЙ СТРУКТУРЫ МЕЗОЗОЙСКО-КАЙНОЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ЗОНЫ СОЧЛЕНЕНИЯ ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ ГЕОСИНЕКЛИЗЫ И ЕНИСЕЙ-ХАТАНГСКОГО РЕГИОНАЛЬНОГО ПРОГИБА

Михаил Александрович Фомин
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, 630090, г. Новосибирск, пр. ак. Коптюга, 3, младший научный сотрудник Лаборатории сейсмогеологического и математического моделирования природных нефтегазовых систем, тел. 306-63-70, e-mail: FominMA@ipgg.nsc.ru

На основе анализа временных сейсмических профилей, а также структурных карт по четырем опорным стратиграфическим уровням рассмотрены принципиальные черты современного строения мезо-кайнозойского осадочного чехла области сочленения Западно-Сибирской геосинеклизы и Енисей-Хатангского регионального прогиба. Сделан вывод, что положительные структуры в пределах территории исследования формировались в разное время. Результаты исследования необходимо учитывать при постановке геологоразведочных работ на нефть и газ в этом регионе.

Ключевые слова: Енисей-Хатангский региональный прогиб, Западно-Сибирская геосинеклиза, осадочный чехол, современная структура, временной сейсмический разрез.

SEISMOGEOLOGIC CHARACTERISTICS AND ANALYSIS OF MESOZOIC-KAINOZOIC MODERN STRUCTURE OF THE YENISEY-KHATANGA REGIONAL TROUGH AND WEST-SIBERIA GEOSYNCLINE CONNECTION ZONE

Mikhail A. Fomin
Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (IPGG SB RAS), Acad. Koptyug av., 3 Novosibirsk, 630090, Junior research scientist, Laboratory of seismological and mathematical modeling of new natural oil-and-gas systems, tel. 306-63-70, e-mail: FominMA@ipgg.nsc.ru

Based on analysis of the time sections and structure maps of Mesozoic-Cenozoic sedimentary cover four reference stratigraphic levels, general features of the modern structure of Yenisey-Khatanga regional trough and West-Siberia Geosyncline are considered. Regionally, uplifting within studied area were formed in different time periods. The investigation results should be taken into account when planning oil and gas exploration works.

Key words: Yenisey-Khatanga regional trough, West-Siberia Geosyncline, sedimentary cover, modern structure, time section.

Енисей-Хатангский региональный прогиб (ЕХРП) традиционно рассматривается в качестве восточного продолжения Западно-Сибирской геосинеклизы (ЗСГ). Осадочный чехол этой территории также выполнен мезозойско-кайнозойскими терригенными осадками. Четкой границы между этими депрессионными зонами не существует. Обычно она проводится по смене субширотного простирания тектонических элементов, свойственного

региональному прогибу, на субмеридиональное, характерное для структур северных районов геосинеклизы.

Для того чтобы наиболее полно рассмотреть современное геологическое строение осадочного чехла зоны сочленения Западно-Сибирской геосинеклизы и Енисей-Хатангского регионального прогиба, были выбраны четыре региональных сейсмопрофиля (рис. 1). При интерпретации временных разрезов была проведена корреляция и увязка реперных сейсмических отражающих горизонтов с данными глубокого бурения. Одновременно выделялись дизъюнктивные нарушения. Некоторые принципиальные черты современного строения мезозойско-кайнозойских отложений Енисей-Хатангского регионального прогиба уже рассматривалось автором ранее [2, 3, 4].

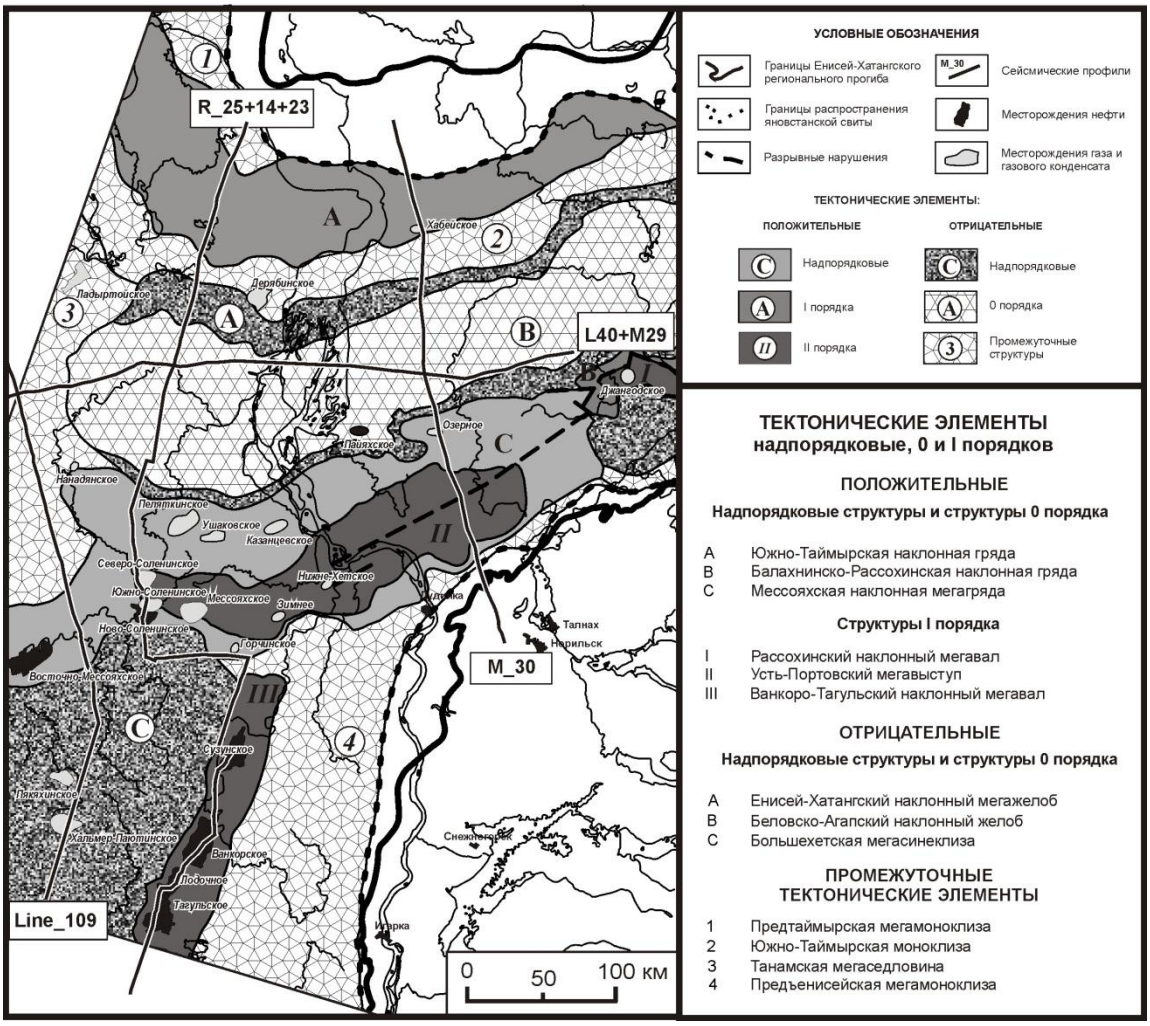


Рис. 1. Тектоническая карта зоны сочленения Западно-Сибирской геосинеклизы и Енисей-Хатангского регионального прогиба [4]

В мезозойско-кайнозойском осадочном чехле Западно-Сибирской геосинеклизы (ЗСГ) выделяется три региональных сейсмогеологических мегакомплекса: юрский, неокомский (берриас-нижнеаптский), апт-альб-сеноманский. Границами между ними являются выдержанные по мощности трансгрессивные глинистые пачки, сформировавшиеся в эпохи трансгрессий и

получившими распространение на обширных территориях. Именно к этим геологическим реперам приурочены наиболее энергетически выраженные отражающие сейсмические горизонты. Связано это с тем, что, во-первых, «чистые» аргиллиты обладают аномально низкими относительно вмещающих песчано-алевролитовых пород скоростями распространения продольных сейсмических волн; во-вторых, для среднечастотной сейсморазведки при толщине акустически аномальной пачки 25-50 м обеспечивается синфазное суммирование волн, сформировавшихся на ее кровле и подошве, что приводит к увеличению энергии интерференционного сигнала [1].

Анализ новейших геолого-геофизических материалов позволяет сделать вывод о том, что мезозойско-кайнозойские платформенные дислокации Енисей-Хатангского регионального прогиба и история тектонического развития этого региона в значительной мере аналогичны территории Западно-Сибирской геосинеклизы. В связи с этим в разрезе осадочного чехла ЕХРП можно выделить четыре сейсмогеологических мегакомплекса, которые по объему будут отвечать также нефтегазоперспективным комплексам: верхнетриас-юрский, неокомский, апт-альб-сеноманский и турон-кайнозойский.

На большей части Западно-Сибирского осадочного бассейна разрез верхней юры заканчивается баженовской свитой, представленной высокоуглеродистыми глинисто-кремнистыми породами с аномально низкими акустическими характеристиками, к которым приурочен один из высокоамплитудных реперных отражающих сейсмических горизонтов (Б). Этот уровень наиболее четко отображается на временных сейсмических разрезах. На территории Енисей-Хатангского регионального прогиба отражающий горизонт Б приурочен к пачке аргиллитов в базальной части яновстанской свиты. Аналогами кошайской пачки (алымская свита) и кузнецовской свиты, выделенных в пределах ЗСГ, являются соответственно глинистые пачки, залегающие в кровельных частях малохетской (горизонт М) и долганской (горизонт Г) свит в осадочном чехле Енисей-Хатангского регионального прогиба.

В Енисей-Хатангском региональном прогибе в депрессионных зонах, в которых получила развитие мощная толща терригенных отложений триаса и юры, глубокие скважины, в лучшем случае, вскрывают среднеюрские отложения. В силу этого стратификация глубокозалегающих отражающих горизонтов, фиксируемых на временных разрезах, осуществлялась посредством аналогии со сверхглубокими скважинами, пробуренными на территории Западной Сибири. Согласно этой стратификации отражающий горизонт А приурочен к границе, которая является изохронным аналогом подошвы юрских отложений в Западно-Сибирской геосинеклизе. Отражающий горизонт F контролирует кровлю палеозоя [1].

Горизонт А ограничивает в кровле **триасовый сейсмогеологический мегакомплекс,** обладает высоким энергетическим уровнем и зачастую прослеживается не хуже горизонта Б, который является наиболее надежным сейсмическим репером в Западно-Сибирском бассейне. Комплекс, в целом, выдержан по мощности; в подошве ограничен отражающим горизонтом F.

На временных разрезах **юрский сейсмогеологический мегакомплекс** в основании ограничен отражающим горизонтом А; в кровле – горизонтом Б. Выше уже говорилось, что отражающий горизонт Б является наиболее надежным репером в осадочном чехле Западно-Сибирской геосинеклизы. Это обусловлено небольшой (около 30 м), выдержанной мощностью баженовской свиты, однородностью литологического состава (глины и аргиллиты), а также широким распространением этих отложений в пределах Западно-Сибирского осадочного бассейна.

В зоне сочленения Енисей-Хатангского регионального прогиба и ЗСГ баженовская свита замещается яновстанской, что сопровождается значительным увеличением мощности отложений (до 700 м). Несмотря на это, выделение на временных разрезах отражающего горизонта Б в пределах территории исследования представляется наиболее очевидным. Дело в том, что, во-первых, данный сейсмический репер характеризуется высокой амплитудой, динамической выразительностью и устойчивостью, а во-вторых, «подстилает» неокомские клиноформы, которые отчетливо выражены на временных разрезах, что существенно облегчает его идентификацию в сейсмической записи.

Неокомский сейсмогеологический мегакомплекс на временных разрезах ограничен отражающими горизонтами Б в подошве и М в кровле. Отложения той части разреза осадочного чехла, в пределах которой находится горизонт М, достаточно хорошо выражены энергетически. В связи с этим, несмотря на высокую амплитуду и динамическую контрастность отражающий горизонт не выделяется на фоне подстилающих и перекрывающих отложений также ярко, как нижележащие горизонты Б и А. Тем не менее, поскольку неокомские отложения в пределах территории исследования вскрыты большим количеством скважин, сделать кондиционную стратиграфическую привязку этого горизонта на временных разрезах не трудно.

В составе неокомского мегакомплекса Западно-Сибирского мегабассейна выделяют клиноформный и перекрывающий его шельфовый комплексы отложений. Нижняя часть неокома отображается на временных разрезах серией косослоистых отражающих горизонтов, которые последовательно «утыкаются» в горизонт Б. Наиболее динамически-выраженные и прослеживаемые на относительно больших расстояниях косослоистые отражающие горизонты формируются на пачках трансгрессивных аргиллитов, обладающих аномально низкими скоростями распространения продольных сейсмических волн, и контролируют региональные клиноформы [1].

Анализ рассмотренных сейсмопрофилей позволяет сделать вывод, что все клиноформы наклонены в северном и северо-западном направлениях; кроме того, они доходят практически до Таймырской складчато-покровной области. Из этого следует, что в неокомское время областью сноса являлась Сибирская платформа, а Таймырский блок располагался гипсометрически ниже. Необходимо отметить еще один момент – клиноформный комплекс распространен только к северу от Мессояхской наклонной мегагряды. Южнее отложения этого возраста залегают субпараллельно подстилающей толще верхнетриас-юрского комплекса и представлены шельфовыми разностями.

На временных разрезах **апт-альб-сеноманский мегакомплекс** в основании контролируется отражающим горизонтом М, а в кровле – горизонтом Г. Для континентальных отложений апт-альб-сеноманского мегакомплекса характерны прерывистые, хаотически распределенные отражения. На локальных площадях внутри комплекса выделяются относительно устойчивые отражающие горизонты, интенсивность и динамическая выразительность которых существенно меняются, а сами они не прослеживаются на значительные расстояния [1]. В целом, апт-альб-сеноманский мегакомплекс характеризуется наиболее выдержанной мощностью по сравнению с нижележащими неокомским и верхнетриас-юрским мегакомплексами.

Глинистые горизонты внутри **турон-кайнозойского сейсмогеологического** мегакомплекса выражены не столь ярко, как нижележащие, характеризуются прерывистостью сейсмической записи. Часто наблюдаются хаотически распределенные отражения, что связано с близостью к дневной поверхности.

В результате детального анализа региональных временных сейсмических разрезов было установлено, что осадочный чехол западной части Енисей-Хатангского регионального прогиба и прилегающей территории Западно-Сибирской геосинеклизы представляет собой единой целое.

На севере Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции открыты такие газовые месторождения-гиганты как Уренгойское, Медвежье, Ямбургское, Самбургское, Заполярное. На прилегающей с юго-запада к району исследования территории открыто гигантское Ванкорское нефтегазовое месторождение. Здесь же расположены Тагульское, Сузунское, Лодочное и др. месторождения. В пределах Мессояхской наклонной мегагряды, ограничивающей Енисей-Хатангский региональный прогиб на юго-западе, залежи углеводородов открыты на Западно-Мессояхской, Восточно-Мессояхской и др. площадях.

Территория Енисей-Хатангского регионального прогиба требует дальнейшего изучения и, не исключено, что здесь будут открыты другие нефтяные и газовые месторождения. В настоящее время перспективы нефтегазоносности мезозойских отложений, особенно неокомского мегакомплекса, территории исследования оцениваются достаточно высоко.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Конторович В.А. Тектоника и нефтегазоносность западной части Енисей-Хатангского регионального прогиба // Геология и геофизика. – 2011. – Т. 52, № 8. – С. 1027-1050.

2. Фомин М.А. Современная структура мезозойско-кайнозойского осадочного чехла Енисей-Хатангского регионального прогиба по опорным уровням [Электронный ресурс] / Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2010. – Т.5, №1.

3. Фомин М.А., Беляев С.Ю., Ершов С.В. Пликативная и дизъюнктивная тектоника мезозойско-кайнозойского осадочного чехла Енисей-Хатангского регионального прогиба // Геология нефти и газа. – 2011. – №8. – С. 128-132.

4. Фомин М.А. Анализ тектонического строения мезозойско-кайнозойского осадочного чехла Енисей-Хатангского регионального прогиба по опорным горизонтам и тектонические предпосылки его нефтегазоносности // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2011. – №9. – С. 4-20.

© М.А. Фомин, 2012

УДК 550.834+620.179

ВЛИЯНИЕ ЩЕЛЕВИДНЫХ ДЕФЕКТОВ НА ПОЛЕ СТОЯЧИХ ВОЛН, ФОРМИРУЮЩИХСЯ В ЗАКРЕПЛЕННОЙ БАЛКЕ ПОД ДЕЙСТВИЕМ АКУСТИЧЕСКИХ ШУМОВ

Константин Владимирович Федин
Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, 630090, г. Новосибирск, просп. акад. Коптюга, 3, аспирант, тел. (383)333-34-19, e-mail: fedinkv@ipgg.nsc.ru

Алексей Александрович Каргаполов
Новосибирский государственный университет, 630090, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2, магистрант геолого-геофизического факультета, тел. (952)905-09-23

Юрий Иванович Колесников
Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, 630090, г. Новосибирск, просп. акад. Коптюга, 3, доктор технических наук, доцент, заведующий лабораторией экспериментальной сейсмологии, тел. (383)333-31-38, e-mail: kolesnikovyi@ipgg.nsc.ru

Экспериментально исследовано влияние продольных щелевидных дефектов на поле стоячих волн, формирующихся в балках прямоугольного сечения под действием акустических шумов. Полученные результаты могут быть использованы для разработки методов обследования стоячими волнами таких конструктивных элементов горнодобывающих предприятий как целики, крепи, опоры и т. д.

Ключевые слова: шумовое поле, стоячие волны, балки с дефектами, физическое моделирование.

INFLUENCE OF SLIT-LIKE DEFECTS ON STANDING WAVES FIELD FORMING IN FIXED BEAM UNDER THE ACTION OF ACOUSTIC NOISE

Konstantin V. Fedin
Trofimuk institute of petroleum geology and geophysics SB RAS, 3 Pr. Acad. Koptyuga, Novosibirsk 630090, post-graduate student, tel. (383) 333-34-19, e-mail: fedinkv@ipgg.nsc.ru

Aleksey A. Kargapolov
Novosibirsk State University, 2 Pirogova, Novosibirsk 630090, undergraduate, Department of Geology and Geophysics

Yury I. Kolesnikov
Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3 Pr. Acad. Koptyuga, Novosibirsk 630090, Doctor of Science (geophysics), associate professor, head of Laboratory of Experimental Seismology, tel. (383)333-31-38, e-mail: kolesnikovyi@ipgg.nsc.ru

Experiments were carried out to investigate the influence of longitudinal slit-like defects on the standing waves field forming in rectangular beams under the action of acoustic noise. The results can be used to develop techniques for inspection of such structural components of mining industry as pillars, linings, uprights, etc. using standing waves.

Key words: noise field, standing waves, beams with defects, physical modeling.

Введение

В последние годы разработана и успешно применяется в ряде организаций технология обследования инженерных сооружений, позволяющая по разновременным записям поля микросейсм в разных точках исследуемых объектов определять значения их собственных частот и изучать формы стоячих волн, формирующихся в сооружениях под действием микросейсмических колебаний [1]. Хотя изначально этот метод разрабатывался для обследования крупных объектов (плотин, зданий, промышленных корпусов и т.д.), очевидно, что нет никаких принципиальных ограничений на его адаптацию к другим масштабным уровням.

На предприятиях горнодобывающей промышленности существует множество относительно небольших объектов, которые в первом приближении могут быть аппроксимированы балками (целики, крепи, опоры и другие конструктивные элементы подземных и наземных сооружений), и состояние которых влияет на безопасность проводимых работ. В данной статье на результатах физического моделирования показана эффективность применения упомянутой выше методики для оценки состояния таких объектов.

Методика физического моделирования

Эксперименты проводились на образцах из бетона в форме параллелепипедов 3.5*7*50 см^3. Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1. Регистрация микросейсмического поля осуществлялась с помощью двух датчиков, выполненных на основе пьезокерамических дисков диаметром 2 мм и толщиной 1 мм. Один из датчиков использовался как опорный и устанавливался неподвижно на одной из граней образца (наибольшей или средней), а другой в ходе экспериментов передвигался с шагом 1 см по продольному профилю наблюдений, расположенному посередине противоположной грани. Оси максимальной чувствительности датчиков были направлены перпендикулярно к этим граням.

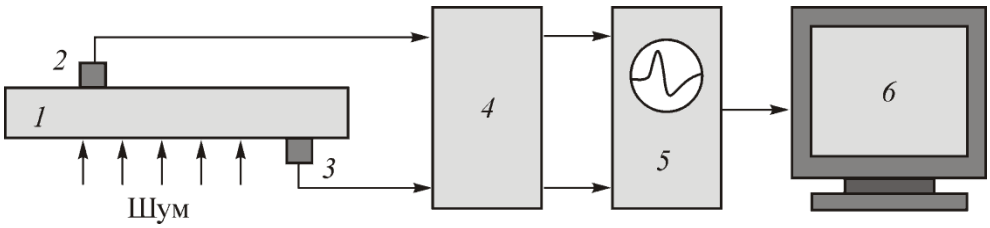


Рис. 1. Схема эксперимента:

1 – модель; *2, 3* – передвижной и опорный ультразвуковые приемники; *4* – усилитель; *5* – цифровой осциллограф; *6* – персональный компьютер

При такой методике наблюдений после обработки шумового поля из всего многообразия стоячих волн наилучшим образом выделялись изгибные колебания образцов либо по толщине (рис. 2*а*) при установке датчиков на

больших гранях образца, либо по ширине (рис. 2*б*) при расположении датчиков на средних по площади гранях.

Сигналы от датчиков после усиления подавались на двухканальный цифровой осциллограф В-423 и затем в цифровом виде записывались на жесткий диск персонального компьютера для последующей обработки. Для каждого положения подвижного датчика производилась синхронная запись сигналов от обоих датчиков с частотой дискретизации 100 кГц общей длительностью примерно 6.5 с.

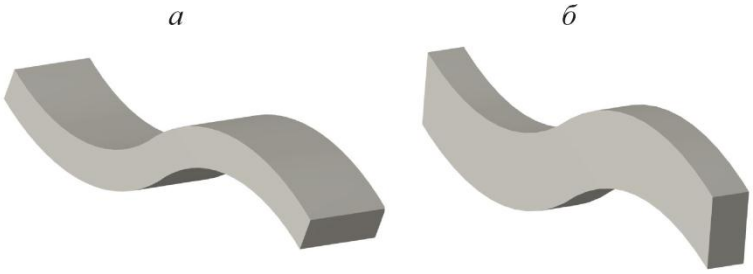


Рис. 2. Схематическое изображение (в увеличенном масштабе) изгибных колебаний балки по толщине (*а*) и по ширине (*б*) для второй моды стоячих волн

Поскольку в лабораторных условиях уровень естественных акустических шумов оказался недостаточным для относительно быстрого получения экспериментальных данных, дополнительное шумовое поле создавалось скользящими движениями жесткой щетки по одной из граней образца.

Стоячие волны в незакрепленной балке

Для обработки данных использовалось разработанное в Алтае-Саянском филиале Геофизической службы СО РАН программное обеспечение для упомянутой выше методики обследования зданий и сооружений стоячими волнами, выделяемыми из поля микросейсм (описание методики можно найти в [1]). В этой методике реализована процедура преобразования разновременных данных в «квазисинхронные». Дальнейшее суммирование амплитудных спектров последовательных участков уже «синхронных» записей шумового поля, полученных для каждого положения подвижного датчика, позволяет выделять когерентные колебания, связанные со стоячими волнами, на фоне некогерентного шума.

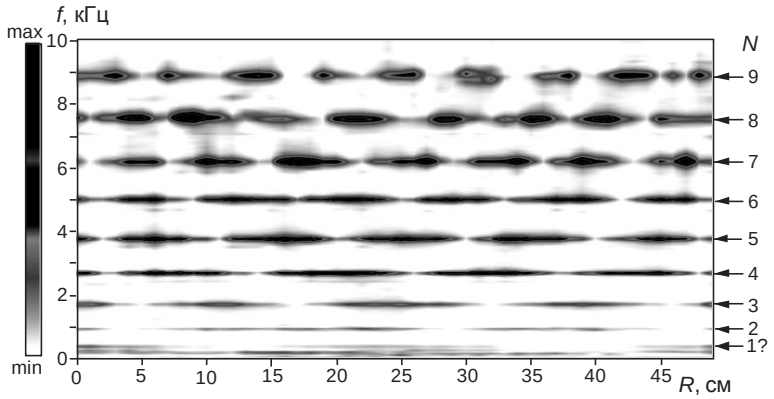


Рис. 3. Восстановленное из акустических шумов поле изгибных стоячих волн в незакрепленной балке: f – частота; R – расстояние по профилю наблюдений вдоль балки; N – номер моды

Пример такого выделения приведен на рис. 3, показывающем формы изгибных мод в виде распределения амплитудных спектров вдоль продольного

профиля на поверхности наибольшей грани незакрепленной балки. На рисунке каждой изгибной моде соответствует чередование вдоль профиля наблюдений на характерной для нее собственной частоте максимумов и минимумов амплитудных спектров. Числом максимумов на каждой собственной частоте, соответствующим числу полудлин волн на длине образца, определяется номер изгибной моды.

Для первых восьми мод изгибных стоячих волн в незакрепленной балке прямоугольного сечения из бетона было проведено сравнение собственных частот, определенных экспериментально и рассчитанных численно. Численные расчеты проводились методом конечных элементов с помощью свободно распространяемой программы ABAQUS Student Edition [2]. При расчетах использовались экспериментально определенные данные о плотности ρ и скоростях продольных V_p и поперечных V_s волн в исследуемом образце ($\rho = 1.94$ г/см^3, $V_p = 2530$ м/с, $V_s = 1490$ м/с). Сравнение показало, что почти для всех мод частоты, определенные экспериментально, отличаются от рассчитанных методом конечных элементов не более чем на 2 %, а среднее отклонение составило 1.1 %.

Собственные частоты закрепленной балки со щелевидными дефектами

В основной серии экспериментов исследовались собственные частоты балки с закрепленными торцевыми гранями, которую можно рассматривать как модель несущих элементов различных, в том числе подземных, сооружений. Для фиксации торцевых граней балки ее концы были зацементированы в два блока кубической формы (рис. 4*а*) из того же бетона, масса каждого блока превышала массу балки примерно в 20 раз. Длина свободной (незацементированной) части балки составляла 49.5 см. На рис. 4*б* схематически изображены виды исследованных моделей. Кроме монолитной закрепленной балки (модель 1), были проведены эксперименты с балками, в центральной части которых перпендикулярно наибольшей грани образца были пропилены продольные щели шириной $4-5$ мм и длиной 6 и 18 см (модели *2* и *3*).

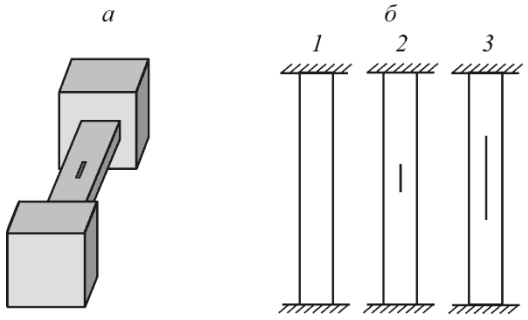


Рис. 4. Схема крепления балки (*а*) и виды ее моделей (*б*)

Частоты восьми мод для этих трех моделей приведены на рис. 5. Как можно видеть из рисунка, продольные щели оказывают значительное влияние на собственные частоты изгибных колебаний. Если в монолитном образце, как

и следовало ожидать, собственные частоты при изгибе по толщине значительно ниже частот при изгибе по ширине, то уже относительно небольшая щель длиной 6 см приводит к тому, что значения собственных частот колебаний по толщине и ширине становятся сопоставимыми. В модели со щелью длиной 18 см собственные частоты изгибных колебаний по толщине становятся уже существенно выше частот колебаний по ширине балки.

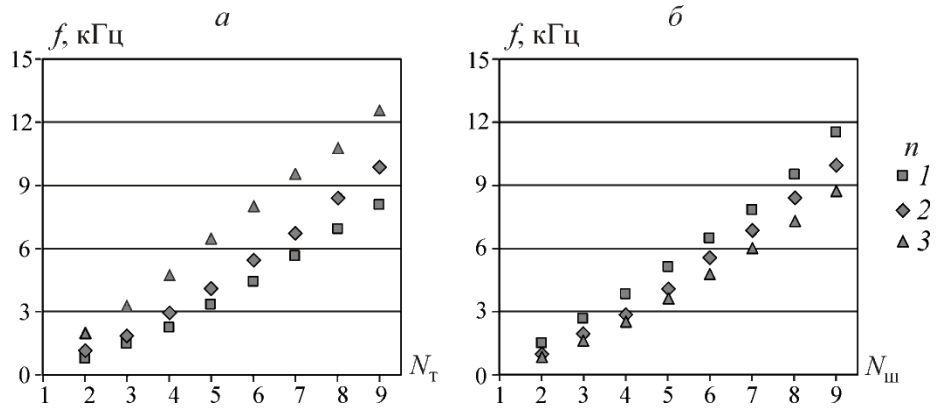


Рис. 5. Собственные частоты восьми мод изгибных стоячих волн по толщине балки (*а*) и по ее ширине (*б*) для трех моделей: $N_т$ и $N_ш$ – номера мод изгибных колебаний по толщине и ширине соответственно; *f* – частота; *n* – номер модели (см. рис. 4*б*).

Анализ экспериментальных данных показал, что наличие дефектов данного вида приводит к разнонаправленному изменению собственных частот изгибных колебаний по толщине и по ширине балки – если собственные частоты при изгибе балки по толщине повышаются, то при изгибе по ширине они понижаются (рис. 5). При этом, как и следовало ожидать, увеличение длины продольной щели приводит к более значительным изменениям собственных частот, особенно для изгибных колебаний по толщине.

Таким образом, исходя из результатов проведенных экспериментов, можно констатировать, что в килогерцовом диапазоне частот из шумового поля могут быть уверенно выделены формирующиеся под его воздействием в ограниченных телах стоячие волны, которые можно использовать для диагностики, а при повторяющихся наблюдениях и для мониторинга состояния этих объектов.

Заключение

На примере простых моделей показана принципиальная возможность диагностики и мониторинга состояния различных объектов на основе анализа собственных частот и форм стоячих волн, выделяемых из шумового поля. В частности, полученные результаты могут быть использованы для разработки методов обследования стоячими волнами таких объектов горнодобывающих предприятий как целики, элементы крепей, различного рода опоры, балки и т. д.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Еманов А.Ф., Селезнёв В.С., Бах А.А. и др. Пересчёт стоячих волн при детальных инженерно-сейсмологических исследованиях // Геология и геофизика. – 2002. – Т. 43, № 2. – С. 192-207.

2. Abaqus Student Edition / http://www.simulia.com/academics/student.html

© К.В. Федин, А.А. Каргаполов, Ю.И. Колесников, 2012

УДК 550.832.7

ИНТЕГРИРУЕМЫЙ ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ ВИКИЗ

Марат Шаукатович Урамаев
НГУ, 630090, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2, студент, тел. 8-923-177-70-27, e-mail: uramaevmsh@gmail.com

Александр Александрович Власов
ИНГГ СО РАН, 630090, г. Новосибирск, пр. академика Коптюга, 3, младший научный сотрудник, e-mail: vlasovaa@ipgg.nsc.ru

Андрей Юрьевич Соболев
ИНГГ СО РАН, 630090, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга 3, кандидат технических наук, научный сотрудник, e-mail: sobolevay@ipgg.nsc.ru

В статье представлено описание интегрируемого программного модуля, позволяющего проводить полноценную интерпретацию данных аппаратуры ВИКИЗ, ВЭМКЗ, ВЭМКЗ-20 в рамках одномерной цилиндрически-слоистой модели. Приведен пример интеграции модуля в систему Techlog.

Ключевые слова: Emfcore, интерпретация данных ВИКИЗ, Techlog.

INTEGRABLE PROGRAM MODULE OF VIKIZ DATA INTERPRETATION

Marat Sh. Uramaev
Novosibirsk State University, 2 Pirogova, Novosibirsk, 630090, student, tel. 8-923-177-70-27, e-mail: uramaevmsh@gmail.com

Alexander A. Vlasov
A.A. Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, 3 Koptuga, Novosibirsk, 630090, Junior Researcher, e-mail: vlasovaa@ipgg.nsc.ru

Andrew Y. Sobolev
A.A. Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, 3 Koptuga, Novosibirsk, 630090, Research Fellow, Candidate of Technology, e-mail: sobolevay@ipgg.nsc.ru

The article describes the integrable program module that allows to conduct the complete interpretation of the VIKIZ data within a one-dimensional cylindrical-layered model. There is an example of integration of this module into Techlog.

Key words: Emfcore, VIKIZ data interpretation, Techlog

Интерпретация данных ВИКИЗ

Среди известного числа электромагнитных методов геофизического исследования скважин особое внимание уделяется высокочастотному индукционному каротажному изопараметрическому зондированию (ВИКИЗ). Существует несколько программных продуктов, позволяющих обрабатывать и интерпретировать данные, полученные по методу ВИКИЗ. Например,

МФС ВИКИЗ и EMF Pro. В то же время существует множество других крупных геофизических программных комплексов, предоставляющих широкий спектр возможностей обработки каротажных данных. В качестве механизмов интерпретации данных ВИКИЗ они предоставляют либо простые трансформанты, либо межпрограммную интеграцию с приложениями МФС ВИКИЗ и EMF Pro. Одним из таких комплексов является Techlog - продукт компании Schlumberger. Для успешного решения проблемы интерпретации данных ВИКИЗ в крупных геофизических программных комплексах была создана динамическая библиотека под названием Emfcore, которая объединила в себе вычислительные процедуры по обработке данных ВИКИЗ, реализованные лабораторией электромагнитных полей ИНГГ. В качестве исследований принято решение интегрировать Emfcore в программный комплекс Techlog и создать пакет алгоритмов для интерпретации данных ВИКИЗ.

Интеграция библиотеки Emfcore в Techlog

Emfcore и EmfcoreGui представляют из себя независимые программные модули, которые содержат в себе основные математические алгоритмы, необходимые для интерпретации данных аппаратуры ВИКИЗ, ВЭМКЗ и ВЭМКЗ-20, а также набор графических средств для проведения ручной интерпретации. На данный момент доступны следующие алгоритмы:

- Расчет кажущихся сопротивления по значениям разности фаз;
- Восстановление значений разности фаз по кажущимся сопротивлениям;
- Автоматическая расстановка границ;
- Снятие средних значений в пласте;
- Построение стартовой модели;
- Расчет теоретического сигнала (прямая задача);
- Автоматическая инверсия (обратная задача);
- Ручная инверсия;
- Построение карты сопротивлений.

Данный набор вычислительных процедур и диалоговых окон позволяет выполнить полноценную интерпретацию данных ВИКИЗ в рамках одномерной цилиндрически-слоистой модели.

Рис. 1 иллюстрирует архитектуру решения интеграции алгоритмов интерпретации данных ВИКИЗ. Вычислительные процедуры собраны в библиотеку Emfcore. EmfcoreGui содержит элементы пользовательского интерфейса, необходимые для интерпретации. Интеграция бинарных библиотек в Techlog осуществляется с помощью пакета скриптов «Геоэлектрическая модель», написанных на языке Python, которые объединяются в единый программный модуль системы Techlog.

Для удобного хранения и отображения данных Techlog предоставляет возможность задавать семейства каротажных кривых(families). Были созданы

наборы кривых ВИКИЗ с предопределенными заранее единицами измерений и настройками визуализации.

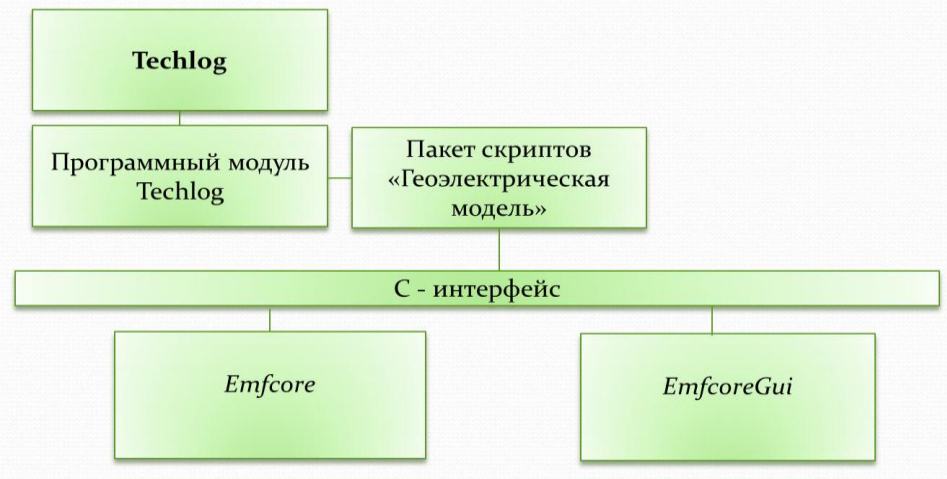
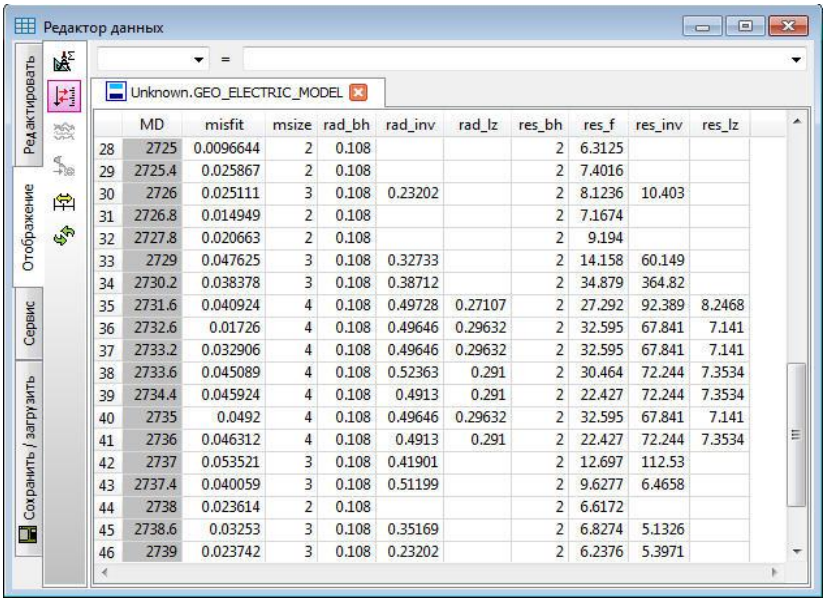


Рис. 1. Схема интеграции программных модулей Emfcore в Techlog

Для геоэлектрической модели создается объект данных Techlog (dataset). Параметры модели хранятся в виде таблицы, столбцы соответствуют физическим характеристикам, строки - номерам пластов рис. 2.



	MD	misfit	msize	rad_bh	rad_inv	rad_lz	res_bh	res_f	res_inv	res_lz
28	2725	0.0096644	2	0.108			2	6.3125		
29	2725.4	0.025867	2	0.108			2	7.4016		
30	2726	0.025111	3	0.108	0.23202		2	8.1236	10.403	
31	2726.8	0.014949	2	0.108			2	7.1674		
32	2727.8	0.020663	2	0.108			2	9.194		
33	2729	0.047625	3	0.108	0.32733		2	14.158	60.149	
34	2730.2	0.038378	3	0.108	0.38712		2	34.879	364.82	
35	2731.6	0.040924	4	0.108	0.49728	0.27107	2	27.292	92.389	8.2468
36	2732.6	0.01726	4	0.108	0.49646	0.29632	2	32.595	67.841	7.141
37	2733.2	0.032906	4	0.108	0.49646	0.29632	2	32.595	67.841	7.141
38	2733.6	0.045089	4	0.108	0.52363	0.291	2	30.464	72.244	7.3534
39	2734.4	0.045924	4	0.108	0.4913	0.291	2	22.427	72.244	7.3534
40	2735	0.0492	4	0.108	0.49646	0.29632	2	32.595	67.841	7.141
41	2736	0.046312	4	0.108	0.4913	0.291	2	22.427	72.244	7.3534
42	2737	0.053521	3	0.108	0.41901		2	12.697	112.53	
43	2737.4	0.040059	3	0.108	0.51199		2	9.6277	6.4658	
44	2738	0.023614	2	0.108			2	6.6172		
45	2738.6	0.03253	3	0.108	0.35169		2	6.8274	5.1326	
46	2739	0.023742	3	0.108	0.23202		2	6.2376	5.3971	

Рис. 2. параметры модели

Для расчета кажущегося сопротивления по данным ВИКИЗ необходимо исполнить соответствующий скрипт, указав в качестве входных параметров набор данных, содержащий кривые разности фаз. В результате в набор будут добавлены кривые, отвечающие значениям кажущихся сопротивлений. Также можно произвести обратную операцию, которая по кривым кажущихся сопротивлений восстановит кривые разности фаз. Для создания геоэлектрической модели околоскважинного пространства необходимо либо

вручную создать набор данных разбивки на пласты, либо исполнить скрипт автоматической расстановки границ, который создаст новый набор данных. После чего необходимо произвести осреднение имеющихся данных в соответствии с имеющейся разбивкой по пластам. В результате исполнения скрипта «снятие средних значений» к набору данных, содержащему исходные кривые разности фаз и отношения амплитуд, в набор данных разбивки будут добавлены кривые средних значений. Далее необходимо создать стартовую модель, которая будет использована в алгоритмах инверсии. Кривые, содержащие информацию о модели, будут добавлены в набор разбивки после применения скрипта «Расчет стартовой модели». Теперь по необходимости можно улучшить имеющуюся модель, исполнив скрипт «автоматической инверсии» или «ручной инверсии», либо произвести расчет теоретического сигнала, соответствующего текущей модели.

Рис. 3. Схема интерпретации данных ВИКИЗ

Пример интерпретации

Первый трек на рис. 4 соответствует кривым набора разности фаз, которые получены в результате измерения ВИКИЗ. Рядом изображены кривые, которые были получены в результате пересчета разности фаз в кажущиеся сопротивления.

Третий трек иллюстрирует работу алгоритмов расстановки границ и расчета средних значений. После построения стартовой модели и решения обратной задачи была создана карта сопротивлений – четвертый трек. Можно отобразить кривые радиусов зон проникновения и окаймляющей зоны, что так

же, как и карта сопротивлений, позволяет увидеть наличие пластов, насыщенных флюидами – пятый трек.

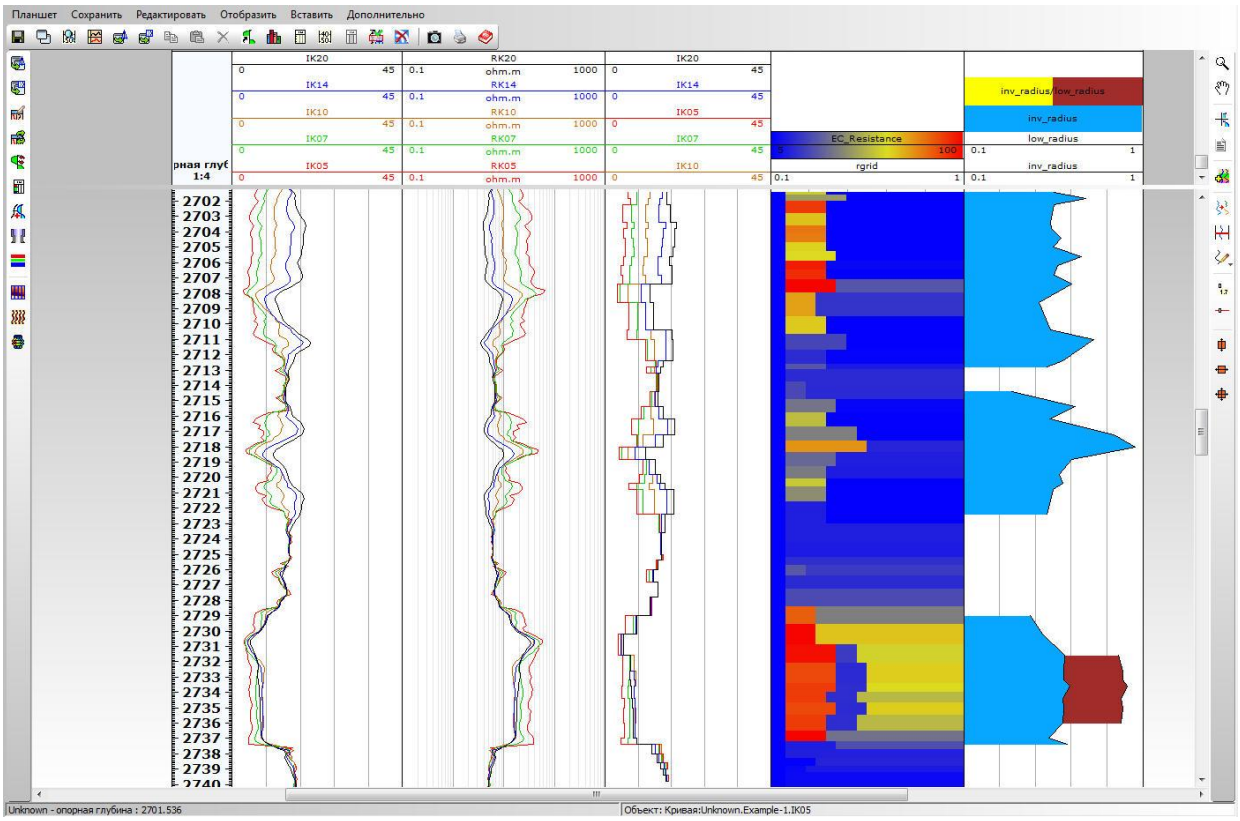


Рис. 4. Пример построения геоэлектрической модели

При запуске ручной инверсии можно самостоятельно редактировать параметры модели для каждого пласта – рис. 5.

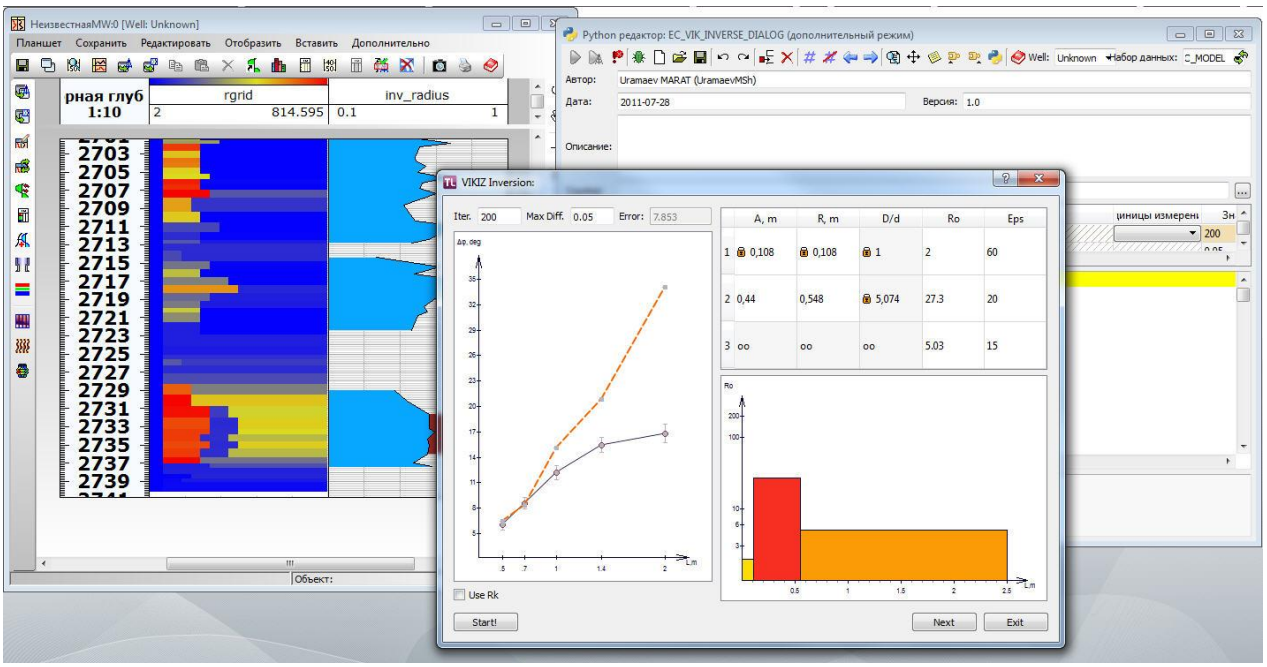


Рис. 5. Ручная инверсия

Заключение

Библиотека Emfcore предоставляет алгоритмы интерпретации данных ВИКИЗ. Они могут быть вызваны из любой программной среды. В качестве примера интеграции был выбран программный комплекс Techlog с его механизмом интеграции Python.

В будущем планируется добавить в Emfcore алгоритмы интерпретации данных индукционного каротажа (ИК), бокового каротажа (БК), бокового каротажного зондирования (БКЗ). Поскольку особое внимание в исследовании скважин уделяется созданию совместной геоэлектрической модели околоскважинного пространства, планируется реализация алгоритма совместной инверсии данных по четырем методам.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Технология исследования нефтегазовых скважин на основе ВИКИЗ. Методическое руководство / Ред. Эпов М.И., Антонов Ю.М. – Новосибирск: НИЦ ОИГГМ СО РАН Изд-во СО РАН, 2000. – 121 с.

© М.Ш. Урамаев, А.А. Власов, А.Ю. Соболев, 2012

УДК 551.24:528.7 (202)

О СТАБИЛЬНОСТИ ЗНАЧЕНИЯ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ ЗЕМЛИ

Владимир Юрьевич Тимофеев
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук, 630090, г. Новосибирск, пр. ак. Коптюга, 3, заведующий лабораторией, тел: (383) 335-64-42, e-mail: timofeevvy@ipgg.nsc.ru

Евгений Николаевич Калиш
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт автоматики и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук, 630090, г. Новосибирск, пр. ак. Коптюга, 1, старший научный сотрудник, e-mail:kalish@iae.nsk.su

Юрий Федорович Стусь
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт автоматики и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук, 630090, г. Новосибирск, пр. ак. Коптюга, 1, старший научный сотрудник, e-mail:yfstus@academ.org

Михаил Григорьевич Смирнов
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт автоматики и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук, 630090, г. Новосибирск, пр. ак. Коптюга, 1, ведущий инженер-конструктор.

Геннадий Петрович Арнаутов
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт автоматики и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук, 630090, г. Новосибирск, пр. ак. Коптюга, 1, ведущий научный сотрудник.

Дмитрий Геннадьевич Ардюков
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук, 630090, г. Новосибирск, пр. ак. Коптюга, 3, старший научный сотрудник, тел: (383) 335-64-42, e-mail: ardyukovdg@ipgg.nsc.ru

Елена Валерьевна Бойко
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук, 630090, г. Новосибирск, пр. ак. Коптюга, 3, научный сотрудник, тел: (383) 335-64-42, e-mail: boykoev@ipgg.nsc.ru

Антон Владимирович Тимофеев
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук, 630090, г. Новосибирск, пр. ак. Коптюга, 3, инженер, тел: (383) 335-64-42, e-mail: timofeevvy@ipgg.nsc.ru

Современные методы определения значения силы тяжести позволяют проводить измерения с точностью до 10^{-9} от g_0 нормального значения (до 1 микрогала = 10 нм/сек^2). При этом исключаются все систематические и периодические эффекты, и появляется вопрос

о стабильности поля силы тяжести Земли во времени. Оценить изменения высоты (радиуса Земли) во времени с точностью до 0.1 мм позволяют современные методы космической геодезии (VLBI метод). Экспериментальные оценки стабильности значения силы тяжести за последние десятилетия сделаны по материалам отечественных и зарубежных обсерваторий, использующих абсолютные лазерные баллистические гравиметры.

Ключевые слова: нормальное значение силы тяжести, изменение радиуса Земли, вариации величины силы тяжести во времени, абсолютный лазерный гравиметр.

ABOUT STABILITY OF EARTH'S GRAVITY

Vladimir Y. Timofeev
Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch Russian Academy of Sciences (IPGG SB RAS), Akademika Koptyuga Prsp., 3, Novosibirsk, 630090, Russian Federation, chief of laboratory, Tel.+7 (383) 335-64-42, e-mail: timofeevvy@ipgg.nsc.ru

Eugenii N. Kalish
Institute of Automatic and Electrometry of Siberian Branch Russian Academy of Sciences (IAE SB RAS), Akademika Koptyuga Prsp., 1, Novosibirsk, 630090, Russian Federation, senior scientific worker, e-mail:kalish@iae.nsk.su

Yurii F.Stus
Institute of Automatic and Electrometry of Siberian Branch Russian Academy of Sciences (IAE SB RAS), Akademika Koptyuga Prsp., 1, Novosibirsk, 630090, Russian Federation, senior scientific worker, e-mail:yfstus@academ.org

Michail G. Smirnov
Institute of Automatic and Electrometry of Siberian Branch Russian Academy of Sciences (IAE SB RAS), Akademika Koptyuga Prsp., 1, Novosibirsk, 630090, Russian Federation, senior engineer

Gennadii P.Arnautov
Institute of Automatic and Electrometry of Siberian Branch Russian Academy of Sciences (IAE SB RAS), Akademika Koptyuga Prsp., 1, Novosibirsk, 630090, Russian Federation, senior scientific worker

Dmitrii G. Ardyukov
Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch Russian Academy of Sciences (IPGG SB RAS), Akademika Koptyuga Prsp., 3, Novosibirsk, 630090, Russian Federation, senior scientific worker, Tel.+7 (383) 335-64-42, e-mail: ardyukovdg@ipgg.nsc.ru

Elena Boyko
Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch Russian Academy of Sciences (IPGG SB RAS), Akademika Koptyuga Prsp., 3, Novosibirsk, 630090, Russian Federation, scientific worker, Tel.+7 (383) 335-64-42, e-mail: boykoev@ipgg.nsc.ru

Anton V. Timofeev
Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch Russian Academy of Sciences (IPGG SB RAS), Akademika Koptyuga Prsp., 3, Novosibirsk, 630090, Russian Federation, engineer, Tel.+7 (383) 335-64-42, e-mail: timofeevvy@ipgg.nsc.ru

Modern method and equipment allow make the measurement of gravity at 10^{-9} level from normal value g_0 (up to 1 microgal = 10 nm/sec^2). We exclude of systematic and periodic effects and after this procedure we must estimate the stability of earth's gravity at time. Space geodesy method (VLBI) can make estimation of the height (Earth radius) at 0.1 mm level. Experimental results were received by absolute laser ballistic gravimeters at our and foreign observatories. These results analyze for stability estimation of earth's gravity for last decades.

Key words: normal value of gravity, changing of Earth's radius, time variation of gravity, absolute laser gravimeter.

Известные зависимые от времени факторы, отражающиеся в изменениях силы тяжести, - это эффекты земного прилива и полюса. Они рассчитываются достаточно точно. Так, для определения приливных параметров и выбора модели, были проведены измерения с гравиметрами Лакоста-Ромберга, по широтному профилю, простирающемуся от севера Франции до острова Сахалин [Тимофеев и др., 2008]. Поправки за движения полюса Земли вводятся с использованием данных международного центра по вращению Земли, полученных экспериментально.

Для описания измерений силы тяжести **g** во времени можно воспользоваться простой моделью: $g(\mathbf{r},t) = g(\mathbf{r}) + g_e(\mathbf{r},t) + \boldsymbol{\varepsilon}$, (1)

где **r** - вектор положения, **t** - время и **ε** - погрешность измерений.

Как известно, сезонная компонента вносит значимый вклад в изменения вертикальных смещений и силы тяжести на пункте. Изучение с помощью GPS приёмников и абсолютного гравиметра FG5 сезонной составляющей и тренда на итальянской обсерватории (Medicina, 1992-2002) показало, что отношение вертикальных смещений и **g** даёт значение коэффициента -3 мм/мкгал, т.е. соответствует вертикальному градиенту **γ** силы тяжести. Сезонные вариации, связанные с изменением уровня грунтовых вод по данным европейской сети достигают 8 мкгал [Hinderer&Crossley, 2006]. Влияние гидрологических факторов сложно рассчитать, но их можно минимизировать, при установке приборов на коренных породах.

Изучение временных вариаций **g** требует оценки стабильности значения силы тяжести Земли и её высот. С учётом наличия скорости при линейной связи получаем следующее соотношение:

$g(\mathbf{r}, t) = g' (t-t_0) + g(\mathbf{r},t_0) + g_e(\mathbf{r},t) + \boldsymbol{\varepsilon}$, (2)

где g' – скорость изменений и t_0 - начальное время.

Связь вариаций **g** и высоты **Z** без учёта деформации среды можно описать как: $\Delta g(t) = \gamma \cdot \Delta Z(t) + \varepsilon$, (3)

где γ - вертикальный градиент g и $\Delta Z(t)$ изменение высоты пункта. Для высот достаточно сложно говорить о глобальных вариациях, так как мировая система измерений находится в развитии, практически каждые пять лет с появлением новых станций происходит небольшое изменение глобальной референц- системы [Altamimi et al., 2007] и уточнение геофизических моделей, используемых при построении и развитии глобальной отсчётной основы [Кафтан, Цыба 2009]. По оценкам отдельных авторов, вариации незначительно

превышают ошибку, например, из обобщения по сети VLBI получена оценка 0.11 ± 0.05 мм в год [Коломиец и др., 2011].

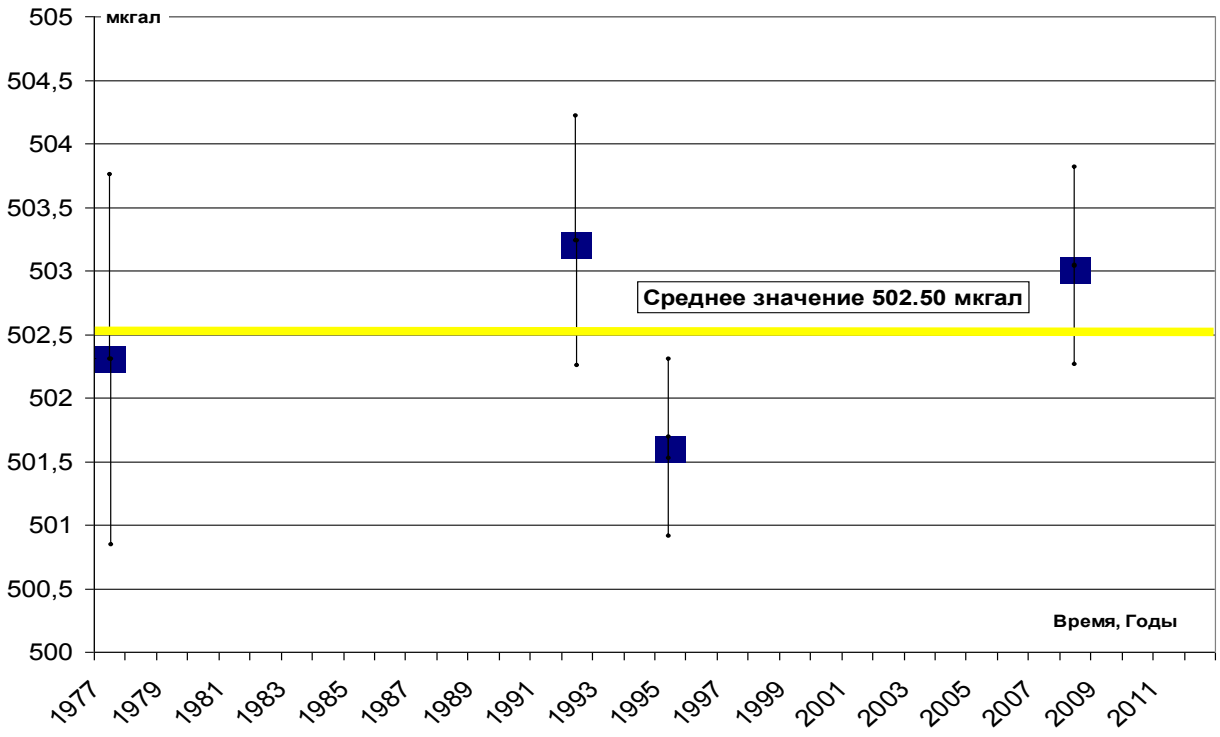


Рис. 1. Обсерватория Ключи, стабильность значения силы тяжести за период 1977-2009 гг., 1,8 мкгал/22 года = 0,08 мкгал/ год.

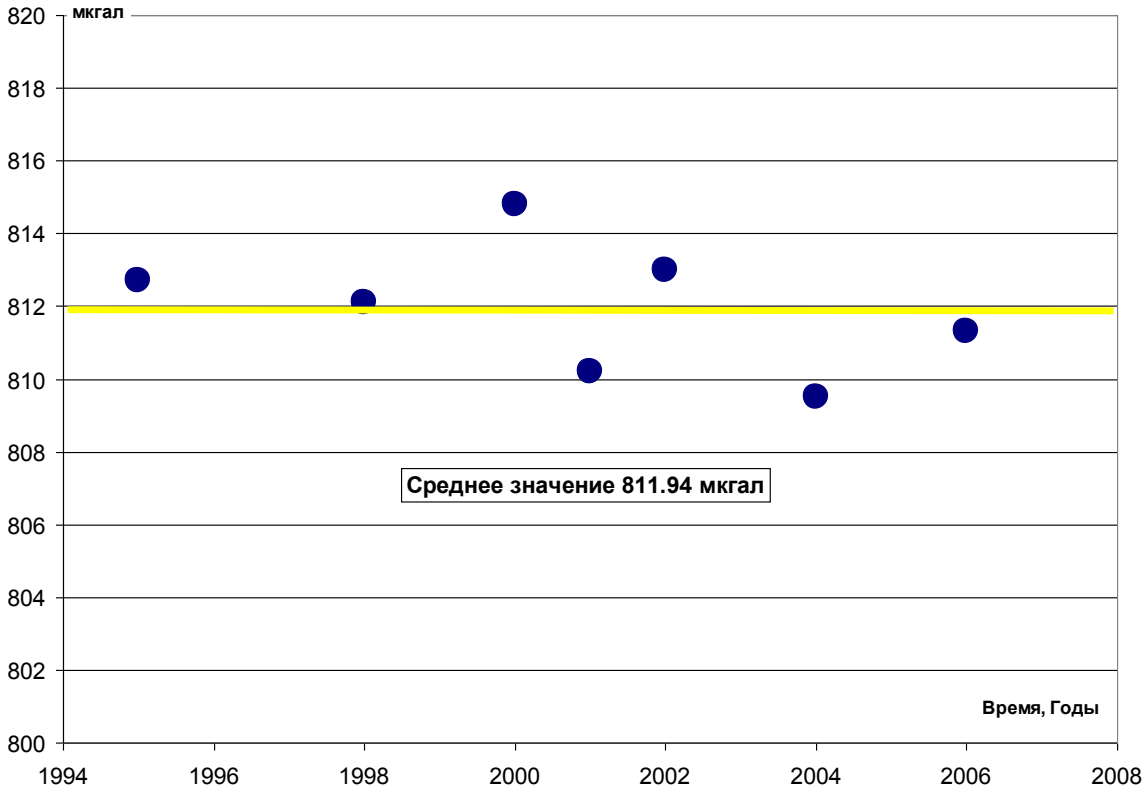


Рис. 2. Астрономическая площадка (г. Иркутск), стабильность значения за период 1995-2006 гг., 3 мкгал/11 лет = 0,27 мкгал/ год

Какова величина скорости **g'** в соотношении (2)? Рассмотрим экспериментальные результаты, полученные на обсерваториях. Мониторинговые измерения с гравиметром ГАБЛ начаты на обсерватории Ключи (Новосибирск) в 1975-1977 гг. Абсолютный лазерный баллистический гравиметр ГАБЛ неоднократно участвовал в международных сверках приборов этого класса [Robertson et. al., 2001]. Полученные за период 1977-2009 гг. на обсерватории Ключи значения силы тяжести, точнее, их микрогальная часть приведена на рис. 1. Вариации за период наблюдений не превысили ошибку измерений. Стабильность значения силы тяжести за период 1977-2009 гг. составила 0,08 мкгал/ год.

Измерения с гравиметром ГАБЛ на астроплощадке в г. Иркутске проводились с 1995 года, с момента организации GPS наблюдений на пункте. Результаты измерений (микрогальная часть значения) с 1995 г. по 2006 г. приведены на Рис. 2. Отклонение от среднего значения не превышают 3 мкгал. Стабильность значения за период 1995-2006 гг. составила 0,27 мкгал/ год.

В Европе, по данным германской обсерватории (Bad-Homburg, 1994-2004 гг., использована группа абсолютных гравиметров FG5) стабильность значения **g** лежит в пределах ошибки измерений 2 мкгала [Hinderer&Crossley, 2006], т. е. возможный уровень вариаций составляет 0.2 мкгал в год.

В итоге приходим к выводу, что по экспериментальным данным стабильность значения силы тяжести Земли следует оценить как 0,2 мкгал/год. На современном этапе возможный эффект глобального изменения **g** и высоты

можно ограничить 10^{-10} в год от нормального значения. Даже для десятилетней серии измерений эффект от возможных глобальных вариаций не превысит погрешности измерений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тимофеев В.Ю., Дюкарм Б., Ван Раумбеке М., Горнов П.Ю., Эвераерт М., Грибанова Е.И., Паровышний В.А., Семибаламут В.М., Вопельман Г., Ардюков Д.Г.. // Физика Земли, 2008, № 5, С. 42-54.
2. J. Hinderer, D.Crossley // NEWSLETTER, 17, 5 June 2006, 2-12.
3. Altamimi Z., Collilieux X., Legrand J., Garayt B., Boucher C. // J. Geophys. Res., 2007, v.112, n.B9, B09401, doi: 10.1029/2007/JB004949.
4. Кафтан В.И,, Цыба Е.Н. // Известия ВУЗов, Геодезия и аэрофотосъёмка, 2009, №1, 33-40.
5. Коломиец А.Г., Герасименко М.Д., Ильницкая А.В. // Проблемы сейсмичности и современной геодинамики Дальнего Востока и Восточной Сибири. ИТиГ ДВО РАН, Хабаровск, ISNB 978-5-7442-1491-3, 2010. 87-88.
6. L. Robertson, O. Francis, T.M. vanDam, J. Faller, D. Ruess, J.-M. Delinte, L. Vitushkin, J. Liard, C. Gagnon, Guo You Guang, Huang Da Lun, Fang Yong Yuan, Xu Jin Yi, G. Jeffries, lmes, F. Rehren, K. Schmidt,. M, Schnull, G. Cerutti, A. Germmak, Z. Zabek, A. Pachuta, G. Arnautov, E. Kalish, Yu. Stus, D. Stizza, J. Friderich, J.-M. Chartier, I. Marson // Metrologia. Vol. 38. N 1. 2001. P. 71-78.

© В.Ю. Тимофеев, Е.Н. Калиш, Ю.Ф. Стусь, М.Г. Смирнов, Г.П. Арнаутов, Д.Г. Ардюков, Е.В. Бойко, А.В. Тимофеев, 2012

УДК 551.24:528.7 (202)

ЭФФЕКТИВНЫЙ МОДУЛЬ УПРУГОСТИ И МОДЕЛИРОВАНИЕ КОСЕЙСМИЧЕСКИХ СМЕЩЕНИЙ САЯНСКОГО РЕГИОНА

Владимир Юрьевич Тимофеев
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук, 630090, г. Новосибирск, пр. ак. Коптюга, 3, заведующий лабораторией, тел (383) 335-64-42, e-mail: timofeevvy@ipgg.nsc.ru

Дмитрий Геннадьевич Ардюков
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук, 630090, г. Новосибирск, пр. ак. Коптюга, 3, старший научный сотрудник, тел (383) 335-64-42, e-mail: ardyukovdg@ipgg.nsc.ru

Елена Валерьевна Бойко
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук, 630090, г. Новосибирск, пр. ак. Коптюга, 3, научный сотрудник, тел (383) 335-64-42, e-mail: boykoev@ipgg.nsc.ru

Антон Владимирович Тимофеев
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук, 630090, г. Новосибирск, пр. ак. Коптюга, 3, инженер, тел (383) 335-64-42, e-mail: timofeevvy@ipgg.nsc.ru

При моделировании косейсмических процессов одним из параметров является эффективный модуль упругости земной коры. Для его определения использованы результаты периодических вертикальных смещений при сезонных нагружениях плотины СШГЭС. Приводятся результаты моделирования косейсмических смещений при землетрясении 27.12.2011 года в Туве. Рассматриваются скорости смещений Саянского региона, полученные методами гидронивелирования и космической геодезии.

Ключевые слова: периодические нагружения плотины СШГЭС, эффективный модуль упругости, моделирование косейсмических смещений, методы космической геодезии.

EFFECTIVE ELASTIC MODULE AND MODELLING OF COSEISMIC DISPLACEMENTS OF SAYAN REGION

Vladimir Y. Timofeev
Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch Russian Academy of Sciences (IPGG SB RAS), Akademika Koptyuga Prsp., 3, Novosibirsk, 630090, Russian Federation, chief of laboratory, Tel. +7 (383) 335-64-42, e-mail: timofeevvy@ipgg.nsc.ru

Dmitrii G. Ardyukov
Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch Russian Academy of Sciences (IPGG SB RAS), Akademika Koptyuga Prsp., 3, Novosibirsk, 630090, Russian Federation, senior scientific worker, Tel. +7 (383) 335-64-42, e-mail: ardyukovdg@ipgg.nsc.ru

Elena Boyko
Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch Russian Academy of Sciences (IPGG SB RAS), Akademika Koptyuga Prsp., 3, Novosibirsk, 630090, Russian Federation, scientific worker, Tel. +7 (383) 335-64-42, e-mail: boykoev@ipgg.nsc.ru

Anton V. Timofeev
Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch Russian Academy of Sciences (IPGG SB RAS), Akademika Koptyuga Prsp., 3, Novosibirsk, 630090, Russian Federation, engineer, Tel. +7 (383) 335-64-42, e-mail: timofeevvy@ipgg.nsc.ru

One of parameter used for coseismic process modeling is effective elastic module. Periodic vertical motion by season loading for Sayano-Shushenskaya Hydro-Power Station dam was used for module estimation. Results of modeling for Tuva earthquake (27/12/2011) are presented. Displacement velocities for Sayan region were discussed. Velocities were received by space geodesy method and by hydro-leveling method.

Key words: periodic loading for SSHPS dam, effective elastic module, modeling coseismic displacement, space geodesy method.

Территория Алтае-Саянского региона является зоной активных современных деформаций земной коры, что отражается в сейсмическом режиме территории. В северной части региона широко развита горнодобывающая, энергетическая и металлургическая промышленность. Здесь имеются шахты, разрезы, плотины ГЭС и водохранилища, что требует изучения возможного воздействия сейсмичности на промышленные объекты. Регион Саяны-Тува в тектоническом отношении является зоной перехода от области субмеридионального сжатия Горного Алтая на западе к Байкальской рифтовой зоне растяжения на востоке. Целью настоящей работы является анализ данных по скоростям современных движений земной коры, полученных различными методами для региона Саяны-Тува, оценка косейсмических смещений и деформаций региона, моделирование этих эффектов, определение эффективного модуля упругости земной коры.

Моделирование косейсмических эффектов требует оценки параметров земной коры. Обычно определения проводятся на основе анализа результатов сейсморазведки и гравиметрии. Определение эффективного модуля упругости можно провести, используя данные о вертикальных смещениях при сезонной нагрузке зоны водохранилища Саяно-Шушенской ГЭС. Плотина и водохранилище ГЭС являются крупнейшими промышленными объектами Сибири, высота плотины 240 метров, сезонные вариации уровня воды 40 метров. При этом, по данным работы [Спиридонов, 1998, Стефаненко, 2010], вертикальные смещения достигают 4-5 мм. Схема нивелировочной сети в зоне плотины приведена на рис. 1. Анализ сезонных вариаций за период 1991 – 2009 гг. показал зависимость смещений Δh от изменения нагрузки ΔH, $\Delta h = 0.000115x \Delta H$ (метры). Рассмотрим задачу по определению эффективного модуля упругости земной коры с использованием сезонных нагрузок. Для двумерного случая направленное вниз (по оси Z) перемещение при плоском напряженном

состоянии (в плоскости z = 0), согласно решению [Тимошенко, Гудьер, 1975] через функции напряжений в полярных координатах на поверхности, равно:

$$u_z = \frac{2q}{\pi E}[xLnx - (x+a)Ln(x+a)] \qquad (1)$$

где q - интенсивность непрерывно распределенной нагрузки, Δz - изменение уровня водохранилища, E – модуль Юнга, x – расстояние до края водохранилища, a – ширина водохранилища, ρ – плотность воды.

Вертикальные смещения в центре водохранилища равны:

$$u_z = \frac{2q}{\pi E}[2aLna] \qquad (2)$$

Наклон равен: $\psi = \frac{\partial u_z}{\partial x} = \frac{2q}{\pi E} Ln\frac{x}{x+a} = \frac{2\rho g \Delta z}{\pi E} Ln\frac{x}{x+a}$ (3)

В районе Саяно-Шушенской ГЭС из многолетних сезонных нагружений и разгрузок (40 метров) получено соотношение для вертикального смещения - 0.115 мм на 1 метр водной нагрузки. Наклон равен отношению вертикального смещения на базу, расстояние до края водохранилища 3 км, за ширину водохранилища возьмём размер плотины - 1 км.

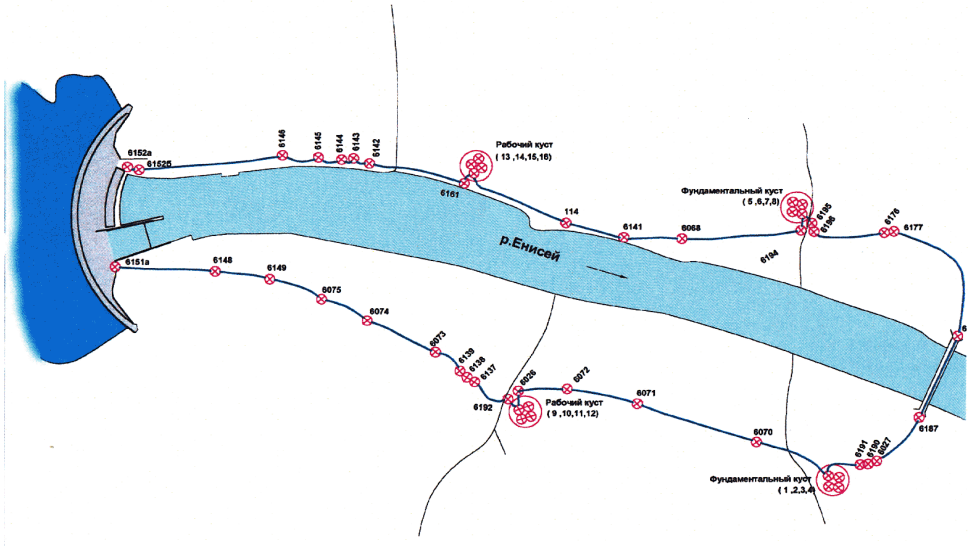


Рис. 1. Схема нивелировочной сети плотины СШГЭС

Модуль Юнга можно определить из соотношения:

$$E = \frac{2q}{\pi\psi} Ln\frac{x}{x+a} = \frac{2\rho g \Delta z}{\pi\psi} Ln\frac{x}{x+a}, \text{ E} = 4.7 \cdot 10^{10} \text{ Па} = 47 \text{ Гпа} \qquad (4)$$

В трехмерном случае, для полупространства $Z \leq 0$, если плоскость O_{XY} – граница тела, а сила P приложена нормально к плоской границе и расстояние до точки приложения силы - $r = \sqrt{(x^2 + y^2 + z^2)}$, можно оценить эффекты вне зоны

нагружения. Формулы Буссинеска при Z = 0 с упругими параметрами Ламе (λ и μ) записываются как:

$$u_0 = -\frac{p}{4\pi(\lambda+\mu)}\frac{x}{r^2};$$

$$v_0 = -\frac{p}{4\pi(\lambda+\mu)}\frac{y}{r^2}; \qquad (5)$$

$$w_0 = \frac{p(\lambda+2\mu)}{4\pi\mu(\lambda+\mu)r};$$

Тоже с модулями Юнга (E) и Пуассона (σ), для вертикальной компоненты смещений на поверхности записывается в виде:

$$U_z = \frac{P(1-\sigma^2)}{\pi ER} \qquad (6)$$

где P – нагрузка, R – расстояние от точки приложения силы.

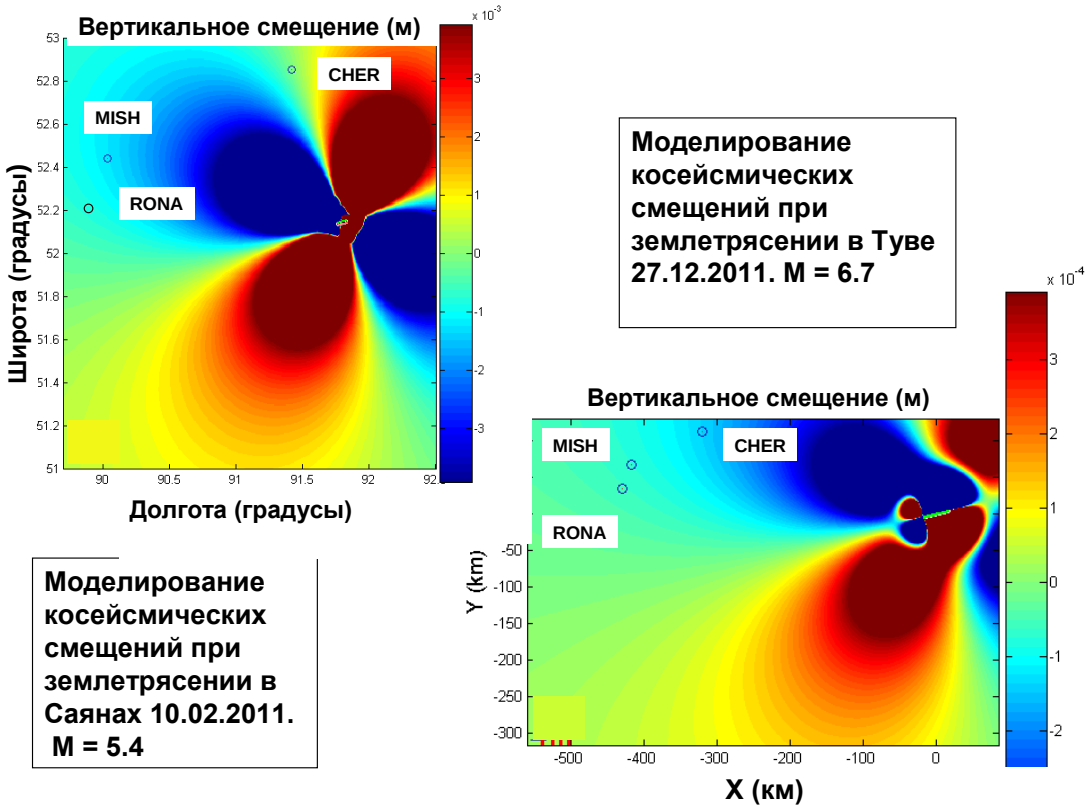


Рис. 2. Результаты моделирования вертикальных смещений при землетрясениях Саяно-Тувинского региона в 2011 году. Код пункта в районе СШГЭС - CHER

Решение для конкретных случаев строится суммированием элементарных площадок. Для нагрузки в виде круга (радиус a = 500 м) максимальное смещение внутри зоны нагружения равно:

$$U_{z\max} = \frac{2(1-\sigma^2)qa}{E} \qquad (7)$$

В этом случае модуль Юнга равен: E = 7.9891 $\cdot 10^{10}$ Па ≈ 80 ГПа.

Для двух землетрясений региона, случившихся в 2011 году, моделирование косейсмических смещений и деформаций проводилось с использованием программы Coulomb 3.1. Результаты расчётов приведены на рис. 2. Как следует из вычислений, косейсмические смещения в зоне СШГЭС не превышают 1 мм. Современные вертикальные и горизонтальные скорости измеряются методами нивелирования, космической геодезии и гидронивелирования. Результаты для горизонтальных смещений, полученные иркутскими исследователями [Лухнев и др. 2010] и нами, показаны на рис. 3.

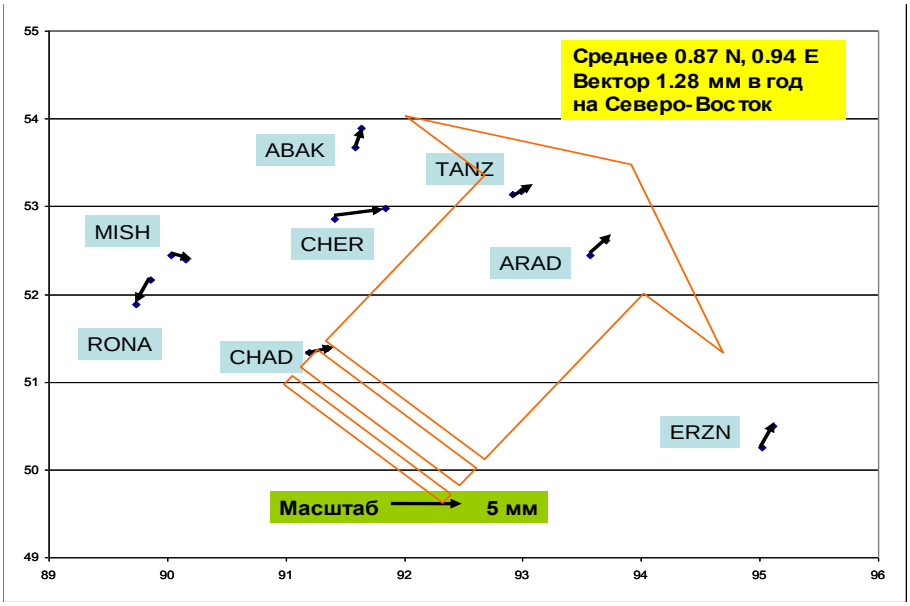


Рис. 3. Скорости горизонтальных смещений пунктов региона Западных Саян и Тувы по данным GPS измерений, выполненных специалистами ИНГГ СО РАН (г. Новосибирск) и ИЗК СО РАН (г. Иркутск). Смещение пунктов относительно Евразии

Скорости вертикальных движений даже в зоне водохранилища не превышают 5 мм/год. Высокие градиенты вертикальных движений в зоне Западных Саян могут быть связаны с эффектами заполнения водохранилищ Красноярской и Саяно-Шушенской ГЭС. Анализ горизонтальных смещений по сети пунктов показал смещение на северо-восток области Западных Саян и Тувы со скоростью до 1.2 мм в год.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лухнев А.В., Саньков В.А., Мирошниченко А.И., Ашурков С.В., Кале Э. Вращения и деформации земной поверхности в Байкало-Монгольском регионе по данным измерений.// Геология и геофизика, 2010, т. 51, №7, с. 1006-1017.

2. Спиридонов Ю.В. Комплекс геодезических наблюдений за общими перемещениями плотины Саяно-Шушенской ГЭС. // Гидро-техническое строительство, 1998 , № 9, стр. 55-58.

3. Стефаненко Н.И. Совершенствование системы геодезического мониторинга арочно-гравитационной плотины Саяно-Шушенской ГЭС. Диссертация на соискание степени кандидата технических наук. СГГА, Новосибирск, 2010, 128 стр.
4. Тимошенко С.П., Гудьер Дж., Теория упругости. М.: Наука, 1975, 576 с.

© В.Ю. Тимофеев, Д.Г. Ардюков, Е.В. Бойко, А.В. Тимофеев, 2012

УДК 553.98:556.3 (571.1/5)

ВЫСОКОМИНЕРАЛИЗОВАННЫЕ ВОДЫ ПОЛУОСТРОВА ЮРЮНГ-ТУМУС

Дмитрий Анатольевич Новиков
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, 630090, г. Новосибирск, проспект академика Коптюга, 3, заведующий Лабораторией гидрогеологии осадочных бассейнов Сибири, тел. (383)363-80-36, e-mail: NovikovDA@ipgg.nsc.ru

Анна Федоровна Сухорукова
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, 630090, г. Новосибирск, проспект академика Коптюга, 3, кандидат геолого-минералогических наук, доцент, научный сотрудник Лаборатории гидрогеологии осадочных бассейнов Сибири,, тел. (8383 363 80 36), e-mail SukhrukovaAF@ipgg.nsc.ru

На полуострове Юрюнг-Тумус установлено наличие двух генетических типов высокоминерализованных вод: 1) рассолов выщелачивания и 2) седиментогенные рассолов. Доминируют в разрезе рассолы первого типа хлоридного натриевого состава с величиной общей минерализации 50-450 г/дм^3, генетически связанные с процессами растворения каменной соли. Седиментогенные рассолы второго типа хлоридного натриевого-кальциевого состава с минерализацией 55-145 г/дм^3 встречаются спорадически.

Ключевые слова: полуостров Юрюнг-Тумус, высокоминерализованные воды, рассолы.

HIGH-MINERALIZED WATERS OF THE YURYUNG-TUMUS PENINSULA

Dmitry A. Novikov
Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (IPGG SB RAS), Acad. Koptyug av., 3, 630090, Novosibirsk, Head of Laboratory of hydrogeology of sedimentary basins of Siberia, tel. (383) 363-80-36, e-mail: NovikovDA@ipgg.nsc.ru

Anna F. Sukhorukova
Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (IPGG SB RAS), Acad. Koptyug av., 3, 630090, Novosibirsk, Research scientists, Laboratory of hydrogeology of sedimentary basins of Siberia, tel. (383) 363-80-36, e-mail: SukhrukovaAF@ipgg.nsc.ru

In the Yuryung-Tumus Peninsula the presence of two genetic types of brines are established: 1) leaching brines 2) sedimentogene brines. Leaching brines of NaCl composition are predominant with the TDS value 50-450 g/dm^3, which genetically related to the processes of rock salt dissolution. Sedimentogene brines of NaCl-Ca composition with salinity 55-145 g/dm^3 are occurred sporadically.

Key words: Yuryung-Tumus Peninsula, High-mineralized waters**,** brines.

Полуостров Юрюнг-Тумус в административном отношении расположен в пределах восточной части Таймырского Долгано-Ненецкого района Красноярского края и северо-западной части Республики Саха Якутия. В тектоническом и нефтегазоносном плане полуостров находится в северной

части Анабаро-Хатангской седловины и одноименной нефтегазоносной области (рис. 1).

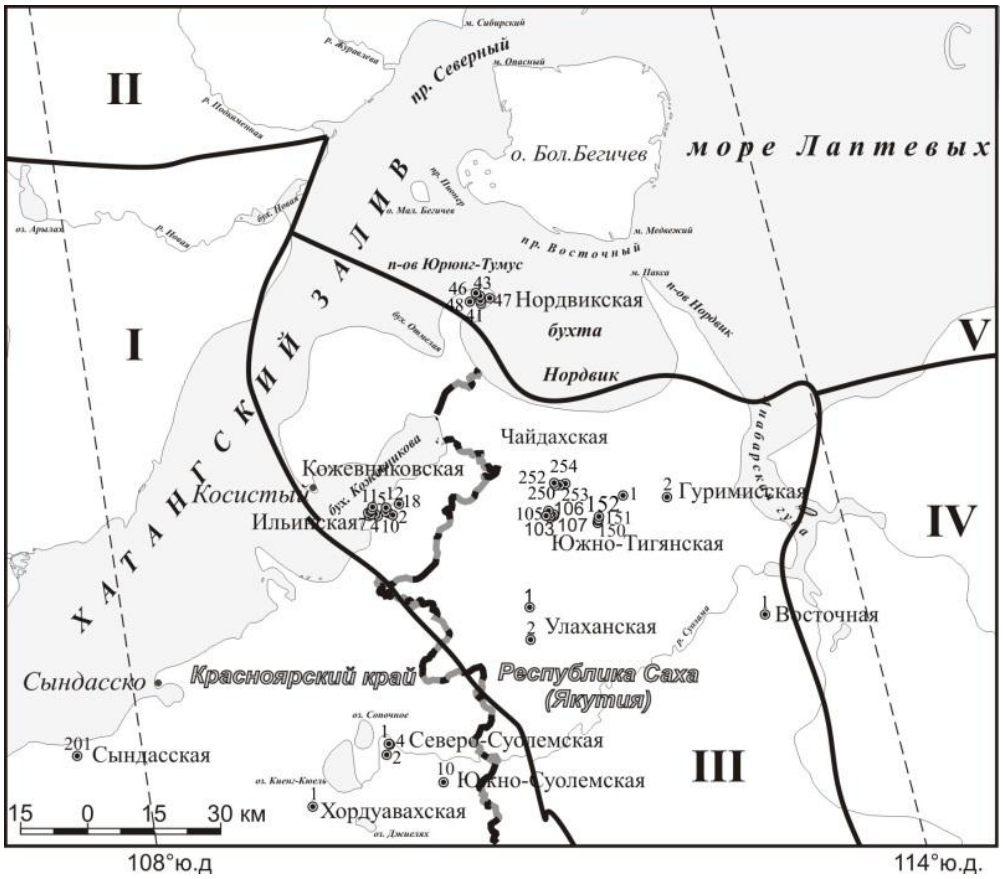


Рис. 1. Местоположение полуострова Юрюнг-Тумусо:

I – Енисей-Хатангский региональный прогиб; II – Южно-Таймырская складчатая область; III – Анабаро-Хатангская седловина; IV – Лено-Анабарский прогиб; V – Верхоянская складчатая область

В 30-е годы прошлого века на исследуемой территории выявлены солянокупольные структуры и связанные с ними нефтепроявления и подземные рассолы [1]. Это открытие послужило сильным импульсом для всестороннего изучения этой области. С начала поисково-разведочных работ на нефть и газ в осадочных бассейнах Сибири накоплен значительный фактический материал, отражающий химический и газовый состав подземных вод нефтегазоносных отложений. При этом надо отметить, что самые северные районы, к которым относится и полуостров Юрюнг-Тумус характеризуются достаточно скудными сведениями в работах М.К. Калинко, Г.Д Гинсбурга, Г.А. Ивановой, В.И. Вожова и А.С. Анциферова [1-5]. На полуострове и сопредельных территориях, во время поисковых работ на нефть и газ высокоминерализованные воды выявлены на Нордвикской, Чайдахской, Ильинской, Кожевниковской, Гуримисской, Южно-Тигянской и Улаханской площадях.

В последнее время исследуемая территория привлекает интерес крупных нефтегазовых компаний в связи с возможностью прироста запасов

углеводородов в этом районе. Поэтому назрела необходимость проведения всесторонней ревизии имеющихся гидрогеологических материалов.

Район характеризуется четырьмя ярко выраженными особенностями: наличием криолитозоны, соляно-купольных структур, и как следствие развитием высокоминерализованных рассолов и криопэгов (подземных рассолов с отрицательной температурой).

В соответствии с разработанной нами гидрогеологической стратификацией в пределах Анабаро-Хатангского седловины, в состав которой входит район исследований, выделяются 14 водоносных комплексов. Из них, с разной степенью детальности, охарактеризовано десять, а рассолы выявлены в шести комплексах: 1) триасовых; 2) пермских; 3) каменноугольных; 4) девонских; 5) венд-кембрийских и 6) рифейских отложений [6]. На полуострове Юрюнг-Тумус развиты: меловой, триасовый, пермский, каменноугольный и девонский гидрогеологические комплексы.

Водоносность ***триасовых образований*** изучена в пределах солянокупольных структур Нордвик-Хатангского района. Многочисленными скважинами, пройденными в непосредственной близости от соляных штоков, в песчаниках и алевролитах триасового возраста на глубинах 70-80 м вскрыты порово-трещинно-пластовые и жильные скопления рассолов хлоридного натриевого состава с минерализацией до 436 г/дм^3. Статические уровни этих рассолов располагались ниже уровня моря (абс. отм. минус 15-87 м). При испытании скважин притоки рассолов из триасовых отложений обычно не превышали 0,05-0,1 л/сек при понижениях уровней на 100-300 м. Очевидно, что рассолы хлоридного натриевого состава в триасовых отложениях бассейна имеют локальное распространение и приурочены только к соляным куполам. На других структурах в породах триасового возраста (так же, как и в перекрывающих их юрских и меловых отложениях) преимущественным распространением пользуются порово-трещинно-пластовые скопления соленых вод хлоридного натриевого, хлоридного состава с минерализацией до 20-35, реже до 50 г/дм^3. Не исключена возможность наличия в этих соленых водах промышленных концентраций йода.

Водоносный комплекс пермских отложений распространен повсеместно. Его водоносность изучалась на Нордвикской, Ильинской, Чайдахской и других антиклинальных структурах, в разной степени осложненных соляной тектоникой. В их пределах установлено наличие рассолов в основном хлоридного натриевого состава с минерализацией от 52-54 до 120-144 г/дм^3. Хлоридные натриевые рассолы с минерализацией от 238 г/дм^3, встречены в пермских терригенных и угленосных отложениях лишь на Нордвикском соляном куполе. Формирование этих рассолов связано с растворением каменной соли. Весьма высокое содержание хлоридов кальция и магния в этих рассолах указывает на их связь с высококонцентрированными рассолами седиментационного генезиса, залегающими в нижележащих галогенно-карбонатных толщах палеозоя. Предположительно они поступают в пермские отложения по зонам разломов (часто в сводах структур) и смешиваются в разных соотношениях с пермскими порово-трещинно-пластовыми солеными

водами. Следует отметить повсеместную высокую насыщенность углеводородными газами метанового ряда хлоридных натриево-кальциевых и хлоридных натриевых рассолов, вскрытых в пермских отложениях на изученных структурах Анабаро-Хатангского междуречья.

В изучаемом районе отложения ***водоносного комплекса каменноугольных отложений*** изучены весьма слабо. В Нордвикском районе скважинами вскрыты только отложения нижнего карбона. Они представлены в основном известняками с прослоями аргиллитов, мергелей и ангидритов общей мощностью до 800-1000 м. В западных районах в составе каменноугольных отложений наряду с карбонатными породами развиты, по-видимому, также терригенные угленосные породы. Фактические данные о водоносности каменноугольных отложений бассейна единичны. Рассолы хлоридного натриевого состава с минерализацией до 237–264 г/дм^3, установлены в районе Нордвикского соляного купола в известняках нижнего карбона.

Отложения ***девонского водоносного комплекса*** установлены в Нордвикском солянокупольном районе. Они сложены в верхних частях разреза в основном карбонатными породами (доломитами и известняками), а в нижних – карбонатными породами с мощными пластами каменной соли, гипса и ангидрита. Общая мощность их в этом районе превышает 800-1000 м. Пласты каменной соли замещаются, карбонатными породами, содержащими пласты ангидрита и гипса. Выходы девонских отложений наблюдаются лишь в сводах солянокупольных структур. На остальной площади они погружены на глубины от 2 000-3 000 до 5 000-6 000 м и более. Рассолы хлоридного натриевого состава с величиной общей минерализации 220-287 г/дм^3 установлены на Нордвикской и Кожевниковской площадях и генетически связаны с выщелачиванием каменной соли в пределах этих структур.

Корреляционный анализ компонентов химического состава подземных рассолов установил сильные положительные связи (r) между общей минерализацией и концентрациями натрия и калия, магния и хлора (rNa+K M = 0,74, rMg M = 1,00, rCl M = 0,96). Также установлены сильные связи содержаний натрия и калия, магния и хлора друг с другом, и достаточно высокие связи между концентрациями натрия и калия с бромом, кальция с аммонием, аммония с йодом. Отмечаются отрицательные связи суммы натрия и калия с йодом, аммонием и кальцием, кальция с бором, бромом и гидрокарбонат-ионом, аммония с гидрокарбонат-ионом, бромом и бором, брома с сульфат-ионом и йодом.

Особенности накопления элементов в полной мере отражают также и результаты кластерного анализа, которые выявили закономерную связь основных солеобразующих макрокомпонентов между собой, а также взаимосвязь между содержаниями микрокомпонентов I^-, B^+, Br^- и SO_4^{2-}. Кластерный анализ подземных рассолов с минерализацией более 50 г/дм^3 показывает, что из-за возрастающего содержания катионов натрия тип вод определяется, как преимущественно, хлоридный натриевый. При этом концентрация гидрокарбонат-иона не оказывает существенного влияния на химизм рассольных типов вод.

Таким образом, на полуострове Юрюнг-Тумус установлено наличие двух генетических типов рассолов: 1) рассолов выщелачивания и 2) седиментогенные рассолов. Доминируют в разрезе рассолы первого типа (преимущественно хлоридного натриевого состава) с величиной общей минерализации 50-450 г/дм^3, генетически связанные с процессами растворения каменной соли в пределах солянокупольных структур. Седиментогенные рассолы хлоридного натриевого-кальциевого состава с минерализацией 55-145 г/дм^3 встречены спорадически и являются результатом смешения глубокозалегающих высокометаморфизованных рассолов с более пресными водами других типов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 10-05-00442).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анциферов А.С. Гидрогеология древнейших нефтегазоносных толщ Сибирской платформы. – М.: Недра, 1989, 176 с.
2. Вожов В. И. Гидрогеологические условия месторождений нефти и газа Сибирской платформы. – М.: Недра, 1987. – 204 с.
3. Гинсбург Г.Д., Иванова Г.А. Подземные воды // Геология и нефтегазоносность Енисей-Хатангского прогиба. – Л.: Изд-во НИИГА, 1971. – С. 66–72.
4. Калинко М.К., Сиденко П.Д. Геологическое строение и нефтеносность Анабаро-Хатангского междуречья. Книга 1. НИИ геологии Арктики. – Ленинград, 1955. – 200 с.
5. Калинко М. К. Нордвикский нефтеносный район (Анабаро-Хатангское междуречье) // Тр. НИИГА. – Л.: Трансжелдориздат, 1958(в), Т. 97. Под. ред. канд. геол.-мин. наук М. Ф. Лобанова. – С. 96-125, – 168 с.
6. Новиков Д.А. Особенности состава рассолов Анабаро-Ленской зоны // Материалы научной сессии, посвященной 100-летию со дня рождения члена-корреспондента АН СССР В.Н. Сакса «Седьмые Саксовские чтения», Т I, Новосибирск, ИНГГ СО РАН, 2011. С.209-213.

© Д.А. Новиков, А.Ф. Сухорукова, 2012

УДК 556

ОБСТАНОВКИ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ ГЕТТАНГ-СИНЕМЮРСКОГО РЕГИОНАЛЬНОГО РЕЗЕРВУАРА СЕВЕРА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Александр Юрьевич Нехаев
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения РАН, 630090, г. Новосибирск, просп. Коптюга, 3, кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник Лаборатории геологии нефти и газа глубокопогруженных горизонтов осадочных бассейнов, тел. (383) 333-2109, e-mail: nehaev@mail.ru

В статье на основе анализа каротажных диаграмм и с учетом имеющихся данных (палеонтологических, литологических, геохимических) восстановлены обстановки осадконакопления геттанг-синемюрского регионального резервуара севера Западной Сибири. Построены палеографические карты для зимнего проницаемого комплекса и левинского флюидоупора.

Ключевые слова: обстановки осадконакопления, Западная Сибирь, нижняя юра.

SEDIMENTATION ENVIRONMENTS OF THE HETTANGIAN-SINEMURIAN REGIONAL RESERVOIR IN THE NORTH OF WEST SIBERIA

Aleksandr Y. Nekhaev
Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (IPGG SB RAS), Acad. Koptyug av., 3, Novosibirsk, Russia, 630090, PhD in Geology, Research scientist, Laboratory of petroleum geology of deep-seated horizons of sedimentary basins, tel. (383) 333-2109, e-mail: nehaev@mail.ru

Based on the analysis of borehole logging records and relying on the data available (paleontological, lithological, geochemical), this paper addresses the problem of reconstructing sedimentation environments of the Hettangian-Sinemurian regional reservoir in the north of West Siberia. Paleogeographical maps were built for the Zimnyaya permeable complex and Levinskiy impermeable bed.

Key words: sedimentation environments, West Siberia, Lower Jurassic.

Нижнеюрские отложения и выделенный в них геттанг-синемюрский региональный резервуар широко распространены на севере Западной Сибири, залегая на глубинах от 2500 до 6000 м. Для оценки перспектив нефтегазоносности резервуара в целом и перспективных пластов очень важно знать в каких обстановках они накапливались. В статье с учетом имеющихся данных (палеонтологических, литологических, геохимических) и на основе анализа каротажных диаграмм реконструируются обстановки осадконакопления геттанг-синемюрского регионального резервуара (зимнего проницаемого комплекса и левинского флюидоупора).

Поскольку керном охарактеризованы лишь отдельные интервалы разрезов скважин информации по литологии и палеонтологии часто недостаточно и приходится использовать данные геофизического каротажа. Форма некоторых

каротажных кривых (ПС и ГК) косвенно отражает изменения в размере частиц осадка и поэтому их можно использовать для построения гранулометрических разрезов. Методики подобных исследований разработаны как в России [2, 1], так и за рубежом [9, 8].

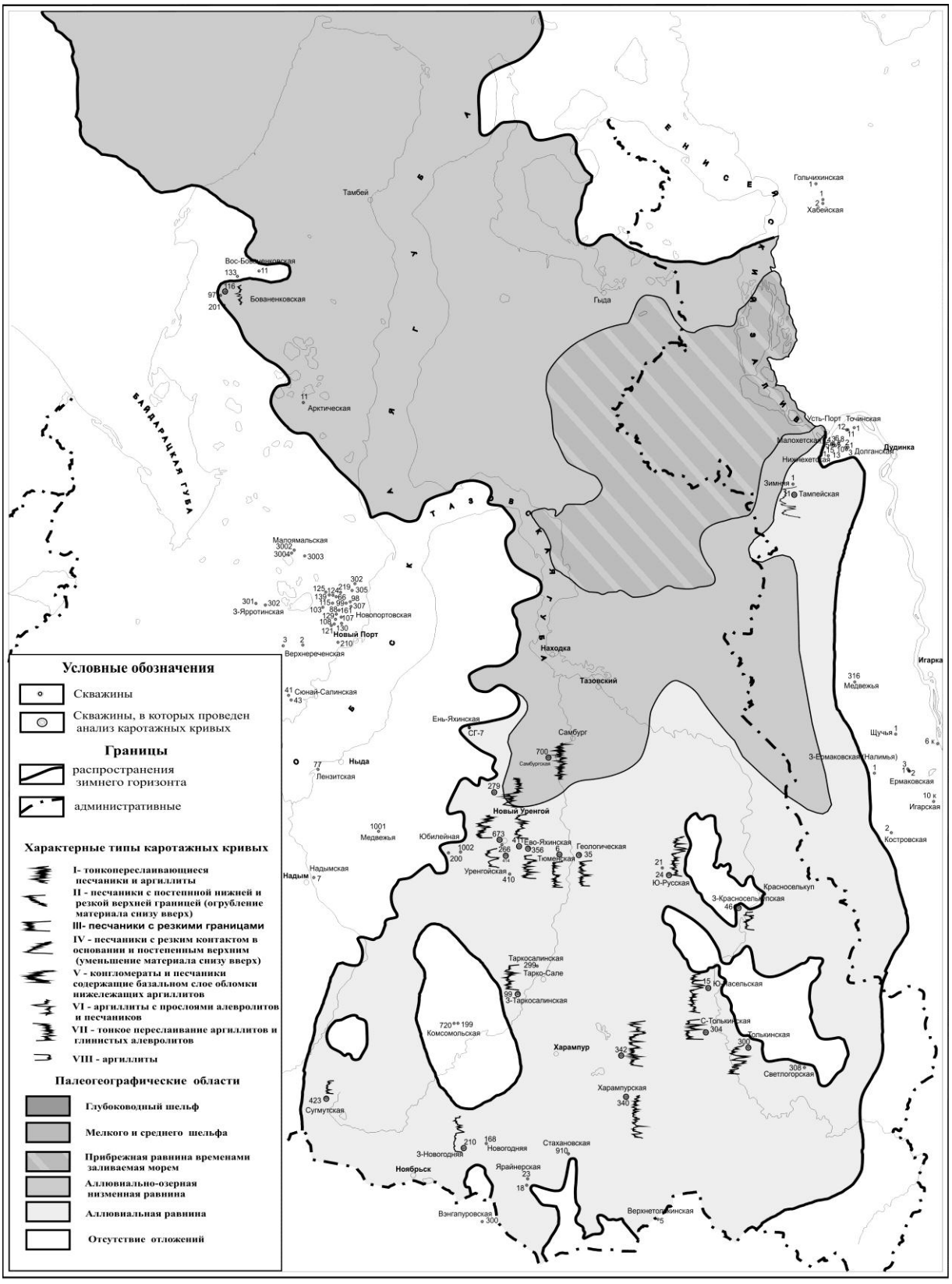


РИС. 1 ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКАЯ КАРТА ЗИМНЕГО ПРОНИЦАЕМОГО КОМПЛЕКСА СЕВЕРА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Подробное описание методики восстановления обстановок осадконакопления по каротажным кривым, применительно к ниж-неюрским отложениям севера Западной Сибири, приведено ранее [3]. Анализ кривых радиоактивного каротажа позволил восстановить обстановки осадконакопления геттанг-синемюрского регионального резервуара севера Западной Сибири, который представлен зимним проницаемым комплексом и левинским флюидоупором.

Зимний проницаемый комплекс. Отложения проницаемого комплекса (зимняя и береговая свиты) на севере Западной Сибири вскрыты 26 скважинами. Трактовка условий их формирований неоднозначна. Из палеонтологических остатков в пределах рассматриваемой территории в них найдены только редкие Conchostraca, остатки флоры и палинокомплексы палинослоев 2-3, и лишь восточнее, в Усть-Енисейском районе, отложения зимней свиты содержат микро- и макрофауну [7].

Анализ кривых радиоактивного каротажа 17 глубоких скважин (рис. 1) показал, что в отложениях зимнего проницаемого комплекса встречаются все характерные типы кривых, но преобладает III и IV. Прослои пород, обогащенных углистым материалом, по каротажу фиксируются практически во всех скважинах. Описания керна показывают, что широко присутствует слюда, а глауконит и обломки раковин отсутствуют. Каротажные кривые, характерные для зимнего проницаемого комплекса, отражают обстановки аллювиальной равнины. III тип кривых соответствует обстановкам ветвящихся рек с активным гидродинамическим режимом, IV – медленных меандрирующих рек. Вместе с III типом кривых, обычно отмечается VII тип, с резкими, возможно эрозионными границами, который в данном случае можно интерпретировать как обстановки отмерших русел. С IV переслаиваются кривые I, VI, VII и VIII типов, которые отражают обстановки пойменных равнин – прирусловых валов, паводковых разливов, стариц и озер. Редко отмечается II и V типы кривых. V тип соответствует русловым отложениям меандрирующих рек, в базальных слоях которых встречается значительное количество глинистых фрагментов размытых нижележащих пород, а II тип – можно интерпретировать как вдольбереговые или устьевые бары озер. Таким образом на большей части рассматриваемой территории зимний проницаемый комплекс формировался в обстановках аллювиальных равнин. К сожалению, нет данных по северу территории и там, вслед за предшественниками, можно только предполагать дельтовые и мелководно-морские обстановки.

Левинский флюидоупор. Отложения флюидоупора (левинская и ягельная свита) вскрыты более 70 скважинами. Большинство исследователей полагают, что почти на всей территории севера Западной Сибири в это время существовал умеренно мелководный морской бассейн. Возраст отложений хорошо обоснован по находкам остатков фауны и флоры в разрезах скважин [7, 4].

По 23 скважинам (Рис. 2) проведен анализ кривых радиоактивного каротажа (Бованенковская 97; Самбургская 700; Ярудейская 2; Надымская 7; Южно-Часельская 15; Северо-Толькинская 304, Толькинская 300, Уренгойская 279, 282, 411, 414, 673, Ево-Яхинская 356, Тюменская СГ-6, Геологическая 35,

Южно-Русская 24, Зап. Красноселькупская 46, Сугмутская 423, Харампурская 340, 342, Зап. Новогодняя 210, Зап. Таркосалинская 99; Вынгапуровская 300). Встречаются все характерные типы кривых, но в целом преобладают I, VI, VII и VIII, которые соответствуют спокойно-водным обстановкам.

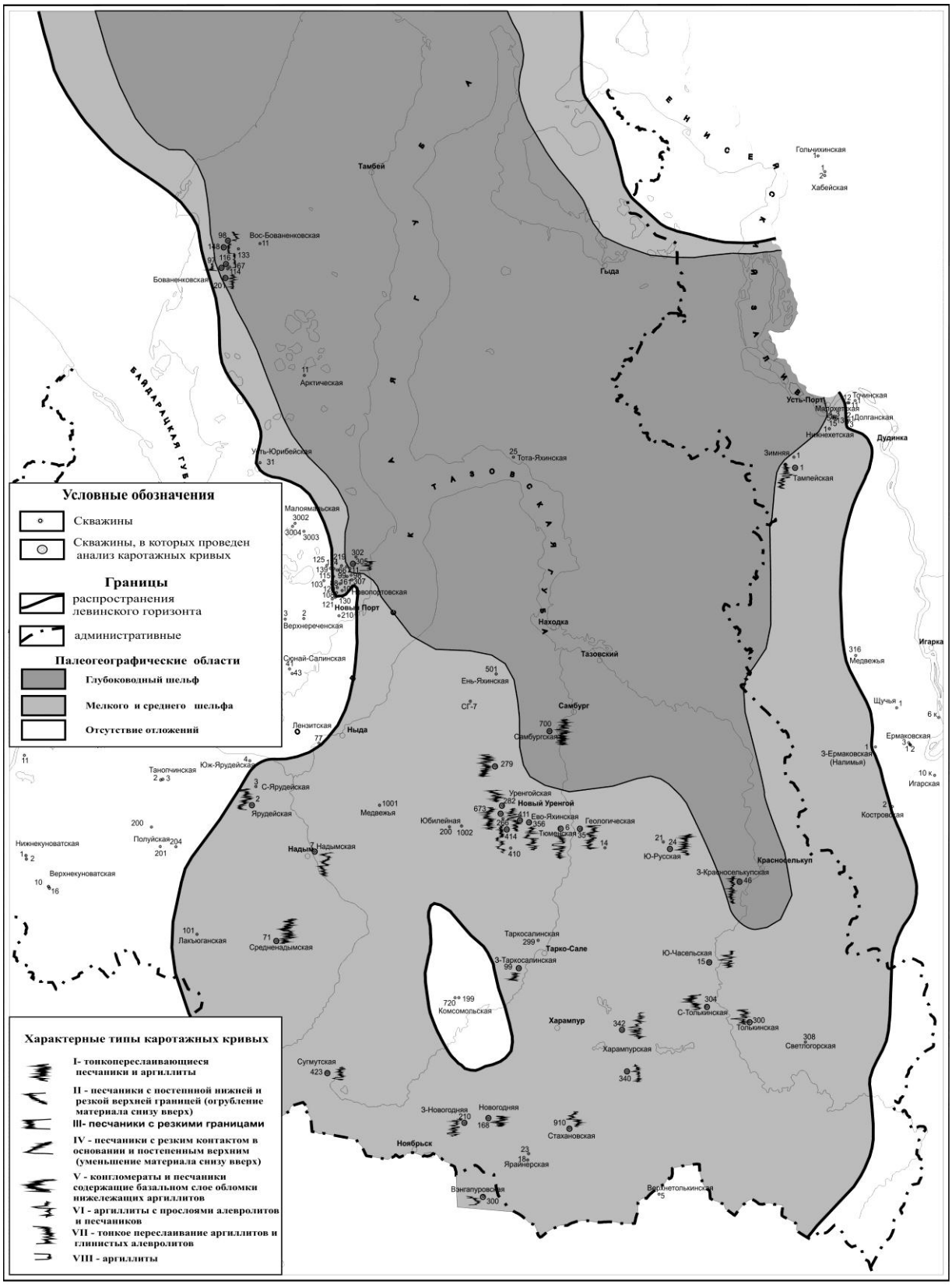


РИС. 2 ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКАЯ КАРТА ЗИМНЕГО ФЛЮИДОУПОРА СЕВЕРА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Наличие в отложениях левинского флюидоупора двустворок и фораминифер [4, 7] и глауконитоподобного минерала [5] является дополнительным свидетельством, что эти отложения накапливались в мелководно-морских и лагунных обстановках. Отмечающиеся в разрезах большинства скважин II и IV типы кривых соответствует вдольбереговым барам и прибрежным валам, а кривые III типа – дельтовым рукавам и промоинам разрывных течений. V тип кривых также характерен для промоин разрывных течений. Кривые I, VI, VII типа интерпретируются как обстановки мелкого и среднего шельфа, а VIII – лагун (Вынгапуровская 300) или глубокого шельфа (Бованенковская 97). В разрезах наиболее северных скважин преобладают VI, VII, VIII типы кривых, в центральной части (Уренгойская площадь) - чередование II, IV, VI, VII и VIII типа. В краевых частях территории, где толщины левинского флюидоупора уменьшаются, доля II, IV и VI типов кривых возрастает (Ярудейская 2; Надымская 7; Толькинская 300; Южно-Часельская 15) . На юге наблюдаются или тип VIII (Вынгапуровская 300) или чередование I, III, IV и VII типов (Зап. Новогодняя 210). Таким образом, анализ совокупности кривых еще раз подтверждает, что на всей рассматриваемой территории в левинское время существовал морской режим с обстановками глубокого шельфа на севере, мелкого и среднего шельфа в центральной части и лагунными, возможно дельтовыми, на юге.

БИБЛИОГРАФИЧЕКИЙ СПИСОК

1. Белозёров В.Б. Верхнеюрские дельты Западной Сибири [Текст] / В.Б. Белозеров, И.А. Иванов, Г.И. Резапов // Геология и геофизика. - 2001. - Т. 42. -№ 11-12. - С. 1888-1896.
2. Муромцев В.С. Электрометрическая геология песчаных тел – литологических ловушек нефти и газа [Текст] / В.С. Муромцев - Ленинград: Недра. - 1984. - 206 с.
3. Нехаев А,Ю. Обстановки осадконакопления нижнеюрских отложений севера Западной Сибири [Текст] / А.Ю. Нехаев // Палеонтология, стратиграфия и палеогеография мезозоя и кайнозоя бореальных районов Том. 1 Мезозой. Материалы научной сессию Новосибирск, 18-22 апреля 2011. Новосибирск. – 2011. – Т.1. – С. 192-195
4. Никитенко Б.Л. Стратиграфия, палеобиогеография и биофация юры Сибири по микрофауне (фораминиферы и остракоды) [Текст] / Б.Л. Никитенко – Новосибирск. - Параллель. - 2009. - 680 с.
5. Предтеченская Е.А. Литология, фация и коллекторы нижней-средней юры Уренгойского района [Текст] / Е.А. Предтеченская, И.В. Будников, В.П. Девятов // Геология и нефтегазоносность триас-среднеюрских отложений Западной Сибири. - Новосибирск. - 1991. - С. 20-32.
6. Селли Р.Ч. Древние обстановки осадконакопления [Текст] / Р.Ч. Селли - Москва. - Недра. - 1989. - 294 с.
7. Шурыгин Б.Н. Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири. Юрская система [Текст] / Б.Н. Шурыгин, Б.Л. Никитенко, В.П. Девятов, В.И. Ильина, С.В. Меледина, Е.А. Гайдебурова, О.С. Дзюба, А.М. Казаков, Н.К. Могучева. – Новосибирск. - Изд.-во СО РАН. - 2000 - 480 с.
8. Pirson S.J. Geologic well log Analysis (3ed) [Текст] / S.J. Pirson // Gulf Publ. Corp. - Houston. - 1983. - 424 p.
9. Selley Richard C. Subsurfase environmental analysis of North Sea sediments [Текст] / R.C. Selley // AAPG Bull/ - 1976 - v.60. - N 2. - P. 184-195.

© А.Ю. Нехаев, 2012

УДК 539.3+532.546+550.832.7

СОВМЕСТНАЯ ЭЛЕКТРОГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ И ГЕОМЕХАНИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРИСКВАЖИННОЙ ЗОНЫ И ЕЁ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИ ИНТЕРПРЕТАЦИИ КАРОТАЖНЫХ ДИАГРАММ ВИКИЗ И БКЗ

Галина Владимировна Нестерова
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук, 630090, г. Новосибирск, пр. ак. Коптюга, 3, кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории электромагнитных полей, тел. (383)330-49-53, email: NesterovaGV@ipgg.nsc.ru

Игорь Николаевич Ельцов
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук, 630090, г. Новосибирск, пр. ак. Коптюга, 3, доктор технических наук, доцент, заместитель директора, тел. (383)333-34-32, email: YeltsovIN@ipgg.nsc.ru

Лариса Алексеевна Назарова
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела им. Н.А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук, 630091, г. Новосибирск, Красный пр. 54, доктор физико-математических наук, заведующий отделом горного породоведения, тел. (383)2170528, email: larisa@misd.nsc.ru

Леонид Анатольевич Назаров
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела им. Н.А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук, 630091, г. Новосибирск, Красный пр. 54, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией горной информатики, тел. (383)2172446, email: naz@misd.nsc.ru

В окрестности бурящихся скважин возникают сложные и разнообразные по своей физической природе процессы. Совместное рассмотрение некоторых из них – электродинамических, гидродинамических и геомеханических – в единой модели прискважинной зоны позволяет более адекватно представить эволюцию этой зоны и провести петрофизическую интерпретацию данных геофизических (ГИС) и геолого-технологических (ГТИ) исследований скважины.

В работе было изучено влияние параметров геомеханических процессов на перераспределение удельного электрического сопротивления (УЭС) в окрестности скважины и соответствующее изменение показаний зондов электромагнитного каротажа (ВИКИЗ) и электрического каротажа (БКЗ).

Ключевые слова: каротаж, скважина, удельное электрическое сопротивление, моделирование, геомеханические процессы.

JOINT ELECTROHYDRODYNAMIC AND GEOMECHANICAL MODEL OF BOREHOLE INVIRONMENT AND APPLICATION FOR INTERPRETATION ELECTRIC AND ELECTROMAGNETIC LOGS

Galina V. Nesterova
Trofimuk Institute of petroleum geology and geophysics, Siberian branch of Russian Academy of Science, 3, Koptyug, Novosibirsk, 630090, Ph.D., scientist of Laboratory of electromagnetic fields, tel. (383)330-49-53, email: NesterovaGV@ipgg.nsc.ru
Igor N. Yeltsov
Trofimuk Institute of petroleum geology and geophysics, Siberian branch of Russian Academy of Science, 3, Koptyug, Novosibirsk, 630090, Doctor of Science, associate prof., Deputy director on scientific work, tel. (383)333-34-32, email: YeltsovIN@ipgg.nsc.ru

Larisa A. Nazarova
Chinackal Institute of Mining, Siberian Branch of RAS 630091, Novosibirsk, 54 Krasny Prospekt, prof., Head of Rock Properties Department, phone (383)2170528, email: larisa@misd.nsc.ru

Leonid A. Nazarova
Chinackal Institute of Mining, Siberian Branch of RAS 630091, Novosibirsk, 54 Krasny Prospekt, prof., Head of Rock Informatics Laboratory, phone (383)2172446, email: naz@misd.nsc.ru

Complex processes of different physical nature are occurred in the borehole environment during drilling. Joint simulation of electrodynamics, hydrodynamic and geomechanical processes make possible to represent reasonably evolution of near borehole zone and to interpret geophysical well logging and geotechnical survey. Impact of geomechanical parameters on resistivity redistribution and logs of VIKIZ (induction log) and BKZ (Russian lateral log) was studied.

Key words: logging, borehole, resistivity, simulation, geomechanical processes.

Предложенная ранее методика комплексной интерпретации данных электромагнитного (ВИКИЗ) и электрического (БКЗ) каротажа на основе электрогидродинамического моделирования позволила определять физические параметры пласта и прискважинной зоны [2, 4, 6]. Однако, возникающие при бурении дополнительные поля напряжений и деформаций вызывают изменение пористости и проницаемости, являющиеся важными факторами проникновения фильтрата бурового раствора в пласт. При этом изменяются распределения водонасыщенности и солености, а, следовательно, и удельного электрического сопротивления, фиксируемого комплексом электромагнитных и электрических измерений в скважинах.

Для расширения интерпретационной схемы был создан программно-алгоритмический комплекс, позволяющий моделировать одновременно происходящие в окрестности скважины геомеханические [1] и гидродинамические процессы [3, 7]. Были исследованы эффекты, возникающие при учёте геомеханических процессов, и оценено их влияние на геофизические измерения в скважинах. Установлено, что в зоне проникновения значения проницаемости могут изменяться в несколько раз (рис. 1, 2). Изменение радиальных профилей УЭС, связанное с учётом процессов деформации в окрестности скважины, показано на рис. 3. Параметры геомеханической модели: коэффициент бокового отпора 0.8; сцепление пород скелета коллектора

12 МПа; угол внутреннего трения пород скелета коллектора 15º; модуль Юнга 20 ГПа; коэффициент Пуассона 0.2; типичная зависимость проницаемости пород от дифференциального напряжения взята из [8]. На рис. 4 приведены синтетические диаграммы ВИКИЗ, рассчитанные для профилей УЭС, показанных на рис. 3. При интерпретации соответствующих кривых, рассматриваемых без учёта деформационных процессов, были получены совсем иные значения пористости и проницаемости, чем были заложены в исходную модель прямого моделирования УЭС (пористость 18% вместо 20%, проницаемость 17 мД вместо 50 мД).

Была проведена верификация результатов моделирования на экспериментальных каротажных диаграммах, полученных в скважинах Когалымского месторождения. Объяснены замеченные ранее и не укладывающиеся в электрогидродинамическую модель зоны проникновения высокоомные области вблизи скважины, обусловленные геомеханическим уплотнением среды в процессе бурения. Параметры геомеханических моделей (коэффициент бокового отпора, угол внутреннего трения,коэффициент Пауссона, модуль Юнга и др.) определялись по данным геофизических исследований в скважинах месторождений Западной Сибири и измерениям на керне, проведённым в центре коллективного пользования ИНГГ СО РАН и ИГД СО РАН [5].

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований, проект № 10-05-00835-а и Междисциплинарного интеграционного проекта СОРАН № 89.

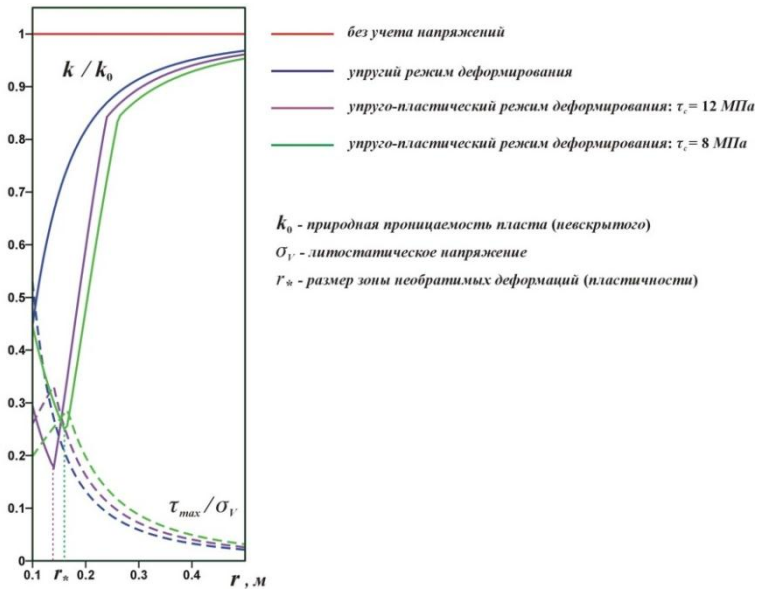


Рис. 1. Распределение дифференциальных напряжений и проницаемости пород в окрестности скважины

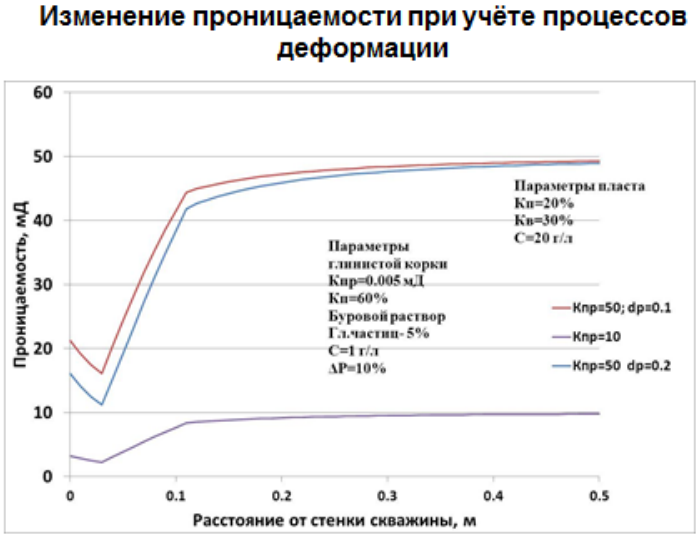
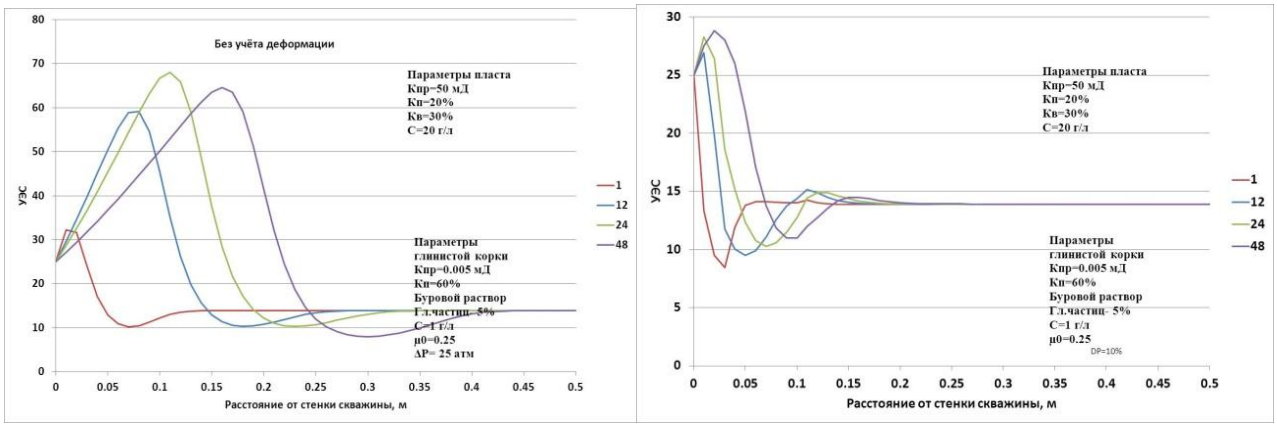
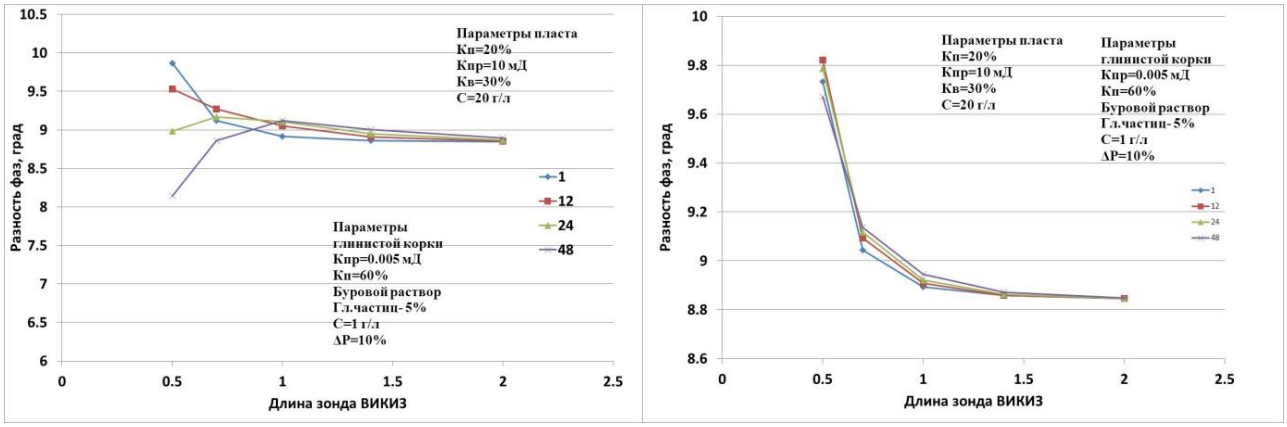


Рис. 2. Радиальный профиль проницаемости при разных параметрах пласта и деформации



а) *б)*

Рис. 3. Эволюция профиля УЭС при моделировании без учёта (а) и с учётом (б) процессов деформации. Легенда- время в часах после вскрытия пласта



а) *б)*

Рис. 4. Кривые зондирования ВИКИЗ при моделировании без учёта (а) и с учётом (б) процессов деформации. Легенда- время в часах после вскрытия пласта

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ельцов И.Н., Назаров Л.А., Назарова Л.А., Эпов М.И. Эволюция полей деформаций и фильтрационных параметров породных массивов в зонах возможных разрушений в окрестности глубоких скважин // Физическая мезомеханика. – 2010. – № 13. – 18-22.

2. Ельцов И.Н., Нестерова Г.В., Кашеваров А.А. Петрофизическая интерпретация повторных электромагнитных зондирований в скважинах // Геология и геофизика. – 2011. – Т. 52. – № 6. – С. 852-861.

3. Ельцов И.Н., Нестерова Г.В., Назарова Л.А., Назаров Л.А. Комплексная интерпретация данных каротажа с учётом моделирования гидродинамических и геомеханических процессов в окрестности скважины [Электронный ресурс] // Тезисы XIII научно-практической конференции «ГЕОМОДЕЛЬ-2011» . – Геленджик. – 11- 15 сентября 2011**.** – 4 с.

4. Кашеваров А. А., Ельцов И. Н., Эпов М. И. Гидродинамическая модель формирования зоны проникновения при бурении скважин // ПМТФ. – 2003. – Т. 44. – № 6. – С. 148-157.

5. Киндюк В.А. Назаров Л.А., Усольцева О.М., Цой П.А., Ельцов И.Н. Экспериментальное определение деформационных и прочностных характеристик породного массива в окрестности глубоких скважин // Тезисы докладов VII международного научного конгресса «Гео-Сибирь-2011».19-29 апреля 2011 г. – Новосибирск. – С. 146-150.

6. Нестерова Г.В., А.А. Кашеваров, И.Н. Ельцов. Эволюция зоны проникновения по данным повторного каротажа и математического моделирования // Каротажник. – 2008. – № 1. – С. 52-68.

7. Aziz K., Settari A. Petroleum reservoir simulation. London: Applied Scientific publishers ltd, 1979. – 476 p.

8. Holt R.M. Permeability reduction induced by a nonhydrostatic stress field // SPE Formation Evaluation. – 1990. – N 5. – P. 444-448.

© Г.В. Нестерова, И.Н. Ельцов, Л.А. Назарова, Л.А. Назаров, 2012

УДК 56.016.3:551.734.2(571.17)

КОНОДОНТЫ И БРАХИОПОДЫ ИЗ ТИПОВЫХ ВЫХОДОВ БЕЛОВСКОГО ГОРИЗОНТА (НИЖНИЙ ДЕВОН, СЕВЕРО-ВОСТОЧНЫЙ САЛАИР)

Надежда Георгиевна Изох
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, г. Новосибирск, 630090, пр. ак. Коптюга, 3, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Лаборатории палеонтологии и стратиграфии палеозоя, тел. (383)333-24-31, e-mail: IzokhNG@ipgg.nsc.ru

Николай Кириллович Бахарев
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения РАН, 630090, г. Новосибирск, пр. ак. Коптюга, 3, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник Лаборатории микропалеонтологии, тел. (383)333-11-26, e-mail: BakharevNK@ipgg.nsc.ru

Александр Юрьевич Язиков
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения РАН, 630090, г. Новосибирск, пр. ак. Коптюга, 3, научный сотрудник Лаборатории палеонтологии и стратиграфии палеозоя, тел. (383)333-24-29, e-mail: YazikovAY@ipgg.nsc.ru

В типовых выходах беловского горизонта и их аналогах обнаружены конодонты *Polygnathus serotinus* Telford. Ранее беловский горизонт сопоставлялся с конодонтовой зоной *gronbergi*.

Ключевые слова: конодонты, брахиоподы, беловский горизонт, нижний девон, Салаир.

CONODONTS AND BRACHIOPODS FROM TYPE SECTION OF BELOVO HORIZON (LOWER DEVONIAN, NORTH-EASTERN SALAIR)

Nadezhda G. Izokh
Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (IPGG SB RAS), Novosibirsk, Russia, 630090, Acad. Koptyug av. 3, PhD in Geology, Senior research scientist, Laboratory of Paleozoic paleontology and stratigraphy, Tel. (383)333-24-31, e-mail: IzokhNG@ipgg.nsc.ru

Nikolay K. Bakharev
Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (IPGG SB RAS), 630090, Novosibirsk, Acad. Koptyug av., 3, PhD in Geology, Leading research scientist, Laboratory of the micropaleontology, Tel. (383) 333-11-26, e-mail: BakharevNK@ipgg.nsc.ru

Aleksandr Yu. Yazikov
Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (IPGG SB RAS), 630090, Novosibirsk, Acad. Koptyug av., 3, Research scientist, Laboratory of the Paleozoic paleontology and stratigraphy, Tel. (383)333-24-29, e-mail: YazikovAY@ipgg.nsc.ru

In the type section of the Belovo Horizon and their analogs were found conodonts *Polygnathus serotinus* Telford. Before the Belovsky Horizon compared with the *gronbergi* Zone.

Key words: conodonts, brachiopods, Belovo Horizon, Lower Devonian, Salair.

При проведении комплексных геологических исследований девонских отложений северо-восточного Салаира в 1980-2011 гг. были переизучены ранее известные и выявлены новые разрезы на северо-восточном Салаире [1-3]. По всем разрезам был получен богатый палеонтологический материал по разным группам фауны – брахиоподам, кораллам, остракодам, конодонтам, мшанкам и остаткам позвоночных, точно привязанный к детальным геологическим колонкам разрезов [там же]. Проведенный биостратиграфический анализ распространения фауны в изученных разрезах нижнего девона Салаира существенно дополнил палеонтологическую характеристику региональных подразделений, но при этом были выявлены и спорные моменты относительно палеонтологической характеристики и трактовки возраста местных стратиграфических подразделений.

В 1978 г. в докладе на сессии Международной подкомиссии по стратиграфии девона (г. Самарканд) для «подшандинских» (= «полуяхтовских») слоев было предложено новое название - беловский горизонт с типовыми выходами в Акарачкинском карьере [4]. "Подшандинское" их положение обосновывалось находками брахиопод *Nymphorhynchia bischofioides* Ržon., *Leviconchidiella vagranica* (Khod.) и *Havlicekia pseudosecans* (Kulk.). Этот горизонт сопоставлялся с интервалом конодонтовой зоны *gronbergi*.

На Межведомственном стратиграфическом совещании (г. Новосибирск, 1979 г.) беловский горизонт был введен в унифицированную схему стратиграфии девона Салаира в качестве регионального подразделения, но в качестве стратотипа были приняты выходы серых известняков по рч. Баскускан [5].

Для уточнения палеонтологической характеристики с начала 80-х годов были обследованы все выходы карбонатных пород в бортах Акарачкинского карьера и детально отобраны пробы на макро- и микрофауну. Первые полученные палеонтологические данные по конодонтам и брахиоподам показали ошибочное отнесение к беловскому горизонту темно-серых слоистых и серых массивных известняков в северо-западной части Акарачкинского карьера, а также ошибочное понижение интервала распространения вида *Zdimir baschkiricus* (Vern.) до беловского горизонта включительно [1, 2].

Изучение рифогенных известняков с целью выявления конодонтовых ассоциаций беловского горизонта, проведенное в юго-западной и западной части Акарачкинского карьера показало, что во всех опробованных разрезах найдены конодонты *Polygnathus serotinus* Telford. Совместно с ними в ряде выходов фиксируется и присутствие брахиопод *Nymphorhynchia bischofioides* Ržon., *Leviconchidiella vagranica* (Khod.), *Havličekia pseudosecans* (Kulk.), *Leviconchidiella mirabilis* Ržon., *Ivdelinia moldawancewii* Andr., *Protodouvillina grandicula* (Grats.) и др.

Во всех типовых выходах беловского горизонта в районе г. Гурьевска и по рч. Баскускан найдены конодонты *Polygnathus serotinus* Telford. Полученные данные требуют проведения ревизии ранее выполненных корреляционных построений [1, 2].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 11-05-00737), Программы РАН 28, Интеграционного проекта 93, выполняемого совместно с УрО РАН. Авторы координируют свои исследования также с программами работ по проекту 596 IGCP.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Стратотипические разрезы нижнего и среднего девона Салаира. Теленгитский надгоризонт: терригенно-карбонатные фации / Е.А. Елкин, Н.К. Бахарев, Р.Т. Грацианова и др. / [Текст] Стратотипические. - Новосибирск: ИГиГ, 1986. Отв. ред. Елкин Е.А., Каныгин А.В. - 142 с.

2. Стратотипические разрезы нижнего и среднего девона Салаира. Теленгитский надгоризонт: карбонатные фации / Е.А. Елкин, Н.К. Бахарев, Р.Т. Грацианова и др. / [Текст] Стратотипические. - Новосибирск: ИГиГ, 1987. Отв. ред. Елкин Е.А., Каныгин А.В. - 194 с.

3. Yolkin E.A., Bakharev N.K., Izokh N.G., Gratsianova R.T., Kipriyanova T.P., Obut O.T. Devonian sequences of Salair, Rudny & Gorny Altai. Field Excursion Guidebook. International Conference “Devonian Terrestrial and Marine Environments: from Continent to Shelf” (IGCP 499 Project / SDS joint field meeting) [Текст] / E.A. Yolkin, N.K. Bakharev, N.G. Izokh, R.T. Gratsianova, T.P. Kipriyanova, O.T. Obut - Novosibirsk, Russia. July 25 – August 9, 2005. Novosibirsk: Publishing House of SB RAS, “Geo” Branch. 2005. - 80 p.

4. Елкин Е.А., Грацианова Р.Т., Желтоногова В.А., Ким А.И. Основные биостратирафические рубежи и подразделения нижнего и среднего девона на западе Алтае-Саянской области и их корреляция [Текст] / Е.А. Елкин, Р.Т. Грацианова, В.А. Желтоногова, А.И. Ким / в кн.: Биостратиграфия пограничных отложений нижнего и среднего девона. Труды полевой сессии Международной подкомиссии по стратиграфии девона, Самарканд, 1978. - Ленинград: Наука, 1982. - С. 65-80.

5. Решения Всесоюзного совещания по разработке унифицированных стратиграфических схем докембрия, палеозоя и четвертичной системы Средней Сибири, 1979 г. Ч. 2. (средний и верхний палеозой) [Текст] / Решения. - Новосибирск: СНИИГГиМС, 1982. - 130 с.

© Н.Г. Изох, Н.К. Бахарев, А.Ю. Язиков, 2012

УДК 550.832

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ МАТЕРИАЛОВ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН НЕФТЕНОСНОГО РАЗРЕЗА БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ: ЛИТОТИПЫ И ИХ ФИЗИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ

Мария Александровна Павлова
Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, 630090, г. Новосибирск, пр. Коптюга, 3, научный сотрудник, e-mail: PavlovaMA@ipgg.nsc.ru

Карина Владимировна Сухорукова
Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, 630090, г. Новосибирск, пр. Коптюга, 3, старший научный сотрудник, e-mail: SuhorukovaKV@ipgg.nsc.ru

Вячеслав Николаевич Глинских
Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, 630090, г. Новосибирск, пр. Коптюга, 3, заведующий лабораторией, e-mail: GlinskihVN@ipgg.nsc.ru

Валерий Александрович Казаненков
Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, 630090, г. Новосибирск, пр. Коптюга, 3, заведующий лабораторией, e-mail: KazanenkovVA@ipgg.nsc.ru

Выполнена детальная интерпретация материалов ГИС в интервале продуктивного разреза баженовской свиты одной из скважин Салымского месторождения, по результатам которой выделены литологические типы пород, определены их основные физические параметры, в том числе построено пространственное распределение удельного электрического сопротивления и относительной диэлектрической проницаемости.

Ключевые слова: баженовская свита, литотипы, интерпретация, физические параметры.

LOG DATA INTERPRETATION OF THE BAGENOV FORMATION PRODUCING INTERVAL: LITHOTYPES AND THEIR PHYSICAL PARAMETERS

Maria A. Pavlova
Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Koptyug, 3, Novosibirsk, 630090, Russian Federation, scientist, e-mail: PavlovaMA@ipgg.nsc.ru

Carina V. Suhorukova
Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Koptyug, 3, Novosibirsk, 630090, Russian Federation, senior staff scientist, e-mail: SuhorukovaKV@ipgg.nsc.ru

Vyacheslav N. Glinskih
Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Koptyug, 3, Novosibirsk, 630090, Russian Federation, head of laboratory, e-mail: GlinskihVN@ipgg.nsc.ru

Valery A. Kazanenkov
Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Koptyug, 3, Novosibirsk, 630090, Russian Federation, head of laboratory, e-mail: KazanenkovVA@ipgg.nsc.ru

Detail log data interpretation of the bagenov formation producing interval one of the well of Salum oil-field have been done. As the result, lithotypes of rocks have recognized on a bases of logs,

geophysical parameters of rocks have defined, geoelectrical section describing resistivity and dielectric permittivity have made.

Key words: bagenov formation, lithotypes, interpretation, physical characteristics.

На территории Западной Сибири многие тысячи поисковых и разведочных скважин вскрыли баженовскую свиту (пласт $Ю_0$), однако до сих пор не выработано методики выделения продуктивных интервалов баженовской свиты по каротажным данным. Работа направлена на развитие интерпретационных подходов и способов для достоверного выделения коллекторов в баженовской свите, определения их литологического состава, физических свойств и насыщения.

Характерной особенностью баженовской свиты является высокая степень неоднородности как вещественного состава самой толщи, так и коллекторов в ней: трещинных в преимущественно кремнистых разностях породах и трещинно-кавернозных в преимущественно карбонатных. Неоднородность вещественного состава связана с изменением содержания по разрезу глинистого, кремнистого, карбонатного и органогенного (до 10-25 %) вещества, обусловленного седиментационными факторами. В результате этого разрез представлен чередованием кремнистых (силициты), кремнисто-карбонатных, глинистых, карбонатно-глинистых и кремнисто-глинистых пород, в разной степени обогащенных органическим веществом [Конторович и др., 1975; Брадучан и др., 1986, Гурари и др., 1988; *Локальный прогноз* …, 1992; Конторович и др., 1998].

Породы баженовской свиты по своим физическим свойствам существенно отличаются не только от вмещающих пород, но и между собой, что позволяет разделить их на литологические типы по ГИС. В исследованной скважине в разрезе свиты выделяется 3 пачки, для которых наблюдаются характерные изменения физических характеристик по основным методам ГИС от подошвы к кровле. На основе результатов интерпретации материалов ГИС, выполненных с использованием данных, полученных при литологических исследованиях керна, в интервале баженовской свиты выделены следующие литотипы (см. рис. 1, слева): 1) карбонатные породы; 2) глинисто-кремнистые породы с тонкими карбонатными прослоями; 3) кремнистые породы (силициты); 4) глинисто-кремнистые с высоким содержанием $С_{орг}$; 5) аргиллиты и кремнисто-глинистые породы, близкие к аргиллитам. Первый тип пород залегает, как правило, в подошве каждой из выделенных пачек. Второй и третий типы залегают в середине пачек и являются переходными разностями от карбонатных пород к сильно битуминозным кремнисто-глинистым породам. Четвертый тип – глинисто-кремнистые сильно битуминозные породы, залегают в кровле каждой пачки. Пятый тип встречается в кровле и подошве баженовской свиты.

По диаграммам радиоактивного каротажа ГК и НК (водородосодержания W, %) и электрометрии (БК) указанные пять литотипов характеризуются следующими значениями (см. таблицу 1).

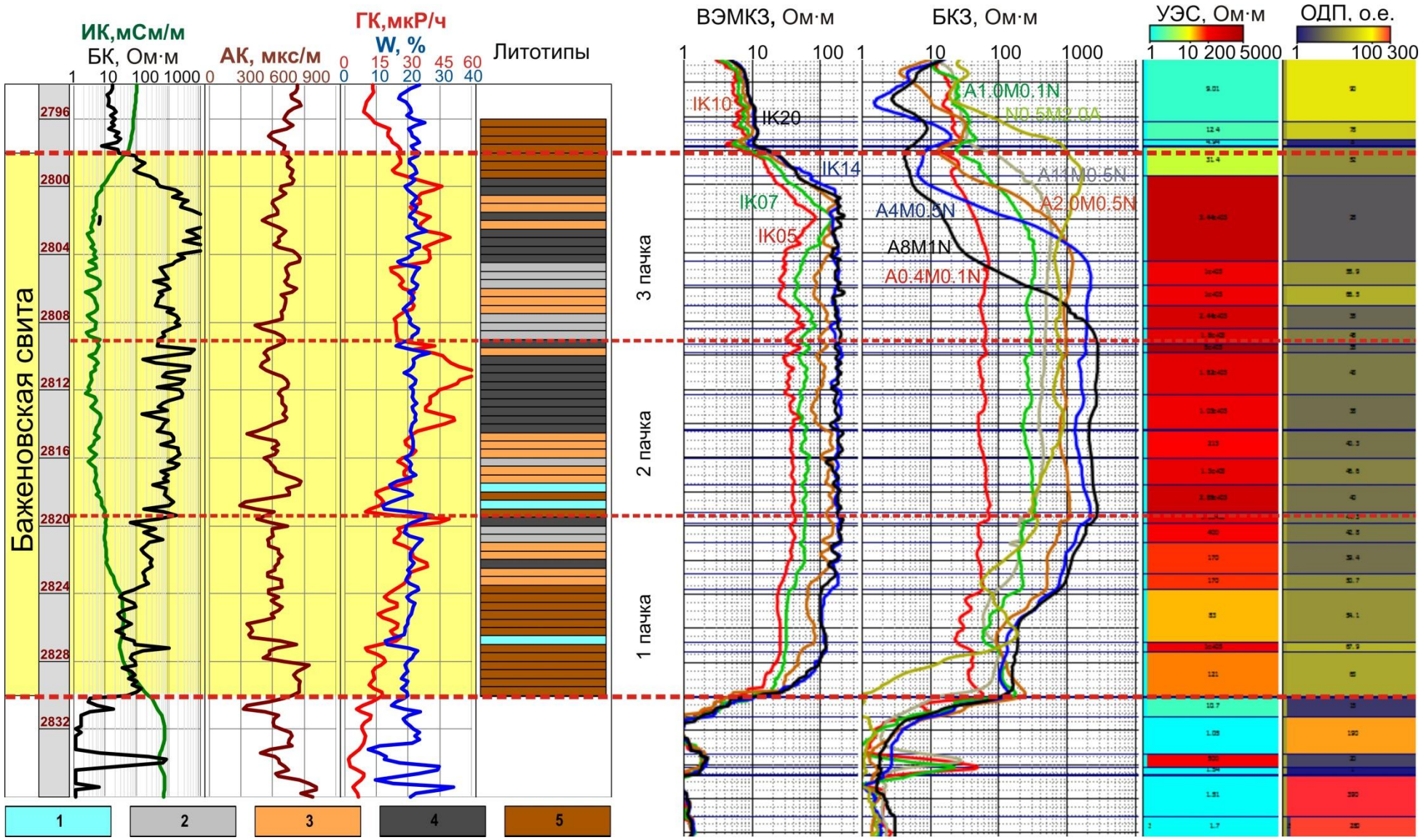


Рис. 1. Результаты интерпретации комплекса ГИС. Слева направо: диаграммы ИК, БК, АК и РК, литологическая модель по ГИС. Обозначение литотипов в тексте. Справа: диаграммы ВЭМКЗ и БКЗ, геоэлектрическая модель (УЭС и ОДП).

Таблица 1. Физические характеристики пород баженовской свиты

Литотип	ГК, мкР/ч	W, %	БК, Ом·м
1	18 – 26	11 – 14	33 – 930
2	20 – 27	19 – 24	270 – 2200
3	27 – 36	18 – 22	120 – 10000
4	37 – 54	16 – 23	50 – 9000
5	14 – 26	16 – 23	7 – 180

Породы с преимущественно глинисто-кремнистой составляющей характеризуются высокими значениями УЭС, повышенными значениями ГК и пониженными НК, в отличие от аргиллитов, что связано с их литологическими особенностями и разным содержанием органического вещества ($C_{орг}$ в глинисто-кремнистых породах 8.5–16%; в аргиллитах – 1–2%).

Для выявления связей геофизических характеристик проведен анализ распределения сигналов ГК, НК (водородосодержания W, %) и БК в интервале баженовской свиты. По значениям РК уверенно могут быть выделены два литотипа: кремнистые породы без карбонатного материала (силициты) и глинисто-кремнистые с высоким содержанием Сорг. Наиболее четко литотипы баженовской свиты выделяются на кросс-плоте БК и ГК, где каждый охарактеризован своей областью без существенного пересечения.

Из методов электрометрии в скважине проводились боковое каротажное зондирование (БКЗ) на постоянном токе и высокочастотное электромагнитное каротажное зондирование (ВЭМКЗ) на переменном токе в диапазоне частот 0.875–14 МГц [*Технология исследования* …, 2000]. Диаграммы кажущихся сопротивлений для этих методов характеризуют породы баженовской свиты высоким удельным электрическим сопротивлением (от сотен до нескольких тысяч Ом·м), но их сглаженность не позволяет оценить УЭС контрастных тонких (толщиной 0.5–1 м) пропластков, уточнить положение границ между пропластками, а влияние вмещающих пород искажает оценку УЭС в кровельной части. Для повышения достоверности количественная интерпретация проведена на основе численного моделирования и инверсии каротажных сигналов в рамках двумерной модели среды с учетом диэлектрической проницаемости и анизотропии электропроводности.

Детальный подбор сигналов БКЗ производился с учетом макроанизотропии УЭС. На рис. 1 справа представлена модель распределения горизонтального УЭС. Значения УЭС свиты изменяются от 100–200 Ом·м в подошвенной части до 3 500 Ом·м в кровельной части. Выделенные литотипы пород характеризуются следующими значениями: 1 тип (карбонатные породы) имеет сопротивление от 110 до 3 000 Ом·м, 2 и 3 тип (глинисто-кремнистые породы) – около 3 000 Ом·м в верхней пачке, 2 000 Ом·м в средней пачке и около 400 Ом·м – в нижней пачке, 4 тип (глинисто-кремнистые с высоким содержанием $C_{орг}$) в среднем 3500 Ом·м и выше, а 5 тип (аргиллиты и кремнисто-глинистые породы, близкие к аргиллитам) от 10 до 80 Ом·м. Значение коэффициента электрической анизотропии λ для аргиллитов изменяется в пределах 1.3–1.8; для глинисто-кремнистых пород – от 1.1 до 1.4; для карбонатов $\lambda = 2.1$. Результаты двумерной

инверсии показывают, что баженовская свита гораздо сильнее дифференцируется по значению УЭС, чем это можно предположить при визуальном анализе диаграмм БКЗ.

По данным ВЭМКЗ определена эффективная относительная диэлектрическая проницаемость (ОДП). Диэлектрическая проницаемость зависит от частоты возбуждающего электромагнитного поля, поэтому для сигнала каждого зонда определяется свое значение ОДП. Результаты подбора приведены на рис. 1, справа. Наибольшая частотная дисперсия ОДП наблюдается в верхнем слое высокоомных глинисто-кремнистых пород и в нижнем слое карбонатов. Значения ОДП на частоте 14 МГц изменяются от 30–40 в глинисто-кремнистых породах до 50 в аргиллитах; на частоте 7 МГц – около 60 в глинисто-кремнистых породах и 52–62 в аргиллитах; на частоте 3.5 МГц – от 60 в глинисто-кремнистых породах до 70–90 в аргиллитах; на частоте 1.75 МГц – от 80–100 в аргиллитах до 100–120 в глинисто-кремнистых породах. Сложное поведение ОДП отражает неоднородность структурных особенностей и вещественного состава пород баженовской свиты.

В результате проведена численная интерпретация материалов ГИС в интервале продуктивного разреза баженовской свиты в одной из скважин Салымского месторождения. По результатам выполненной интерпретации выделены литологические типы пород, определены их основные геофизические параметры, построено пространственное распределение УЭС и ОДП.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Конторович А.Э., Нестеров И.И., Салманов Ф.К. и др. Геология нефти и газа Западной Сибири. - М.: Недра, 1975. – 680 с.
2. Брадучан Ю.В., Гурари Ф.Г., Захаров В.А. и др. Баженовский горизонт Западной Сибири (стратиграфия, палеогеография, экосистема, нефтеносность). – Новосибирск: Наука, 1986. – 217 с.
3. Гурари Ф.Г., Вайц Э.Я., Меленевский В.Н. и др. Условия формирования и методика поисков залежей нефти в аргиллитах баженовской свиты. /Под. ред. Ф.Г. Гурари. - М.: Недра, 1988. С. – 199.
4. Локальный прогноз залежей нефти баженовской свиты / Под ред. Т.В. Дорофеевой. - М.: Недра, 1992. – С. 139.
5. Конторович А.Э., Меленевский В.Н., Занин Ю.Н. и др. Литология, органическая геохимия и условия формирования основных типов пород баженовской свиты (Западная Сибирь) // Геология и геофизика, 1998. – Т. 39. – № 11. – С. 1477-1491.
6. Технология исследования нефтегазовых скважин на основе ВИКИЗ / Под ред. М. И. Эпова, Ю. Н. Антонова. – Новосибирск: НИЦ ОИГГМ СО РАН, Издательство СО РАН, 2000. - 112 с.

© М.А. Павлова, К.В. Сухорукова, В.Н. Глинских, В.А. Казаненков, 2012

УДК 553.98:556.3 (571.5)

ГИДРОГЕННО-МИНЕРАЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ЗОНЫ КАТАГЕНЕЗА СЕВЕРНЫХ РАЙОНОВ ЗАПАДНО-СИБИРСКОГО МЕГАБАССЕЙНА

Дмитрий Анатольевич Новиков
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, 630090, г. Новосибирск, проспект академика Коптюга, 3, заведующий Лабораторией гидрогеологии осадочных бассейнов Сибири, тел. (383)363-80-36, e-mail: NovikovDA@ipgg.nsc.ru

Впервые проведено компьютерное физико-химическое моделирование равновесий в системе «вода-порода» для основных структур северных районов Западно-Сибирского мегабассейна. Установлены закономерности вертикальной литогидрогеохимической зональности в зоне катагенеза и выявлены её контролирующие факторы. Впервые выявлены равновесные составы подземных вод и параметры геохимической среды, являющиеся необходимым условием для формирования тех или иных минеральных новообразований.

Ключевые слова: система «вода-порода», литогидрогеохимическая зональность, гидрогенно-минеральный комплекс.

HYDROGENIC-MINERAL COMPLEXES OF THE CATAGENESIS ZONE IN THE NORTHERN WEST SIBERIAN MEGABASIN

Dmitry A. Novikov
Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (IPGG SB RAS), Acad. Koptyug av., 3, 630090, Novosibirsk, Head of Laboratory of hydrogeology of sedimentary basins of Siberia, tel. (383) 363-80-36, e-mail: NovikovDA@ipgg.nsc.ru

For the first time a computer physicochemical simulation of equilibriums in the "water-rock" system for the basic structures of the northern West Siberian megabasin was carried out. The patterns of vertical lithohydrogeochemical zoning in the catagenesis zone and its controlling factors were established. For the first time the equilibrium compositions of groundwaters and parameters of the geochemical media were identified, which are a prerequisite for various mineral new formations.

Key words: «water-rock» system, lithohydrogeochemical zoning, hydrogenic-mineral complex.

Применительно к осадочным бассейнам наиболее острой является проблема выявления природы и механизмов диагенетического и катагенетического преобразования погружающихся осадков. Долгое время эта проблема решалась чисто литологическими методами, но физико-химический механизм таких преобразований так и остался не раскрытым, поскольку эти исследования проводились в отрыве от состава подземных вод.

Уже более 30-ти лет назад в научной Сибирской гидрогеохимической школе, под руководством С.Л. Шварцева обоснован принцип равновесно-неравно-весного состояния системы вода-порода, который означает, что все природные воды всегда неравновесны с одними минералами (эндогенными),

которые они непрерывно растворяют, но в то же время они всегда равновесны с какими-то вторичными минералами, которые они постоянно формируют. Равновесно-неравновесное состояние системы вода-порода отражает ее внутренне противоречивый характер, определяющий ее способность к самопроизвольному, непрерывному, геологически длительному развитию с образованием принципиально новых вторичных минералов и геохимических типов воды, которые в совокупности следует именовать гидрогенно-минеральными комплексами [1-5].

В рамках настоящей работы нами изучено равновесие подземных вод нефтегазоносных отложений с минералами вмещающих пород в северных районах Западно-Сибирского мегабассейна и выявлены гидрогеохимические и термодинамические условия гидрослюдизации. Установлено, что, несмотря на невысокую соленость исследуемых вод (до 67 г/дм^3) и очень длительное взаимодействие их с горными породами (десятки, а возможно и сотни миллионов лет), равновесия с первичными (эндогенными) минералами альбитом, анортитом, микроклином практически не наблюдается. В то же время подземные воды равновесны с такими минералами как парагонит, маргарит, иллит, мусковит, Ca-, Na- и Mg-монтмориллониты, реже с каолинитом и Mg-хлоритом. Для нанесения данных по составу подземных вод нами использовались диаграммы из работ Х. Хельгесона, М. Бин Баккара и Б. Фрица [6, 7].

Наиболее сильно эпигенетическими процессами затронуты юрские отложения, что проявляется в широком распространении в них структур приспособления и внедрения. Количество базального и порового цемента заметно снижается с глубиной (единичные случаи присутствия в юрских отложениях), а увеличивается количество порово-плёночного, плёночно-порового и плёночного типов. Состав цемента широко представлен глинистыми и карбонатными разновидностями. Так, например, в продуктивных отложениях тюменской свиты (средняя юра) Западно-Славинского месторождения доминирует каолинизация глинистого цемента, выщелачивание и перекристаллизация неустойчивых обломочных зерен в кварц и глинистые минералы (каолинит, в меньшей степени в гидрослюду) (рис. 1) [8].

Результаты рентгено-структурного анализа осадочных пород свидетельствуют о качественных и количественных минералогических изменениях в глинах/аргиллитах и в составе глинистого цемента песчаников/алевролитов. В песчаниках/алевролитах и глинах/аргиллитах с глубиной увеличивается доля гидрослюд и смешанно-слойных образований, содержания хлорита в целом также увеличиваются, но наибольшее количество хлорита в составе цемента характерно для пород неокомского комплекса.

Распределение и количественные расчёты по составу глинистой составляющей как в песчаниках/алевролитах, так и в глинах/аргиллитах свидетельствуют о процессах стадиального изменения пород. Интенсивность преобразования минералов увеличивается с глубиной и в тех и в других породах, но в глинах/аргиллитах на любой стадии количественные масштабы преобразования минералов выше. Однако, преобразование глинистых

минералов в зернистых породах идёт иным путём, нежели в глинах – путём синтеза, т. е. осаждением из раствора.

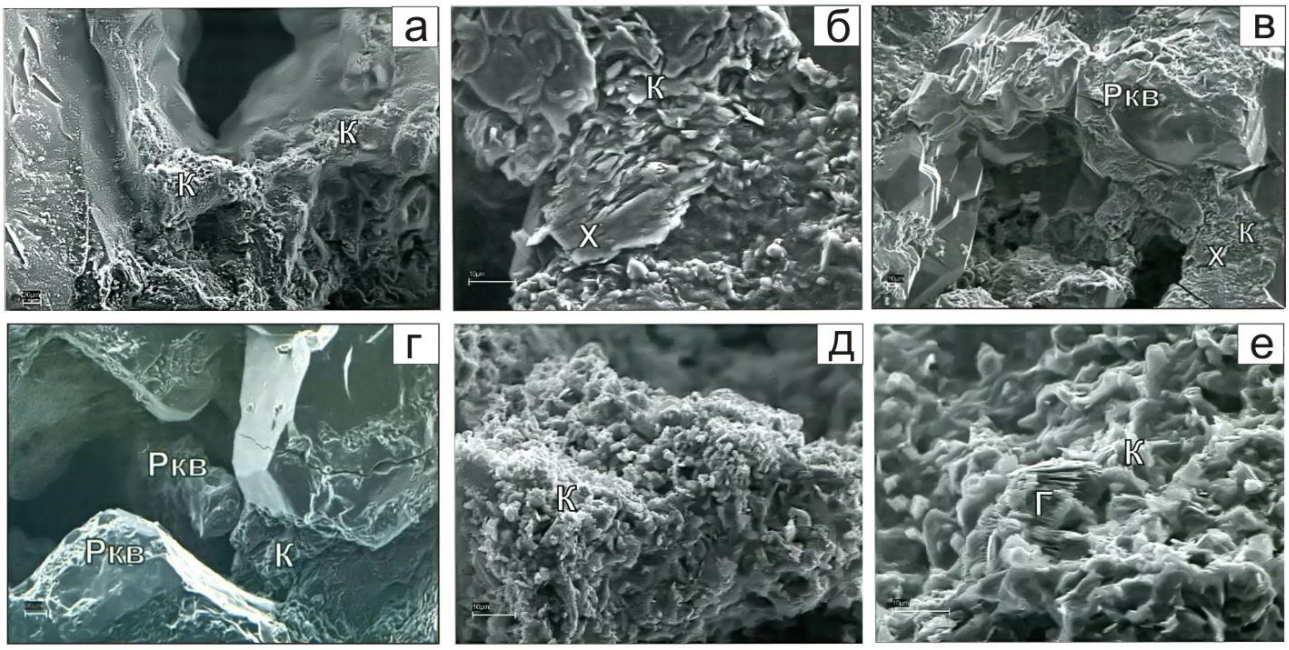


Рис. 1. Эпигенетические изменения пород-коллекторов тюменской свиты Западно-Славинского месторождения (по Кузьмину, Ивановой, Хайновской, 2011):

а – фрагмент снимка с одиночной открытой порой, окруженной остроугольными, иногда выщелоченными, реже частично регенерированными обломочными зёрнами кварца, отмечаются аргиллизированные обломочные зёрна, сложенные эпигенетическим каолинитом; б – фрагмент снимка с морфологией терригенного обломочного зерна хлорита магнезиально-железистого состава, а также плотными агрегатами порового эпигенетического каолинита; в – крупно-среднезернистый песчаник с открытой порой, окруженной регенерированными зёрнами и новообразованными кристаллами, в поре отмечаются эпигенетические глинистые минералы, представленные каолинитом, справа от поры отмечается терригенный обломок хлорита; г – фрагмент снимка с морфологией регенерированных обломочных зёрен кварца, а также аргиллизированным обломочным зерном, сложенным мелкозернистыми агрегатами каолинита с небольшой примесью гидрослюды и ангидрита; д - фрагмент снимка с морфологией аргиллизированного зерна, сложенного каолинитом; с зёрнами аргиллизитов связана остаточная вода, содержащаяся в многочисленных мелких порах, присутствующих между зёрнами и кристаллами каолинита; е - фрагмент снимка с микрозернистым строением аргиллизита, сложенного агрегатами каолинита и мелкими чешуйками гидрослюды

Анализ термодинамических диаграмм с нанесением точек активностей компонентов состава подземных вод показал, что данные точки локализуются в основном в полях устойчивости слюдистых (мусковит, парагонит, маргарит) и глинистых (каолинит, иллит, монтмориллонит) минералов. Ограниченное число точек попадает в поля устойчивости полевых шпатов, за исключением анортита. На диаграммах стабильности магниевых минералов наблюдается плотное, практически линейное расположение точек в поле Mg-хлорита, Mg-монтмориллонита и в меньшей степени каолинита. Все воды насыщены

относительно карбонатных минералов (кальцита и доломита). Воды современных морей и океанов равновесны со слюдистыми минералами различного состава, изученные седиментогенные воды частично унаследуют это, а частично находятся в равновесии с глинистыми минералами: в системах Si-Al-Na, Si-Al-Ca - с каолинитом и монтмориллонитами соответствующего состава, а в системе Si-Al-K - с иллитом. Причем в системах Si-Al-Na и Si-Al-K отчетливо наблюдается смещение точек состава вод более погруженных горизонтов в поле полевых шпатов (альбита и микроклина). Такая направленность процесса подтверждается и литологическими наблюдениями: с глубиной возрастает встречаемость и количество новообразованного альбита и иллита в песчано-алевритовых породах изучаемых отложений. Каолинит же, не являясь устойчивым минералом, в ходе позднего катагенеза и особенно метагенеза в конечном итоге преобразуется в другие глинистые и слюдистые минералы и практически не встречается в породах метаморфических фаций.

В результате физико-химических расчётов выявлены различия в составе подземных вод зоны катагенеза, равновесных с различными вторичными (каолинит, иллит, Mg-, Ca- и Na-монтмориллонит, Mg-хлорит, маргарит, парагонит, мусковит) и значительно реже с первичными алюмосиликатными минералами (альбит и мусковит). При этом не установлено подземных вод насыщенных по отношению к анортиту, что является закономерным для нефтегазоносной системы Западно-Сибирского мегабассейна.

Установлено, что основными контролирующими факторами при эволюционном развитии системы является pH среды и концентрация в растворе кремнезёма. На пути установления равновесия подземных вод с первичными алюмосиликатными минералами всегда выступает карбонатный барьер. Анализ изменения значений pH и содержаний H_4SiO_4 в подземных водах, равновесных с последовательно расположенными минералами от глинистых к эндогенным алюмосиликатам, свидетельствуют о закономерном возрастании величин этих показателей и в общем виде подчиняется схеме эволюции системы вода-порода в зоне гипергенеза [9]. Установлено, что формирование широко распространённого каолинитового цемента протекает в около нейтральной среде (в среднем pH = 7,2) при концентрации кремнезема в растворе 15-20 мг/дм^3, а образование аутигенного иллита (гидрослюдизация) начинает проявляться при концентрациях кремнезема в растворе 25-40 мг/дм^3 и pH среды около 7,3-7,4. Различные содержания катионов (K^+, Na^+ и Mg^{2+}) в составе подземных вод, равновесных с алюмосиликатными минералами являются следствием количественных и качественных вариаций их вхождения в кристаллическую структуру глинистых и слюдистых минералов, а также ионно-обменными свойствами глин.

Таким образом, различия в составах подземных вод, равновесных с определёнными алюмосиликатами и карбонатами свидетельствуют о том, что минеральные новообразования формируются из раствора строго определённого химического состава в соответствующей геохимической среде. Решающее влияние на результат гидролиза силикатов оказывает содержание в пластовых водах соединений кремния. Более низкие концентрации H_4SiO_4 приводят к

образованию иллита, более высокие к образованию хлоритов и проявления процессов вторичной альбитизации.

Неравновесность системы вода – первичные алюмосиликаты приводит к непрерывному геологически длительному процессу их растворения с образованием все новых и новых разнообразных вторичных минералов. При этом в воде концентрируются те химические элементы, которые не связываются минеральными фазами (хлор, натрий, иногда кальций, фтор и др.). Все это определяет целенаправленное изменение состава подземных вод.

Из вышесказанного следует, что термодинамический анализ вместе с детальными исследованиями геохимии подземных вод и литологии вмещающих их отложений показал, что взаимоотношения в системе алюмосиликаты – подземные воды являются довольно сложными и носят равновесно-неравновесный характер. Установлены равновесные составы вод, которые, при строго определенной pH среды и концентрации кремнезема служат источником для образования равновесных минеральных фаз, в том числе и иллита.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 10-05-00442).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шварцев С.Л. О соотношении составов подземных вод и горных пород // Геология и геофизика, 1992, № 8, с. 16-50.
2. Шварцев С.Л. Взаимодействие воды с алюмосиликатными горными породами. Обзор // Геология и геофизика, 1991, №12, с. 16-50.
3. Шварцев С.Л. К проблеме самоорганизации геологической системы вода – порода // Геология и геофизика, 1995, № 4, с. 22-29.
4. Шварцев С.Л. Прогрессивная самоорганизация в системе вода-порода // Известия секции наук о Земле РАЕН, 2005, № 13, с. 139-152.
5. Шварцев С.Л. Взаимодействие в системе вода-порода как новая база для развития гидрогеологии // Тихоокеанская геология, 2008, том 27, № 6, с. 5-16.
6. Helgeson H.C. Thermodinamics of hydrothermal systems at elevated temperatures and pressures. // Amer.J.Sci., 1969, v.267, № 7, p. 729-804.
7. Ben Baccar M., Fritz B. Digenetic albitization of K-feldspar and plagioclase in sandstone reservoirs: thermodynamic and kinetic modeling. // Journal of sedimentary Petrology, 1993, v.63, № 6, November, p. 1100-1109.
8. Кузьмин Ю.А., Иванова Н.А., Хайновская Я.А. Влияние эпигенетических процессов на фильтрационно-емкостные свойства пород – коллекторов тюменской свиты Шаимского НГР. // Труды 14-ой научно-практической конференции «Пути реализации нефтегазового и рудного потенциала Ханты-Мансийского автономного округа – Югры», Т 1, Ханты-Мансийск, ИздатНаукаСервис. – 2011. С.281-286.
9. Шварцев С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. 2-е изд., исправл. и доп. М.: Недра, 1998, 366 с.

© Д.А. Новиков, 2012

УДК 550.384:551.7

МАГНИТОСТРАТИГРАФИЯ КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ ПАЛЕОГЕН-НЕОГЕНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ СКВ. 8 (ЮГ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ)

Александра Викторовна Левичева
Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, 630090, Новосибирск, пр. ак. Коптюга, 3, инженер, e-mail: Levicheva-aleksa@mail.ru

Зинаида Никитична Гнибиденко
Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, 630090, Новосибирск, пр. ак. Коптюга, 3, ведущий научный сотрудник, e-mail: gnibidenkozn@ipgg.nsc.ru

В статье приведены результаты магнитостратиграфических исследований континентального палеогена и неогена, вскрытого скважиной 8, пробуренной на юге Западной Сибири (Русско-Полянский район). В результате проведенных исследований, на основании комплексных палеомагнитных и биостратиграфических данных, построен магнитостратиграфический разрез континентального палеогена и неогена. Этот разрез состоит из 11 магнитозон прямой и обратной полярности, привязанных к шкале геомагнитной полярности кайнозоя Западно-Сибирской плиты.

Ключевые слова: Западная Сибирь, магнитостратиграфический разрез, континентальный палеоген и неоген.

MAGNITOSTRATIGRAPHY OF CONTINENTAL PALEOGENE-NEOGENE DEPOSITS OF BOREHOLE № 8 (SOUTH OF WEST SIBERIA)

Aleksandra V. Levicheva
Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS Koptyug. 3, Novosibirsk, 630090, Russian Federation, engineer, e-mail: Levicheva-aleksa@mail.ru

Zinaida N. Gnibidenko
Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS Koptyug. 3, Novosibirsk, 630090, Russian Federation, leading research scientist, e-mail: gnibidenkozn@ipgg.nsc.ru

In article results magnetostratigrafic researches continental Paleogene and Neogene, opened by borehole 8 drilled on the South of West Siberia (Russko-Polyanskii region) are presented. As result, magnitostratigraphic section is built. The section is reconstructed on the basis of complex paleomagnetic and biostratigraphic data. This section consists of 11 magnetozones of normal and reversal polarity. These magnetozones is compared with Cenozoic geomagnetic polarity scale of West Siberian plate.

Key words: West Siberia, magnetostratigraphic section, continental Paleogene and Neogene.

В настоящее время палеомагнитные исследования приобретают все большее значение для решения задач геохронологии, геофизики, стратиграфии и палеогеографии.

В данной статье представлены результаты исследования палеомагнитной коллекции керна скважины 8, отобранной из континентальных олигоцен-

неогеновых отложений и состоящей из 174 ориентированных “верх-низ” образцов-кубиков. Скважина 8 пробурена в южной краевой части Омской впадины на границе с Северным Казахстаном.

Полученные ранее биостратиграфические данные [1] свидетельствуют, что исследуемые отложения мощностью 110 м, образовались во временных интервалах от раннего олигоцена до плейстоцена и представлены: исилькульской, новомихайловской, журавской (олигоцен), абросимовской, бещеульской, таволжанской, новостаничной (неоген) и краснодубровской (квартер) свитами. В литологическом отношении это, преимущественно, глины, песчаники, алевролиты и суглинки.

Естественная остаточная намагниченность пород (J_n) была измерена на спиннер-магнитометрах JR-4 и JR-6 (Чехия). Размагничивание образцов пород переменным магнитным полем выполнялось на установке LDA–3A (Чехия), терморазмагничивание - на установке TD-48. Для измерений магнитной восприимчивости (χ) горных пород использовался каппаметр Каппабридж – KLY-2 (Чехия).

Исследуемые отложения относятся к классу слабомагнитных пород и по магнитным свойствам неоднородны, χ меняется в пределах 2,8–39,3·10^{-5} ед. СИ (при средних значениях по свитам 5,5–38·10^{-5} ед. СИ.) Величина естественной остаточной намагниченности варьирует от 0,1 до 37,1 мА/м (при средних значениях по свитам – 0,31–21 мА/м). Фактор Q варьирует в пределах 0,02–1,18.

Основные минералы-носители намагниченности горных пород - магнетит, гематит, ильменит, титаномагнетит - определены с помощью анализа кривых терморазмагничивания J_n(T) пород и кривых нормального намагничивания $J_{rs}(H)$.

Разработанный магнитостратиграфический разрез построен по первичной характеристической компоненте намагниченности (*ChRM*), выделенной на основании результатов ступенчатого размагничивания и размагничивания переменным магнитным полем. Для большинства исследуемых пород по результатам терморазмагничивания (шаг 20–50–100 °C) характерно наличие двух компонент намагниченности – низкотемпературной и высокотемпературной. Первая, как правило, выделяется в интервалах 100–250 °C, вторая – высокотемпературная охватывает диапазон 300–500 °C. Ступенчатое размагничивание переменным магнитным полем (шаг 5–10 мТл) показало, что J_n состоит из стабильной и нестабильной компонент. Нестабильная компонента снимается переменными полями 10–20 мТл.

Магнитостратиграфический разрез состоит из 11 ортозон, привязанных к палинологическим зонам и палеокарпологическим данным. Исилькульская свита характеризуется одной магнитозоной обратной полярности ($R_1$is).

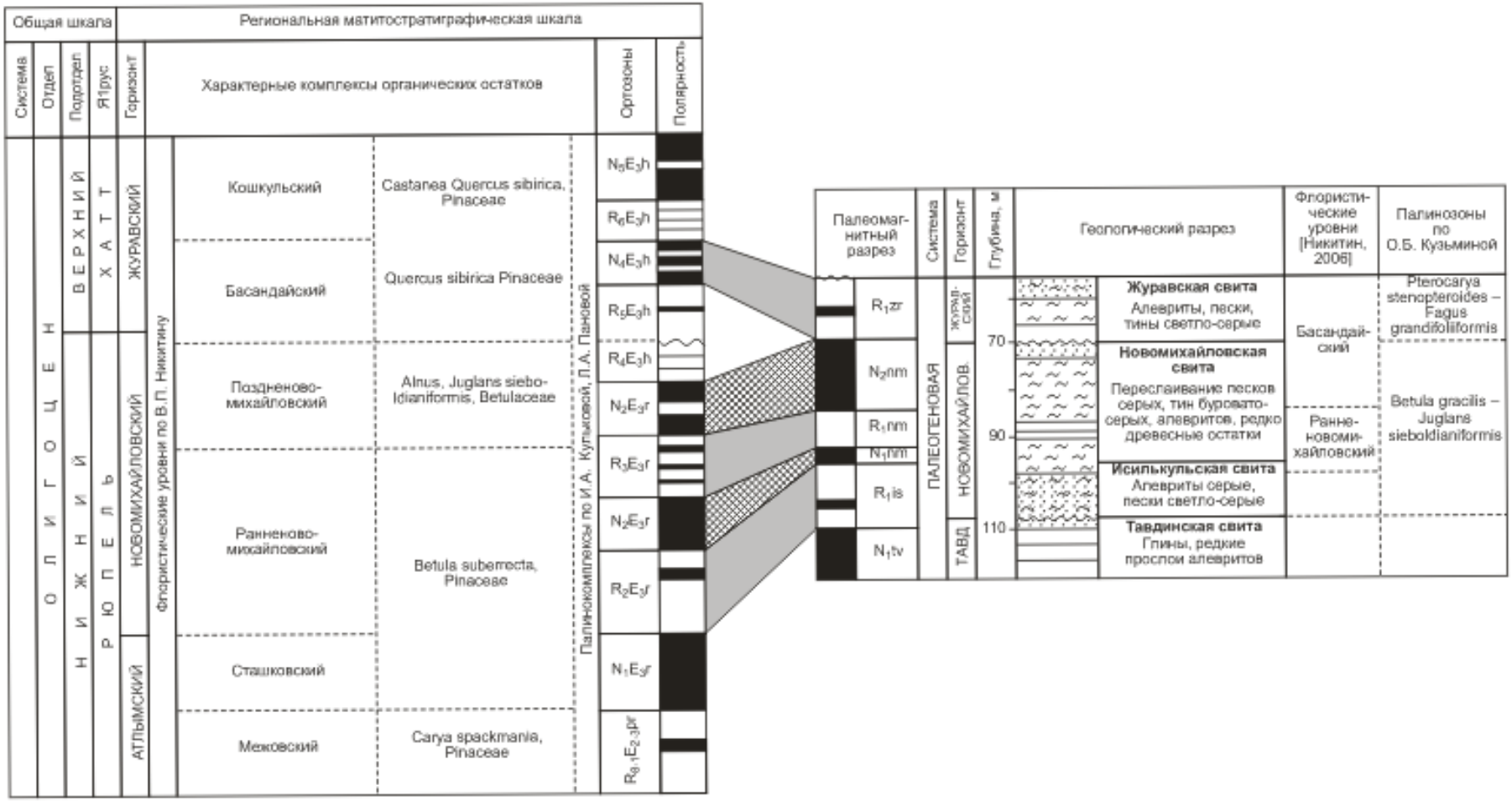


Рис. 1. Магнитобиостратиграфический разрез олигоценовых отложений, вскрытых скв. 8 и его сопоставление со шкалой геомагнитной полярности ЗСП [Гнибиденко, 2006]

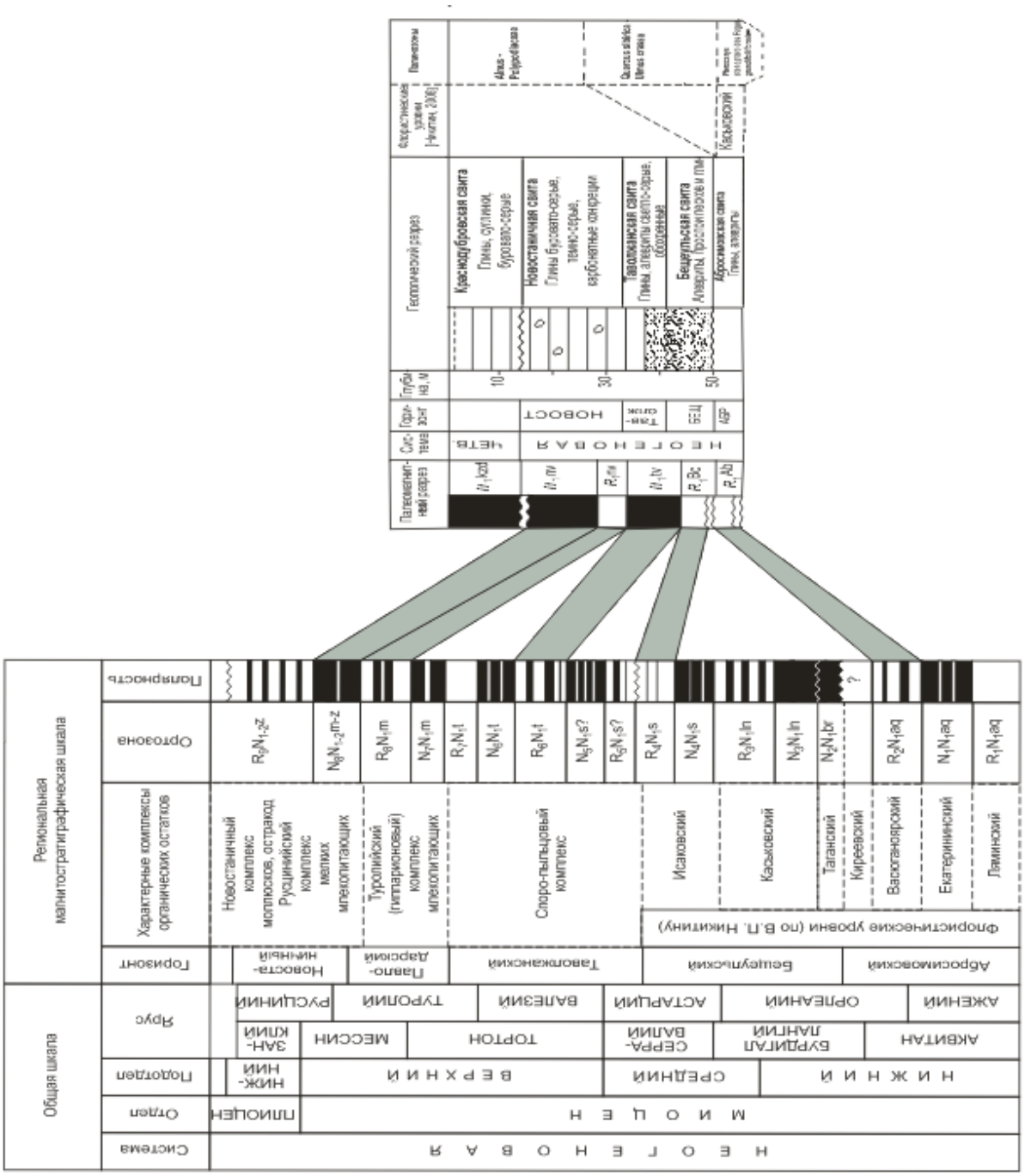


Рис. 2. Магнитобиостратиграфический разрез неогеновых отложений, вскрытых скв. 8 и его сопоставление со шкалой геомагнитной полярности ЗСП [Гнибиденко З.Н., 2006]

В новомихайловской свите выделены три ортозоны (N_1nm, R_1nm, N_2nm). Журавская свита представлена одной обратной ортозоной (R_1zr). В континентальном неогене в абросимовской и бещеульской свите выделяется по одной магнитозоне обратной полярности (R_1ab и R_1bs). В таволжанской свите выделена одна ортозона прямой полярности – (N_1tv). Новостаничная свита характеризуется двумя ортозонами – обратной (R_1nv) и прямой (N_1nv)

полярности. Самая верхняя часть отложений, вскрытых скважиной, представлена краснодубровской свитой, имеющей прямую полярность.

При сопоставлении магнитостратиграфического разреза скв. 8 со шкалой полярности кайнозоя Западно-Сибирской плиты, сделан вывод о неполноте геологического разреза [2]. В шкале полярности кайнозоя Западно-Сибирской плиты в олигоцене выделено 11 ортозон прямой и обратной полярности, а в исследуемом разрезе – 6 (рис. 1). В шкале полярности неогена Западно-Сибирской плиты – 17 ортозон, в исследуемом разрезе – 6 (рис. 2). Таким образом, отсутствующие ортозоны в разрезе знаменуют собой размывы или перерывы в осадконакоплении.

При сопоставлении палеомагнитного разреза скв. 8 со шкалой полярности кайнозоя Западно-Сибирской плиты [2] в качестве реперных уровней приняты ортозона обратной полярности $R_1$is в низах новомихайловской свиты, две ортозоны – в новостаничной свите и ортозона прямой полярности, охватывающая краснодубровскую свиту. Ортозона ($R_1$is) через сопоставление со шкалой полярности Западно-Сибирской плиты может быть сопоставлена с хроном C12r шкалы Бергрена [3]. Две ортозоны новостаничной свиты сопоставляются с хронами C3r (~5,9–5,2 млн. лет) и C3An этой шкалы (~6,55-5,9 млн. лет). Ортозона прямой полярности краснодубровской свиты отождествляется с хроном Брюнес (0,78–0 млн. лет).

Длительность перерыва в осадконакоплении между верхним эоценом и нижним олигоценом по комплексным палеомагнитным и палинологическим данным оценивается в 1,8 млн. лет, между нижним и верхним олигоценом, верхним олигоценом и нижним миоценом, нижним и средним миоценом перерыв оценен приблизительно в 0,3–0,5–0,8 млн. лет.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гнибиденко З.Н., Волкова В.С., Кузьмина О.Б., Доля Ж.А., Хазина И.В., Левичева А.В. Стратиграфия, палеомагнитная и палинологическая характеристики континентальных отложений палеогена и неогена юго–запада Западной Сибири // Геология и геофизика, 2011. Т. 52. № 4. С. 596–605.

2. Гнибиденко З.Н. Палеомагнетизм кайнозоя Западно-Сибирской плиты / Новосибирск: Академическое изд-во “Гео”, 2006. – 163 с.

3. Berggren W.A., Kent D.V., Swicher C.C., Aubry M.-P. A revised Cenozoic geochronology and chronostratigraphy // Geochronology Time scale and Global Stratigraphic Correlation/ SEPM Spec. Publ. Oklahoma, USA, 1995. № 54. P. 129–212.

© А.В. Левичева, З.Н. Гнибиденко, 2012

УДК.551.4

ВЛИЯНИЕ НА РАЗМЕЩЕНИЕ КРУПНЫХ ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ВОЛНОВОГО ХАРАКТЕРА НЕОГЕН-ЧЕТВЕРТИЧНЫХ РЕЛЬЕФООБРАЗУЮЩИХ ПРОЦЕССОВ (ЗАПАДНО-СИБИРСКАЯ НЕФТЕГАЗОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ)

Павел Степанович Лапин
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука, 630090, г. Новосибирск, проспект академика Коптюга, д. 3, кандидат географических наук, старший научный сотрудник Лаборатории, тел. (383) 333-37-34, e-mail: lapinPS@ipgg.nsc.ru

В статье рассматривается соответствие встречных продольных волн рельефообразующих процессов за неоген-четвертичный этап и крупных газовых месторождений Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции.

Ключевые слова: рельефообразующие процессы, неоген-четвертичный этап, крупные газовые месторождения.

INFLUENCE ON LOCATION OF LARGE GAS FIELDS OF WAVE NATURE OF RELIEF NEOGENE-QUATERNARY PROCESSES (THE WEST SIBERIAN OIL AND GAS PROVINCE)

Pavel S. Lapin
Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (IPGG SB RAS), Acad. Koptyug av.,3, Novosibirsk, 630090, Ph.D. in Geography, Senior research scientist, Laboratory seismological and mathematical modeling of new natural oil-and-gas systems, tel. (383) 333-37-34, e-mail: lapinPS@ipgg.nsc.ru

Correspondence of the opposing longitudinal waves of relief-forming processes in the Neogene-Quaternary phase and gas fields of West Siberian oil and gas province are discussed.

Key words: relief-forming processes, the Neogene-Quaternary stage, large gas fields.

Научно-исследовательским работам по прогнозу и размещению крупных нефтегазовых месторождений придавалось большое значение, поскольку они, раскрывая общие закономерности развития нефтегазоносной провинции, позволяли выстраивать единые подходы для изучения как нефтегазоносных областей и районов, так и отдельных лицензионных участков или месторождений. В последнее время при изучении нефтегазоносной провинции возрос интерес к исследованию волновых процессов тектогенеза мезо-кайнозойского чехла и выявлению кольцевых структур. Если выявление волновых процессов тектогенеза связано с изучением формирования юрско-меловых отложений [1], то кольцевых структур [2] - с выявлением крупных каналов тепломассофлюидоперетока, которые имеют глубинное происхождение и фиксируются в структурном плане чехла.

В наших исследованиях мы, оценивая волновой характер рельефообразующих процессов, в первую очередь пытаемся раскрыть

особенности его проявления в юрско-меловых отложениях, а не выяснять условия формирования рельефа за неоген-четвертичный этап. Это основное отличие от традиционно выделяемых неотектонических структур и их дальнейшие сопоставления с глубокопогруженными структурными поверхностями. В данном направлении на протяжении ряда лет нам удалось решить ряд логически связных задач: 1) на уровне нефтегазоносных районов установить неравномерность в проявлении волнового характера новейших рельефообразующих процессов; 2) на уровне нефтегазоносных областей установить глубинную природу происхождения новейших рельефообразующих процессов; 3) на уровне нефтегазоносной провинции установить их волновой характер и связать пространственное распространение волн с деятельностью трех щитов (Анабарский, Канадский и Балтийский), которые, являясь достаточно стабильными по отношению к окружающим их структурным элементам, вместе с тем, являются наилучшими областями энергомассопереноса в земной коре.

Традиционно, при исследованиях Западно-Сибирской нефтегазовой провинции направленных на выявления крупных газовых месторождений приоритетными являлись исследования новейших движений. Достаточно давно в её пределах выделена крупная Уренгойская нефтегазоносная кольцевая структура [2]. Она расположена в северной части Западно-Сибирской плиты и достигает размеров примерно 300 на 400 км (рис. 1). В современном рельефе она выражена Пур-Тазовской возвышенностью и Пурской и Тазовской низменностями. Кольцевая структура в своем развитии имеет глубинные корни. Решающим при функционировании в пределах кольцевой структуры являются «возбужденная» мантия и утонение «гранитного» слоя. По мнению М.Н.Смирновой [2], внедрение астенолита носит колебательный характер и способствует, с одной стороны, миграции флюидов, а с другой – ведет к потере массы и энергии, благодаря чему в рельефе фиксируется опускание и образуется мощный осадочный бассейн кольцевой формы с «живой» тектоникой и флюидодинамикой. Таким образом, кольцевая структура имеет не только геометрическое сходство с окружностью, но и описывается определенной моделью развития мезо-кайнозойского чехла.

Помимо Уренгойской нефтегазоносной кольцевой структуры в пределах Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции возможно выделение ещё одной кольцевой структуры. Её выделение стало возможным после сравнительно недавнего открытия месторождений: Русановское, Ленинградское, Северо-Каменномысское и Каменномыссое-море. Вместе с ранее разведанными месторождениями по чисто геометрическим признакам удалось выделить ещё одну кольцевую структуру (рис.1), которая имеет эллипсоидальную форму. К обеим кольцевым структурам приурочены крупнейшие газовые месторождения Западно-Сибирской нефтегазовой провинции, которые можно объединить в одну зону (рис. 1).

Местоположение выделенной зоны крупных газовых месторождений в пределах Западно-Сибирской провинции не случайно. Её сопоставления с аномальными областями ранее построенной схемы [3], характеризующей

волновой характер рельефообразующих процессов за неоген-четвертичный этап позволили нам выявить некоторые тенденции. Одна из них – выделенная крупная газовая область подобна области наложения двух встречных волн, исходящих от разных источников и имеющая сходное северо-западное направление. Напомним, что один из вариантов проявления встречных волн вследствие их наложения приводит к возрастанию амплитуд и как результат - уменьшению длины волны. Может возникнуть область разряжения (увеличение пористости) и взаимодействие в форме взаимного притяжения. Данная ситуация характерна как для объектов микромира (электроны), так и для макромира (тектонические плиты). Увеличение амплитуды работы рельефообразующих процессов за неоген-четвертичный этап приводят к локализации крупных газовых месторождений.

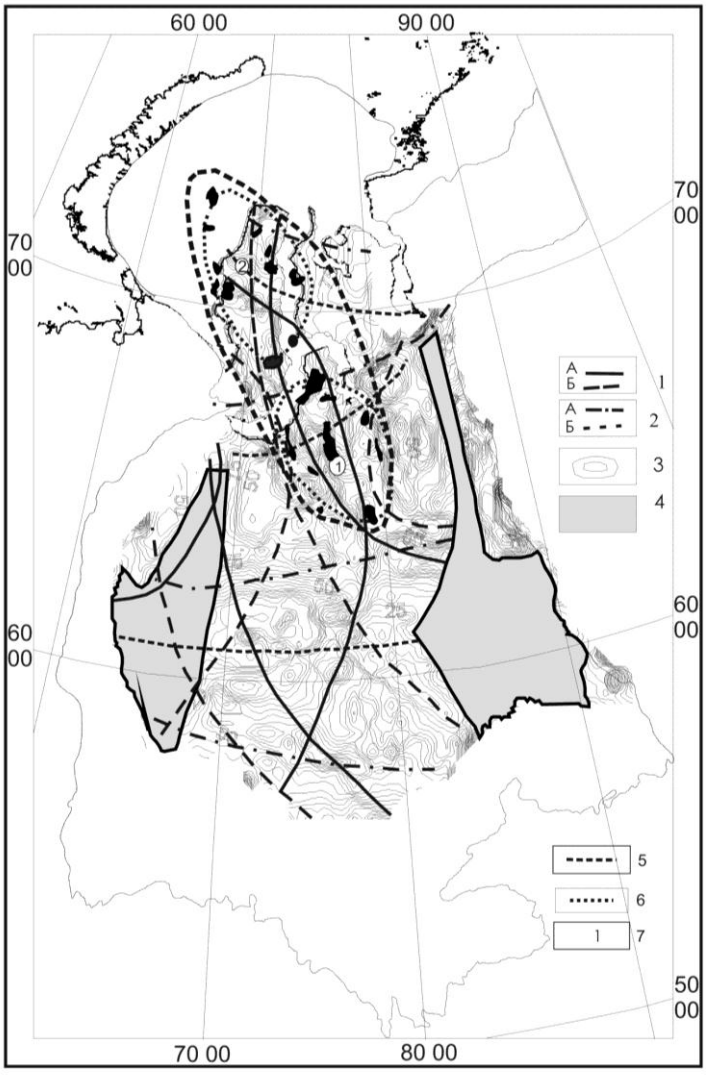


Рис. 1. Распространение крупных газовых месторождений и волновой характер рельефообразующих процессов за неоген-четвертичный этап развития Западно-Сибирской провинции..

Условные обозначения:Гребневые и килевые линии: 1 - субмеридионального и 2 - субширотного направления; 3 - значения показателя работы рельефообразующих процессов за неоген-четвертичный этап; 4 - области значений показателя, характеризующие соотношение в фундаменте Западно-Сибирской геосинеклизы сибирид и казахстанид; 5 - область распространения крупнейших газовых месторождений; 6 - область распространения кольцевых структур; 7 - номера кольцевых структур: 1- Уренгойская, имеющая длительную историю развития и 2 - выделенную геометрически, по пространственному положению.

Ранее [3] было показано, что на протяжении неоген-четвертичного периода фронт волны рельефообразующих процессов изменчив. Так, на рис. 2 показано проявление встречных волн на завершающей стадии развития и распределение крупных газовых месторождений.

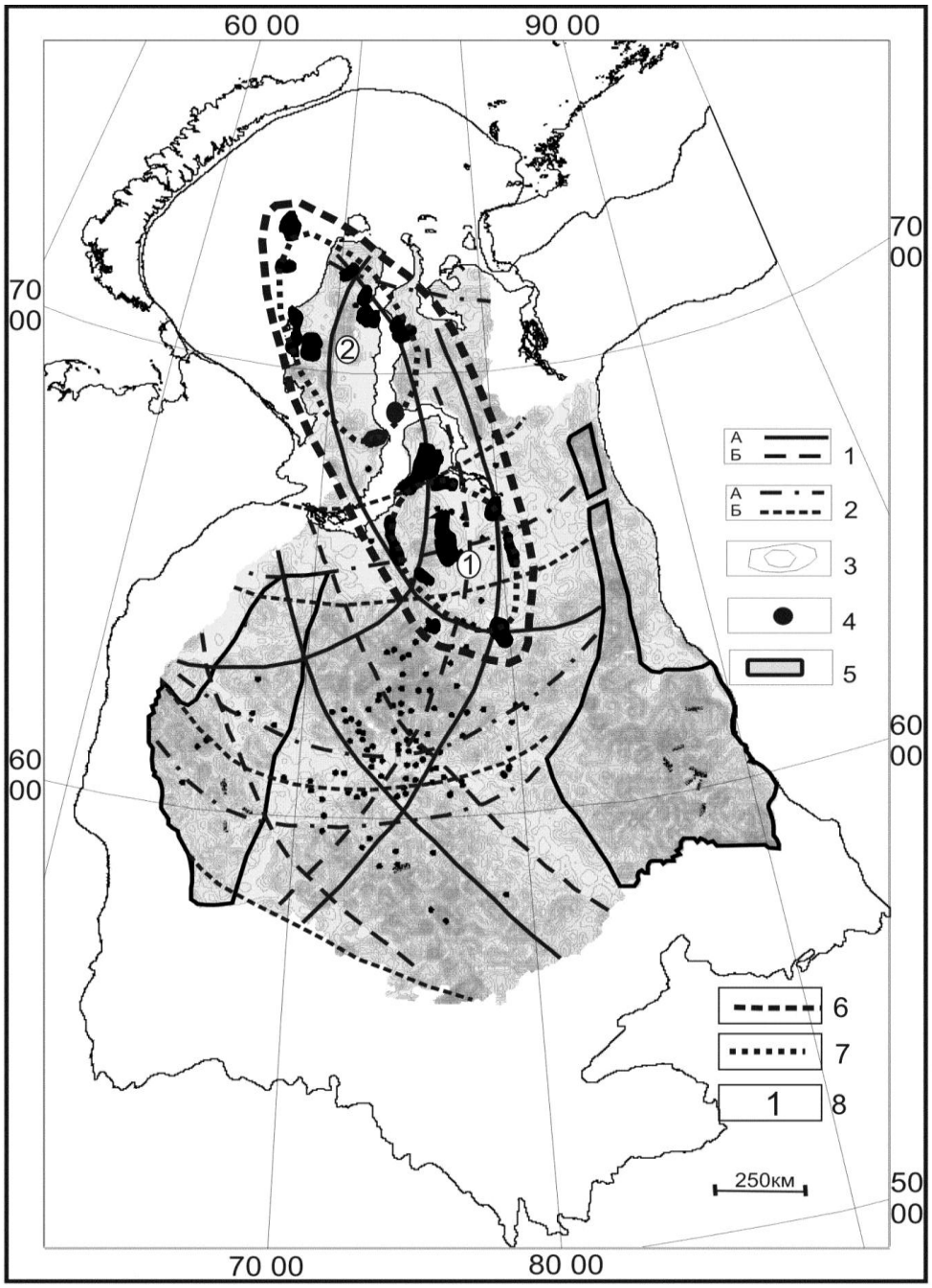


Рис. 2. Распространение крупных газовых месторождений и волновой характер рельефообразующих процессов на завершающей стадии неоген-четвертичного этапа развития Западно-Сибирской нефтегазовой провинции.

Условные обозначения: Гребневые и килевые линии: 1 – субмеридионального и 2 – субширотного направления; 3 – значения показателя общего эрозионно-денудационного расчленения земной поверхности нормированные по площади нефтегазоносных областей; 4 – местоположения крупных месторождений нефти и газа; 5 – области значений показателя, характеризующие соотношение в фундаменте Западно-Сибирской геосиниклизы сибирид и казахстанид; 6 – область распространения крупнейших газовых месторождений; 7 – область распространения кольцевых структур; 8 – номера кольцевых структур: 1- уренгойская, имеющая длительную историю развития и 2 - выделенную геометрически, по пространственному положению.

Область наложения двух встречных волн изменила свое пространственное положение, но осталась в пределах обобщенного контура, объединяющего крупные газовые месторождения. Скорее всего, изменения в пространственном распространении области наложения встречных волн должны благоприятно сказываться на формировании крупных газовых месторождений, поскольку приводят к изменению пористости и проницаемости вмещающих пород. Подтверждением данного предположения является само наличие крупных газовых месторождений. Выявленный характер рельефообразующих процессов стимулирует концентрацию углеводородов в определенной области, а установленные закономерности в волновом характере рельефообразующих процессов проявляются и на других иерархических уровнях. Именно эти исследования подтвердили правильность выделения и проявления литодинамических потоков на уровне нефтегазоносных районов.

Таким образом, проявление волнового характера рельефообразующих процессов за неоген-четвертичный этап в пределах Западно-Сибирской нефтегазовой провинции позволило предложить один из вариантов формирования зоны крупных газовых месторождений. Она характеризуется областью наложения встречных продольных волн, где возрастает как амплитуда изучаемого параметра, так и пористость, и проницаемость юрско-меловых отложений, что подтверждается самим наличием крупных газовых месторождений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Белозеров В.Б., Брылина Н.А., Даненберг Е.Е. Геологическое строение и нефтегазоносность верхнеюрско-нижнемеловых отложений юго-востока Западно-Сибирской плиты (Томская область). – Томск: ТПУ, 2006. – 295 с.

2. Смирнова М.Н. Нефтегазоносные кольцевые структуры и научно-методические аспекты их изучения // Геология нефти и газа. – 1997. – № 9. – С. 48-53.

3. Лапин П.С. Внутриплитная активность в Западной Сибири за неоген-четвертичный этап // Материалы конференции «Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту)». Вып. 5. Том 1. – Иркутск: ИЗК СО РАН, 2007. – С. 130-132.

© П.С. Лапин, 2012

УДК 004.942

ПАРАЛЛЕЛИЗАЦИЯ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО АЛГОРИТМА РАСЧЕТА СИГНАЛОВ ДЛЯ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ИНДУКЦИОННОГО КАРОТАЖА

Анатолий Сергеевич Кошелев
НГУ, 630090, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2, студент, e-mail: raxokoron@gmail.com

Дмитрий Владимирович Тейтельбаум
НГУ, 630090, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2, студент, e-mail: teytelbaum@gmail.com

Константин Сергеевич Сердюк
НГУ, 630090, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2, студент, e-mail: kserdyuk@gmail.com

Мария Николаевна Глущенко
НГУ, 630090, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2, студент, e-mail: gluschenkomn@ipgg.nsc.ru

Александр Александрович Власов
ИНГГ СО РАН, 630090, г. Новосибирск, пр. академика Коптюга, 3, младший научный сотрудник, e-mail: vlasovaa@ipgg.nsc.ru

Андрей Юрьевич Соболев
ИНГГ СО РАН, 630090, г. Новосибирск, пр. академика Коптюга, 3, научный сотрудник, e-mail: sobolevay@ipgg.nsc.ru

В рамках работы произведено ускорение последовательной реализации трехмерного конечно-разностного алгоритма расчета сигналов для высокочастотного индукционного каротажа.

В ходе исследования использовались программные и аппаратные средства компании Интел и реализация алгоритма трехмерного моделирования (автор И.В. Суродина, ИНГГ СО РАН). Ускорение достигалось за счёт внутренней параллелизации и оптимизации вычислений.

Выполнено моделирование гипотетического прибора, включающего зонды длиной от 0,2 м до 4 м, работающих в частотном диапазоне от 0,5 до 30 Мгц.

Ключевые слова: Трехмерное моделирование, высокопроизводительные вычисления, высокочастотный индукционный каротаж.

PARALLELIZATION AND OPTIMIZATION OF SEQUENTIAL ALGORITHM OF SIGNALS MODELING FOR HIGHT-FRECUENCY INDUCTION PROBING

Anatoly Koshelev
Novosibirsk State University, 2 Pirogova, Novosibirsk, student, e-mail: raxokoron@gmail.com

Dmitry Teytelbaum
Novosibirsk State University, 2 Pirogova, Novosibirsk, student, e-mail: teytelbaum@gmail.com

Konstantin Serduyk
Novosibirsk State University, 2 Pirogova, Novosibirsk, student, e-mail: kserdyuk@gmail.com

Mariya Glushchenko
Novosibirsk State University, 2 Pirogova, Novosibirsk, student, e-mail: gluschenkomn@ipgg.nsc.ru

Alexander Vlasov
A.A. Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, 3 Koptuga, Novosibirsk, 630090, Junior Researcher, email: vlasovaa@ipgg.nsc.ru

Andrey Sobolev
A.A. Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, 3 Koptuga, Novosibirsk, 630090, Researcher, email: sobolevay@ipgg.nsc.ru

As part of the project the sequential version of the three-dimensional finite-difference algorithm for calculating the high-frequency signals for induction logging was accelerated.

The research was carried out with the use of the Intel software and hardware and with the three-dimensional modeling algorithm provided by I.V. Surodina (IPGG SB RAS). The algorithm acceleration was achieved through exploiting the inner parallelization and optimization of the computing process.

The simulation of a hypothetical device, which uses the probes from 0.2 m to 4 m and operates in the frequency range from 0.5 to 30 MHz, was carried out.

Key words: 3D modeling, high-performance computing, high-frequency inductive logging.

Введение

Интерпретационные задачи скважинной геофизики нуждаются в трёхмерных постановках, а имеющиеся программные средства требуют огромных вычислительных ресурсов. Представляемое исследование ставило перед собой целью получить значительное ускорение используемой программы трёхмерного моделирования.

Используя ускоренную версию программы, стало возможно быстро рассчитывать показания сложного прибора в различных моделях сред и оценивать его чувствительность к параметрам этих моделей.

Параметризация задачи

Предложенная реализация алгоритма трёхмерного моделирования откликов прибора использует классическую параметризацию трёхмерных моделей.

Данная параметризация учитывает наклон скважины, смещение прибора, а также позволяет задавать пласты с определёнными мощностями и описанием радиальных слоев с концентрическими цилиндрическими границами и с постоянными значениями параметров удельного электрического сопротивления и относительной диэлектрической проницаемости внутри каждого слоя.

Прибор задаётся множеством зондов с генераторными катушками, работающими на определённой частоте и приёмниками, расположенными на заданном расстоянии от генераторной катушки.

В рамках имеющейся реализации единицей вычисления задачи является набор зондов и модель среды. Результаты работы программы – показания прибора при прохождении через среду с заданным шагом. Показание зонда на конкретной глубине называется отсчётом. Таким образом, работа программы сводится к вычислению серии отсчётов набора независимых зондов.

Для подбора оптимальных параметров прибора высокочастотного индукционного каротажа задана область поиска, перекрывающая диапазон длин и частот зондов, широко применяющихся на производстве (рис. 1). Область поиска задана прямоугольной, хотя ожидается, что правая верхняя часть (высокочастотные зонды большой длины) и левая нижняя часть (короткие низкочастотные зонды) окажутся малоинформативными. Верхняя левая часть соответствует области диэлектрического каротажа. В нижней части расположены многозондовые системы низкочастотного каротажа, но этот диапазон не рассматривается в работе.

Начальный тестовый набор используется для тестирования и определения диапазона применимости всех используемых программ решения прямых задач; поиск оптимальных параметров предполагается вести среди расширенного тестового набора.

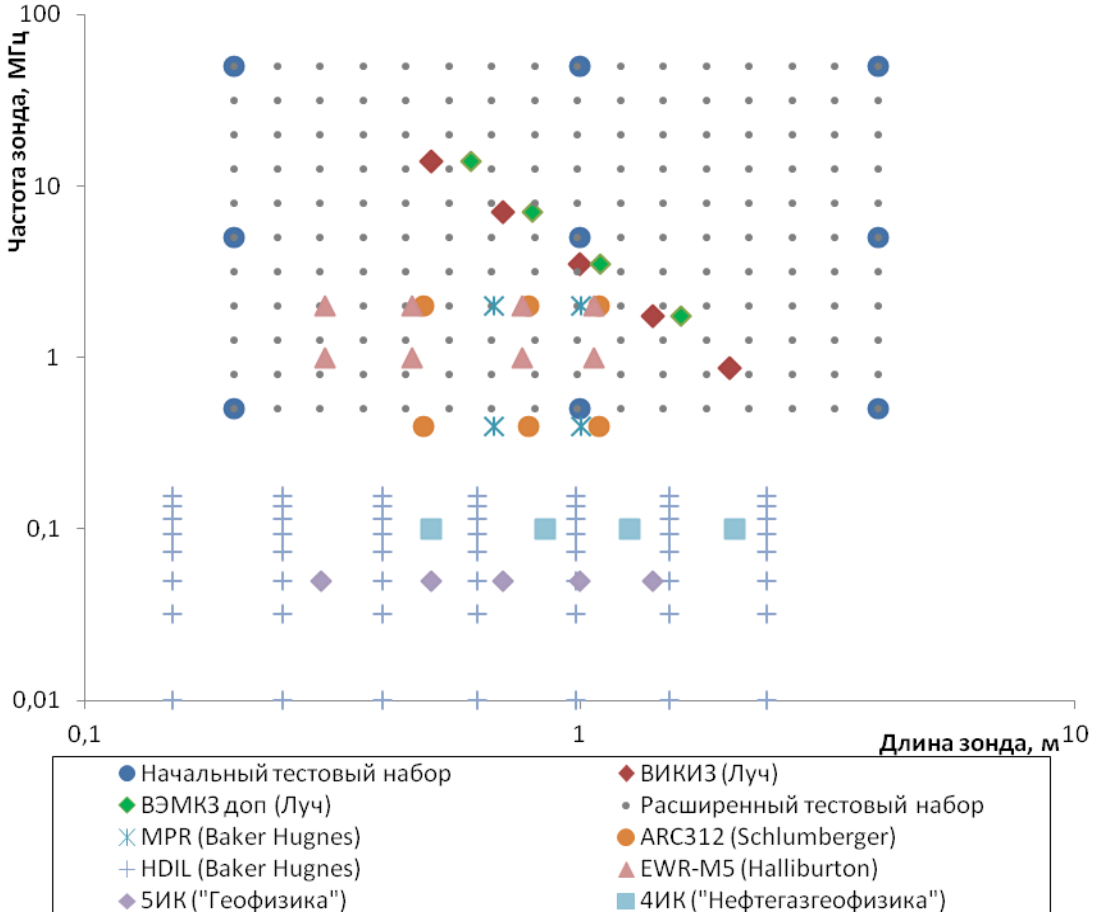


Рис. 1. Диапазон длин и частот

На протяжении всей разработки программного средства производилось сравнение с начальным тестовым набором для поддержания корректности работы реализации алгоритма.

Программная реализация

В результате применения различных инструментов Интел были получены различные реализации исходного алгоритма использованного в рамках данного исследования.

Последовательная версия программы

На вход программе подаются параметры моделируемого прибора, состоящего из набора зондов, модель среды, задающая распределение удельного сопротивления в пространстве, расчётная сетка. Вычисление показаний зонда в конкретном отсчёте производится следующим образом. Берётся расчётная сетка размерности Nx, Ny, Nz (~50 x ~50 x 100-200, в зависимости от частоты генераторной катушки и параметров модели). В узлах расчётной сетки рассчитывается значение электромагнитного поля путём решения системы уравнений Максвелла. Исходя из полученных значений электромагнитного поля вблизи приёмных катушек, геометрия которых описана во входных данных, вычисляются показания зонда.

Решение системы уравнений Максвелла сводится к решению системы линейных уравнений вида Ax=b, причём размер матрицы $(Nx+Ny+Nz)^2$. В начальной версии использовался итеративный решатель СЛАУ, эрмитово разложение матрицы A и предобуславливатель SSOR. Итеративный решатель использует стартовое приближение, которое сильно влияет на скорость сходимости метода.

Параллельная версия с применением MPI и OpenMP

При распараллеливании с помощью MPI выделяется отдельный поток, который следит за выполнением расчётов: раздаёт задачи свободным MPI потокам и выполняет функции сборщика данных.

Когда выделенный мастер отдаёт на расчёт свободному MPI потоку пару зонд/отсчёт, он выбирает эту пару так, чтобы для неё имелось начальное приближение. Начальным приближением является уже рассчитанное электромагнитное поле в близком по распределению удельных сопротивлений в среде относительно отсчёта случае, например, в соседнем отсчёте. Таким образом, для получения наибольшей эффективности сначала на счёт запускаются отчёты, расположенные в различных слоях модели. Затем освободившимся потокам на счёт подаётся отчёт и начальное приближение (уже посчитанное в рамках данного слоя), что позволяет достаточно быстро решать задачу для нового отчёта.

Параллельная версия с применением MPI и библиотеки PARDISO

Ввиду того, что исходный итеративный решатель работает медленно и не подлежит распараллеливанию, было решено применить решатель СЛАУ PARDISO, предоставляемый библиотекой Intel MKL. Решатель PARDISO не позволяет использовать уже рассчитанные отсчёты в качестве стартового приближения, поэтому все пары зонд/отсчёт можно считать независимо друг от друга, а время расчёта пар зонд/отсчёт можно считать примерно одинаковым.

Вычислительные ресурсы

Все расчёты производились на кластере НГУ. Он состоит из 96 узлов HP BL2x220 G7, каждый из которых содержит два 6-ядерных процессора Intel Xeon

X5670 с тактовой частотой 2932 МГц и 96 узлов HP BL2x220 G6. Каждый узел содержит два 4-ядерных процессора Intel Xeon E5540 с тактовой частотой 2530 МГц и 64 узлов HP BL460 G1, каждый из которых содержит два 4-ядерных процессора Intel Xeon 5355 с тактовой частотой 2660 МГц. Пиковая производительность кластера равна 29.28 Тфлопс.

Сравнение времени работы различных версий программы

На рис. 2 приведено сравнение времени работы всех версий программы в зависимости от количества использованных ядер, причём выбрано оптимальное распределение ядер между MPI и OpenMP потоками.

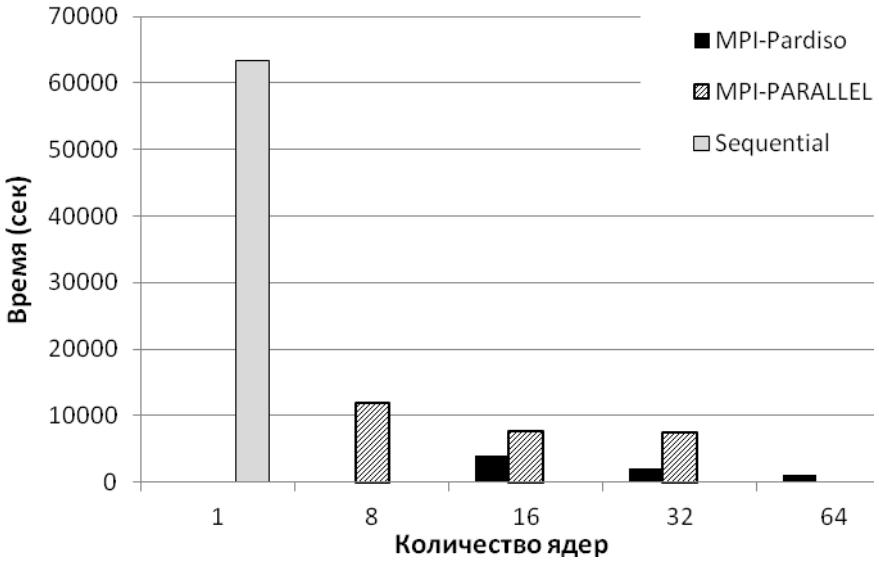


Рис. 2. Сравнение версий программы

Из особенностей схемы распараллеливания по MPI, изложенной выше, видно, что при большом количестве MPI потоков не удаётся вновь использовать уже рассчитанные данные в качестве начального приближения. Вследствие этого, не удаётся достичь линейного роста скорости расчёта от количества MPI потоков, что как раз и видно из графика.

Версия программы, использующая решатель PARDISO, имеет масштабируемость лучше, чем версия с исходным решателем.

На рис. 3 приведены результаты сравнения времени работы версии программы, использующей в качестве решателя СЛАУ – PARDISO, исполняющейся на 32 и 64 ядра, разделяя их между MPI и OpenMP потоками различным образом.

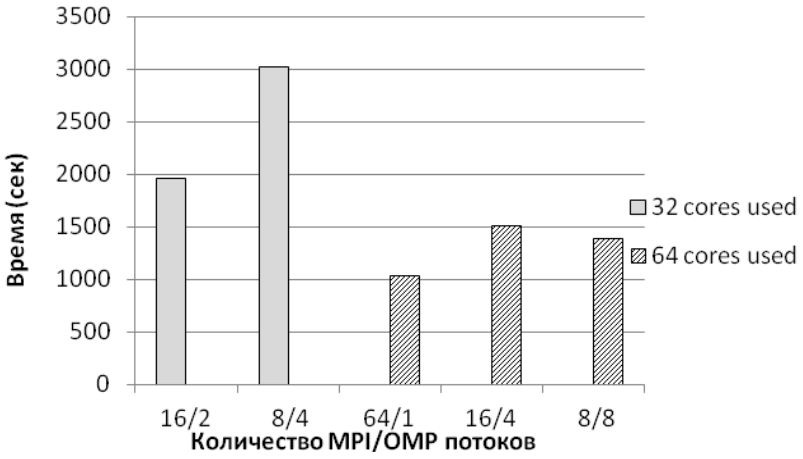


Рис. 3. Сравнение времени работы в зависимости от количества ядер

Из графика следует вывод о целесообразности применения большего числа MPI потоков, так как данный решатель не использует стартового приближения. Таким образом, все пары зонд/отсчёт можно считать независимо друг от друга и поэтому увеличение количества MPI потоков ведёт к пропорциональному росту скорости счёта.

Заключение

В результате исследования была разработана параллельная реализация трёхмерного конечно-разностного алгоритма моделирования сигналов высокочастотных индукционных зондов.

Полученные результаты ускорения программы, как с исходным решателем, так и с решателем PARDISO позволяют моделировать сигнал в трёхмерных средах гораздо быстрее, а сравнимая с линейной масштабируемость версии с решателем PARDISO, даёт возможность определять показания сигналов за время расчёта сравнимое с расчётом одного отсчёта. Достигнутая производительность позволяет использовать созданный вычислительный модуль не только в научных исследованиях, но и для оперативного решения задач геофизического производства.

Были проанализированы результаты моделирования сигналов в сложных моделях сред, учитывающих наличие каверн, наклон скважины и эксцентриситет зонда. Время расчёта одной сложной трёхмерной модели для многозондового прибора (около 200 геометрически различных зондов) составило первые часы, ранее на эту задачу уходило несколько суток.

Оптимизированный код позволил, варьируя параметры зондов, определить набор, наиболее чувствительный к параметрам моделей, характерных для разрезов Западной Сибири.

Изучено влияние эксцентриситета зонда (смещения прибора с оси скважины), который влияет на результаты измерений и должен учитываться при интерпретации каротажных данных.

Работа выполнена в рамках совместного проекта Новосибирского государственного университета и компании Интел на базе Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Суродина И.В., Эпов М.И., Мартаков С.В. 3D моделирование гармонических электромагнитных полей для задач каротажа в наклонно-горизонтальных скважинах // Международная конференция по вычислительной математике МКВМ-2004. - Ч. 2. – С. 699-703.

2. Olaf Schenk, George Karypis, Robert Luce, Peter Carbonetto PARDISO Solver Project – Mode of access : http://www.pardiso-project.org/

© А.С. Кошелев, Д.В. Тейтельбаум, К.С. Сердюк, М.Н. Глущенко, А.А. Власов, А.Ю. Соболев, 2012

УДК 553.98:556.3 (571.5)

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ХАТАНГСКОГО АРТЕЗИАНСКОГО БАССЕЙНА

Александр Александрович Кох
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, 630090, г. Новосибирск, проспект академика Коптюга, 3, младший научный сотрудник Лаборатории гидрогеологии осадочных бассейнов Сибири, тел. (383)363-80-37, e-mail: ggd_sanches87@mail.ru

Приводятся результаты изучения гидрогеологических особенностей западной части Хатангского артезианского бассейна (ХАБ). Впервые выполнено гидрогеологическое районирование по типу гидрогеологических структур, различающихся полнотой распространения водоносных и водоупорных горизонтов.

Ключевые слова: гидрогеологическая стратификация и районирование, водоносный комплекс, водоупор.

HYDROGEOLOGICAL ZONING OF WESTERN PART OF THE KHATANGA ARTESIAN BASIN

Alexander A. Kokh
Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Siberian Branch of Russian Aademy of Sciences (IPGG SB RAS), 630090, г. Novosibirsk, Acad. Koptyug av., 3, Junior research scientist, Laboratory of hydrogeology of sedimentary basins of Siberia, tel. (383)363-80-37, e-mail: ggd_sanches87@mail.ru

Results of hydrogeological features research of the western part Khatanga artesian basin (KAB) are presented. Hydrogeological zoning has been carried out for the first time. It is based on type of hydrogeological structure with different extent of aquitards and aquifers.

Key words: hydrogeological stratification and zoning, aquifer system, aquitard.

Хатангский артезианский бассейн (ХАБ), выполненный мощной толщей терригенных мезозойских отложений (до 6-12 км), входит в состав Восточно-Сибирской артезианской области и структурно приурочен к Енисей-Хатангскому региональному прогибу (ЕХРП) [1, 3, 4].

Гидрогеологическая стратификация, совместно с районированием, лежит в основе любых гидрогеологических исследований. В Западно-Сибирском мегабассейне этой проблемой занимались Кучин М.К., Гуревич М.С., Равдоникас О.В., Маврицкий Б.Ф., Розин А.А., Торгованова В.Б., Кругликов Н.М., Смоленцов Ю.К., Нелюбин В.В., Ставицкий Б.П., Карцев А.А., Матусевич В.М., Удодов П.А., Назаров А.Д., Гаттенбергер Ю.П., Корценштейн В.Н., Чистякова Н.Ф. и другие.

В основе принятого принципа гидрогеологического расчленения разреза учитываются собственно литологические особенности горных пород и их

фильтрационные свойства и, в определенной степени, гидродинамические и гидрогеохимические особенности подземных вод.

На основе принятой гидрогеологической стратификации Западно-Сибирского артезианского бассейна и имеющимся фактическим данным по изучаемому региону, составлена принципиальная гидрогеолого-стратификационная схема ХАБ (рис. 1) [8, 9]. В пределах нижнего (мезозойского) гидрогеологического этажа выделяют пять гидрогеологических комплексов (сверху – вниз): апт-альб-сеноманский, неокомский, верхнеюрский, нижне-среднеюрский, и триас-палеозойский (нерасчлененный) [2, 5, 6, 7].

На исследуемой территории встречаются все комплексы, только развиты не повсеместно. В пределах изучаемого региона гидрогеологическая структура бассейна весьма сложна, что обусловлено наличием размывов флюидоупоров и сложной дизъюнктивной тектоникой. По наличию или отсутствию того или иного комплекса в разрезе выделено восемь типов структур по особенностям гидрогеологического разреза.

На основе проведенной типизации с учетом тектонических и литологических факторов впервые произвдено гидрогеологическое районирование изучаемой территории (рис. 2).

Первый тип гидрогеологического разреза характеризуется наличием всех водоносных горизонтов и водоупоров от нижней юры до верхнего мела. Территориально он приурочен к восточному борту ХАБ. Особенностью второго типа разреза является глинизация верхнеюрского водоносного комплекса. Он распространен в северных и западных районах региона.

Третий тип гидрогеологического разреза характеризуется глинизацией нижнехетского и нижнехетско-суходудинского резервуаров неокомского комплекса. Представлен локально на Нанадянской, Пайяхской, Яровской площадях. В четвертом типе разреза установлены размывы всех четырех гидрогеологических комплексов. Распространен локально на Точинской, Долганской, Нижнехетской и Малохетской площадях.

Для пятого типа гидрогеологического разреза установлен частичный или полный размыв отложений верхнеюрского комплекса. В шестом в отличие от пятого выпадают из разреза низы неокомского комплекса (нижнехетский и нижнехетско-суходудинский резервуары). Он распространен локально на Восточно-Мессояхской площади.

В седьмом типе разреза отсутствует нижняя часть нижне-среднеюрского комплекса, и как во втором и третьем типах заглинизирован верхнеюрский и низы неокомского комплекса. Широко распространен в северо-западной части исследуемого региона. Восьмой тип разреза приурочен к прибортовым частям изучаемого региона (Большелайдинская, Гольчихинская, Хабейская площади), и характеризуется небольшой мощностью осадочного чехла и практически полным выпадением из разреза юрских отложений.

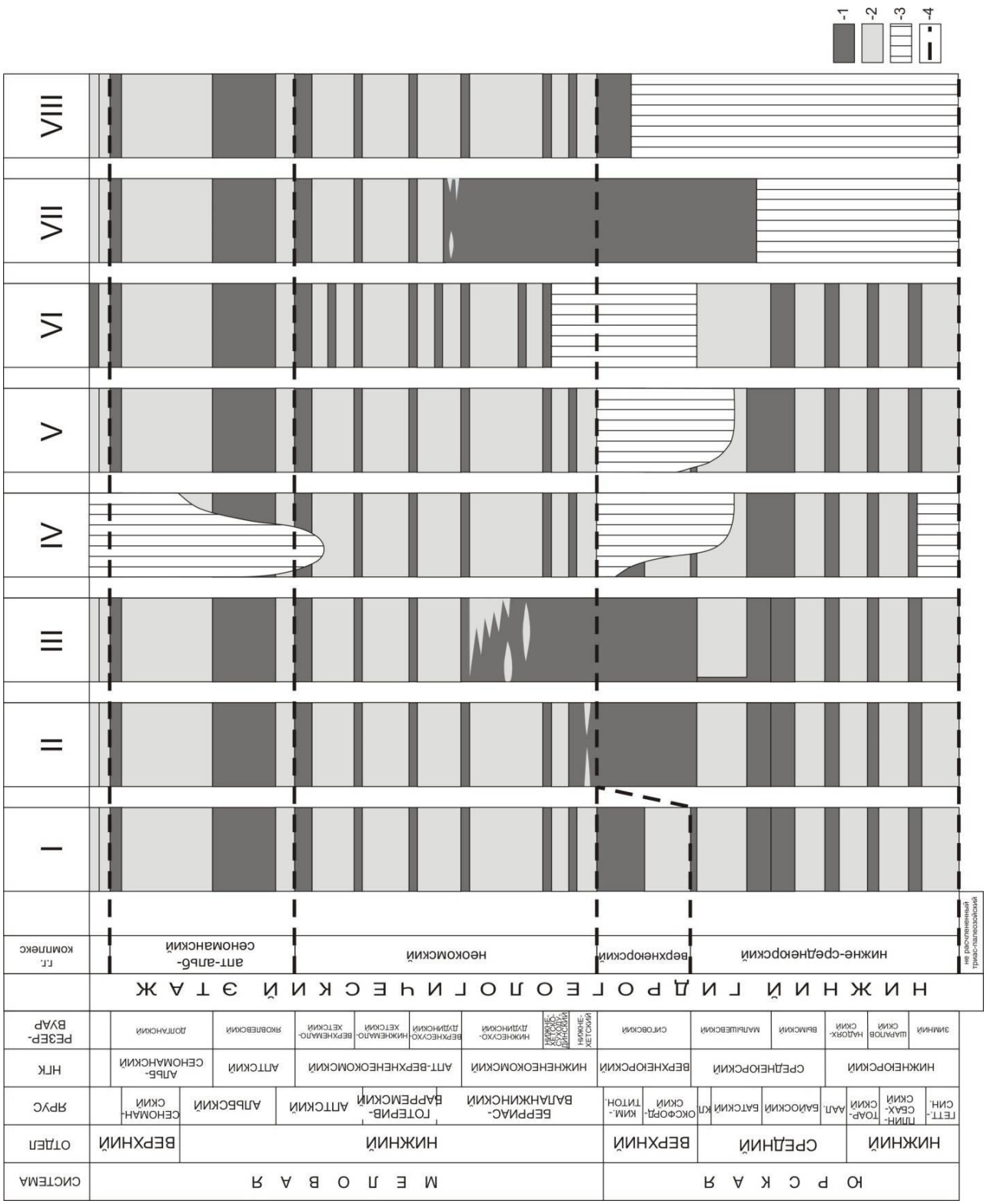


Рис. 1. Гидрогеолого-стратификационная схема западной части Енисей-Хатангского регионального прогиба (Новиков Д.А., 2009)

1 – водоупор, *2* – водоносный горизонт, *3* – отсутствие отложений, *4* – граница гидрогеологических комплексов

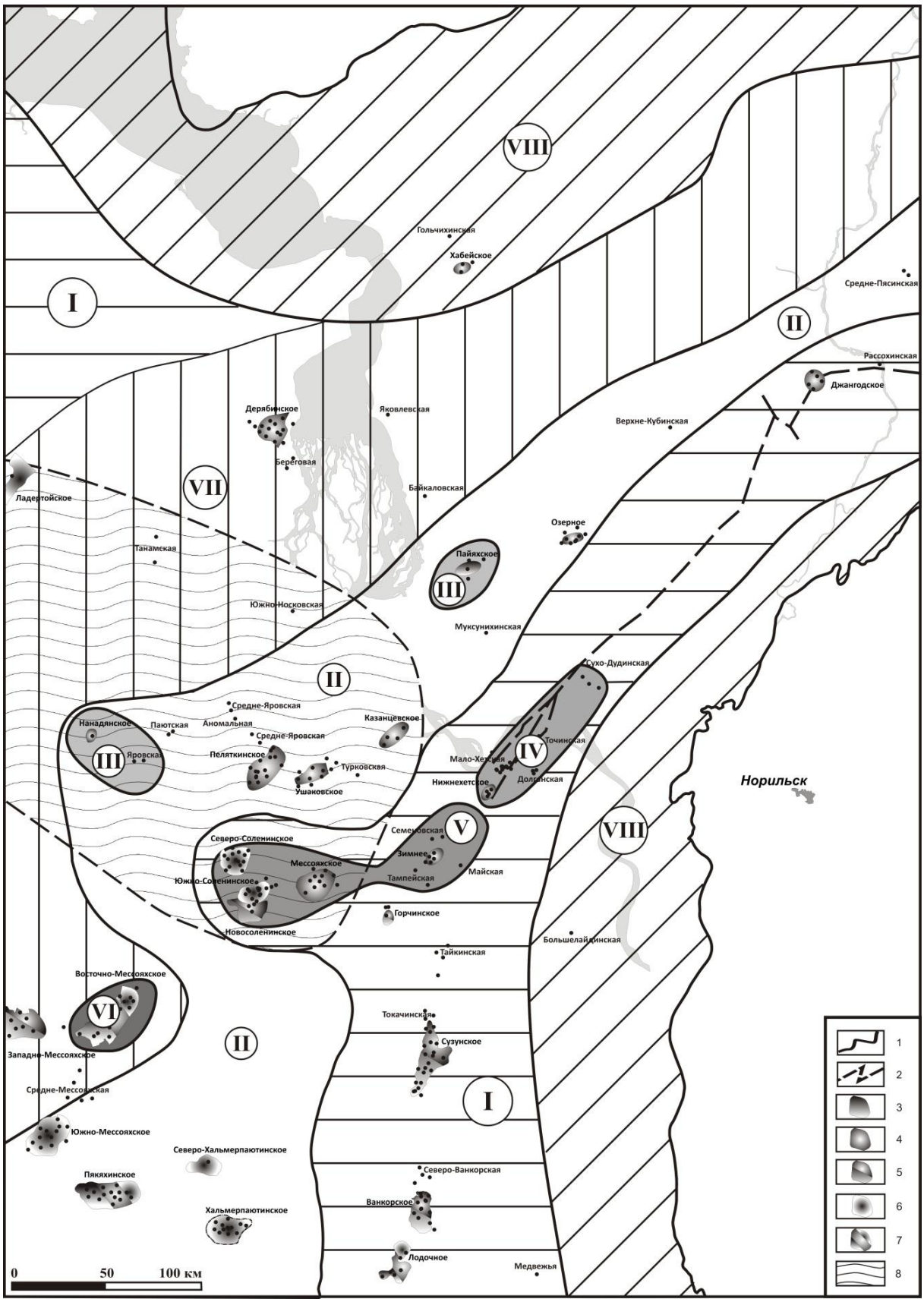


Рис. 2. Карта гидрогеологического районирования западной части Хатангского артезианского бассейна:

1 – граница распространения мезозойско-кайнозойского осадочного чехла; 2 – разломы; месторождения: 3 – нефтяные; 4 – газовые; 5 – газонефтяные; 6 – газоконденсатные; 7 – нефтегазоконденсатные; 8 – зона АВПД

В гидродинамическом плане западная часть ХАБ осложнена зонами повышенных и аномально высоких пластовых давлений (АВПД), превышающие гидростатические в 1,8 – 2,15 раза. Выявлены в неокомском и нижне-средне-юрском комплексах центральной части (рис. 2). Максимальными значениями пластового давления характеризуется Турковская площадь (свыше 55 МПа на глубине 3300-3450 м).

Таким образом, установлено влияние типа гидрогеологической структуры на гидродинамический режим недр и характер вертикальной гидрогеохимической зональности. За счет высокой степени закрытости недр и процессов элизионного водообмена при уплотнении глинистых толщ на исследуемой территории сформировалась элизионная литостатическая водонапорная система с характерными гидрогеохимическими и гидрогеодинамическими признаками (инверсионная гидрогеохимическая зональность, повышенные и аномально высокие пластовые давления).

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 10-05-00442).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Басков Е.А., Климов Г.И., Кирюхин В.А., Суриков С.Н., Петрова Н.А., Толстихин О.Н. Гидрогеологические структуры Восточной Сибири. Дальнего Востока и Северо-Востока СССР // Основные типы гидрогеологических структур СССР. – Л.: Изд-во ВСЕГЕИ. – 1974. – С. 70-83.

2. Гидрогеология СССР. Том XVIII. Красноярский край и Тувинская АССР. Ред. Зайцев И.К. – М.: Недра. – 1972. – 479 с.

3. Долматова И.В., Пешкова И.Н. Модель рифтовой деструкции северной палеоокраины сибирского континента (Енисей-Хатангский прогиб) // Геология, геофизика и разработка нефтяных месторождений. – 2001. – №7. – С. 30-33.

4. Конторович В.А. Тектоника и нефтегазоносность западной части Енисей-Хатангского регионального прогиба // Геология и геофизика. – 2011. – Т. 52, – №8. – С. 1027-1050.

5. Кругликов Н.М. Гидрогеология северо-западного борта Западно-Сибирского артезианского бассейна. – Л.: Недра. – 1964. – 165 с.

6. Кругликов Н.М., Нелюбин В.В., Яковлева О.Н. Гидрогеология Западно-Сибирского нефтегазоносного мегабассейна и особенности формирования залежей углеводородов. – Л.: ВНИГРИ. – 1985. – 363 с.

7. Матусевич В.М., Рыльков А.В., Ушатинский И.Н. Геофлюидальные системы и проблемы нефтегазоносности Западно-Сибирского мегабассейна. Тюмень. – ТюмГНГУ. – 2005. – 225 с.

8. Новиков Д.А. Гидрогеологическая структура западной части Енисей-Хатангского регионального прогиба // Материалы XXIII Всероссийской молодежной конференции «Строение литосферы и геодинамика». Иркутск, ИЗК СО РАН. – 2009. – С. 243-245.

9. Новиков Д.А. Гидрогеология нефтегазоносных отложений западной части Енисей-Хатангского регионального прогиба // Труды Всероссийской молодежной научной конференции с участием иностранных ученых, посвященной 100-летию академика А.А. Трофимука «Трофимуковские чтения молодых ученых – 2011». Новосибирск, РИЦ НГУ. – 2011. – С. 40-50.

© А.А. Кох, 2012

УДК 550.834+620.179

ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ И ФОРМ КОЛЕБАНИЙ ТРУБОПРОВОДОВ ПО АКУСТИЧЕСКИМ ШУМАМ

Юрий Иванович Колесников
Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, 630090, г. Новосибирск, просп. акад. Коптюга, 3, доктор технических наук, доцент, заведующий лабораторией экспериментальной сейсмологии, тел. (383)333-31-38, e-mail: kolesnikovyi@ipgg.nsc.ru

Константин Владимирович Федин
Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, 630090, г. Новосибирск, просп. акад. Коптюга, 3, аспирант, тел. (383)333-34-19, e-mail: fedinkv@ipgg.nsc.ru

Алексей Александрович Каргаполов
Новосибирский государственный университет, 630090, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2, магистрант геолого-геофизического факультета, тел. (952)905-09-23

В статье на результатах физического моделирования иллюстрируется возможность определения собственных частот и форм колебаний трубопроводов по зарегистрированным на поверхности трубы акустическим шумам. Показано, что эта информация может быть использована для оценки устойчивости опор надземных трубопроводов.

Ключевые слова: надземные трубопроводы, собственные частоты, устойчивость опор, акустический шум.

ON THE DETERMINATION OF PIPELINES NATURAL FREQUENCIES AND MODE SHAPES USING ACOUSTIC NOISE

Yury I. Kolesnikov
Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3 Pr. Acad. Koptyuga, Novosibirsk 630090, Doctor of Science (geophysics), associate professor, head of Laboratory of Experimental Seismology, tel. (383)333-31-38, e-mail: kolesnikovyi@ipgg.nsc.ru

Konstantin V. Fedin
Trofimuk institute of petroleum geology and geophysics SB RAS, 3 Pr. Acad. Koptyuga, Novosibirsk 630090, post-graduate student, tel. (383) 333-34-19, e-mail: fedinkv@ipgg.nsc.ru

Aleksey A. Kargapolov
Novosibirsk State University, 2 Pirogova, Novosibirsk 630090, undergraduate, Department of Geology and Geophysics

The article demonstrates on the physical modeling results the possibility of determination of pipelines natural frequencies and mode shapes using acoustic noise records. It is shown that this information can be used to estimate the stability of supporting piers of above-ground pipelines.

Key words: above-ground pipelines, natural frequencies, supporting piers stability, acoustic noise.

Введение

Трубопроводный транспорт является важной составляющей нефтегазового комплекса России. Общая протяженность магистральных, в том числе надземных, трубопроводов составляет многие десятки тысяч километров. При этом зачастую трубопроводы приходится строить на территориях, где их эксплуатация затруднена из-за сложных климатических и геокриологических условий, пониженной несущей способности грунтов, пересечения водных преград и т. д.

В таких районах возрастает вероятность потери устойчивости опор надземных трубопроводов вследствие их частичного или полного разрушения, выпучивания или просадок грунта и др., что фактически ведет к увеличению длины пролетов и, как следствие, к понижению их собственных частот. Это повышает вероятность возникновения ветровых резонансов, которые могут приводить к повреждению и даже разрушению участка трубопровода [1].

С другой стороны, определенные экспериментально собственные частоты и формы колебаний участков трубопроводов могут быть использованы для оценки устойчивости их опор. В данной работе на результатах физического моделирования иллюстрируется возможность определения собственных частот и форм колебаний участков трубопроводов по зарегистрированным на поверхности трубы акустическим шумам.

Методика экспериментов

Участок надземного трубопровода моделировался заполненной водой медной трубой длиной 2 м и диаметром 18 мм с толщиной стенки 1 мм, которая была жестко зафиксирована пятью хомутами с шагом 50 см. Схема эксперимента показана на рис. 1*а*, а схема крепления трубы хомутами – на рис. 1*б*.

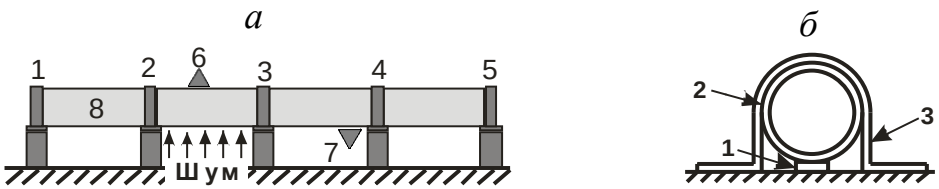


Рис. 1. Схема эксперимента (*а*): 1-5 – хомуты, 6 – передвижной и 7 – опорный ультразвуковые приемники, 8 – труба. Схема крепления трубы хомутом (*б*):

1 - алюминиевая подкладка, 2 – труба, 3 – хомут

Так как в лабораторных условиях уровень естественных акустических шумов был недостаточен для относительно быстрого получения экспериментальных данных, в модели создавалось дополнительное шумовое поле. Для этого использовалось устройство, работающее по принципу автомобильных стеклоочистителей («дворников») – шум генерировался в результате возвратно-поступательного движения щетки с жесткой щетиной по поверхности трубы. Микросейсмические данные регистрировались цифровым

двухканальным осциллографом В-423 с помощью датчиков, изготовленных на основе пьезокерамических дисков диаметром 2 мм и толщиной 1 мм.

В ходе экспериментов один датчик использовался как опорный и жестко крепился на нижней образующей трубы, второй датчик последовательно передвигался с шагом 1см по профилю наблюдений вдоль верхней образующей трубы. Профиль наблюдений длиной 50 см располагался между вторым и третьим хомутами (см. рис. 1*а*). Оси максимальной чувствительности датчиков были ориентированы в радиальном направлении. После установки передвижного датчика в каждой точке профиля производилась синхронная цифровая запись шумовых сигналов от обоих датчиков. Длительность регистрации при каждом положении передвижного датчика составляла примерно 6.5 секунд при частоте дискретизации 100 кГц.

Обработка экспериментальных данных

Обработка данных проводилась на базе программного обеспечения, разработанного и применяемого в Алтае-Саянском филиале Геофизической службы СО РАН как часть ориентированной на использование малоканальной аппаратуры методики обследовании зданий и сооружений стоячими волнами, выделяемыми из поля микросейсм. Основная идея, реализованная в графе обработки данных в этой методике, состоит в пересчете данных, зарегистрированных с помощью передвижного датчика в разные периоды времени (и, соответственно, при разных характеристиках шумового поля), к «единому» времени, для чего используются данные, синхронно записанные в опорной точке при каждом положении передвижного датчика. Таким образом имитируется синхронная многоканальная запись для всего профиля, обработка которой позволяет определить как собственные частоты, так и формы колебаний обследуемого объекта. Подробно методика описана в [2].

На рис. 2 представлен осредненный амплитудный спектр, полученный до пересчета к «единому» времени по данным, записанным во всех точках, где устанавливался передвижной датчик. На спектре отчетливо выделяются пики, соответствующие частотам первых семи мод изгибных стоячих волн в трубе с закрепленными концами. Сравнение полученных экспериментально собственных частот с частотами, рассчитанными методом конечных элементов с помощью программы ABAQUS Student Edition [3], показало, что расхождение не превышает 2%.

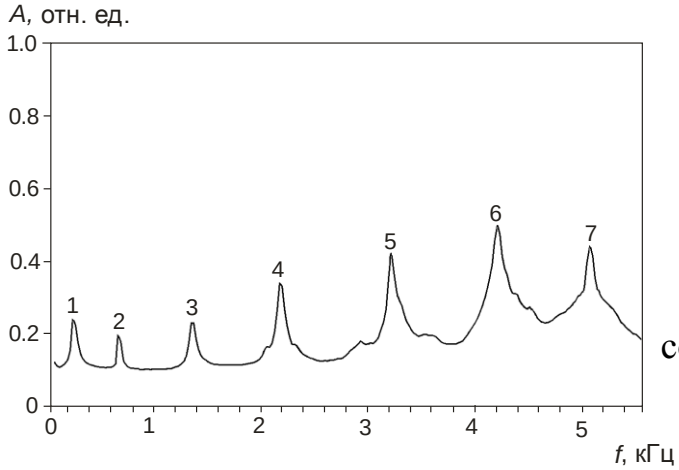


Рис. 2. Амплитудный спектр, осредненный по всем точкам наблюдений на профиле между жесткими креплениями трубы: A – амплитуда, f – частота.

Цифрами отмечены пики, соответствующие первым семи модам изгибных стоячих волн

Визуализация амплитудных спектров, рассчитанных по данным для каждой передвижной точки после их пересчета к «единому» времени (рис. 3), позволяет убедиться, что эти пики соответствуют именно первым семи модам. Как можно видеть из рисунка, каждый номер моды совпадает с числом полудлин волн, укладывающихся на профиле между местами жесткого крепления трубы (с числом максимумов на соответствующей собственной частоте). Для всех мод на краях рисунка наблюдаются минимумы амплитуд, что и следовало ожидать, так как это узловые точки, соответствующие местам крепления трубы.

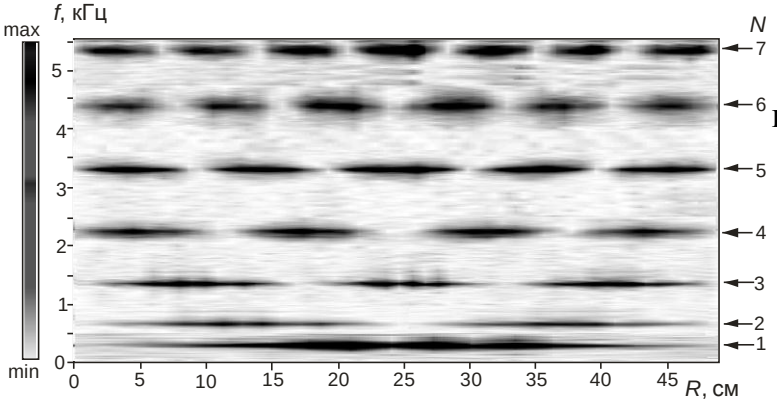


Рис. 3. Поле изгибных стоячих волн на участке трубы с жестко закрепленными краями:

f – частота, R – расстояние вдоль профиля, N – номер моды изгибных стоячих волн

Влияние снижения жесткости крепления на поле стоячих волн в трубе

Частичная потеря устойчивости одной из опор трубопровода имитировалась с помощью тонкой резиновой прокладки, подложенной на жесткое основание под хомут (третий хомут на рис. 1*а*) и находящуюся под ним алюминиевую подкладку. Рис. 4*а* показывает, как изменилось поле изгибных стоячих мод на том же профиле наблюдений (между вторым и третьим хомутами). Хотя три низших моды здесь выделить не удается, отчетливо видно, что структура поля резко отличается от случая жесткого крепления всех опор (рис. 3). Снижение жесткости одного из креплений привело к тому, что в этом месте только для четных мод наблюдаются узловые точки, да и то лишь потому, что первоначальные пролеты имели одинаковую длину, и в образовавшемся двойном пролете, демпфированном в середине нежестким креплением, узловые

точки четных мод приходятся как раз на середину пролета. Нечетные же моды двойного пролета в его середине имеют пучности.

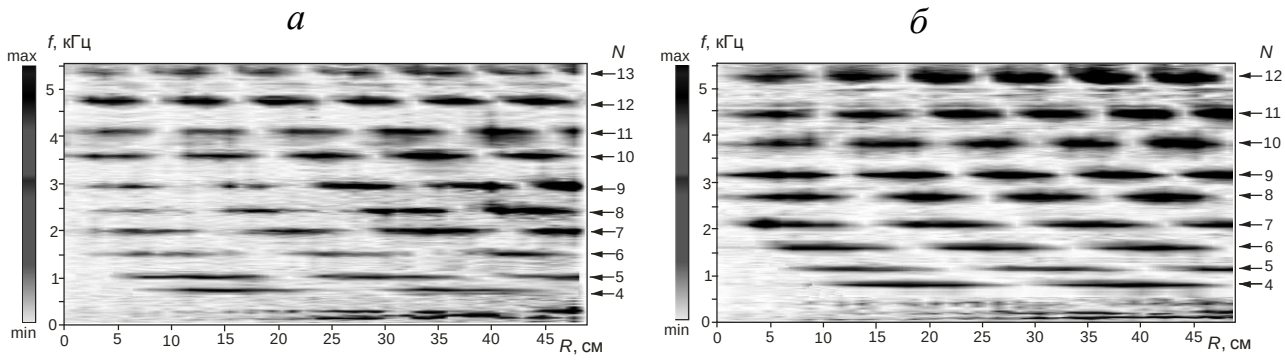


Рис. 4. Поле изгибных стоячих волн для того же, что на рис. 3, участка трубы в случае пониженной жесткости правого крепления (*а*) и при его отсутствии (*б*)

Нужно также отметить, что моды с одинаковой полудлиной изгибной волны, которая определяется расстоянием между соседними узлами или соседними пучностями на профиле наблюдений, имеют несколько повышенные частоты в случае нежесткого крепления одного из хомутов. Например, если четвертой моде на рис. 3, имеющей четыре пучности на отрезке трубы 50 см, соответствует частота примерно 2.3 кГц, то восьмая мода на рис. 4*а*, имеющая то же число пучностей на том же отрезке, наблюдается на частоте около 2.5 кГц.

Тот факт, что снижение жесткости крепления хомута, имитирующее частичную потерю устойчивости опоры трубопровода, фактически приводит к увеличению длины колеблющегося между жесткими опорами участка трубы, подтверждается экспериментом, в котором средняя опора (третий хомут на рис. 1*а*) была полностью удалена. Поле изгибных стоячих волн для этого случая приведено на рис. 4*б*. Как можно видеть, в целом картина подобна наблюдаемой на рис. 4*а*, за исключением того, что частоты одноименных мод здесь еще более повышены.

В заключение отметим, что аналогичные результаты были получены и для пустой трубы с той лишь разницей, что несколько изменились частоты, на которых были выделены из шумового поля стоячие волны.

Заключение

На результатах физического моделирования показано, что методика выделения стоячих волн из шумового поля, в последнее время успешно применяемая для обследования зданий и сооружений малоканальной аппаратурой, может использоваться для оценки устойчивости опор надземных трубопроводов. Ослабление жесткости контакта опоры с основанием или, тем более, полное исчезновение контакта, увеличивающие пролет между местами жесткого крепления трубы, проявляются в резком изменении структуры поля изгибных стоячих волн, формирующихся в трубе под действием акустических шумов. Если в месте жесткого крепления трубы всегда образуются узлы стоячих мод, то при ослаблении жесткости эта закономерность нарушается. В

частности, при одинаковой длине первоначальных пролетов в месте нежесткого крепления у четных мод изгибных стоячих волн наблюдаются узлы, а у нечетных – пучности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Методические рекомендации по расчетам конструктивной надежности магистральных газопроводов. РД 51-4.2.-003-97. – М.: РАО "Газпром" – Ассоциация "Высоконадежный трубопроводный транспорт" – ВНИИГАЗ – ИРЦ Газпром. – 1997.

2. Еманов А.Ф., Селезнёв В.С., Бах А.А. и др. Пересчёт стоячих волн при детальных инженерно-сейсмологических исследованиях // Геология и геофизика. – 2002. – Т. 43, № 2. – С. 192-207.

3. Abaqus Student Edition / http://www.simulia.com/academics/student.html

© Ю.И. Колесников, К.В. Федин, А.А. Каргаполов, 2012

УДК 550.834

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСА СЕЙСМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ОПОЛЗНЕВОГО СКЛОНА

Юрий Иванович Колесников
Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, 630090, г. Новосибирск, просп. акад. Коптюга, 3, доктор технических наук, доцент, заведующий лабораторией экспериментальной сейсмологии, тел. (383)333-31-38, e-mail: kolesnikovyi@ipgg.nsc.ru

Александр Федорович Еманов
Алтае-Саянский филиал Геофизической службы СО РАН, 630090, г. Новосибирск, просп. акад. Коптюга, 3, доктор технических наук, директор, тел. (383)333-27-08, e-mail: emanov@gs.nsc.ru

Евгений Андреевич Хогоев
Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, 630090, г. Новосибирск, просп. акад. Коптюга, 3, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, лаборатория экспериментальной сейсмологии, тел. (383)333-34-19, e-mail: hogoevea@ipgg.nsc.ru

Артем Александрович Красников
Алтае-Саянский филиал Геофизической службы СО РАН, 630090, г. Новосибирск, просп. акад. Коптюга, 3, научный сотрудник, лаборатория инженерной сейсмологии, тел. (383)333-25-35, e-mail: akrasn1983@gmail.com

В статье представлены результаты опытных работ комплексом сейсмических методов на оползневом склоне в районе г. Сочи. Кроме изучения скоростного разреза методом КМПВ, проведены пассивные сейсмические наблюдения, по данным которых выделена зона возможной активизации склоновых процессов и определены резонансные свойства верхней части разреза.

Ключевые слова: оползневой склон, активные и пассивные сейсмические наблюдения.

APPLICATION OF SEISMIC TECHNIQUES TO LANDSLIDE SLOPE STUDY

Yury I. Kolesnikov
Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3 Pr. Acad. Koptyuga, Novosibirsk 630090, Doctor of Science (geophysics), associate professor, head of Laboratory of Experimental Seismology, tel. (383)333-31-38, e-mail: kolesnikovyi@ipgg.nsc.ru

Aleksandr F. Emanov
Altay-Sayan Branch of Geophysical Survey SB RAS, 3 Pr. Acad. Koptyuga, Novosibirsk 630090, Doctor of Science (geophysics), director, tel. (383)333-27-08, e-mail: emanov@gs.nsc.ru

Evgeny A. Hogoev
Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3 Pr. Acad. Koptyuga, Novosibirsk 630090, PhD (geophysics), senior researcher, Laboratory of Experimental Seismology, tel. (383)333-34-19, e-mail: hogoevea@ipgg.nsc.ru

Artem A. Krasnikov
Altay-Sayan Branch of Geophysical Survey SB RAS, 3 Pr. Acad. Koptyuga, Novosibirsk 630090, researcher, Laboratory of Engineering Seismology, tel. (383)333-25-35, e-mail: akrasn1983@gmail.com

The article presents the results of experimental works using complex of seismic techniques on the landslide slope near Sochi. In addition to velocity section study using refraction method, passive seismic observations were carried out and its data were used to locate possible zone of active slope processes and to determine resonant properties of near-surface section.

Key words: landslide slope, active and passive seismic observations.

Введение

Для оценки устойчивости склонов и изучения склоновых процессов могут привлекаться как активные (с источниками сейсмических волн), так и пассивные сейсмические методы. Активные методы применяются в основном для изучения строения склонов, определения положения границ как литологических, так и связанных с имеющимися или формирующимися поверхностями скольжения.

При пассивных наблюдениях регистрируют микросейсмические колебания, источниками которых могут быть различные экзогенные и эндогенные процессы как природного, так и техногенного происхождения. В частности, при активизации склоновых явлений значительный вклад в микросейсмическое поле вносит сейсмоакустическая эмиссия (САЭ), являющаяся следствием процессов, происходящих в окрестности формирующихся поверхностей скольжения. Параметры САЭ широко применяются в последние десятилетия для мониторинга оползнеопасных участков склонов [1].

Еще одна возможность использования микросейсмического поля для изучения оползневых склонов связана с выделением из него стоячих волн, которые могут формироваться в породах склонов, и изучение которых может дать представление о резонансных свойствах пород верхней части разреза (ВЧР) [2]. В данной работе приведены результаты опытных работ комплексом сейсмических методов на оползнеопасном склоне в районе г. Сочи.

Район работ и аппаратурное обеспечение экспериментов

Работы были проведены на оползнеопасном участке, расположенном примерно в 20 км к северо-востоку от аэропорта Адлер (Сочи) в нижней части северного склона г. Высокая в пределах левого борта долины р. Мзымта (рис. 1). Рельеф участка в пределах оползневого склона резко и глубоко расчлененный, с многочисленными формами оползневого микрорельефа, средний уклон на участке составляет 17–18°. Для регистрации сейсмических данных применялись портативные трехканальные автономные цифровые 24-разрядные регистраторы «Байкал-АС» и центральная сейсмостанция «Ангара», обеспечивающая программирование регистраторов на выбранный режим работы и последующее считывание информации в персональный компьютер.

а б

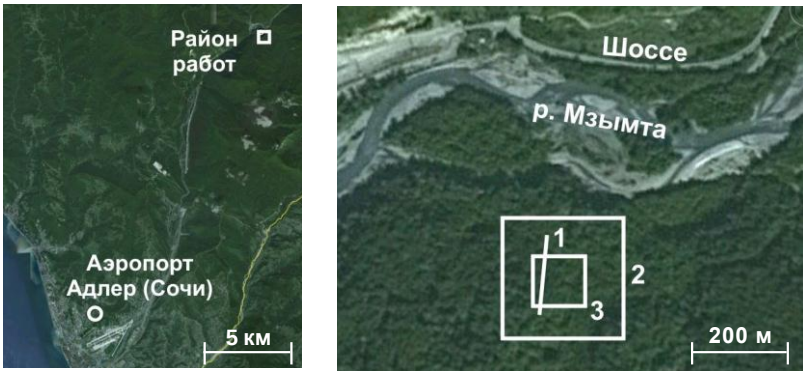


Рис. 1. Район работ (а) и положение профиля и площадных систем наблюдений (б): 1 – профиль КМПВ, 2 – участок анализа САЭ, 3 – участок сейсмического микрорайонирования

Активные сейсмические наблюдения

Активные сейсмические наблюдения проводились методом КМПВ на квазилинейном профиле, ориентированном примерно по падению склона (см. рис. 1*б*) на участке с относительно спокойным рельефом. Всего были получены записи от пяти источников типа падающий груз. Расстояние между пунктами возбуждения на квазилинейном профиле наблюдений составляло 25-30 м, сейсмоприемники устанавливались между вторым и четвертым источниками с шагом 5 м, максимальное расстояние источник-приемник – 95 м.

По данным КМПВ были выделены две примерно параллельные дневной поверхности границы. Скорость продольных волн V_p в верхнем слое мощностью примерно 2.5–3 м была оценена примерно в 500 м/с, во втором слое до глубины 22 м V_p=1300 м/с, ниже этой границы V_p=2900 м/с. Более глубокие границы при применявшейся системе наблюдений выделить не удается.

Оценка активности склоновых процессов по сейсмоакустической эмиссии

Регистрация данных для анализа САЭ проводилась как трехкомпонентными сейсмоприемниками для изучения поляризации микросейсм (10 точек наблюдений), так и вертикальными сейсмографами для локализации источников САЭ (синхронная регистрация микросейсм в 15 точках). Длительность каждой записи составляла 30 минут при частоте дискретизации 2 кГц.

Как показано в [3], импульсы САЭ, излучаемые при образовании трещин в зоне формирования поверхности скольжения, должны регистрироваться на дневной поверхности в виде колебаний, поляризованных преимущественно в направлении действия сдвиговых напряжений. Однако проведенный поляризационный анализ трехкомпонентных записей не выявил значительных аномалий в поляризации микросейсм на исследуемом участке, что говорит в пользу предположения о стабильном состоянии склона в окрестности точек наблюдений.

Получасовые синхронные записи микросейсмического поля, полученные на площадной системе наблюдений с помощью вертикальных сейсмоприемников, были обработаны по алгоритму сейсмоэмиссионной томографии [4]. Обработка данных в этом методе основана на суммировании сейсмических трасс вдоль годографов, рассчитанных для возможных положений источников в предположении об известном скоростном разрезе (мы использовали разрез, полученный методом КМПВ). Для каждого положения источника в исследуемом объеме среды в результате суммирования вычисляется когерентная мера подобия (сембланс) S – отношение энергии суммарного по всем точкам приема сигнала к сумме энергий сигналов, зарегистрированных на всех каналах в отдельности. Если исходные записи содержат сигналы от сейсмических источников, положению каждого источника будет соответствовать локальный максимум S. Визуализация S позволяет получить представление о пространственном распределении источников излучения упругой энергии в изучаемой среде.

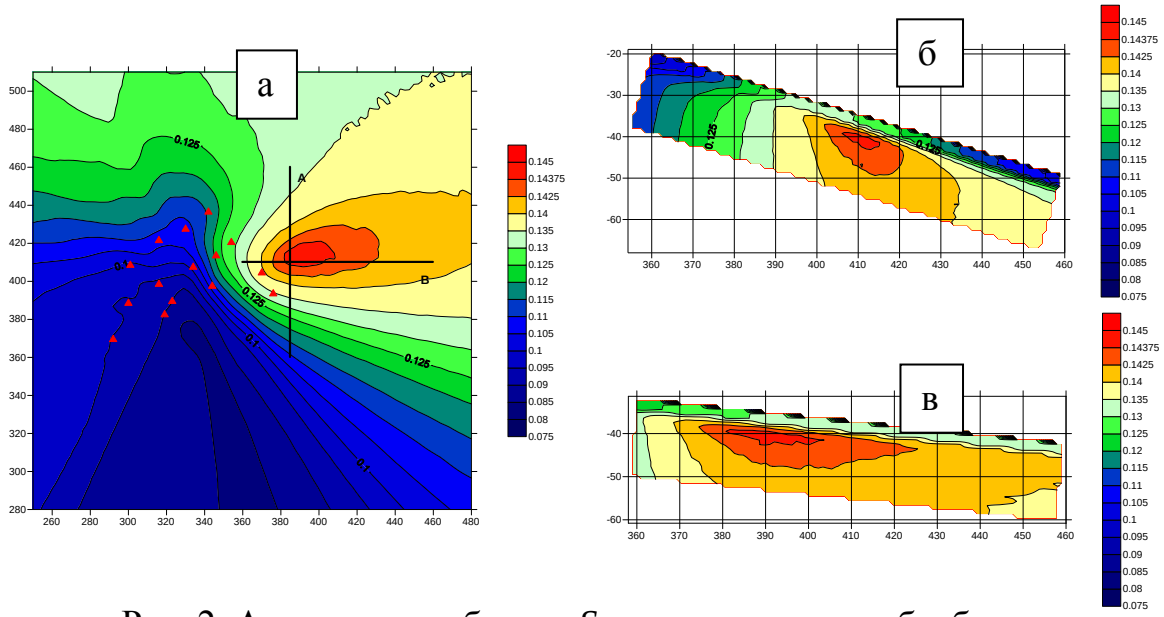


Рис. 2. Аномалия сембланса S, полученная при обработке данныходнокомпонентных наблюдений; красные треугольники – точки наблюдений

Результаты обработки приведены на рис. 2. Рис. 2*а* показывает распределение S на глубине 6 м под поверхностью склона, а рис. 2*б* и 2*в* – вертикальные сечения S через линии А и В, показанные на рис 2*а*. Как можно видеть, в массиве склона вблизи системы наблюдений на глубине примерно 6 м наблюдается положительная аномалия S, которая может указывать на активизацию склоновых процессов на этом участке.

Сейсмическое микрорайонирование участка склона методом стоячих волн

Для изучения резонансных свойств ВЧР на участке склона (см. рис. 1*б*) была реализована площадная система наблюдений из девяти трехкомпонентных сейсмоприемников. Одна из точек наблюдений являлась опорной, запись

микросейсмических колебаний на ней велась непрерывно в течение всего периода наблюдений. В остальных точках длительность непрерывных записей составляла не менее пятнадцати часов при частоте дискретизации 200 Гц. Опорная точка располагалась на скальном грунте и относительно нее рассчитывались приращения сейсмической интенсивности.

При обработке микросейсмических данных несинхронные пятнадцатичасовые трехкомпонентные записи микросейсм в восьми точках (за исключением опорной) пересчитывались к «единому» времени, для чего использовались синхронные с каждой из этих записей участки многочасовой записи в опорной точке. Затем для всех трех компонент рассчитывались спектры когерентности для «одновременных» пар записей, полученных в опорной и в каждой из остальных точек. По повышенным значениям когерентности были определены восемь собственных частот ВЧР в диапазоне 4-50 Гц, для каждой из которых построены карты усиления колебаний относительно опорной точки и карты приращения сейсмической интенсивности. Подробно методика описана в [2]. Пример карты коэффициентов усиления колебаний грунта приведен на рис. 3.

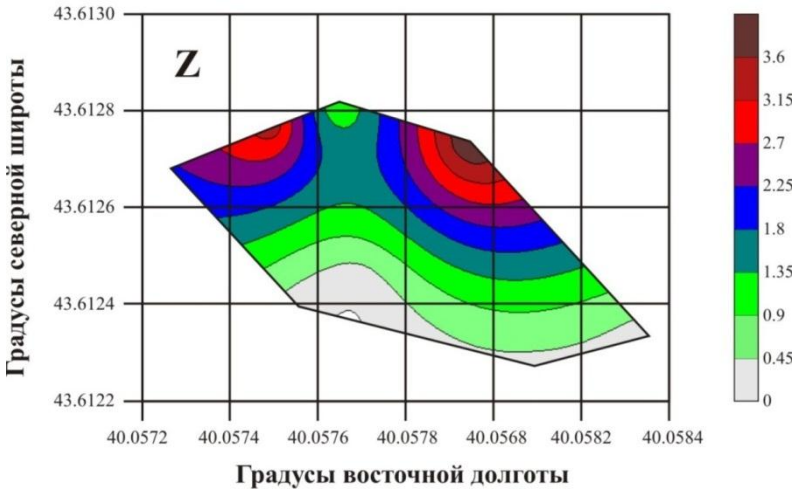


Рис. 3. Карта коэффициентов усиления колебаний грунта для вертикальной компоненты на частоте 35.74 Гц

Заключение

Результаты экспериментов подтвердили перспективность применения автономной портативной регистрирующей аппаратуры и комплекса сейсмических методов для оценки состояния и мониторинга оползнеопасных склонов. Наряду с изучением разреза активными сейсмическими методами, дополнительная информация об активности склоновых процессов и резонансных свойствах ВЧР может быть получена пассивными сейсмическими методами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Муравин Г.Б., Сигаловский М.Н., Розумович Е.Э., Лезвинская Л.М. Метод акустической эмиссии в исследованиях подвижки грунтов (Обзор) // Дефектоскопия. – 1991. – № 11. – С. 3-17.

2. Еманов А.Ф., Красников А.А., Бах А.А., Черных Е.Н., Еманов А.А., Сёмин А.Ю., Черепанов А.В. Резонансные свойства верхней части разреза // Физическая мезоханика. – 2008. – Т. 11, № 1, – С. 26-36.

3. Kolesnikov Yu.I., Nemirovich-Danchenko M.M., Goldin S.V., Seleznev V.S. Slope stability monitoring from microseismic field using polarization methodology // Natural Hazards and Earth System Sciences. – 2003. – V. 3, N 6. – P. 515-521.

4. Хогоев Е.А., Колесников Ю.И. Применение сейсмоэмиссионной томографии для изучения геодинамически активных зон // Технологии сейсморазведки. – 2011. – № 1. – С. 59–65.

© Ю.И. Колесников, А.Ф. Еманов, Е.А. Хогоев, А.А. Красников, 2012

УДК 550.837

ПРОЯВЛЕНИЯ И УЧЕТ ИНДУЦИОННО-ВЫЗВАННОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ ПРИ ПОИСКАХ ТАЛИКОВЫХ ЗОН В РАЙОНЕ ПЯКЯХИНСКОГО НЕФТЕГАЗОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Николай Олегович Кожевников
Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, 630090, г. Новосибирск, пр. ак. Коптюга, 3, главный научный сотрудник лаборатории геоэлектрики, тел. (383) 333-28-16, e-mail: KozhevnikovNO@ipgg.nsc.ru

Евгений Юрьевич Антонов
Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, 630090, г. Новосибирск, пр. ак. Коптюга, 3, заведующий лабораторией геоэлектрики, тел. (383)333-28-16, e-mail: AntonovEY@ipgg.nsc.ru

Михаил Александрович Корсаков
Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, 630090, г. Новосибирск, пр. ак. Коптюга, 3, аспирант лаборатории геоэлектрики, тел. (383)333-28-16, e-mail: KorsakovMA@ipgg.nsc.ru

Александр Кузьмич Захаркин
Сибирский научно-исследовательский институт геоогии, геофизики и минерального сырья, 630091, г. Новосибирск, ул. Потанинская, 6а, заведующий лабораторией обработки и интерпретации данных нестационарной электроразведки, тел. (383)222-13-26, e-mail: Zaharkin@ngs.ru

В статье описаны результаты зондирований методом переходных процессов при поисках таликовых зон в районе Пякяхинского нефтегазового месторождения, а также дана их интерпретация с учетом быстро протекающей индукционно-вызванной поляризации.

Ключевые слова: метод переходных процессов, многолетнемерзлые породы, талик, индукционно-вызванная поляризация, инверсия.

THE MANIFESTATION OF AND ALLOWING FOR THE INDUCTIVE INDUCED POLARIZATION IN SEARCH OF TALIKS IN THE VICINITY OF THE PYAKYAKHINSKOE OIL AND GAS FIELD

Nikolai O. Kozhevnikov
Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3 Prosp. Acad. Koptyuga, Novosibirsk, 630090, general researcher, laboratory of geoelectrics, tel. (383)333-28-16, e-mail: KozhevnikovNO@ipgg.nsc.ru

Evgeny Yu. Antonov
Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3 Prosp. Acad. Koptyuga, Novosibirsk, 630090, head of laboratory of geoelectrics, tel. (383)333-28-16, e-mail: AntonovEY@ipgg.nsc.ru

Mikhail A. Korsakov
Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3 Prosp. Acad. Koptyuga, Novosibirsk, 630090, post-graduate, laboratory of geoelectrics, tel. (383)333-28-16, e-mail: KorsakovMA@ipgg.nsc.ru

Alexander K. Zakharkin
Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources, 630091, Novosibirsk, Potaninskaya st., 6a, head of laboratory of processing and interpretation of TEM-data, tel. (383)222-13-26, e-mail: Zaharkin@ngs.ru

The paper discusses TEM sounding data measured in search for taliks in the vicinity of the Pyakkyakhinskoe oil and gas field. The inversion of the TEM data was carried out with allowance for fast-decaying inductive polarization.

Key words: TEM sounding method, permafrost, talik, inductive induced polarization, inversion.

Нередко основным источником водоснабжения в северных районах являются водонасыщенные талые породы среди мерзлых, называемые таликами. При поисках и изучении таликов ведущая роль отводится электроразведке методами сопротивлений [Огильви, 1990]. Талики, связанные с крупными водотоками, отчетливо отражаются на региональных геоэлектрических разрезах, которые строятся по данным ВЭЗ с целью общего изучения мерзлотных толщ либо в связи со структурными исследованиями. Основным инструментом для поиска и картирования таликов является многоразносное профилирование. Этот метод является эффективным при относительно неглубоком залегании талых пород. К недостаткам методов сопротивлений относится необходимость осуществлять гальванический контакт электродов с землей, что затрудняет проведение измерений в условиях мерзлой ВЧР.

Поэтому при поисках таликовых зон привлекают внимание индукционные зондирования методом переходных процессов (ЗМПП). Наряду с отсутствием заземлений к достоинствам этого метода относятся высокая локальность исследований, а также чувствительность по отношению к проводникам, перекрытых высокоомными экранами. Поскольку талые породы по сравнению с мерзлыми являются хорошо проводящими, возможности метода переходных процессов при поисках таликов оцениваются как высокие.

Однако при использовании ЗМПП в условиях криолитозоны существует проблема, связанная эффектами быстро устанавливающейся индукционно-вызванной поляризации – ВПИ, проявляющейся в нарушении монотонности (вплоть до изменения полярности) переходных характеристик.

В статье рассматриваются результаты применения зондирований методом переходных процессов (ЗМПП) для поисков таликов в районе Пякяхинского нефтегазового месторождения с целью решения проблем водоснабжения.

Для инверсии данных ЗМПП была использована программа TEM-IP [Антонов и др., 2010], позволяющая решать прямые и обратные задачи ЗМПП в классе моделей горизонтально-слоистой проводящей и *поляризующейся* среды. Учет ВПИ осуществляется путем использования комплексной, зависящей от частоты удельной электропроводности $\sigma^*(\omega)$, задаваемой формулой Коул-Коул:

$$\sigma^*(\omega)=\sigma_0\frac{1+(j\omega\tau)^c}{1+(1-\eta)(j\omega\tau)^c},$$

где j = $\sqrt{-1}$, σ_0 – удельная электропроводность на постоянном токе, См/м; η – поляризуемость, ($0 \le \eta \le 1$), c – показатель степени; τ – время релаксации, с.

Работы в окрестностях Пякяхинского месторождения проведены А.К. Захаркиным в марте-апреле 2011 г. с аппаратурой «ЦИКЛ-7» производства фирмы «Цикл-гео» (Нововсибирск). Поисковые маршруты прошли по двум профилям – речному и озерному. Измерения на речном профиле были выполнены вдоль р. Индикьяха. Озерный профиль меридионального направления пересек оз. Нгаркато. Основной объем профильных работ выполнен с шагом 100 м выносной установкой: генераторная петля 35м х 35м, индукционный приемный датчик с эффективной площадью 400м^2 или 2500м^2 располагался на удалении 45 м от центра генераторной петли.

Поисковым работам предшествовали опытно-методические (всего 6 зондирований) на одном из водораздельных участков, где талики заведомо отсутствуют. Здесь для возбуждения и регистрации переходных процессов использовалась симметричная (соосная) установка с генераторной петлей 35 м х 35 м, в центре которой располагался приемный датчик.

Инверсия переходных характеристик с учетом ВПИ дает представление о геоэлектрической модели водораздельного участка. Во всех случаях была подобрана трехслойная модель с поляризующимся верхним слоем (рис. 1 а). Параметры слоя (ρ_1=10^3 Ом·м, η_1=0.6, τ_1=150 мкс, c_1=1) являются типичными для мерзлых осадочных пород. Поскольку ρ_1 велико, это, скорее всего, крупнозернистые породы типа песков.

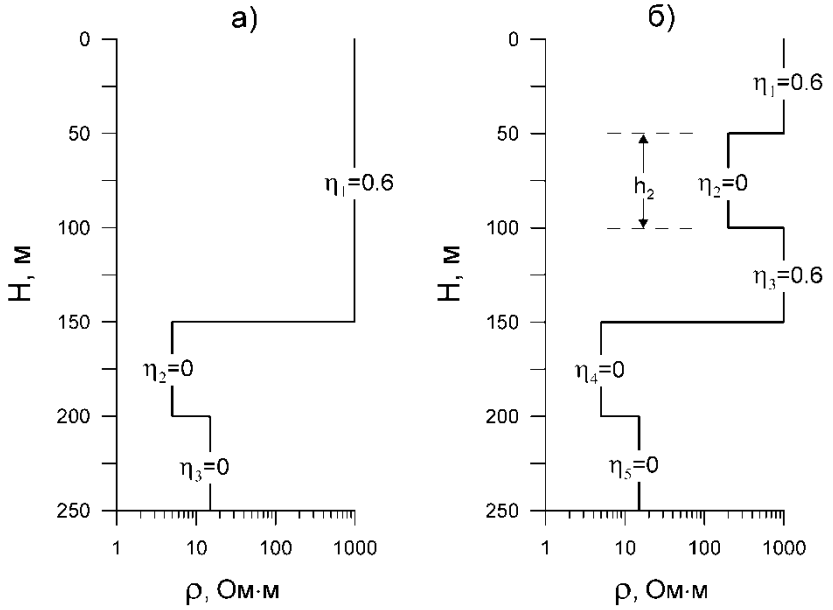


Рис. 1. Геоэлектрические модели: а – референтная (без талика), б – с таликом в верхней части разреза

Второй слой характеризуется низкими – порядка единиц Ом·м – значениями сопротивления. Его средняя мощность составляет 50м, продольная проводимость – около 10 См. Вероятно, он представлен глинами, вода в

которых даже при отрицательных температурах не замерзает. Сопротивление основания в среднем составляет около 15 Ом·м. Возможно, это тоже глины. Трехслойная геоэлектрическая модель с указанными выше параметрами показана (см. рис. 1а) может быть использована в качестве референтной при оценке эффектов, создаваемых за счет присутствия талика в верхнем слое.

При появлении талика в верхней части разреза трехслойная модель трансформируется в пятислойную (рис. 1б). Талик мощностью h_2 характеризуется пониженным (на рис. 1а ρ_2=200 Ом·м) сопротивлением и нулевой поляризуемостью. Однако – как показало специально проведенное моделирование – влияние талика на переходную характеристику недостаточно для надежного определения его параметров в качестве отдельного слоя. Тем не менее, в рамках трехслойной модели появление талика приводит к значимому изменению обобщенных или эквивалентных параметров верхнего слоя (который на самом деле образован тремя). Так, при появлении талика, который является неполяризующимся и более проводящим по сравнению с вмещающими мерзлыми породами, можно ожидать понижения удельного сопротивления и поляризуемости верхнего «обобщенного» слоя. Исходя из этих соображений инверсия переходных характеристик, измеренных на речном и озерном профилях, проводилась в рамках трехслойной модели с поляризующимся верхним слоем (см. рис. 1а).

На рис. 2 показаны результаты инверсии данных ЗМПП по озерному маршруту, представленные в виде графиков профилирования. Хотя параметры верхнего эквивалентного слоя характеризуются значительной «локальной» изменчивостью, в региональном плане графики со всей очевидностью отражают закономерные изменения параметров по профилю (рис. 2). Мощность h_1 верхнего слоя изменяется от 72 м до 270 м, максимальные значения отмечаются на северном фланге профиля (ПК 260 – 280). Удельное электрическое сопротивление ρ_1 верхнего слоя изменяется в диапазоне от 43 до 4300 Ом·м, т.е. на три порядка. Максимальные значения УЭС отмечаются на флангах профиля, минимальные – в его центральной части. Поляризуемость η_1 составляет 0.12 – 0.78. Минимальные значения η_1 отмечаются в центральной части профиля, максимальные – на флангах. Постоянная времени τ_1 поляризационного процесса изменяется в диапазоне 35мкс – 290 мкс. Среднее значение составляет 80 мкс. В целом южный фланг профиля характеризуется более высокими значениями τ_1 по сравнению с северным. Локальные аномалии τ_1 на профиле не просматриваются. Что касается c_1 – показателя степени в формуле Коул-Коул, то этот параметр во всех случаях оказался равным единице.

Найденный в результате инверсии набор параметров верхнего слоя является типичным для мерзлых осадочных пород [Kozhevnikov, Antonov, 2006]. С точки зрения локализации возможных таликов наибольший интерес представляет центральный отрезок профиля протяженностью около 2 км (ПК 230 – 250). Здесь наблюдаются самые низкие значения удельного электрического сопротивления ρ_1 и поляризуемости η_1 верхнего слоя. Это

позволяет с большой долей вероятности предполагать здесь наличие протяженного талика.

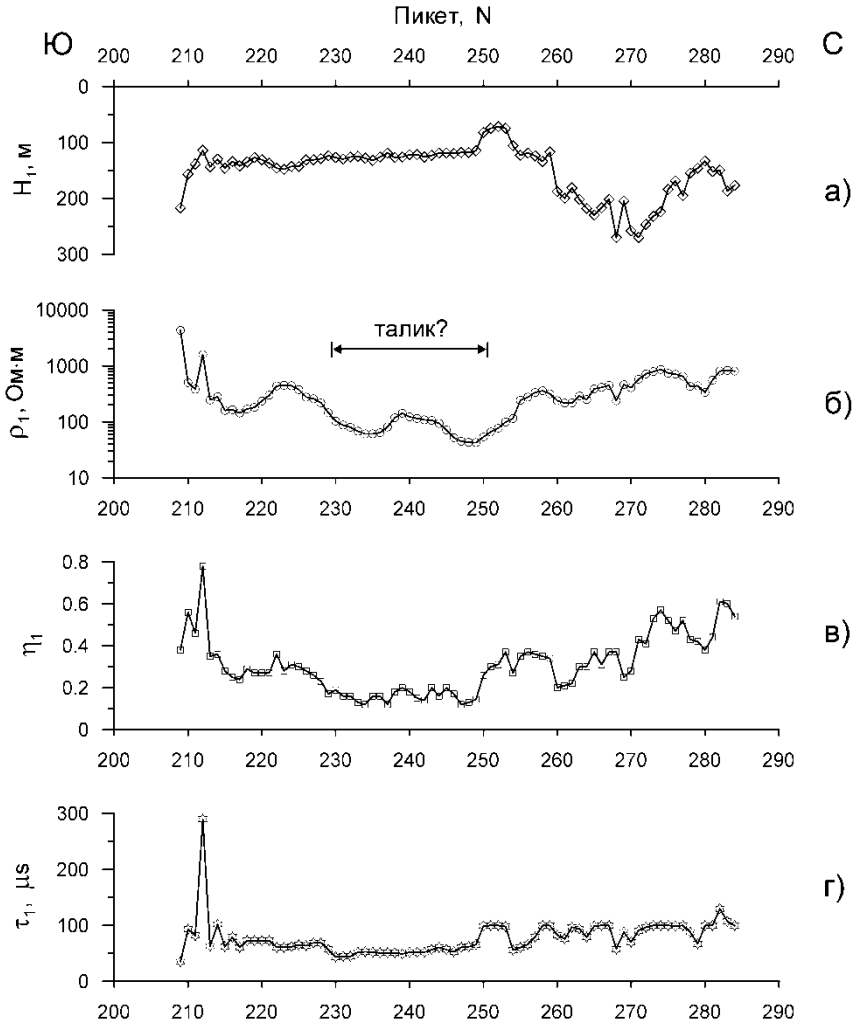


Рис. 2. Графики мощности H_1 (а), удельного электрического сопротивления ρ_1 (б), поляризуемости η_1 (в) и постоянной времени τ_1 (г) по озерному профилю. Расстояние между соседними пикетами 100 м. Горизонтальной линией со стрелками отмечена зона, где отмечаются низкие значения сопротивления и поляризуемости

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Антонов Е.Ю. «TEM-IP» – Система для интерпретации данных индукционных импульсных зондирований поляризующихся сред [Электронный ресурс] / Е.Ю. Антонов, Н.О. Кожевников, М.А. Корсаков // Первая международная научно-практическая конференция по электромагнитным методам исследования «ГЕОБАЙКАЛ-2010», Иркутск, 2010. – 2с.

2. Огильви А.А. Основы инженерной геофизики: Учеб. для вузов / Под ред. В.А. Богословского – М.: Недра, 1990. – 501 с.

3. Kozhevnikov, N.O., and Antonov, E.Y., Fast-decaying IP in frozen unconsolidated rocks and potentialities for its use in permafrost-related TEM studies // Geophysical Prospecting, 2006, 54, 383 – 397.

© Н.О. Кожевников, Е.Ю. Антонов, М.А. Корсаков, А.К. Захаркин, 2012

УДК 550.4:552.578+551.762

НЕФТЕГАЗОПРОИЗВОДЯЩИЕ ТОЛЩИ В ЮРСКИХ ОТЛОЖЕНИЯХ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЕНИСЕЙ-ХАТАНГСКОГО РЕГИОНАЛЬНОГО ПРОГИБА

Наталья Сергеевна Ким
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук, 630090, г. Новосибирск, пр-т академика Коптюга, 3, старший научный сотрудник Лаборатории геохимии нефти и газа, тел. (383)333-11-24, e-mail: kimns@ipgg.nsc.ru

С использованием современных методов органической геохимии изучен керновый материал из юрских отложений восточной части Енисей-Хатангского регионального прогиба. На основании данных по содержанию органического углерода в породах, данных пиролитического анализа, распределению углеводородов-биомаркеров в насыщенных фракциях хлороформенных экстрактов были выделены нефтегазопроизводящие толщи.

Ключевые слова: нефтегазопроизводящие породы, органическая геохимия, углеводороды-биомаркеры, Енисей-Хатангский прогиб.

SOURCE ROCKS OF JURASSIC DEPOSITS IN THE EASTERN PART OF THE YENISEI-KHATANGA REGIONAL TROUGH

Natalya S. Kim
Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (IPGG SB RAS), Novosibirsk, Russia, 630090, Acad. Koptyug av. 3, PhD in Geology, senior research scientist, Laboratory of oil-and-gas geochemistry, tel. (383)333-11-24, e-mail: kimns@ipgg.nsc.ru

Using the modern methods of organic geochemistry the core samples from Jurassic deposits in the eastern part of the Yenisei-Khatanga regional trough have been examined. Based on the organic carbon content in rocks, pyrolytic data and the biomarker distribution in the saturated hydrocarbon fraction of bitumen extracts the source rocks were identified.

Key words: source rocks, organic geochemistry, biomarkers, Yenisei-Khatanga trough.

Енисей-Хатангский региональный прогиб, расположенный в арктических районах Сибири, относится к слабоизученным регионам. Оценка перспектив нефтегазоносности этой территории проводилась в 50-80-х годах прошлого столетия. В последние годы возобновились работы по ее уточнению.

Одним из главных факторов, которые определяют перспективность бассейна на наличие нефтяных и газовых залежей, является присутствие нефтегазопроизводящих пород в осадочной толще. Для выделения пород, способных к генерации нефти и газа, необходим анализ данных по геохимии содержащегося в них органического вещества (ОВ). Результаты геохимических исследований, проведенных на этой территории ранее, нашли отражение в работах Л.Н. Болдушевской, А.И. Данюшевской, А.Э. Конторовича, И.Д. Поляковой, Е.И. Соболевой, Д.С. Сорокова, Г.Ф. Степаненко,

Ю.А. Филипцова, А.Н. Фомина, А.С. Фомичева и др. В настоящей работе впервые современными методами органической геохимии была исследована коллекция кернового материала, представленная 129 образцами, отобранными из юрских отложений восточной части Енисей-Хатангского регионального прогиба в скв. Волочанская-1, Новая-1,2, Массоновская-363, Балахнинская-1,6, Кубалахская-1, Логатская-361. Схема исследования рассеянного ОВ включала определение содержания органического углерода в породе, пиролитических характеристик органического вещества, выхода хлороформенных экстрактов (битумоидов) и их группового состава. Особое внимание было уделено изучению ОВ пород на молекулярном уровне методами газожидкостной хроматографии и хромато-масс-спектрометрии. В насыщенной фракции 72 битумоидов исследованы состав и распределение таких углеводородов-биомаркеров, как нормальные алканы, изопренаны, стераны и терпаны.

Количество, состав ОВ и степень его катагенетической преобразованности определяют способность осадочных толщ генерировать углеводороды. Считается, что наиболее вероятными источниками нефти являются морские отложения с преимущественно аквагенным типом ОВ, находящиеся на стадии катагенеза, отвечающей главной зоне нефтеобразования, с кларковым или повышенным содержанием органического углерода в породе [1, 2]. Однако достаточным условием для диагностики нефтепроизводивших отложений могут служить только изменения материнского ОВ, проявляющиеся вследствие эмиграции углеводородов из материнских пород, а также геохимическое сходство состава рассеянного органического вещества и нефтей в залежах [1,5].

Содержание органического углерода в изученных юрских аргиллитах при значительном разбросе значений от 0,15 до 8,22 % на породу в среднем по 129 пробам составляет 1,35 %. Для нижнеюрских отложений характерны низкие значения $C_{орг}$ (в среднем по 53 образцам 0,87 % на породу) и количество проб, в которых концентрации органического углерода выше кларковых не превышает 38 % образцов (рис. 1). Количество органического углерода в породах средней юры выше – в среднем по 61 исследованным пробам значение $C_{орг}$ равно 1,28 % на породу. Повышенными концентрациями органического углерода (5,21-8,22 % на породу) выделяются 5 образцов из интервала 4198-4210 м гольчихинской свиты в скв. Массоновская-363. В остальных десяти

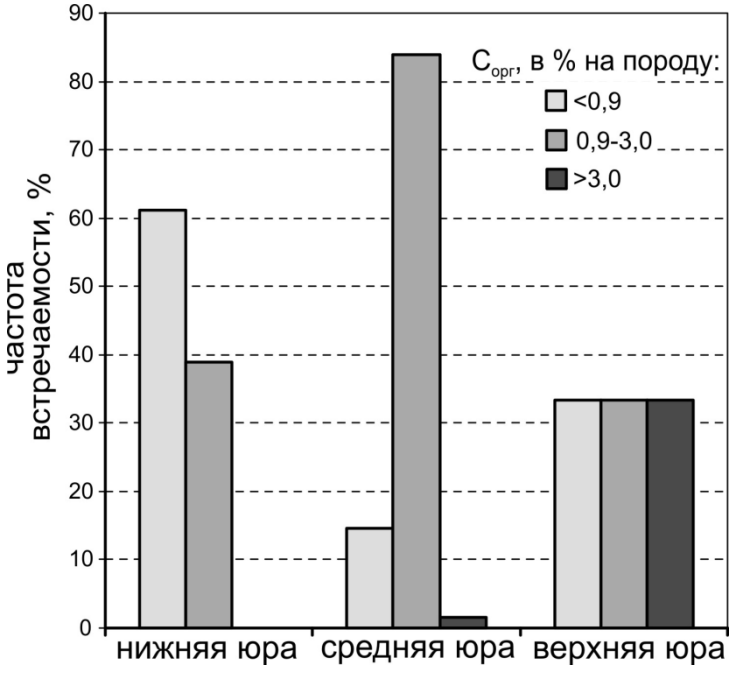


Рис. 1. Гистограммы значений $C_{орг}$ в аргиллитах юрских отложений

верхнеюрских образцах содержание органического углерода в среднем составляет 1,64 % на породу.

Состав углеводородов-биомаркеров подавляющей части автохтонных битумоидов указывает на связь с липидами ОВ высшей наземной растительности. Для них характерно резкое преобладание этилхолестанов C_{29} (47-75 % на сумму) в ряду стеранов C_{27}-C_{30} (рис. 2), среди трицикланов доминируют углеводороды состава C_{19}-C_{20} [4, 6]. Поскольку эти толщи накапливались в прибрежно-морской обстановке (отношения Pr/Ph>1, гомогопанов C_{35}/C_{34}<1, присутствие диагопана), это свидетельствует о привнесенной вместе с терригенными осадками, террагенной природе органического вещества или его части. Исследованные отложения являются потенциально газогенерационными и способны генерировать жидкие углеводороды только в небольшом количестве.

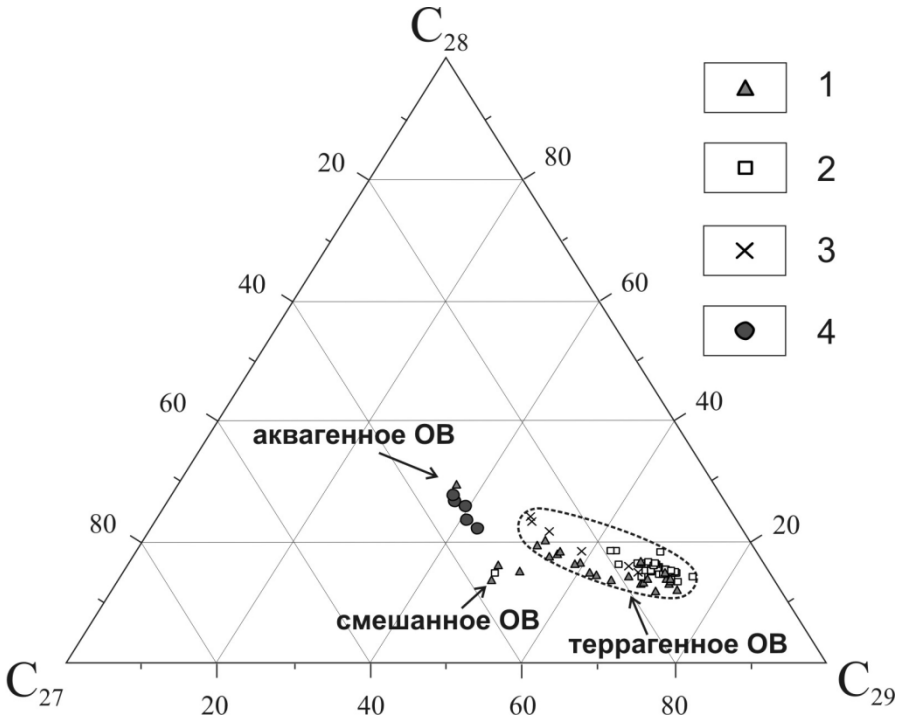


Рис. 2. Тригонограмма распределения стерановых углеводородов C_{27}, C_{28}, C_{29} в автохтонных битумоидах 1 – нижней, 2 – средней, 3 – верхней юры; 4 – в аллохтонных битумоидах

В битумоиде из скв. Новая-1, глубина 3449-3459 м распределение биомаркеров указывает на генетическую связь исходного ОВ с липидами планктоно- и бактериогенного (аквагенного) генезиса. Содержание стерановых углеводородов C_{27}, C_{28}, C_{29} приблизительно равное – 34:30:37 соответственно. Отмечаются относительно высокие концентрации трицикланов с преобладанием углеводородов состава C_{23}-C_{26}.

Четыре битумоида из скв. Кубалахская-1 с глубины 3359-3367 м (китербютская свита) и скв. Логатская-361, глубина 3107-3111 м (лайдинская

свита) по распределению углеводородов-биомаркеров занимают промежуточное положение, характеризующее смешанный характер исходного ОВ.

Концентрации органического углерода в породах из скв. Новая-1 и Логатская-361 с аквагенным и смешанным генезисом ОВ и преобразованность ОВ (молекулярные параметры, значения T_{max}) позволяют рассматривать их в качестве потенциально нефтематеринских. В породах из китербютской свиты скв. Кубалахская-1 со смешанным типом ОВ, содержание $C_{орг}$ (0,73-0,80 % на породу) ниже кларковых значений, что говорит о незначительном начальном генерационном потенциале этих отложений.

Данные пиролитических исследований позволили выделить несколько стратиграфических уровней, которые требуют дальнейшего более детального геохимического изучения. Так по данным пиролиза в обогащенном органическим углеродом интервале 4198-4209 м гольчихинской свиты в скв. Массоновская-363 ОВ имеет аквагенный генезис, находится в главной зоне нефтеобразования и, по-видимому, породы из этого слоя могут являться нефтепроизводящими. Определенный интерес представляют и отложения вымской и леонтьевской свит из скв. Новая-2 с глубин 2466 и 1931 м, в которых при водородном индексе большем 200 мг УВ / г $C_{орг}$ и значениях $C_{орг}$ равных 1,29 и 2,09 % на породу, ОВ диагностируется как зрелое.

Помимо вышеописанных битумоидов в разрезе скважины Кубалахская-1 на глубинах 3589-3596 м (шараповская свита, 4 пробы) и 3213 м (вымская свита, 1 проба) выявлены аллохтонные битумоиды, которые по классификации А.Э. Конторовича и О.Ф. Стасовой [3] относятся к нефтям (количество углеводородов достигает 69-73 % на битумоид). Содержание битумоидов повышенное – 0,10-0,19 % на породу; на пирограммах этих образцов появляется дополнительный пик между S_1 и S_2, водородный индекс повышается до 155-218 мг УВ / г $C_{орг}$. Распределение биометок доказывает аквагенный генезис (равномерное распределение стеранов C_{27-29}, преобладание трициклановов C_{23}-C_{26}). Геохимические показатели катагенеза ОВ (CPI, Ts/Tm, стерановые коэффициенты) указывают на большую зрелость, чем у автохтонных битумоидов из скв. Кубалахская-1 с соответствующих глубин. Все это позволяет сделать вывод о вторичной природе этих битумоидов. Само наличие битумоидов, имеющих привнесенный, аллохтонный характер, указывает на происходившие процессы генерации углеводородов в изучаемой толще. Проведенная генетическая корреляция (рис. 2) позволила установить связь между аллохтонными битумоидами и ОВ аквагенной природы шараповской свиты из скв. Новая-1.

Работа выполнена при поддержке грантов МК-4893.2012.5 и НШ-4498.2012.5.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вассоевич, Н.Б., Акрамходжаев, А.М., Бурлин, Ю.К. и др. Нефтематеринские породы // Литология на новом этапе развития геологических знаний. – М.: Наука, 1981. – С. 158-176.

2. Неручев, С.Г. Нефтепроизводящие свиты и миграция нефти. – Л.: Недра, 1969. – 240 с.
3. Геология нефти и газа Сибирской платформы / А.С. Анциферов, В.Е. Бакин, И.П. Варламов и др.; Под ред. А. Э. Конторовича, В. С. Суркова, А. А. Трофимука. – М.: Недра, 1981. – 552 с.
4. Петров, А. А. Углеводороды нефти. – М.: Наука, 1984. – 263 с.
5. Тиссо, Б., Вельте, Д. Образование и распространение нефти. – М.: Мир, 1981. – 502 с.
6. Peters, K.E., Walters, C.C., Moldowan, J.M. The biomarker guide. 2nd ed. – Cambridge University Press, New York, 2007. – 1155 p.

© Н.С. Ким, 2012

УДК 550.8

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПАССИВНЫХ КОНЦЕНТРАТОРОВ ДЛЯ ГЕОХИМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ ПРИ ПОИСКЕ ЗАЛЕЖЕЙ НЕФТИ И ГАЗА

Евгений Валерьевич Карташов
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук (ИНГГ СО РАН), 630090, Новосибирская область, г. Новосибирск, пр. ак. Коптюга, д. 3, ведущий инженер лаборатории геохимии нефти и газа, тел. (383)330-26-76, e-mail: KartashovEV@ipgg.nsc.ru

Михаил Николаевич Балдин
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук (ИНГГ СО РАН), 630090, Новосибирская область, г. Новосибирск, пр. ак. Коптюга, д. 3, заведующий лаборатории газоаналитических систем, тел. (383) 363-80-25, e-mail: BaldinMN@ipgg.nsc.ru

Владимир Матвеевич Грузнов
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук (ИНГГ СО РАН), 630090, Новосибирская область, г. Новосибирск, пр. ак. Коптюга, д. 3, доктор технических наук, заместитель директора по научной работе, тел. (383)333-27-11, e-mail: GruznovVM@ipgg.nsc.ru

В статье рассмотрены аппаратура и методика для геохимической съемки с использованием пассивных концентраторов на С6-С8. Описание полевых экспериментов. Результаты.

Ключевые слова: пассивные концентраторы, геохимическая съемка, поиск залежей нефти и газа.

FEATURES OF PASSIVE CONCENTRATORS FOR GEOCHEMICAL SURVEY WHILE SEARCHING FOR OIL FIELDS

Eugene V. Kartashov
A.A. Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch Russian Academy of Sciences (IPGG SB RAS) Akademika Koptyuga Prsp., 3, Novosibirsk, 630090, chief engineer of laboratory of oil-and-gas geochemistry, tel. (383)330-26-76, e-mail: KartashovEV@ipgg.nsc.ru

Michael N. Baldin
A.A. Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch Russian Academy of Sciences (IPGG SB RAS) Akademika Koptyuga Prsp., 3, Novosibirsk, 630090, head of the laboratory of gas-analytical systems, tel. (383) 363-80-25, e-mail: BaldinMN@ipgg.nsc.ru

Vladimir M. Gruznov
A.A. Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch Russian Academy of Sciences (IPGG SB RAS) Akademika Koptyuga Prsp., 3, Novosibirsk, 630090, deputy

director on scientific work - Dr. in techn. (Department of geophysical and geochemical engineering), tel. (383)333-27-11, e-mail: GruznovVM@ipgg.nsc.ru

In article is considered equipment and method for geochemical surveys using passive concentrators for C6-C8. Description of field experiments. Results.

Key words: passive concentrators, geochemical survey, searching for oil fields.

Мировой опыт показывает, что отрицательная оценка перспектив нефтегазоносности геохимическими методами подтверждается результатами бурения на 100%, а положительная - на 60-80%.

Для снижения стоимости и повышение надежности проводят два этапа геохимической съемки исследуемой территории. Оба этапа в случае заболоченной местности проводят по снежному покрову. На первом этапе определяют наличие зон углеводородных аномалий. Для этого исследуемую территорию разбивают прямоугольной сеткой 400-600 м. В точках пересечения сетки производят отбор проб, а затем проводят их полевой анализ, определяя содержание углеводородов, в результате которого получают линию контура каждой из выявленных углеводородных аномалий. На втором этапе уточняют границу расположения каждой зоны путем отбора проб в клетках сетки, прилегающих к найденной линии контура. При этом сторону клетки уменьшают в 2 раза, получается сетка 200-300 м. Выявленные аномалии исследуют методами сейсморазведки для определения пространственного положения нефтегазовых залежей, уточнения их границ. Полученные данные используют для определения точек заложения поисковых, разведочных и эксплуатационных скважин.

При геохимической съемке по снежному покрову обеспечивается доступность всей исследуемой территории. В зимних условиях процессы окисления в снежном покрове практически отсутствуют. При геохимической съемке по снежному покрову не наблюдается смещение углеводородных аномалий в направлении стока поверхностных вод, которое может привести к искажению истинной картины распределения углеводородов.

Надежно выявленными считаются только углеводородные аномалии, подтвержденные не менее чем тремя точками.

Для исключения возможности загрязнения проб парами технических нефтепродуктов стеклянные емкости транспортируют к месту полевых работ закрытыми металлическими крышками и герметически упакованными в полиэтиленовую упаковку. Транспортные средства, используемые при отборе проб снега (напр. снегоходы "Буран"), останавливают, не доезжая не менее 25 м до первой точки отбора проб на сетке (профиле). Передвижения по линиям сетки осуществляют на лыжах. Отобранные пробы обрабатываются в полевом лагере ежесуточно. Для предотвращения искажения результатов анализов, за счет разрушения углеводородов микроорганизмами, срок хранения проб ограничивают 5-ю сутками.

При геохимической съемке с использованием ПК, концентраторы помещаются на глубину 0,5 – 1,5 м на время 1-2 суток, затем вынимаются и

доставляются в полевой лагерь. Здесь содержимое концентраторов анализируется на полевом хроматографе и составляется электронный журнал с результатами анализа углеводородов в каждой точке профиля.

Пассивные концентраторы (ПК) представляют собой стеклянные или металлические трубки с сорбентом на внутренней поверхности. Длиной трубок40 - 60 мм, наружный диаметр 6 мм, внутренний диаметр 4 мм.

Каждый концентратор помещается (рисунок 2) в чистый контейнер (поз. 1) емкостью 15 мл и закрывается крышкой (поз. 2) с непроницаемыми вкладышами (поз. 3).

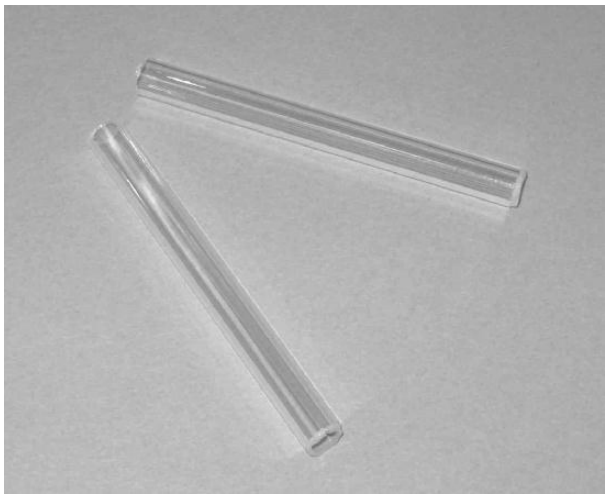


Рис. 1. Стеклянные пассивные концентраторы

Рис. 2. Контейнер для пассивного концентратора:

1 – контейнер,2 – закручивающаяся крышка, 3 – непроницаемый вкладыш

Для очистки ПК перед его установкой в контейнер используется специальное портативное десорбирующее устройство – десорбер (показан на рисунке 3).

Рис. 3. Десорбер для очистки концентраторов

Рис. 4. Анализатор - хроматограф

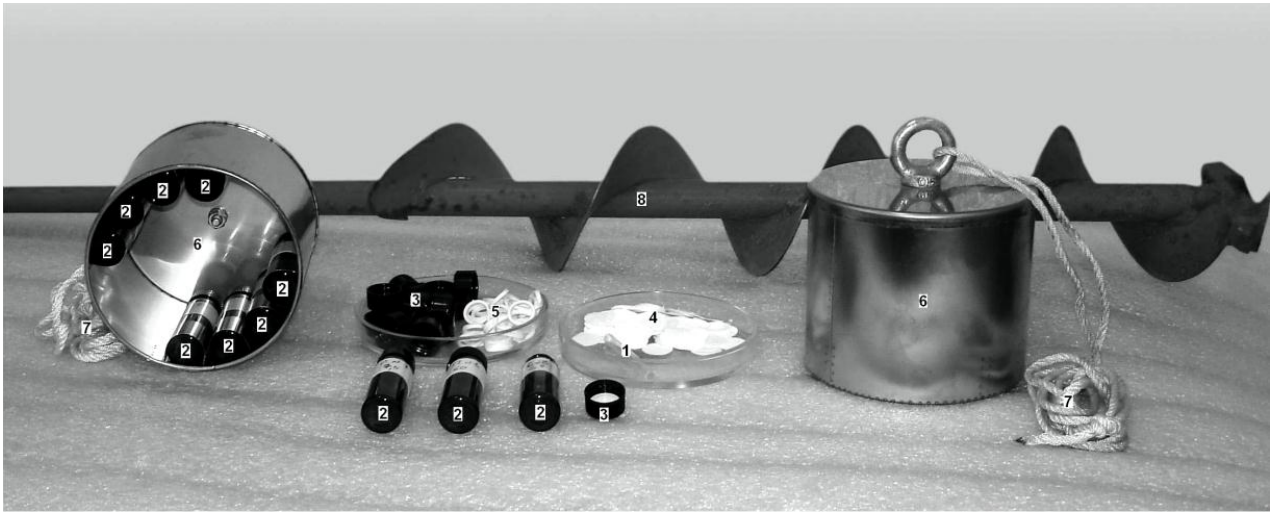


Рис. 5. Контейнер для переноски и хранения концентраторов и приспособления для пробоотбора

1 - концентратор

2 – контейнер (Vials 15мл) для переноски и хранения концентратора

3 – крышка контейнера

4 - тефлоновый пористый фильтр

5 – кольца для уплотнения фильтра.

6 – пробоотборная емкость (банка)

7 – капроновая веревка

8 – ручной бур

Для проведения пробоотбора (патент РФ №81344) на ПК контейнеры с ПК закрепляются в пробоотборной емкости (банке). Банка с контейнерами устанавливается в шурф (ямку) на глубину 50 см. (рисунок 6). Шурф диаметром 12 см сверлится ручным буром.

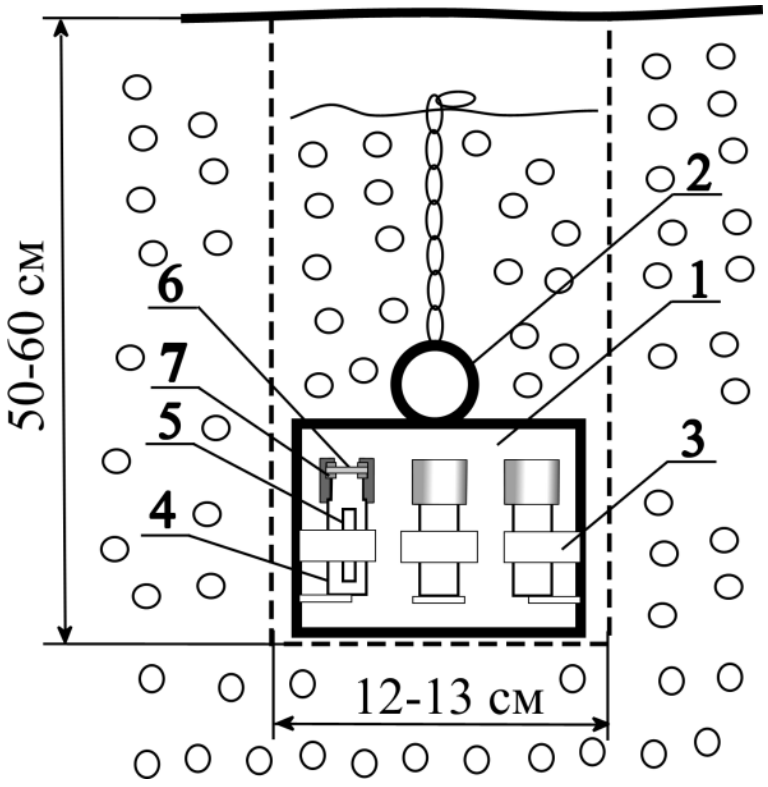


Рис. 6. Шурф:

1 - пробоотборная емкость (банка);
2 – кольцо для вытаскивания банки;
3 – держатель контейнера;
4 – контейнер;
5 – ПК;
6 –пористый фильтр;
7 – уплотнительное кольцо

Пример съемки. На рисунке 7 приведен результат предварительного картирования распределения углеводородов по площади полуострова Юрунг-Тумус (бухта Нордвик). На рисунках 8 и 9 приведены результаты картирования распределения углеводородов по территории Атовского месторождения.

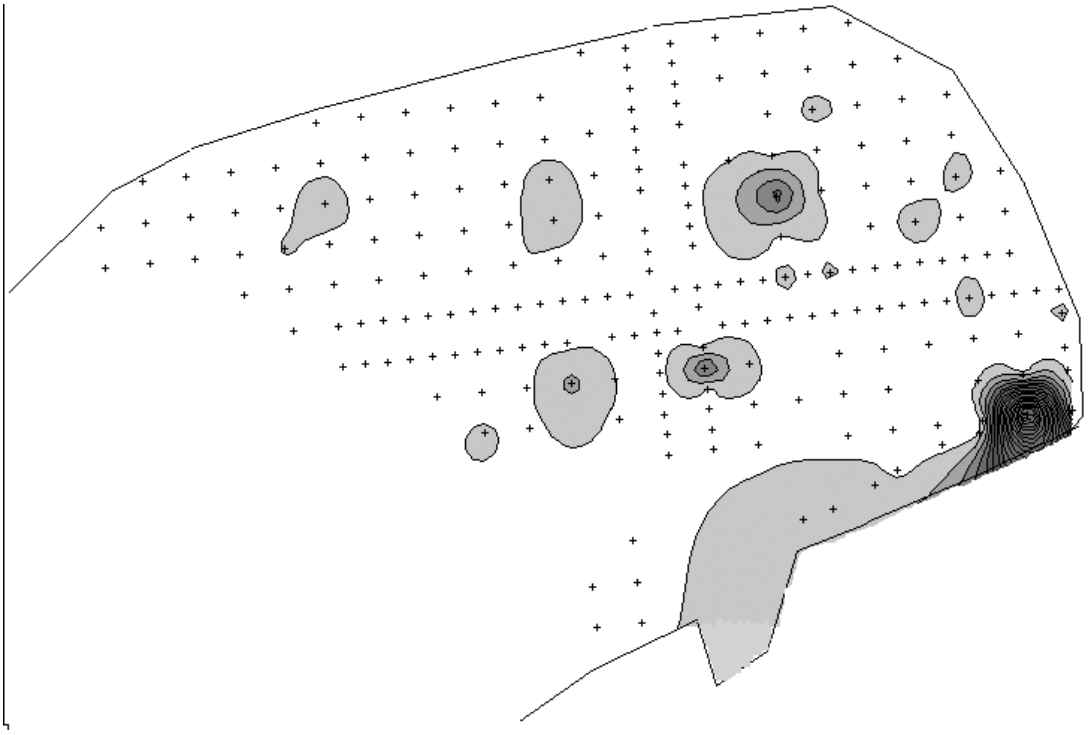


Рис. 7. Распределение бензола на площади полуострова Юрунг-Тумус (бухта Нордвик)

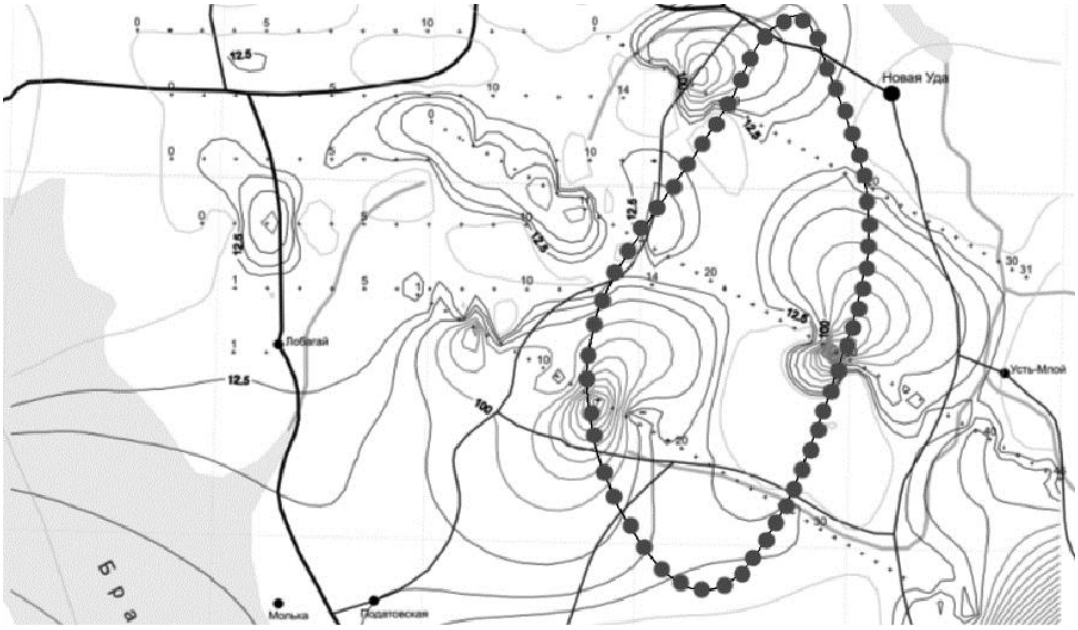


Рис. 8. Распределение толуола на площади Атовского газоконденсатного месторождения (оконтурено). фон, превышение над фоном, аномальные значения

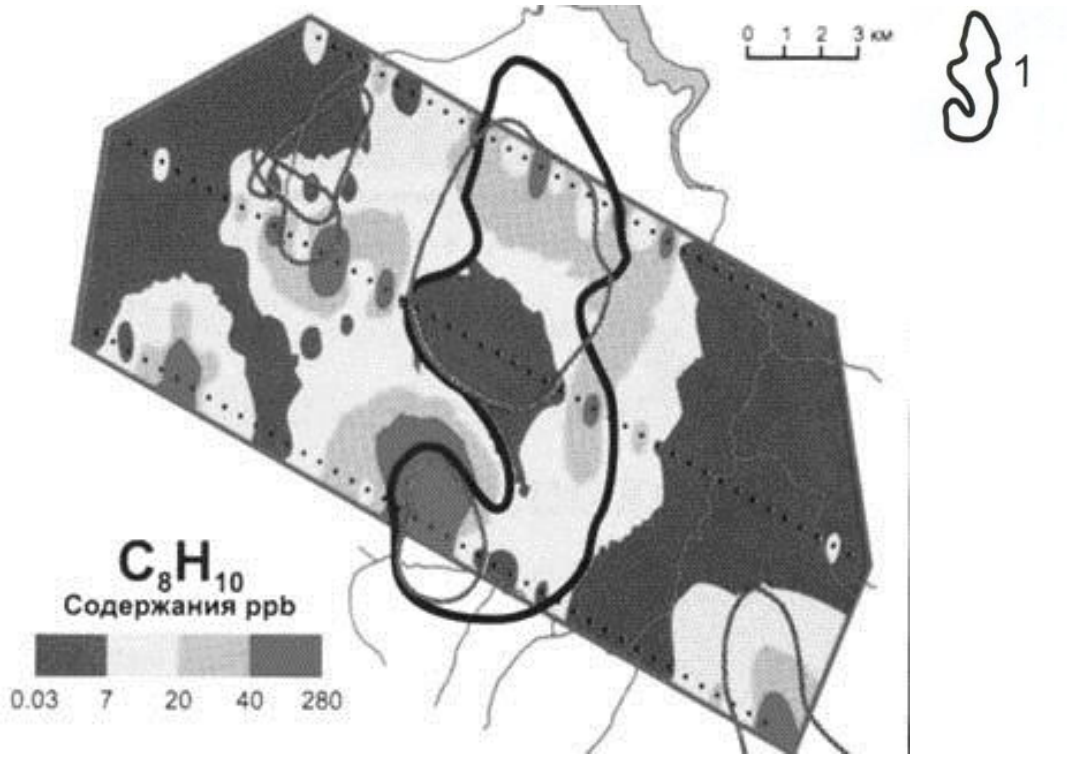


Рис. 9. Кольцевые аномалии о-ксилола по периферии газоводяного контакта Атовского месторождения [2]: 1 – контур газоводяного контакта

Вывод

1. Съемка подтверждает наличие кольцевых углеводородных аномалий на дневной поверхности районов залежей углеводородов.
2. Подтверждается работоспособность кратковременной экспозиции ПК в грунте для информативного определения геохимических аномалий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Карташов Е.В., Балдин М.Н., Грузнов В.М. Свойства пассивных концентраторов на основе SE - 30 на стеклянных трубках.// Недропользование. Горное дело. Новые направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. V Межд. научн. конгресс «ГЕО-Сибирь-2009», 20-24 апр. 2009 года: Сб. матер./ СГГА. – Новосибирск, 2009. – С. 15-17.
2. Кременецкий А.А., Пилицын А.Г., Игноватов А.П., Грузнов В.М. Геохимические методы прогноза и поисков нефтегазовых месторождений // Разведка и охрана недр. – 2010. – № 5. – С. 63-69.

© Е.В. Карташов, М.Н. Балдин, В.М. Грузнов, 2012

УДК 550.12:552.12

ПЕТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВУЛКАНОГЕННЫХ ПОРОД РАЗНОЙ СТЕПЕНИ ГИДРОТЕРМАЛЬНОГО ИЗМЕНЕНИЯ В ОБЛАСТЯХ АКТИВНОГО ВУЛКАНИЗМА (НА ПРИМЕРЕ ВУЛКАНА ГОЛОВНИНА)

Никита Александрович Голиков
Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН 630090, Новосибирск, ул. академика Коптюга, 3, ведущий инженер, e-mail: GolikovNA@ipgg.nsc.ru

Артем Яковлевич Шевко
Институт геологии и минералогии имени В.С. Соболева СО РАН 630090, Новосибирск, ул. академика Коптюга, 3, кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник, e-mail: sp@igm.nsc.ru

Марина Павловна Гора
Институт геологии и минералогии имени В.С. Соболева СО РАН 630090, Новосибирск, ул. академика Коптюга, 3, кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник, e-mail: gora@igm.nsc.ru

Елизавета Павловна Бессонова
Институт геологии и минералогии имени В.С. Соболева СО РАН 630090, Новосибирск, ул. Академика Коптюга, 3, кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник, e-mail: liza@igm.nsc.ru

Изучение петрофизических свойств в сочетании с петрологическим описанием пород активных вулканов Курильской гряды позволило установить связь основных параметров с текстурно-структурными особенностями пород. Полученные данные планируется использовать для предсказания мест положения зон фазовых переходов, являющихся наиболее перспективными при образовании эпитермальных месторождений.

Ключевые слова: петрофизические свойства, петрологическое описание.

PETROPHISICAL PROPERTIES OF VOLCANOGENIC ROCKS OF DIFFERENT DEGREE OF HYDROTHERMAL CHANGE IN AREAS OF THE ACTIVE VOLCANISM (ON THE EXAMPLE OF GOLOVNIN VOLCANO)

Nikita A. Golikov.
Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Akademika Koptyuga Prsp., 3, Novosibirsk, 630090 Russian Federation. leading. engineer, e-mail: GolikovNA@ipgg.nsc.ru

Artem Ja. Shevko
Sobolev Institute Of Geology And Mineralogy SB RAS, Akademika Koptyuga Prsp., 3, Novosibirsk, 630090 Russian Federation. scientist. e-mail: sp@igm.nsc.ru

Marina P. Gora
Sobolev Institute Of Geology And Mineralogy SB RAS, Akademika Koptyuga Prsp., 3, Novosibirsk, 630090 Russian Federation. scientist. e-mail: gora@igm.nsc.ru

Elizaveta P. Bessonova
Sobolev Institute Of Geology And Mineralogy SB RAS, Akademika Koptyuga Prsp., 3, Novosibirsk, 630090 Russian Federation. scientist. e-mail: liza@igm.nsc.ru

Study of petrophysical properties in combination with petrological description of rocks from active volcanoes of the Kuril island arc allowed to link basic parameters with texture-structural characteristics of rocks. The data will be used to predict the locations of areas of phase transitions, which are the most promising in the formation of epithermal deposits.

Key words: petrophisical propeties, petrological description.

Комплексное изучение флюидных систем активных вулканов позволяет получить информацию о динамике параметров состояния и изменении физических характеристик твердой фазы на нестационарной стадии формирования температурной и вещественной зональности метасоматических изменений в массивах пород и высокопроницаемых областях разгрузки гидротерм. Как показано [1], вулканогенные породы, претерпевшие гидротермальные преобразования, обладают специфическим комплексом петрофизических свойств. Поэтому возникает проблема сопряженного описания динамики преобразований состава пород и их петрофизических характеристик при воздействии на них потоков магматогенных флюидов с меняющимся химическим и фазовым составом. Нами доказано, что пористость и проницаемость, а также теплоотдача с поверхностей флюидопроводника определяют фазовый состав флюида поднимающегося от магматической камеры к земной поверхности [4]. В свою очередь зоны фазовых переходов являются геохимическими барьерами, на которых могут накапливаться рудные компоненты. Одним из методов предсказания местонахождения зон фазовых переходов в действующих вулкано-гидротермальных системах является физико-химическое моделирование. В настоящее время все модели вулкано-гидротермальных систем строятся с использованием теоретически предполагаемых свойств разреза [2]. Использование методов изучения петрофизических свойств в сочетании с петрологическим описанием позволят перейти к корректному заданию свойств флюидопроводников для построения физико-химических моделей с помощью уже разработанных программных комплексов [3].

Кальдера Головнина находится на юге острова Кунашир, ее диаметр более 10 км в основании и 4.5 км по гребню. Стенки кальдеры сложены в основном туфогенно-осадочными образованиями. В центре кальдеры расположено несколько экструзивных куполов андезидацитового состава. В настоящее время активность проявлена действием нескольких фумарольных полей. В центральной части кальдеры по берегам оз. Кипящее опробованы коренные обнажения экструзивных куполов Центральный Восточный и Центральный Западный и в различной степени измененные породы термальных площадок.

Андезидациты экструзивных куполов имеют массивную (обр. КН-11, 14) или пористую (обр. КН-10) текстуру (пористость преимущественно пузырчатая) и порфировую структуру с гиалопилитовой или вариолитовой основной массой.

Порфировые выделения, количество которых достигает 30 об.%, представлены субидиоморфными кристаллами плагиоклаза и пироксена. Плагиоклаз среди вкрапленников преобладает и образует зональные кристаллы размером до 3-4 мм и гломеропорфировые срастания. Отмечаются микропорфировые выделения титаномагнетита, количество которых может достигать 1-2 об.%.

Метасоматические изменения андезидацитов выражены в частичном (КН-19) или полном (КН-15, 16) замещении новообразованными минералами порфировых выделений и базиса породы. На начальном этапе метасоматической переработки пород происходит пелитизация по трещинам порфировых выделений плагиоклаза, остальные минералы (пироксен, титаномагнетит) остаются неизмененными. В дальнейшем процесс изменения захватывает как базис породы, так и вкрапленники с образованием аргиллизитов - пород, состоящих из кварца, каолинита и других глинистых минералов. При этом характерны структуры просвечивания – в шлифах отчетливо видны порфировые выделения плагиоклаза (пелитовый агрегат), пироксена (халцедон) и титаномагнетита (лейкоксен). На заключительных этапах преобразования андезидацтов в аргиллизите выделяются псевдоморфозы агрегата шестоватых кристаллов пренита, развивающегося по плагиоклазу вкрапленников (КН-15).

Туфогенно-осадочные образования представлены обломками андезита и туфа в псаммито-алевритовом цементе (КН-18 и 17). Текстура пористая с пузырчатым и щелевидным типом пористости, щели и каналы сосредоточены вокруг обломков. Структура кристалло- и литокластическая с различной степенью измененности обломков – от совершенно свежих кристаллов кварца, плагиоклаза, пироксена и округлых обломков андезитов до полностью аргиллизированных. В цементе широко развиты гидроокислы железа, придающие породе охристый до кирпично-красного цвет.

Исследование петрофизических свойств образцов проводилось по стандартным и общепринятым методикам, модифицированным с учетом того, что часть образцов имели кавернозную пористость. Выполнен следующий комплекс анализов:

1. Пористость методом водонасыщения
2. Объемная и минералогическая плотности
3. Абсолютная проницаемость по газу
4. УЭС при естественном насыщении
5. УЭС при искусственном насыщении раствором с минерализацией 6 г/л
6. Изменение УЭС при повышении температуры от комнатной до 70^{o}C

Ниже приведены основные результаты проведенных исследований.

Таблица. Петрофизические характеристики вулканогенных пород

№ п/п	№ обр	Кпр,	Кп,	Плотность, г/см^3		УЭС Ом*м
		мД	%	объемная	минеральная	6г/л
1	Кн-15	9	34.77	1.45	2.23	7.20
2	Кн-16	39	38.51	1.32	2.15	12.20
3	Кн-17	2069	61.86	1.07	2.80	3.84
4	Кн-18	334	50.78	1.34	2.72	9.34
5	Кн-19	397	32.79	1.76	2.61	11.21
6	Кн-10	1728	33.41	1.76	2.64	18.40
7	Кн-11	17	14.08	2.25	2.62	53.48
8	Кн-14	16	19.10	2.13	2.64	46.33

Метасоматические изменения находят отражение в петрофизических свойствах пород. Зависимость проницаемость-пористость распадается на две: а) - для сильноизмененных андезидацитов и туфов и б) – для свежих андезидацитов (рис. 1). Измененные андезидациты при высоких значениях коэффициента пористости имеют незначительную проницаемость, что связано, по всей видимости, с большим количеством в них глинистых минералов.

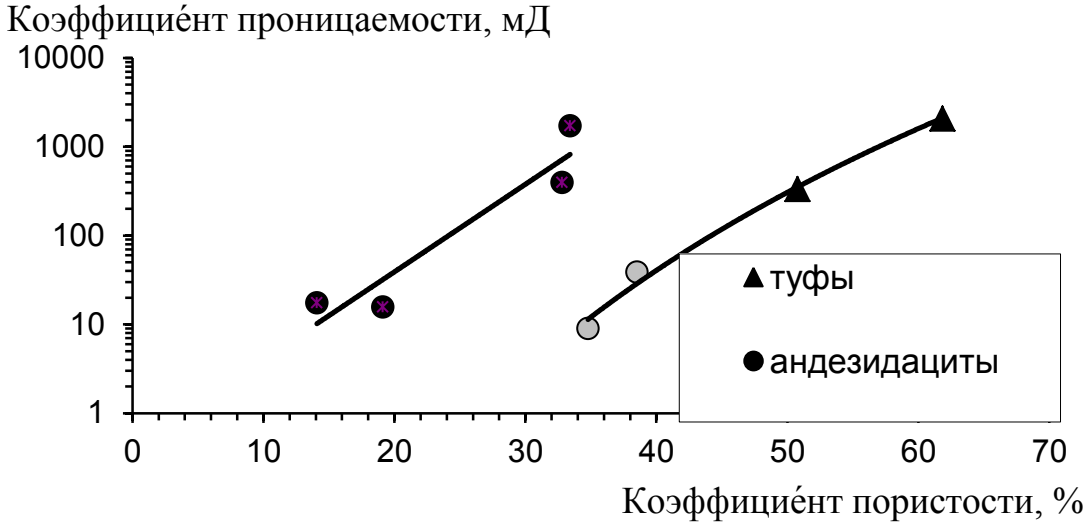


Рис. 1. Зависимость пористость - проницаемость для вулканогенных пород

О поведении зависимости УЭС(Кп) для изученных пород ввиду небольшого количества образцов однозначного вывода сделать нельзя. Тем не менее, на рисунке 2 можно видеть, что падение УЭС сопровождается ростом пористости в ряду пород свежие андезидациты – измененные андезидациты – туфы. В целом точки ложатся на одну кривую с показателем степени -1.74, что характерно для терригенных пород.

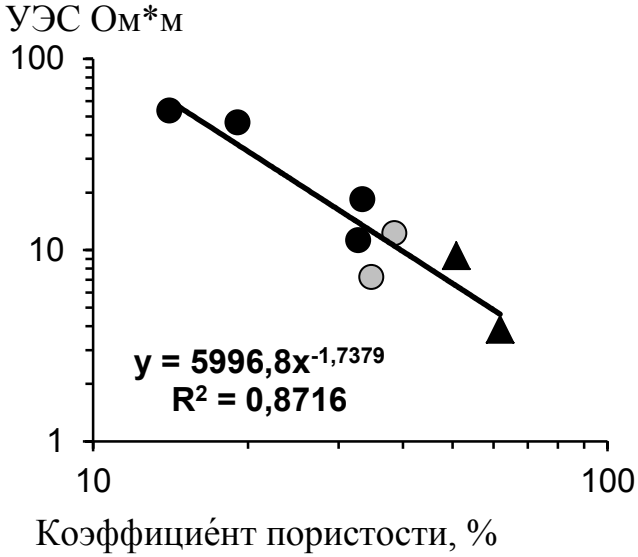


Рис. 2. Зависимость удельного электрического сопротивления от пористости

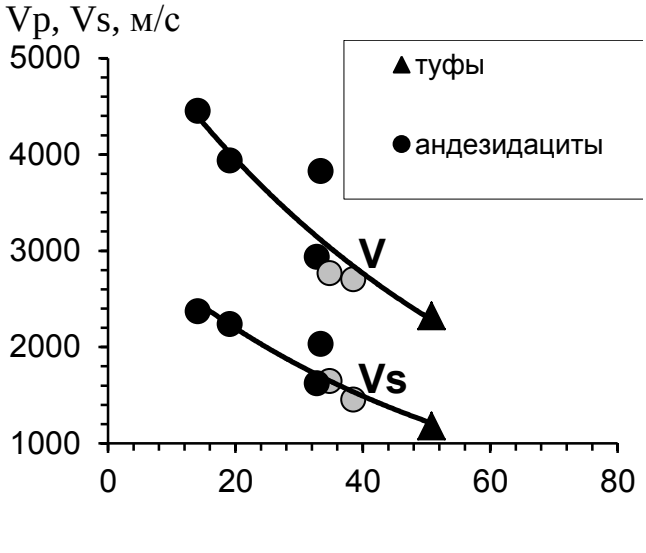


Рис. 3. Зависимости скоростей P и S волн для различных пород

Такой же характер носит зависимость скоростей продольных и поперечных волн от пористости вулканогенных пород (рис. 3). Поскольку скорости распространения волн определяются минеральным составом и структурой горных пород, свежие андезидациты характеризуются более высокими скоростями в сравнении с измененными породами и туфами.

Проведенные исследования показали, что физические свойства пород зависят от их текстурно-структурных характеристик и состава:

1. Обломочные породы (туфы и туфобрекчии) имеют более высокую пористость и проницаемость и низкую плотность и УЭС.
2. В зависимости от типа пород (туфы или андезидациты) изменяется связь пористости с проницаемостью.
3. Массивные породы (в нашем случае свежие андезидациты) обычно менее пористые и имеют наиболее высокие значения УЭС.
4. Проницаемость напрямую не зависит от пористости и осложнена метасоматической переработкой, которая приводит к изменению структуры порового пространства, что, в свою очередь, влияет на проницаемость пород.

Таким образом, полученные данные могут быть использованы при физико-химическом моделировании для предсказания мест положения зон фазовых переходов, являющихся наиболее перспективными при образовании эпитермальных месторождений.

Работа выполнена при поддержке гранта компании ОПТЭК 2012 г.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фролова Ю.В., Ладыгин В.М. Петрофизические преобразования пород Мутновского вулканического района (Южная Камчатка) под воздействием гидротермальных процессов // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2008. № 1 (выпуск 11). С.158-170.

2. Шарапов В.Н., Черепанов А.Н., Черепанова В.К., Бессонова Е.П. К динамике фазовых барьеров во флюидных рудообразующих системах вулканических дуг // Геология и геофизика, 2008. Т. 49. № 11. С. 1098-1109.

3. Бессонова Е. П., Гора М. П., Шевко А. Я., Чудненко К. В., Черепанова В. К. Оценка динамики изменения физических характеристик гидротермально измененного разреза по данным неизотермического физико-химического моделирования (на примере в. Мутновский) // Физика земли, 2011, № 6, с. 57–68

4. Бессонова Е.П., Шарапов В.Н., Чудненко К.В., Черепанова В.К. Новые возможности модели тепловой и физизко-химической динамики для описания вулканогенных эпитермальных месторождений (на примере Асачинского месторождения, Камчатка) // Докл. РАН, 2010, Т. 431, № 4, с. 521–525.

© Н.А. Голиков, А.Я. Шевко, М.П. Гора, Е.П. Бессонова, 2012

УДК 550.834

ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРСИИ ФИЛЬТРАЦИОННО-ЕМКОСТНЫХ СВОЙСТВ ПОРОД НА РЕЛАКСАЦИОННЫЕСПЕКТРЫ ЗАТУХАНИЯ УПРУГИХ ВОЛН

Никита Александрович Голиков
Институт нефтегазовой геологии и геофизики имени А.А. Трофимука СО РАН 630090, Новосибирск, ул. академика Коптюга, 3, ведущий инженер, e-mail: GolikovNA@ipgg.nsc.ru

Эдуард Иннокентьевич Машинский
Институт нефтегазовой геологии и геофизики имени А.А. Трофимука СО РАН 630090, Новосибирск, ул. академика Коптюга, 3, ведущий научный сотрудник, e-mail: MashinskiiEI@ipgg.nsc.ru

В статье рассмотрено влияние неоднородности проницаемости горных пород на релаксационные спектры затухания упругих волн в теории Био.

Ключевые слова: теория Био, микронеоднородность, распределение пор по размеру, релаксационные спектры затухания.

INFLUENCE OF DISPERSION OF FILTRATION-CAPACITIVE PROPERTIES IN ROCKS ON RELAXATION SPECTRA OF WAVE ATTENUATION

Nikita A. Golikov
Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Koptyuga 3, Novosibirsk, 630090 Russian Federation. leading. engineer, e-mail: GolikovNA@ipgg.nsc.ru

Edwaerd .I. Mashinskii
Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Koptyuga 3, Novosibirsk, 630090 Russian Federation, leading researcher, e-mail: MashinskiiEI@ipgg.nsc.ru

The article describe the influence of permeability dispersion in rocks to relaxation spectra of wave attenuation in Biot theory.

Key words: Biot’s theory, micro-geterogeneity, pore size distribution, relaxation spectra of wave attenuation.

Повышение информативности сейсмических и акустических методов возможно на основе более точного учета физических процессов в реальных средах при распространении упругих волн.

При изучении распространения акустических волн в пористой среде используют теорию Био [4] и ее модификации. В большинстве своем эти модели в сводятся к системе уравнений Био с зависящими от частоты коэффициентами.

В рамках теории Био пористая среда представляется в виде однородного жесткого скелета, заполненного жидкостью, пористость и проницаемость скелета считаются одинаковыми во всех сечениях. Реальные осадочные породы представляют конгломерат зерен разного размера, что обусловливает сложное

строение межзеренного пространства, характеризуемого статистическим распределением параметров.

Проницаемость пористых сред определяются размерами пор и дисперсия размеров обуславливает дисперсию проницаемости на микроуровне.

Для теоретических оценок можно считать распределение пор по диаметру подчиняющимся нормальному закону для ln(d).

При учете затухания в горных породах часто применяется модель стандартного линейного тела, затухание определяется следующим выражением [5]:

$$Q^{-1}(\omega) = \Delta \frac{\omega \tau_r}{1 + (\omega \tau_r)^2}, \qquad (1)$$

где ω – круговая частота, $\tau_r = 1/(2\pi f_r)$ – релаксационное время Δ – релаксационная сила, зависящая от величины упругих модулей.

Для среды с широким набор частот релаксации, затухание вычисляют по формуле [2,6]

$$Q^{-1}(\omega) = \Delta \int p(\tau_r) \frac{\omega \tau_r}{1 + (\omega \tau_r)^2} d\tau_r, \qquad (2)$$

где $p(\tau_r)$ – плотность функции распределения времен релаксации.

Приближенные решения для волн первого рода в теории Био приводят к выражению, типичного для модели стандартного линейного тела, а именно [3]:

$$\omega_r = A \frac{\eta K_n}{\rho_2 K_{np}}, \qquad (3)$$

где $К_п$ – пористость, $К_{пр}$ – проницаемость среды,

ρ_2 – плотность флюида; η – вязкость флюида;

A – коэффициент, зависящий от упругих параметров среды.

Распределение частот релаксации определяется распределением коэффициента проницаемости.

Расчет спектров релаксации выполнен для двух видов распределений:

1– нормального для логарифма времен[6] при трех значениях коэффициента вариации

$$p(\tau) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\left(\frac{(\ln[(\tau) - \ln(\tau_0))]^2}{2\sigma^2}\right)}, \qquad (4)$$

где $\ln(\tau_0)$– центр распределения, σ^2 — дисперсия;

2– двух вариантов равномерного

$p(\tau_r) = \text{const}, \quad \tau_a < \tau_r < \tau_b,$

$p(\tau_r) = 0, \quad \tau_r < \tau_a$ и $\tau_r > \tau_b.$

Рассчитанные спектры обратной добротности приведены на рис. 2.

Для малой вариации (V= 0.01) кривая зависимости $1/Q(f)$ описывает дебаевский пик поглощения. При увеличении вариации (V= 0.05, 0.1) происходит смещение частоты максимума в сторону уменьшенияи расширение

спектра. Для равномерного распределения частот релаксации эти эффекты выражены более сильно.

Рис. 1. Теоретические плотности вероятности времен релаксации

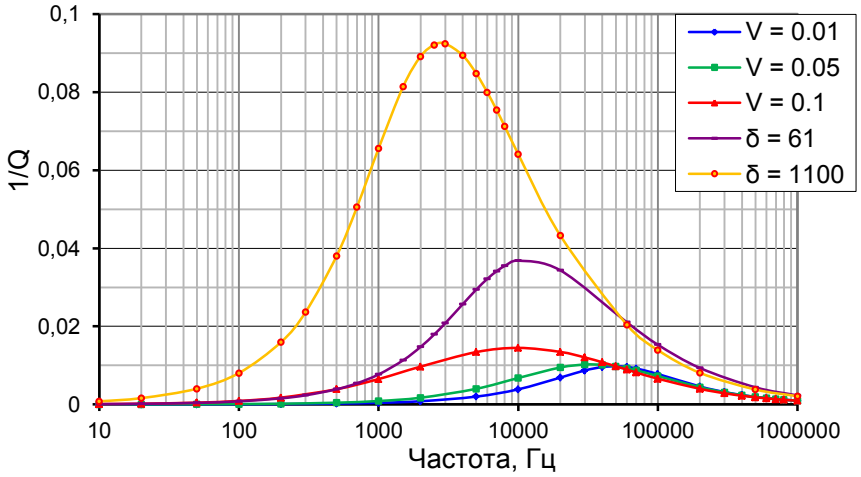


Рис. 2. Релаксационные спектры затухания упругих волн. Теоретические распределения

Свойства коллекторов, использованных при расчетах РСЗ взяты из [1] и приведены в табл. 1

Таблица 1. Петрофизические свойства коллекторов и параметры модели Био

Группа коллектора	1	2	4	5
Пористость, %	22.4	20.83	22.60	20.15
Проницаемость, мД	259.00	121.38	18.60	3.76
Плотность скелета, кг/м^3	2700	2700	2700	2700
Плотность флюида, кг/м^3	1000	1000	1000	1000
Вязкость флюида, м^2/с*10^{-6}	1	1	1	1
Объемный модуль упругости зерен скелета, ГПа	38,2	38,2	38,2	38,2
Объемный модуль упругости флюида, ГПа	2,25	2,25	2,25	2,25
Объемный модуль упругости скелета, ГПА	13,2	14,8	12,7	14,4

Распределения пор по размеру показаны на рис.4.

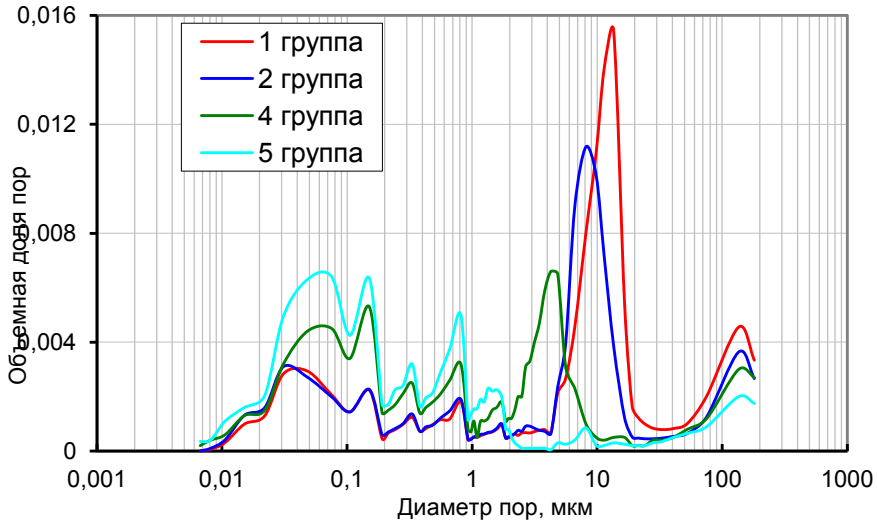


Рис. 4. Осредненные спектры диаметров поровых каналов коллекторов

Изменение фильтрационно-емкостных свойств сопровождается закономерным изменением кривых распределения размеров пор. Основной вклад в пористость дают поры среднего размера с d в интервале 2 ─ 20 мкм. Форма кривой на этом участке близка к нормальному распределению для $\ln(d_i)$. Рассчитанные РСЗ приведены на рис. 4.

РСЗ сдвинуты в область низких частот. Относительное смещение тем больше, чем более неоднородна среда.

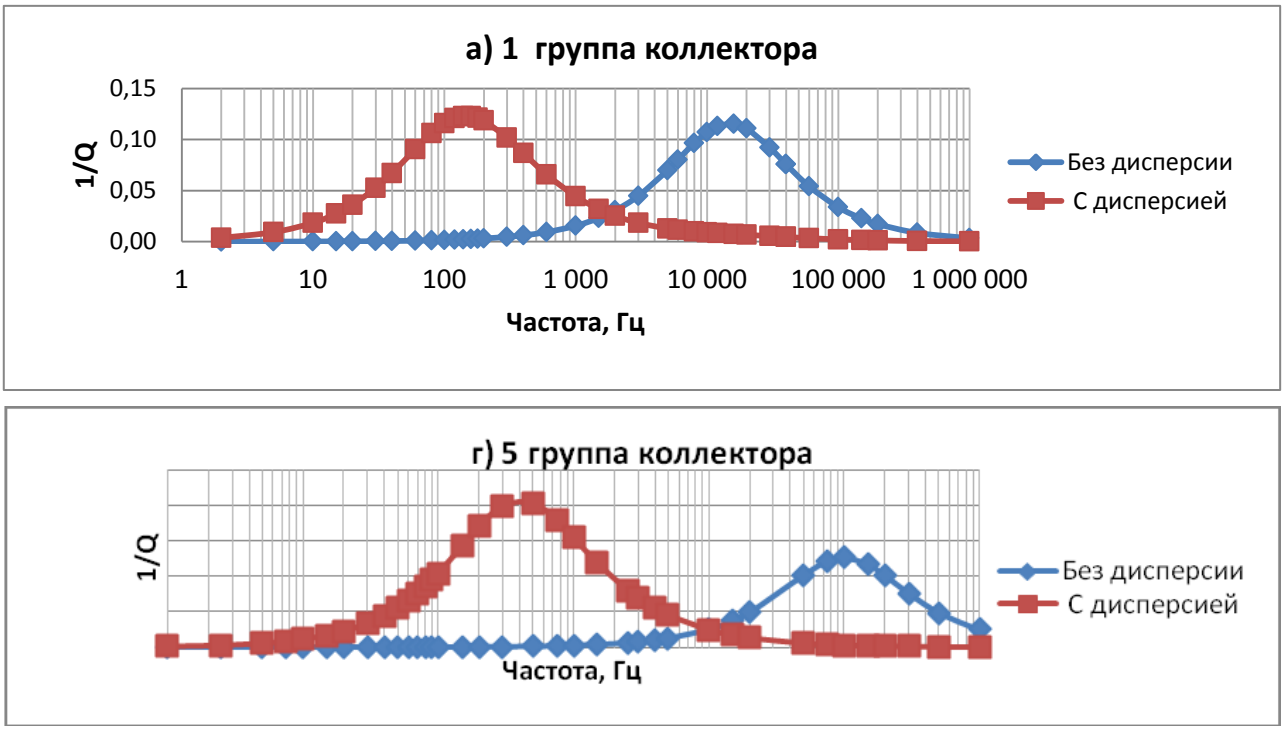


Рис. 4. Релаксационные спектры затухания коллекторов разных групп

ВЫВОДЫ

1. Сложная структура порового пространства осадочных горных пород определяет микронеоднородность свойств среды, которая влияет на характер частотно-зависимого затухания.

2. Учет микронеоднородного распределения проницаемости приводит к изменению релаксационного спектра затухания в модели Био, которое проявляется в виде расширения релаксационного пика и его смещения в область более низких частот.

3. Смещение релаксационного пика к низким частотам возрастает с увеличением степени микронеоднородности породы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дорогиницкая Л.М., Дергачева Т.Н., Анашкин А.Р., Колыванов А.И., Кушнарев С.В., Худякова Л.Д., Романов Е.А., Голиков Н.А., Мелкозерова С.Н. Количественная оценка добывных характеристик коллекторов нефти и газа по петрофизическим данным и материалам ГИС. – Томск, STT. 2007. – 278 с.

2. Зайцев В.Ю., Гурбатов С.Н., Прончатов-Рубцов Н.В. Нелинейные акустические явления в структурно-неоднородных средах. Эксперименты и модели. Учебное пособие. – Нижний Новгород: ИПФ РАН. 2009. – 268с.

3. Кондратьев О.К. Сейсмические волны в поглощающих средах. – М.: Недра. 1986. 176 с.

4. Biot M.A. Theory of propagation of elastic waves in fluid-saturation porous solid: II – Higher frequency range // Journal of the Acoustic Society of America, 1956, 28, 179-191.

5. Dvorkin J. and Nur A. Dynamic poroelasticity: A unified model with the squirt and the Biot mechanisms // Geophysics. – 1993. – V 58. – C. 524-533.

6. Nowick A. S. and B. S. Berry, Anelastic Relaxation in Crystalline Solids, Academic Press, New York, 1972, 677 p.

© Н.А. Голиков, Э.И. Машинский, 2012

УДК 553.98:004.032.26

ФАКТОРЫ УПОРЯДОЧЕННОСТИ В ЗАДАЧЕ ПРОГНОЗА

Владимир Викторович Филатов
ФГУП «СНИИГГиМС», 630091, Новосибирск, Красный пр., 67, гл. научный сотрудник, доктор физико-математических наук, тел. 222-47-22, e-mail: filatov@sniiggims.ru

Олег Юрьевич Светозерский
ФГУП «СНИИГГиМС», 630091, Новосибирск, Красный пр., 67, ведущий инженер, тел. 222-47-22

Рассмотрены возможные критерии прогноза, основанные на изучении упорядоченности земной коры и связанные с вычислением фрактальной размерности, оценке степени дифференциации и изучении свойств аттракторов, характеризующих эволюцию динамических систем, в результате воздействия которых возникли месторождения.

Ключевые слова: критерии прогноза, факторы упорядоченности, фрактальная размерность, динамические системы, аттракторы.

ORDERING FACTORS IN A PREDICATION PROBLEM

Vladimir V. Filatov
Federal State Unitary Enterprise «Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources» (FGUP «SNIIGGiMS»), 67, Krasny Pr., Novosibirsk, 630091, Russian Federation, main scientific associate, Doctor of Science, tel. 222-47-22, e-mail: filatov@sniiggims.ru

Oleg Yu. Svetozersky
Federal State Unitary Enterprise «Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources» (FGUP «SNIIGGiMS»), 67, Krasny Pr., Novosibirsk, 630091, Russian Federation, lead enginee, tel. 222-47-22

The article proposes one of possible predication criterion based on investigation of orderliness of the Earth's crust. It is related to calculus fractal dimension, an estimation of a degree of crust differentiation and research characteristic of attractor some hypothetical geodynamics systems.

Key words: prognosis criterion, ordering factors, fractal dimension, dynamic systems, attractors.

В работе [1] для формирования рационального комплекса методов и построения прогнозных параметров при поисках залежей углеводородов была использована схема, базирующаяся на анализе эволюции динамических систем. При этом основной упор был сделан на реконструкции аттракторов гипотетических динамических систем, в результате воздействия которых возникли месторождения углеводородов.

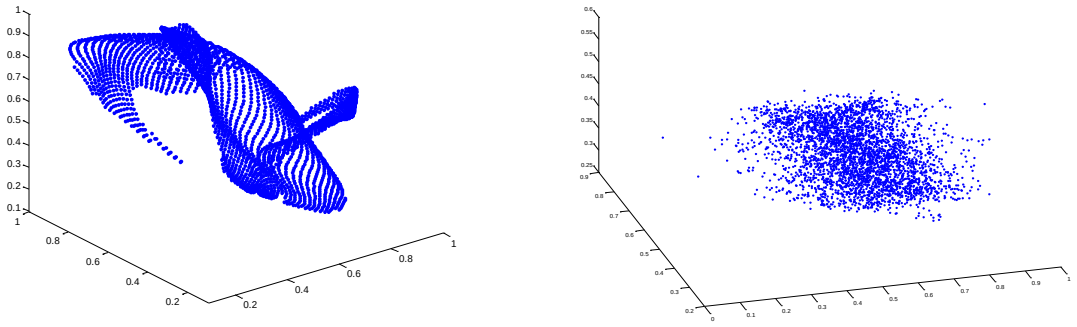
Схема реконструкции такого аттрактора, основана на теореме Такенса [2] и подробно описана в [1,3]. В поведении реконструированного аттрактора фактически представляли интерес два параметра:

– Форма траектории аттрактора (если полученный аттрактор описывает траекторию, имеющую четкую геометрию, то исследуемая величина

соответствует некоторой динамической системе, если траектория хаотична, то наблюдаемый процесс случаен);

– Корреляционная размерность аттрактора, позволяющая оценить размерность фазового пространства (количество признаков, определяющих эволюцию геодинамической системы).

В частности на рис. 1 показаны аттракторы, реконструированные по различным наборам данных, измеренных в процессе комплексных геофизических работ. Из приведенных рисунков можно понять отличие в наборах данных. На рис. 1a аттрактор имеет выраженную геометрическую форму, а на рис. 1b аттрактор представлен бесформенным облаком.



a b

Рис. 1. Примеры аттракторов, реконструированных по различным измеренным данным

Поведение реконструированных аттракторов, и послужили одним из критериев при формировании оптимального комплекса методов.

Попытаемся взглянуть на этот критерий несколько шире. Помимо того, что поведение реконструированного аттрактора может рассматриваться, как признак самоорганизации системы, оно иллюстрирует еще одно свойство самоорганизующихся геологических систем, на котором мы остановимся подробнее.

Упорядоченность как критерий прогноза

В работах исследующих основные принципы строения самоорганизованных рудных комплексов, например [4,5,6], сформулировано положение, которое может иметь существенное значение для развития прогнозно-поисковой технологии: *месторождения являются наиболее упорядоченными участками земной коры*.

Рассмотрим, как это положение может быть реализовано в конкретных прогнозных задачах.

Вообще понятие «упорядоченность», «порядок» равно как и «хаос», в абсолютном смысле не имеют строгого определения. Но, в прикладных задачах,

важно не абсолютное определение, а умение сравнивать относительную степень хаотичности (или упорядоченности) различных состояний систем.

С этой точки зрения указанное на рис.1 отличие в поведении аттракторов позволяет рассматривать его, как признак упорядоченности системы.

Рассмотрим еще несколько критериев относительной упорядоченности, рассматриваемые в физике открытых систем. В качестве таких критериев могут быть выбраны, например, сравнение значений показателей Ляпунова, энтропии Крылова–Колмогорова–Синая, а также фрактальные размерности рассматриваемых систем.

Оценка показателей Ляпунова

Показатели Ляпунова тесно связаны с поведением аттрактора динамической системы, моделирующей поведение реальной геодинамической системы.

К сожалению, показанное выше визуальное отличие в поведении аттракторов не позволяет использовать его как критерий при оценке степени упорядоченности. Поэтому остановимся кратко на одном из вариантов численной реконструкции динамической системы, в результате эволюции которой и возникает смоделированный аттрактор.

Допустим, размерность m фазового пространства модели известна (возможность оценки этой размерности рассмотрена в [1,3]). Построим набор векторов состояния системы, отвечающих последовательным точкам траектории:

$\boldsymbol{y}(n) = (y_m(n), y_{m-1}(n), \ldots, y_1(n))$.

Соотношения, связывающие компоненты вектора состояния в два последовательных дискретных момента времени, можно представить в виде

$$\begin{cases} y_1(n+1) = y_2(n), \\ y_2(n+1) = y_3(n), \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ y_{m-1}(n+1) = y_m(n), \\ y_m(n+1) = f(y_1(n), y_2(n), \ldots, y_m(n)). \end{cases} \qquad (1)$$

Использование соотношений (1), при известной функции f, определяющей связи между параметрами, в принципе позволяет прогнозировать эволюцию системы. Характеристика упорядоченности определяется возможностью формировать с помощью функции f прогнозные параметры (в хаотической системе такой параметр будет носить случайный характер, в абсолютно детерминированной системе параметр будет давать однозначный прогноз). Степень упорядоченности можно оценивать по совпадению полученного прогнозного параметра с известной информацией.

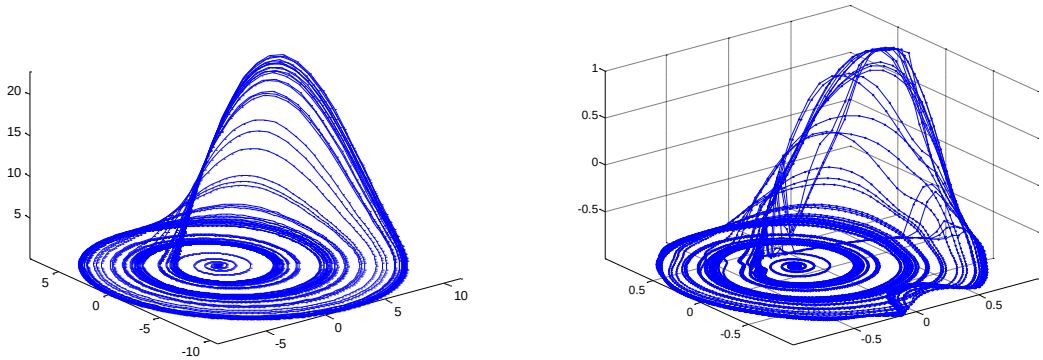
Другой более общей характеристикой системы являются так называемые показатели Ляпунова [7], характеризующие экспоненциальный закон разбегания траекторий аттрактора. Можно сказать, что устойчивость системы в смысле показателей Ляпунова характеризуется горизонтом прогноза.

Рассмотреть связь показателей Ляпунова с горизонтом прогноза можно на примере системы Ресслера [8]. Отметим, что даже для этой относительно

простой системы старшие показатели Ляпунова меняются в зависимости от внешнего воздействия, определяя различные режимы поведения системы от простого периодического до полностью хаотического.

Поэтому надеяться на получение с помощью этих показателей, восстановленных из системы (1), значимых оценок для реальных систем, по-видимому, не приходится.

На рис. 2 показано сравнение поведение обычного аттрактора Росслера (рис. 2a) и аттрактора, прогнозируемого по одной координате с шагом прогноза 30. (в данном случае шаг – это количество последовательных временных точек). Из сравнения рисунков видно, что даже при относительно небольшом интервале прогноза в результате можно получить значительные погрешности. Аналогичную картину можно наблюдать на примерах аттракторов, построенных по реальным данным. Хотя можно отметить, что при явном отличии прогнозных и реальных данных, сохраняется внешнее сходство этих аттракторов и значит можно сделать определенные выводы о возможном поведении системы в целом.



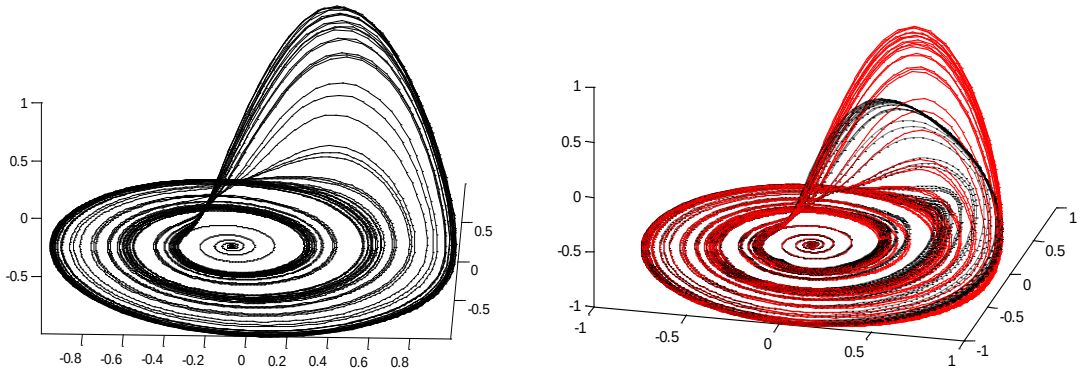
a b

Рис. 2. Поведение обычного аттрактора Росслера (рис 6a) и аттрактора, прогнозируемого по координате x с шагом прогноза 30

Если мы имеем дело с полным комплексом данных то ситуация с прогнозом меняется, в этом случае горизонт прогноза увеличивается. На рис. 3a показано поведение аттрактора Росслера, прогнозируемое по комплексу данных с шагом 30. Оно практически неотличимо от поведения обычного аттрактора. Но при дальнейшем увеличении шага прогноза опять проявляются существенные отклонения (рис. 3b).

Эти примеры говорят о том, что *можно сконструировать функцию f из системы (1), которая отражает реальные связи между параметрами динамической системы. А именно наличие таких связей позволяет прогнозировать значения любого из параметров системы на основе информации о других параметрах. При этом сравнение реального и модельного аттракторов может являться критерием правильности подбора функции f.*

На этом и основана методика прогноза, базирующаяся на использовании реконструированных аттракторов.



a b

Рис. 3. Поведение аттрактора Ресслера, прогнозируемое по комплексу данных с шагом 30 (a) и сравнение обычного аттрактора Ресслера (сплошные линии) с аттрактором, прогнозируемым по комплексу параметров с шагом 45 (пунктирные линии) (b)

Оценка фрактальной размерности

Использование фрактальной размерности является еще одним способом численной оценки упорядоченности хаотических систем. При этом необходимо учитывать, что обычно в геологии нас не интересует однородная среда. Как правило, реальные геологические объекты являются неоднородностями, причем неоднородностями фрактальными. Поэтому их фрактальная размерность отличается от топологической размерности, которая, в зависимости от характеристик искомого объекта может равняться двум или трем.

Здесь следует отметить важную особенность использования фрактальных характеристик реальных сред. Все наблюдаемые закономерности действуют только в определенном диапазоне масштабов, что необходимо учитывать, как на этапе формировании модели, так и на этапе заключительных выводов.

Так, фрактальная размерность заведомо хаотической системы (например, системы, в которой происходило пассивное накопление деформаций, в частности, отвалов) тоже может отличаться от топологической.

В соответствии с этим для оценки степени упорядоченности целесообразно рассматривать две фрактальные характеристики объекта: корреляционную размерность реконструированного аттрактора, характеризующего гипотетическую динамику возникновения объекта, и фрактальную размерность совокупности неоднородностей (разного рода аномальных зон), характеризующих геометрическое положение объекта.

Дифференцированность параметров

Максимально равновесное состояние характеризуется неизменностью значения каждого параметра в любой точке системы. То есть для геологических объектов, это означает, что в «равновесной» (наиболее хаотичной) системе,

например, химический состав не меняется во всем объеме. А упорядоченные участки характеризовались бы тем, что в них наблюдается наибольшее отличие свойств различных параметров.

Однако здесь имеют место те же особенности, что и в случае анализа фрактальной размерности. Т. е. дифференциацию в качестве критерия упорядоченности целесообразно использовать только в том случае, когда изучаемая система является самоорганизующейся.

Таким образом, можно отметить, что использование факторов упорядоченности позволяют сформировать новые прогнозные параметры, причем не только в рудных задачах. Это подтверждается апробацией предложенных схем на реальных полевых материалах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Филатов В.В. Синергетические аспекты интерпретации геолого-геофизических данных [Текст]/ Филатов В.В., Светозерский О.Ю. - М.: ГЕОКАРТ- ГЕОС, 2010. - 136 с
2. Takens F. Detecting strange attractors in turbulence.[Text] // In: Dynamical Systems and Turbulence. Lecture Notes in Mathematics / Eds D. A. Rand, L.-S. Young / Berlin: Springer-Verlag, 1980. V. 898. P. 366-381.
3. Кузнецов С. П. Динамический хаос (курс лекций). [Текст]. М: Издательство физико-математической литературы, 2001. 296 с.
4. Иванюк Г.Ю. Самоорганизация рудных комплексов. Синергетические принципы прогнозирования и поисков полезных ископаемых. [Текст] / Иванюк Г.Ю., Горяинов П.М., Пахомовский Я.А., Коноплёва Н.Г., Яковенчук В.Н., Базай А.В., Калашников А.О. - М.: ГЕОКАРТ-ГЕОС, 2009. - 392 с.
5. Калашников А.О. Прогноз и поиск месторождений по степени структурно-вещественной упорядоченности участков земной коры [Текст] // Разведка и охрана недр, 2, 2008. С. 9-13.
6. Калашников А.О. Степень дифференцированности геохимического поля как поисковый признак [Текст] // Разведка и охрана недр, 3, 2008. С. 34-40.
7. Былов Б. Ф. Теория показателей Ляпунова и ее приложения к вопросам устойчивости [Текст] / Былов Б. Ф., Виноград Р. Э., Гробман Д. М., Немыцкий В. В. - М., 1966. - 576 с.
8. Ressler O.E. Chemical Turbulence: Chaos in a Small Reaction-Diffusion System. [Text] // Z.Naturforsch. a 31, 1976. P. 1168-1172.

© В.В. Филатов, О.Ю. Светозерский, 2012

УДК 550.8.08

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ВЫСОКОТОЧНОЙ АЭРОГЕОФИЗИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ СЕРИИ «ИМПУЛЬС-АЭРО»

Сергей Владимирович Барсуков
Федеральное государственное унитарное предприятие «Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья», г. Новосибирск, Красный проспект, 67, инженер, тел. (383) 222-42-03, e-mail: turmalin@ngs.ru

Анастасия Александровна Белая
Федеральное государственное унитарное предприятие «Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья», г. Новосибирск, Красный проспект, 67, и.о. заведующий лабораторией, тел. (383) 222-26-87, e-mail: n.zabortseva@gmail.com

Юрий Юрьевич Дмитриев
Закрытое акционерное общество «Аэрогеофизическая разведка», г. Новосибирск, 630007, Октябрьская магистраль, 4, главный геофизик, тел. (383) 344-92-45, e-mail: future59@mail.ru

Андрей Сергеевич Сверкунов
Федеральное государственное унитарное предприятие «Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья», г. Новосибирск, Красный проспект, 67, инженер, тел. (383) 222-42-03, e-mail: sverkunov86@mail.ru

Елена Николаевна Махнач
Закрытое акционерное общество «Аэрогеофизическая разведка», г. Новосибирск, 630007, Октябрьская магистраль, 4, ведущий геофизик, тел. (383) 344-92-45, e-mail: elenamakhnach@yandex.ru

Георгий Михайлович Тригубович
Федеральное государственное унитарное предприятие «Сибирский научный исследовательский институт геологии геофизики и минерального сырья» г. Новосибирск, Красный проспект, 67, заместитель генерального директора по науке, доктор технических наук, профессор, тел. (383) 222-26-87, e-mail: tgm@sniiggims.ru

В статье приводится описание вертолетной аэроэлектроразведочной платформы, ее возможности при проведении комплексной аэрогеофизической съемки. Описаны средства достижения высокой точности как самих измерений, так и их пространственной привязки, приводятся результаты съемки на примере золото-серебряного месторождения.

Ключевые слова: «Импульс-Аэро», вертолетная аэрогеофизическая платформа, комплексная аэрогеофизическая съемка.

ARCHITECTURE FEATURES OF HIGH-PRECISION AIRBORNE GEOPHYSICAL SYSTEM OF AN «IMPULSE-AERO» SERIES

Sergey V. Barsukov
Federal state unitary enterprise «Siberian research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources», Kr. prospekt, 67, Novosibirsk, engineer, tel. (383) 222-42-03, e-mail: turmalin@ngs.ru

Anastasiya A. Belaya
Federal state unitary enterprise «Siberian research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources», Kr. prospekt, 67, Novosibirsk, laboratory chief acting, tel. (383) 222-26-87, e-mail: n.zabortseva@gmail.com

Yuri Y. Dmitriev
Closed corporation «Aerogeophysical surveys», 630007, Oktyabrskaya magistral, 4, Novosibirsk, leading geophysicist, tel. (383) 344-92-45, e-mail: future59@mail.ru

Andrey S. Sverkunov
Federal state unitary enterprise «Siberian research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources», Kr. prospekt, 67, Novosibirsk, engineer, tel. (383) 222-42-03, e-mail: sverkunov86@mail.ru

Elena N. Makhnach
Closed corporation «Aerogeophysical surveys», 630007, Oktyabrskaya magistral, 4, Novosibirsk, leading geophysicist, tel. (383) 344-92-45, e-mail: elenamakhnach@yandex.ru

George M. Trigubovich
Federal state unitary enterprise «Siberian research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources», Kr. prospekt, 67, Novosibirsk, deputy general director in science, doctor of engineering science, professor, tel. (383) 222-26-87 e-mail: tgm@sniiggims.ru

In this paper the description of helicopter airborne geophysical platform and its capabilities in complex (combined) airborne geophysical survey is shown. Means of achievement of high accuracy in measurements and positioning are described. The survey result for gold-silver ore filed is shown.

Key words: «Impulse-Aero», helicopter airborne geophysical platform, complex (combined) airborne geophysical survey, high-precision measurements.

Вертолетная разведочная платформа серии **«Импульс-Аэро»** с электромагнитным каналом высокой грунтопроникающей способности предназначена для проведения поисково-оценочных исследований на широкий круг полезных ископаемых. В последнее время «Импульс-Аэро» успешно используется для гидрогеологических, инженерных. экологических изысканий и решения рудных и нефтяных задач [1,2]. Инженерно-геологические изыскания обеспечиваются непрерывным литологическим расчленением разреза в пределах трасс инженерных коммуникаций с высокой пространственной плотностью – «шаг по профилю» 1-5 м. Однако, **основные по объему задачи – это высокоточный прогноз рудных объектов различного генезиса.** Отличительные особенности системы: высокая производительность и разрешающая способность. Используются современные технические средства проведения исследований на малых высотах до 30-50 м при высокоточной плановой и высотной привязке данных разведки (рис. 1). Большой магнитный момент системы до $0{,}5 \times 10^6$ А*м^2 с главным индуктором площадью до 314 м^2 позволяет вести разведку на глубинах превышающих 300 м.

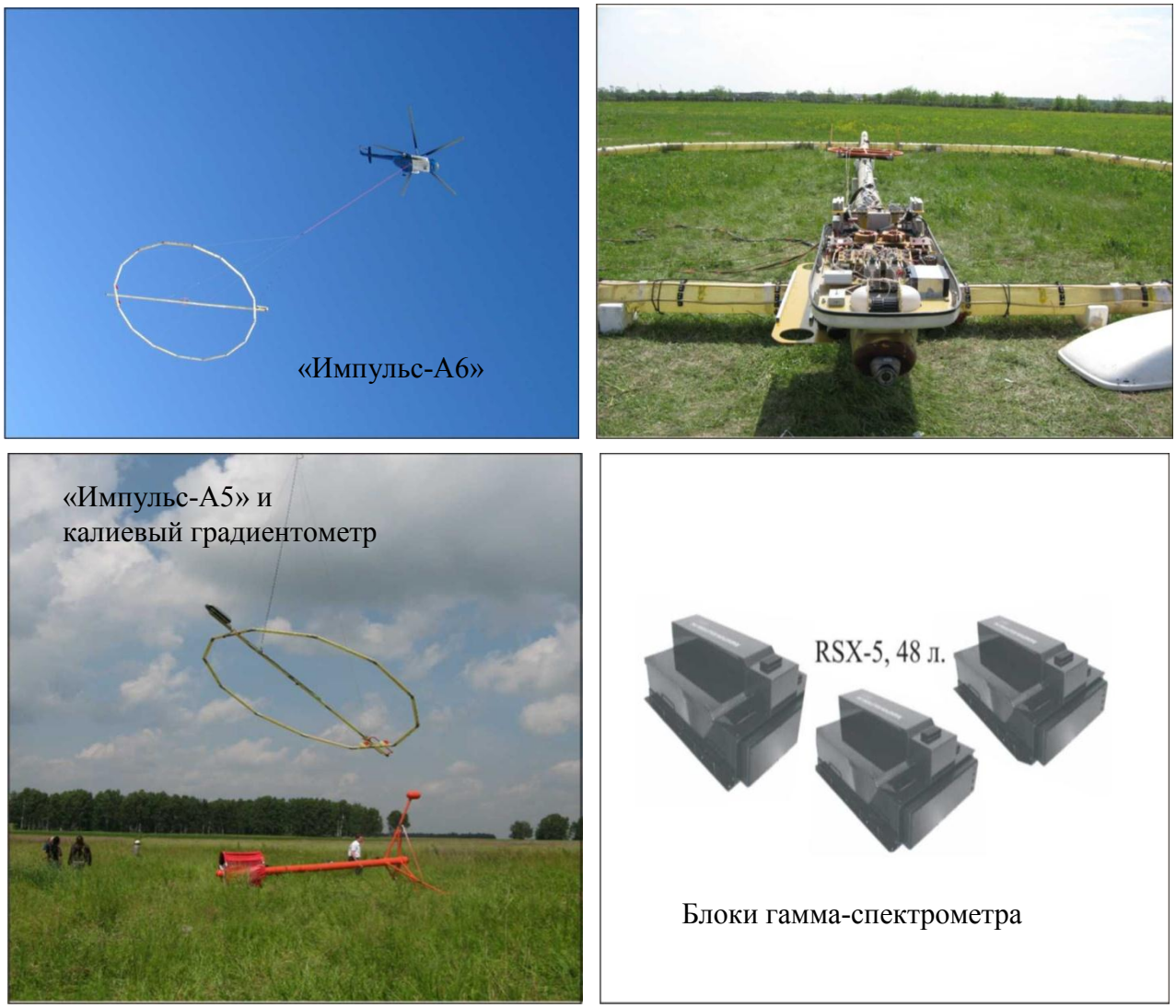


Рис. 1. Платформы «Импульс-Аэро» (А5 и А6) в различных ракурсах, калиевый градиентометр и блоки аэрогамма-спектрометров

Система эксплуатируется с 2008 г с постоянной модификацией и улучшением технических и эксплуатационных характеристик. За это время проведена съемка на более чем 200 000 погонных км профилей при решении нефтяных, рудных, гидрогеологических и инженерных задач.

Высокая точность: Определение «высокоточная» здесь, применительно к системе, означает высокую точность непосредственно как самих результатов измерений, так и их пространственной привязки. Высокая точность достигается с помощью использования ряда аппаратурных и программных средств (таблица 1), направленных на улучшение стабильности собственного процесса (фонового сигнала), повышения отношения сигнал/шум. Также с помощью применения высокоточных GPS/ГЛОНАСС геодезических приемников улучшается точность привязки результатов измерений (до субметрового уровня точности).

Таблица 1. Средства повышения точности измерений/обработки

Категория	Название	Описание
Аппарат.	Стабилизатор тока	Нивелирует температурные эффекты. Стабилизирует изменения собственного процесса (фонового сигнала) системы и амплитуды импульсов тока в пределах 1% от заданного уровня
	Компенсация поля генераторной петли	Специальная конфигурация и положение приемной антенны снижает долю прямого поля генераторной петли более, чем на порядок, что приводит к значительному росту отношения сигнал/шум и возможности регистрации переходного процесса на более поздних временах (что соответствует увеличению глубинности исследований)
	Настраиваемая временная диаграмма	При наличии на площади исследований промышленных линий электропередач настраиваемая диаграмма следования импульсов позволяет практически полностью устранить влияние ЭМ-поля промышленных помех на измеряемый сигнал
	Подвесная выносная приемная антенна	Использование такой приемной антенны дает выигрыш сразу в двух направлениях. Удаление антенны от генераторной петли снижает уровень собственного процесса системы, «мягкое» крепление антенны за тросы подвески платформы снижает специфическую «вибрационную» низкочастотную помеху, искажающую измеряемый сигнал
Программ.	Подавление НЧ-помехи	Использование математических алгоритмов позволяет на порядки снизить влияние специфических «вибрационных» низкочастотных помех, воздействующих на приемные антенны платформы во время полета
	Учет формы импульсов тока	Позволяет устранить искажения, связанные с отличием реальной формы импульса тока от идеального прямоугольного импульса (Хевисайда)

* Аппарат. - аппаратурные средства, программ. - программные средства.

Высокоточная привязка результатов измерения: Для высокоточной геодезической привязки результатов измерений применяется двухсистемный (GPS/ГЛОНАСС) двухчастотный геодезический приемник Novatel DL-V3. Приемник с антенной устанавливаются в контейнере, расположенном в носовой части платформы. Данные приемника обрабатываются как данные подвижного приемника (ровера), приемник обеспечивает частоту определения координат до 20 Гц. В зависимости от требуемой точности данные приемника могут быть использованы без поправок, либо с использованием дифференциальных поправок по данным базовой станции, либо с использованием поправок по методике PPP (использование ретроспективной интернет-базы о положениях навигационных спутников). Использование данных без поправок обеспечивает точность определения плановых координат порядка 10 м, использование

поправок позволяет повысить точность определения координат до субметрового уровня, что позволяет проводить такие высокоточные (в смысле геодезической привязки) инженерные съемки, как съемки вдоль трасс нефтепродуктопроводов.

Дополнительные каналы измерений: Как правило, платформа «Импульс-Аэро» используется одновременно с гамма-спектрометрами и магнитометром. Это позволяет дополнительно к данным ЭМ-зондирования регистрировать значение напряженности магнитного поля и спектр гамма-излучения, что существенно расширяет возможности решения геологических задач при комплексной интерпретации полученных аэрогеофизических данных.

Используются квантовые магнитометры (на базе калиевых или цезиевых сенсоров). Гамма-спектрометрический комплекс может включать до 3 гамма-спектрометров серии RS-500 (производства канадской фирмы Radiation Solutions) с общим объемом детекторов до 48 л.

Для решения ряда задач возможна также установка канала измерения теплового поля на базе охлаждаемой инфракрасной камеры.

Пример применения: Дукатское золото-серебряное месторождение в Магаданской области локализовано в интрузивно купольном поднятии площадью около 35 км^2, ограниченном повсеместно разрывными нарушениями.

В корреляционном уран-калиевом поле в районе Дукатского месторождения отчетливо просматривается компактный аномальный ореол, который можно отождествить с палеовулканической структурой (ВТС), что не противоречит геолого-петрографическим и структурным данным. В центральной части структуры фиксируется аномальный торий-калиевый корреляционный ореол, непосредственно к которому, к его приконтактовой области, приурочено месторождение. По внутреннему периметру ВТС, преимущественно в северо-восточной половине, проявлены интенсивные ореолы аномально высокой проводимости, по отношению к которым месторождение локализуется в экзоконтактовой зоне. Рудная природа ВТС подтверждается многочисленными золото-серебряными рудопроявлениями и проявлениями олова, располагающимися по всей структуре, но явно тяготеющие к ее границе.

Материалы комплексной аэрогеофизической съемки, в данном случае аэроэлектроразведочные и гамма-спектрометрические, демонстрируют на примере Дукатского месторождения высоконадежные поисковые критерии локализации крупномасштабного золото-серебряного оруденения к приграничным областям аномальных ореолов (рис. 2).

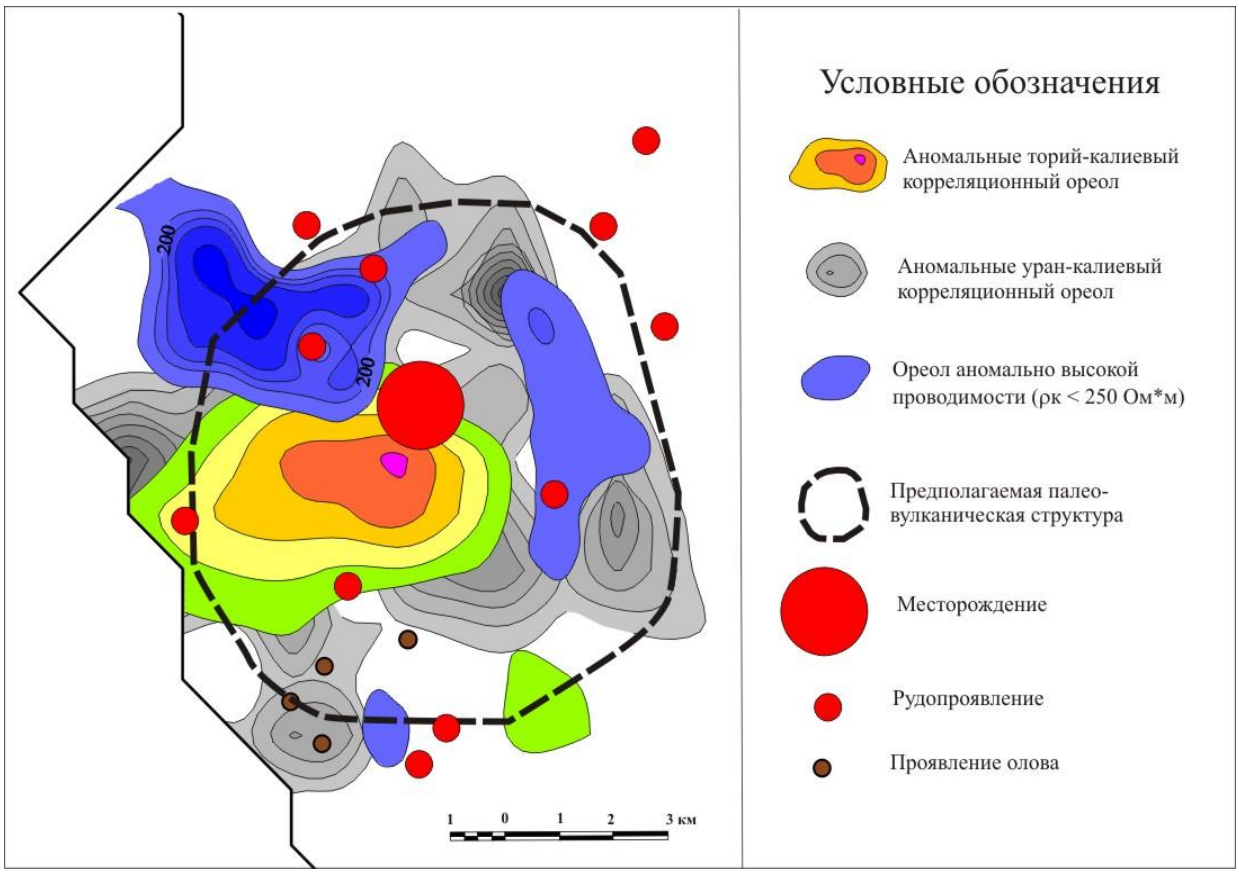


Рис. 2. Распределения аномальных (надфоновых) значенийгеофизических параметров (Лященко Н.Г., 2011)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тригубович, Г.М. Инновационные поисково-оценочные технологии электроразведки становлением поля воздушного и наземного базирования / Г.М. Тригубович // Разведка и охрана недр. – 2007. – № 8. – С. 80–87.

2. Kamenetsky F.M., Stettler E.H., Trigubovich G.M. 2010. / F.M Kamenetsky // Transient Geo-Electromagnetics, L-M University of Munich, Germany, p. 306.

© С.В. Барсуков, А.А. Белая, Ю.Ю. Дмитриев, А.С. Сверкунов, Е.Н. Махнач, Г.М. Тригубович, 2012

УДК 543.442’426:556.31

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПЛАСТОВЫХ ВОД НА РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНОМ СПЕКТРОМЕТРЕ

Денис Олегович Артамонов
Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья, 630091, г. Новосибирск, Красный проспект, 67, заведующий группой физико-химических исследований горных пород и природных вод, тел. +7 913-933-24-48, e-mail: artamonov@sniiggims.ru

Ольга Владимировна Орлова
Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья, 630091, г. Новосибирск, Красный проспект, 67, инженер первой категории, тел +7-913-200-71-77, e-mail: orlova@sniiggims.ru

В настоящей работе рассматривается методика определения химического состава природных вод методом рентгенофлуоресцентного анализа на примере изучения подземных пластовых вод, полученных при бурении параметрических скважин на территории Восточной Сибири. Предложенный подход позволяет учитывать влияние кислорода, входящего в состав проб воды, на сигнал флуоресценции и эффективно проводить матричную коррекцию, что обеспечивает правильность анализа. Данная методика на практике применяется впервые и обладает рядом преимуществ по сравнению с классическими химическими методами определения элементного состава природных вод – экспрессность, малый объем пробы для анализа, недеструктивность и простая пробоподготовка – и может успешно применяться для экспрессного анализа непосредственно в полевых условиях.

Ключевые слова: рентгенофлуоресцентный анализ, метод фундаментальных параметров, пластовые воды, параметрические скважины, экспресс-метод, анализ в полевых условиях.

THE OIL-FIELD WATER CHEMICAL COMPOSITION DETERMINATION ON X-RAY FLUORESCENCE SPECTROMETER

Denis O. Artamonov
Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources, 630091, Novosibirsk, Krasniy avenue 67, head of rock and natural water physicochemical research group, tel. +7-913-933-24-48, e-mail: artamonov@sniiggims.ru

Olga V. Orlova
Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources, 630091, Novosibirsk, Krasniy avenue 67, engineer, tel. +7-913-200-71-77, e-mail: orlova@sniiggims.ru

This paper discusses the method of determining the natural water chemical composition by XRF analysis during research of highly mineralized oil-field water produced by drilling parametric wells in Eastern Siberia. The proposed approach allows to take into account the influence of oxygen on water samples fluorescence and effectively realize matrix correction, ensuring accuracy of the analysis. The proposed method is applied for the first time and has several advantages over classical chemical methods of natural water analysis – quickness, small volume of sample, nondisruptiveness and simple sample preparation - and can be successfully used for the field express analysis.

Key words: X-ray fluorescence analysis, the method of fundamental parameters, oil-field water, parametric wells, express method, field analysis.

Введение

При геологическом изучении труднодоступных территорий от отбора пробы пластовых вод до ее поступления в лабораторию и получения достоверной информации проходит значительное время (иногда один-два месяца). Это требует специальной консервации проб, особых условий хранения и транспортировки, т.к. сразу же после отбора в пробе начинают проходить интенсивные процессы выпадения осадка. Наиболее целесообразным и методологически правильным является анализ таких проб непосредственно после отбора. Сегодняшний парк портативного аналитического оборудования позволяет проводить экспрессные исследования элементного состава природных объектов непосредственно в полевых условиях. Именно к ним можно отнести оборудование для рентгенофлуоресцентного анализа (РФА), которое с успехом применяется при изучении элементного состава горных пород, нефтепродуктов, солей и рассолов в полевых условиях.

Объект и метод исследования

Описываемая методика разрабатывалась для экспрессного анализа пластовых вод (минерализация 3-600 г/дм^3), включающего в себя определение содержания натрия, магния, серы, хлора, калия, кальция, марганца, железа, брома, стронция на приборе ARL Optim'X (мощность рентгеновской трубки 50 Вт).

В результате обобщения литературных данных [3, 4, 5] и результатов анализов пластовых вод, выполненных другими методами в Центре аналитических исследований ФГУП «СНИИГГиМС», а также с учетом пределов обнаружения прибора были выбраны следующие диапазоны концентраций (г/дм^3): натрий – 1-100, магний – 0,5-20, сульфат-ион – 0,05-5, хлорид-ион – 1-300, калий – 0,3-30, кальций – 0,5-100, марганец – 0,01-0,25, железо – 0,01-1, бромид-ион и стронций 0,1-10.

Метод РФА является одной из разновидностей рентгеноспектрального метода анализа. Он основан на измерении интенсивности рентгеновского флуоресцентного (характеристического) излучения определяемых элементов при экспонировании проб (в данном случае – жидких образцов воды). Концентрацию компонентов определяют с помощью предварительно построенных градуировочных характеристик, взаимное влияние элементов и матричные эффекты учитываются применением метода фундаментальных параметров (МФП). МФП использовался в следующем варианте: градуировочные характеристики строились по чистым веществам, с применением поправочных коэффициентов к измеренным интенсивностям аналитических линий. МФП был реализован в виде отдельного программного модуля, обладающего собственной базой данных градуировок, возможностью выбора модели коррекции, числа итераций при расчете концентраций элементов и т. д.

Методика анализа пластовых вод

Пробоподготовка и анализ

Пробоподготовка заключается в фильтровании пробы и предварительном измерении плотности. Объем пробы, необходимый для анализа, составляет 10 $см^3$ – это минимальный объем, при котором анализ проходит в условиях насыщенного слоя (одно из основных условий применимости МФП), т. е. интенсивность характеристического излучения элемента зависит только от его концентрации и не зависит от объема пробы.

Проба измеряется непосредственно в специальной кювете, дно которой представляет собой туго натянутую рентгенопрозрачную пленку из полипропилена толщиной 4 мкм. Измерение происходит в атмосфере гелия.

Для каждой из проб проводится два параллельных определения. Необходимость этого обуславливается тем, что излучение легких элементов (натрия, магния) сильно поглощается пробой и для них мала толщина излучающего слоя. Проведение двух параллельных определений с усреднением результатов позволяет минимизировать влияние неоднородности пленки, уровня ее натяжения, образования пузырьков газа на пленке в процессе анализа.

При анализе в полевых условиях непосредственно после отбора время анализа для рассматриваемого прибора составляет 40 минут (1 проба в 2 параллелях). При необходимости длительного хранения пробы, полное время анализа составит 80 минут (2 пробы в 2 параллелях), так как металлы необходимо будет определять из отдельной пробы, подкисленной азотной кислотой. При использовании приборов с более мощными рентгеновскими трубками время анализа существенно сокращается.

Метрологические характеристики методики

Для оценки показателей качества методики анализа был поставлен ряд метрологических экспериментов на реальных пробах пластовых вод параметрических скважин.

Полученные метрологические показатели методики в сравнении с соответствующими показателями классических методов анализа [1,2], применяющихся в нашей лаборатории для анализа пластовых вод, приведены в табл. 2.

Таблица 2.Диапазон измерений, значения показателей точности методики

Определяемый компонент	Диапазон измерений массовой концент-рации определяемого компонента, (г/дм^3)	Показатель точности РФА (границы относительной погрешности при вероятности P=0,95), ± δ, %	Показатель точности классического метода анализа (границы относительной погрешности при вероятности P=0,95), ± δ, %
Na	1–10	24	10
	10–100	16	
Mg	0,5–2	24	5
	2–20	14	
SO_4^{2-}	0,05–0,5	42	30–18
	0,5–5	28	18
Cl	1–300	12	9
K	0,3–30	12	7
Ca	0,5–100	12	5
Mn	0,01–0,05	23	20
	0,05–0,25	12	
Fe	0,01–0,1	23	20
	0,1–1	14	
Br	0,1–10	12	20
Sr	0,1–10	12	10

Как видно из таблицы, для большинства элементов показатели точности метода РФА сравнимы с соответствующими показателями классических методов анализа. Следует отметить, что при определении высоких концентраций брома в сравнении с классическими методами химического анализа мы получаем большую точность при меньших трудозатратах.

При выполнении работ по изучению состава пластовых вод параметрических скважин в Восточной Сибири и республике Саха (Якутия) в рамках Государственного контракта № 4Ф-09 от 03.11.2009 г. аналитические работы велись параллельно классическими методами анализа и методом РФА. Межметодное сравнение полученных данных показывает их хорошую сходимость и применимость представленной методики для анализа подобных объектов [1, 2].

Представленная методика анализа прошла аттестацию в экспертной организации ФГУП «ВИМС» по результатам метрологической экспертизы [6].

Заключение

Предложена методика анализа высокоминерализованных пластовых вод на рентгенофлуоресцентном спектрометре с использованием метода фундаментальных параметров. Экспериментальная проверка при анализе коллекции пластовых вод параметрических скважин Восточной Сибири показала эффективность предложенного подхода.

Полученные в ходе аттестации методики метрологические характеристики позволяют утверждать, что предложенная методика анализа является особенно перспективной для определения содержания тяжелых элементов (хлора, калия,

кальция, марганца, железа, брома, стронция) и для предварительного определения содержания легких элементов (натрия, магния, серы), которое можно в дальнейшем уточнить другими методами.

Такие преимущества, как экспрессность, простота выполнения, ненужность химических реактивов для анализа, позволяют рекомендовать методику для использования в полевых условиях с помощью портативных рентгенофлуоресцентных спектрометров.

Основные преимущества разработанной методики по сравнению с классическими методами: продолжительность одного параллельного определения 20 минут (для прибора ARL Optim'X), минимальный объем пробы 10 $см^3$, одновременное определение 10 элементов, неизменность состава пробы при анализе, возможность в дальнейшем анализа той же самой пробы любыми другими методами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Артамонов Д.О., Иванов П.А., Орлова О.В. Определение химического состава высокоминерализованных пластовых вод методом рентгенофлуоресцентного анализа // Тезисы VII Всероссийской конференция по рентгеноспектральному анализу. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2011. – С. 115.
2. Артамонов Д.О., Орлова О.В., Шиганова О.В. Методика выполнения измерений концентрации элементов в природной воде методом рентгенофлуоресцентного анализа // Материалы Международной научно-практической конференции «Питьевые подземные воды. Изучение, использование и информационные технологии». – М: ФГУП «ВСЕГИНГЕО». 2011. – С. 296–304.
3. Вожов В.И. Подземные воды и гидроминеральное сырье Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 2006. – 209 с.
4. Резников А.А., Муликовская Е.П., Соколов И.Ю. Методы анализа природных вод. Изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: Недра, 1970. – 488 с.
5. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши / Под ред. А.Д. Семенова. – Л.: Гидрометоиздат, 1977. – 542 с.
6. СТО ИГ-30-2011. Методика выполнения измерений концентрации элементов в природной воде методом рентгенофлуоресцентного анализа, 2011 г. Свидетельство № 174/2011-01.00115-08 ФГУП «ВИМС».

© Д.О. Артамонов, О.В. Орлова, 2012

УДК 550.8.013

ОЦЕНКА ГЛУБИННОСТИ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО КАНАЛА АЭРОГЕОФИЗИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ СЕРИИ «ИМПУЛЬС-АЭРО»

Андрей Сергеевич Сверкунов
Федеральное государственное унитарное предприятие «Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья», г. Новосибирск, Красный проспект, 67, инженер, тел. (383) 222-42-03, e-mail: sverkunov86@mail.ru

В статье приводятся описание способов оценки глубины зондирований на основе модели однородного полупространства, содержащего тонкий проводящий пласт, модели тонкого проводящего диска в однородном полупространстве и двухслойной среды с изменяющейся толщиной первого слоя. А также рассмотрен способ определения глубины зондирований по оценке толщины скин-слоя и сопоставление этой оценки с перечисленными выше моделями.

Ключевые слова: «Импульс-Аэро», глубина зондирований, аэроэлектроразведка.

EXPLORATION DISTANCE'S ASSESSMENT OF ELECTROMAGNETIC CHANNEL OF AEROGEOPHYSICAL SYSTEM «IMPULS-AERO» TYPE

Andrey S. Sverkunov
Federal state unitary enterprise «Siberian research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources», Krasnyi prospekt, 67, Novosibirsk, engineer, tel. (383) 222-42-03, e-mail: sverkunov86@mail.ru

In article there are described an assessment methods of sounding distances on the basis of homogeneous half-space's model that contains thin conductive layer, of thin conductive disk's model in homogeneous half-space and of two-layered medium with changing depth of first layer. Also there is reviewed a measuring method of sounding depth by estimation of skin-layer's depth and correlation of this assessment with above-mentioned models.

Key words: «Impulse-Aero», distance's assessment, airborne transient electromagnetics.

Важным этапом аэроэлектроразведочной съемки является оценка глубинности исследований, которая зависит от ряда конструктивных параметров проведения полевых работ: электромагнитный момент системы, уровень измеряемого сигнала, уровень электромагнитных помех, доверительный интервал проявления объекта поиска.

В качестве моделей геологических сред для исследований были выбраны:

1. Однородное полупространство, содержащее тонкий проводящий пласт.
2. Двухслойная среда с изменяющейся толщиной первого слоя.
3. Проводящий диск в однородном полупространстве.

А также рассмотрен способ определения глубины зондирований по оценке толщины скин-слоя и сопоставление этой оценки с перечисленными выше моделями.

Исследования проводились со следующими параметрами приемно-генераторной конструкции: ток 180 А, площадь генератора 160 м^2, 4 витка, момент измерителя 1 100 м^2. Высота полета разведочной платформы была принята за 50 м.

Однородное полупространство, содержащее тонкий проводящий пласт: Для определения глубины зондирований определялся минимальный реализуемый доверительный интервал проявления объекта $E_n(t) = \left|\frac{E(t) - E_0(t)}{E_0(t)}\right| \cdot 100\% > 20\%$. Соответствующая кривая $E_n(t)$ указывала на искомую глубинность исследований.

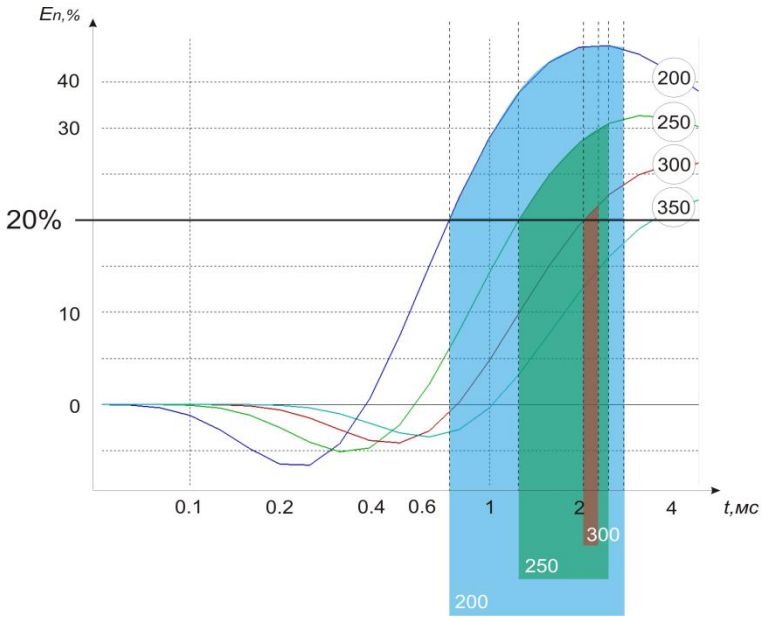


Рис. 1. Нормированные на $E_0(t)$ сигналы $E(t)$ над полупространством ρ = 100 Ом·м, которое содержит тонкий проводящий пласт ρ = 1 Ом·м,h = 1 м в интервале глубин 200-350 м

Как видно из рис. 1 минимальным реализуемым доверительным интервалом проявления тонкой проводящей пластины является интервал для кривой $E_n(t)$, соответствующей глубине залегания 300 метров. Исходя из этого, был сделан вывод, что искомая глубинность составляет 300 м.

Двухслойная среда с изменяющейся толщиной первого слоя: Для определения глубины зондирований определялось минимальное значение на $E_n(t) = \left|\frac{E(t) - E_0(t)}{E_0(t)}\right| \cdot 100\% > 20\%$ времени t ($E_0(t)$=10мкВ). Соответствующая кривая $E_n(t)$ указывала на искомую глубинность исследований.

Двухслойная среда:

№ слоя	Толщина слоя	ρ
1	*h*	100
2	∞	1000

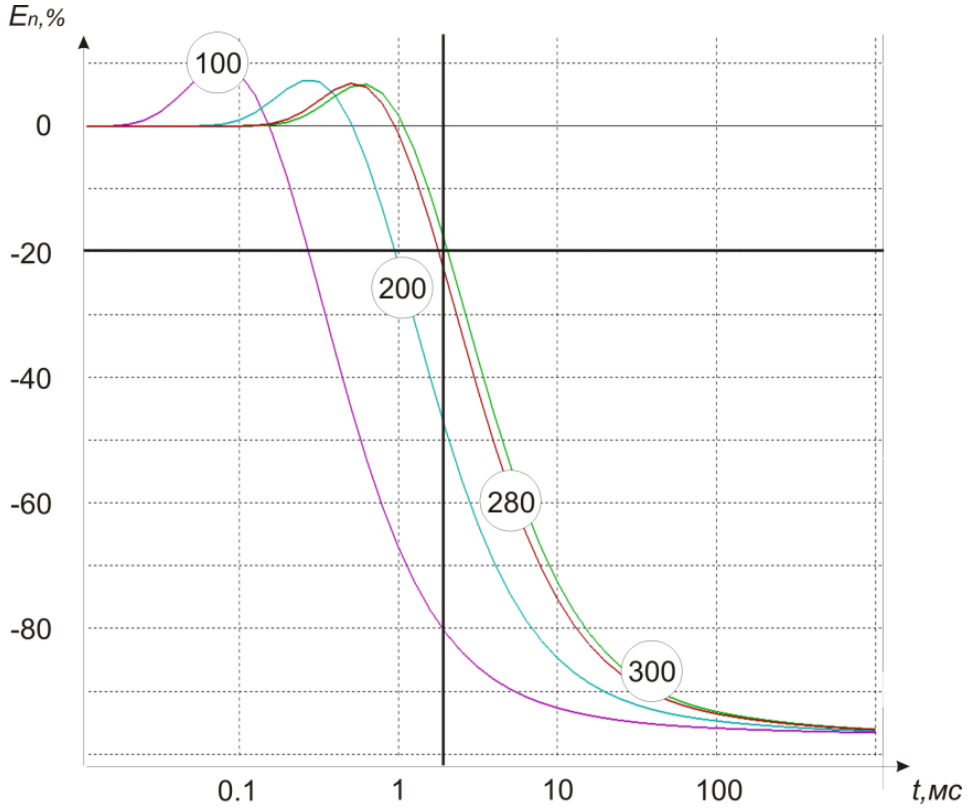


Рис. 2. Нормированные на $E_0(t)$ сигналы $E(t)$ над двухслойной средой с изменяющейся толщиной первого слоя ρ = 100 Ом·м в диапазоне 100-300 м

Как видно из рис. 2, минимальное значение $E_n(t) = \left|\frac{E(t) - E_0(t)}{E_0(t)}\right| \cdot 100\% > 20\%$ е на времени t = 7 мс соответствует кривой $E_n(t)$ для 280 метров. Исходя из этого, был сделан вывод, что искомая глубинность составляет 300 метров.

Проводящий диск в однородном полупространстве: Глубинность зондирования для модели проводящего диска в однородном полупространстве определялась аналогично модели тонкого проводящего пласта в однородном полупространстве.

Как видно из рис. 3 минимальным реализуемым доверительным интервалом проявления тонкого проводящего диска является интервал для кривой $E_n(t)$, соответствующей глубине залегания 270 метров. Исходя из этого, был сделан вывод, что искомая глубинность составляет 270 метров. Кроме того, при увеличении радиуса диска, глубинность так же увеличивается и приближается к глубине зондирований в модели тонкого проводящего пласта.

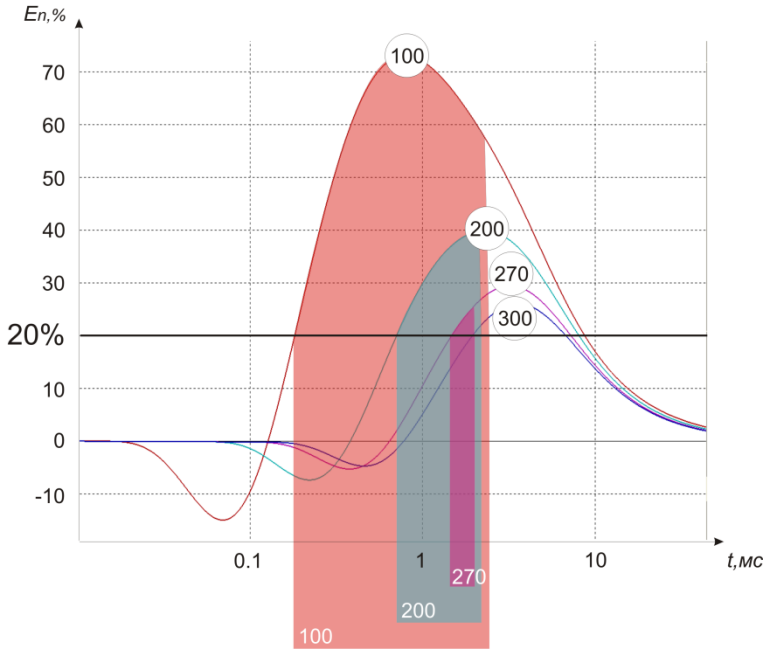


Рис. 3. Нормированные на $E_0(t)$ сигналы $E(t)$ над полупространством ρ = 100 Ом·м, которое содержит тонкий проводящий диск ρ = 1 Ом·м, h = 1 м, R = 1000, в интервале глубин 100-300 м

Определение глубины зондирований по оценке толщины скин-слоя: Во временной области толщина скин-слоя в однородном полупространстве определяется формулой: $\delta_t = \frac{1}{2}\sqrt{t_{мкс} \cdot \rho_{Ом \cdot м}}$. При этом токи, текущие внутри скин-слоя создают основной вклад в магнитное поле на поверхности полупространства (примерно 70%). Примем в среднем сопротивление верхней части разреза равным 100 Ом·м. Согласно таблице 1 время регистрации изменяется от 50 до 10000 мкс. Глубина зондирования по скин-слою в этом диапазоне составляет 35 – 500 метров. Следует учитывать, что эта глубина может оказаться нереализованной, если уровень ожидаемого сигнала не превышает среднеквадратичную помеху (после пространственно-временного усреднения) хотя бы вдвое. Например, если для наших условий этот уровень составляет 10 мкВ, то это соответствует максимальному реализуемому времени регистрации t=2,15 мс и глубине зондирования 462м. С достаточной для наших оценок точностью можно рассчитывать значение сигнала по формуле ближней зоны: $V_z^{cr} = \frac{\mu I Q q}{20} \cdot \left(\frac{\sigma\mu}{\pi}\right)^{3/2} \cdot t^{-5/2}$

Таблица 1. Уровень сигнала и глубина зондирования

Время, мкс	50	100	500	1000	1500	2150	5000	10000
Сигнал, мкВ	1,2·105	2,2·104	400	70	25	10	1,2	0.2
Глубина, м	35	50	111	158	194	231	353	500

Таким образом, максимальная реализуемая глубина зондирования составляет в нашем примере 231 м. По предлагаемой методике легко рассчитать глубину зондирования для различных параметров среды и генераторно-измерительной установки.

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что определение глубины зондирований по оценке толщине скин-слоя дает заниженный результат. Поэтому для получения наиболее точной оценки глубинности при решении поисково-оценочных, инженерных задач необходимо учитывать характер поисковых объектов и использовать прямое моделирование соответствующей модели геологической среды для получения точного доверительного интервала влияния поискового объекта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тригубович, Г.М. Инновационные поисково-оценочные технологии электроразведки становлением поля воздушного и наземного базирования / Г.М. Тригубович // Разведка и охрана недр. – 2007. – № 8. – С. 80–87.

2. Kamenetsky F.M., Stettler E.H., Trigubovich G.M. 2010. / F.M Kamenetsky // Transient Geo-Electromagnetics, L-M University of Munich, Germany, p. 306.

© А.С. Сверкунов, 2012

УДК 550.8.055

ВЫСОКОГОРАЗРЕШАЮЩАЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ РАЗВЕДКА УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

Анастасия Александровна Белая
Федеральное государственное унитарное предприятие «Сибирский научный исследовательский институт геологии геофизики и минерального сырья», г. Новосибирск, Красный проспект, 67, исполняющий обязанности заведующего лабораторией, тел (383) 222-26-87, e-mail:n.zabortseva@gmail.com

Ирина Игоревна Иванова
Федеральное государственное унитарное предприятие «Сибирский научный исследовательский институт геологии геофизики и минерального сырья», г. Новосибирск, Красный проспект, 67, инженер 2 категории, тел (383) 222-26-87, e-mail:anisimovaii@yandex.ru

Евгений Николаевич Крупнов
Федеральное государственное унитарное предприятие «Сибирский научный исследовательский институт геологии геофизики и минерального сырья», г. Новосибирск, Красный проспект, 67, инженер, тел (383) 222-26-87

Николай Иогансович Паули
Федеральное государственное унитарное предприятие «Сибирский научный исследовательский институт геологии геофизики и минерального сырья», г. Новосибирск, Красный проспект, 67, исполняющий обязанности заведующего лабораторией, тел (383) 222-26-87, e-mail: pauli@sniiggims.ru

Георгий Михайлович Тригубович
Федеральное государственное унитарное предприятие «Сибирский научный исследовательский институт геологии геофизики и минерального сырья», г. Новосибирск, Красный проспект, 67, заместитель генерального директора по науке, доктор технических наук, профессор, тел (383) 222-26-87, e-mail: tgm@sniiggims.ru

Марат Рафаэлевич Халиуллин
Федеральное государственное унитарное предприятие «Сибирский научный исследовательский институт геологии геофизики и минерального сырья», г. Новосибирск, Красный проспект, 67, инженер-геофизик, тел (383) 222-26-87

В статье рассмотрено возможность применения технологии многоразносных зондирований становлением поля высокого разрешения для детальной разведки месторождений каменного угля.

Ключевые слова: ЗСБ-зондирования становлением поля в ближней зоне, многоразносные зондирования М-ЗСБ, 3D-геоэлектрической модель, технология ЭМ-сканирования, угольные пласты.

HIGH-RESOLUTION ELECTROMAGNETIC EXPLORATION OF COAL LAYERS

Anastasiya A. Belaya
Federal State Unitary Enterprise «Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources», Novosibirsk, Kr. prospekt, 67, act. laboratory chief, phone (383) 222-26-87, e-mail:n.zabortseva@gmail.com
Irina I. Ivanova
Federal State Unitary Enterprise «Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources», Novosibirsk, Kr. prospekt, 67, engineer of 2 category, phone (383) 222-26-87, e-mail:anisimovaii@yandex.ru

Evgeniy N. Krupnov
Federal State Unitary Enterprise «Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources», Novosibirsk, Kr. prospekt, 67, engineer, phone (383) 222-26-87

Nikolay I. Pauli
Federal State Unitary Enterprise «Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources», Novosibirsk, Kr. prospekt, 67, act. laboratory chief, phone (383) 222-26-87, e-mail: pauli@sniiggims.ru

George M. Trigubovich
Federal State Unitary Enterprise «Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources», Novosibirsk, Kr. prospekt, 67, deputy general director in science, doctor of engineering science, professor, phone (383) 222-26-87 e-mail: tgm@sniiggims.ru

Marat R. Haliullin
Federal State Unitary Enterprise «Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources», Novosibirsk, Kr. prospekt, 67, engineer-geophysicist, phone (383) 222-26-87

In article there is reviewed a possibility of technology application of multispacing soundings by field formation of high resolution for detail exploration of black coal's deposits.

Key words: sounding by field formation in near zone, multispacing soundings, 3D-geoelectric model, technology of EM-scanning, coal layers.

Основой для постановки электроразведки являются достаточно хорошие электрофизические предпосылки решения задач расчленения геоэлектрического разреза и пространственного картирования угольных пластов. В основном каменный уголь Кузбасса обладает повышенным электрическим сопротивлением более 500 Омм и достаточно хорошо дифференцируется с вмещающими, более низкоомными породами, обладающими сопротивлением около 100 Омм. Ограничения применения ЗСБ в традиционной постановке для решения задач угольной разведочной геологии заключались в корректной регистрации быстропротекающих процессов становления поля, малая пространственно-временная плотность измерений, а также латеральная неоднородность объекта изучения, осложненная тектоническими нарушениями. Для преодоления этих ограничений в настоящее время разработана новая технология и оборудование серии «Импульс-Д», что позволяет решать поставленные задачи на принципиально более высоком уровне. [1]. Кроме

обеспечения высокой пространственно-временной плотности регистрации электромагнитных сигналов, технология позволяет интерпретировать данные, полученные в условиях горизонтально-неоднородных сред.

На исследуемой площади сигналы вихревых токов регистрируют системой приемных датчиков. Датчики размещают вдоль профилей, находящихся в зоне взаимного влияния, чтобы сигнал измеренный на ближайшем профиле зависил от распределения проводимости окрестности точки измерения на другом профиле. При этом, приемные датчики располагаются вблизи источника поля и на удалении за пределы его проекции. Определяют по измеренным компонентам электромагнитного поля геоэлектрические параметры среды, используя, одномерные, двух - , трех-мерные математические модели отклика на аналогичное возбуждение горизонтально-слоистой среды , путем сопоставления измеренных и расчетных значений компонент поля при заданных параметрах этих математических моделей, в каждой точке регистрации компонент индуцированного электромагнитного поля. После этого определяют невязку или среднеквадратическое отклонение зарегистрированных и расчетных значений при заданных параметрах математической модели, определяют плановое положение точек регистрации с невязкой, превышающей допустимый уровень, проводят без изменения положения источника электромагнитного поля дополнительные измерения в окрестности предыдущих точек регистрации в которых невязка превышает допустимый уровень. В процессе анализа невязки решения обратной задачи в рамках, например, слоистой математической модели вмещающей геологической среды можно выделить следующие основные этапы:

1. Определение участков, соответствующих нормальному полю (полю вмещающей среды, которое в общем случае может отличаться от горизонтально-неоднородной).
2. Решение обратной задачи для каждой точки регистрации в рамках математической модели соответствующей нормальному полю.
3. Расчет невязки решения обратной задачи и аномальных полей в каждом пункте регистрации относительно выбранного нормального поля.
4. Выбор и пространственная локализация всех точек регистрации в которых невязка или ошибка решения обратной задачи превысила установленный уровень, например, 30 % .
5. Проведение дополнительных измерений на выделенных площадях аномальных полей, превышающих установленный уровень 30 %, корректировка модели нормального поля.
6. Построение аномальных полей и локализация более слабых аномалий на поздних временах. Подбор глубинных объектов.
7. Построение объемной 3D-геоэлектрической модели, согласованной с априорной информацией и геолого-геофизическими данными.

Математический аппарат и программный комплекс EM-Data-Processor [2] позволяет по профильно-площадным данным определять положение и геометрические параметры объекта исследований.

Приведен пример прослеживания пластов каменного угля, с целью уточнения границ горных выработок по изложенной выше технологии на одном из участков в Кузбассе. Участок перекрыт горными отвалами, мощностью от 15 до 45 м. Требуемая глубинность опоискования составляла 100-120м. Пласты угля располагались в верхней части кемеровской свиты верхнебалахонской подсерии и залегали в мощной преимущественно песчаной пачке. Работы проводились при помощи беспроводной телеметрической аппаратуры «Импульс-Д ». Размер фиксированного источника в виде квадратной генераторной петли 100х100 м^2. позволил провести исследование геоэлектрического разреза до глубин более чем 200 м. Измерения проводились по системе квазипараллельных профилей. Расстояние между профилями – 20 м, расстояние между точками измерений – 10 м.

На рис. 1 представлены геоэлектрические разрезы вдоль трех профилей, где прослежены угольные пласты. На профиле P0, P1 четко прослеживаются 2 пласта на глубине 50 и 100м. На профиле P2 верхнего пласта не наблюдается, что подтверждено бурением Результаты электроразведочных работ хорошо соответствуют данными бурения Погрешность определения геометрии не превышает 5 %. Кроме того с хорошей точностью отбивается нижняя граница горных отвалов.

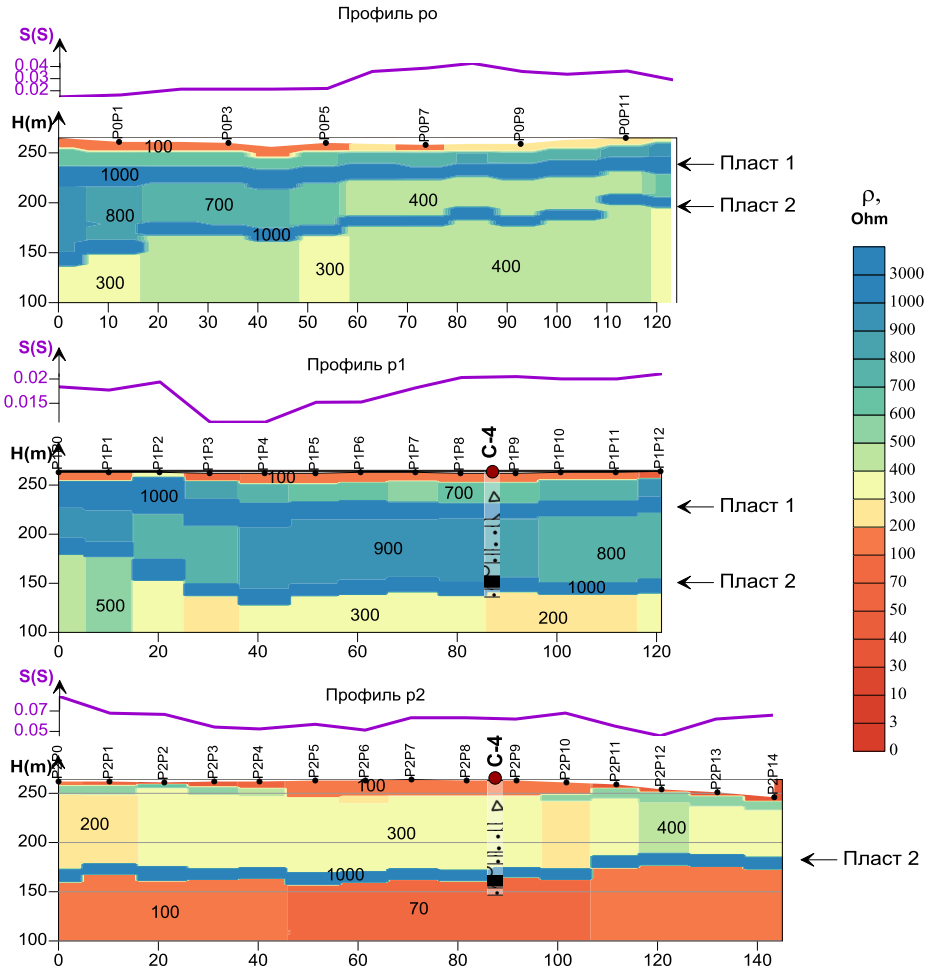


Рис. 1 Геоэлектрические разрезы с графиками интервальной суммарной продольной проводимость по данным М-ЗСБ вдоль 3 профилей наблюдения

Характерной особенностью одной из площадей в Завьяловском районе является то, что угольные пласты могут иметь как повышенное, так и пониженное электрическое сопротивление. Работы проводились по технологии многоразносного профилирования ВП, с использованием встречных трехэлектродных расстановок. Эта технология успешно себя зарекомендовала при детальной разведке поляризующихся объектов пластового типа угля находящихся в системе синклинальных и антиклинальных складок [3].Однако при проведении работ и сопоставления результатов исследования с данными бурения было установлено наличие поляризующихся горизонтов в разрезе не связанных с углем. Работами М-ЗСБ, удалось выделить маркирующий горизонт, подстилающий угольные пласты , произвести идентификацию угольных пластов , выделив на участке 60% перспективных площадей.

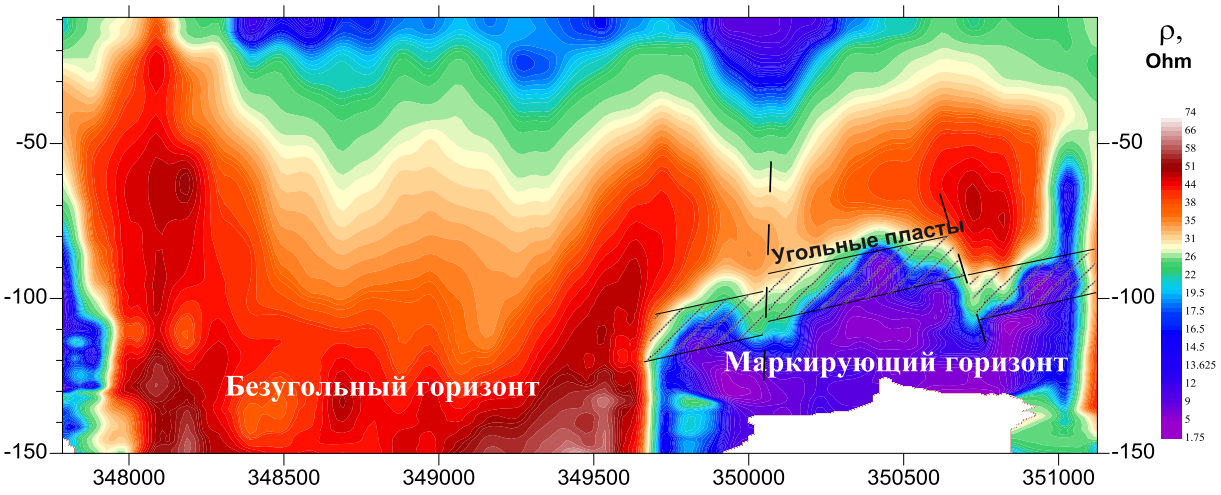


Рис. 2. Геоэлектрический разрез полученный по данным М-ЗСБ и технологии ЭМ-сканирования

Таким образом применение современной технологии многоразносных зондирований М-ЗСБ на плотных пространственно-временных сетях наблюдений позволяет решать задачи картирования и глубинного изучения угольных пластов на этапе детальной разведки, что значительно увеличивает эффективность импульсной индуктивной электроразведки и разведочного процесса в целом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тригубович Г.М. «Инновационные поисково-оценочные технологии электроразведки становлением поля воздушного и наземного базирования» // Разведка и охрана недр. – 2007. – № 8–С. 80–87.

2. Свидетельство о гос регистрации программы для ЭВМ № 2011611248, EM-DataProcessor, ЗАО «Аэрогеофизическая разведка», 07-02-2011.

3. Моисеев В.С., Паули Н.И., Токарева М.Г. Объемное изучение поляризационных объектов повышенного и пониженного сопротивления // Материалы научного конгресса «ГЕО-Сибирь-2005». – Новосибирск: СГГА, 2005. – С. 127 –130.

© А.А. Белая, И.И. Иванова, Е.Н. Крупнов, Н.И. Паули, Г.М. Тригубович, М.Р. Халиуллин, 2012

УДК 550.386

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИАГРАММ БКЗ В СКВАЖИНАХ С БИОПОЛИМЕРНЫМ РАСТВОРОМ

Ирина Владимировна Суродина
Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, 630090, г. Новосибирск, пр. Коптюга, 3, старший научный сотрудник, e-mail: sur@ommfao1.sscc.ru

В статье рассматриваются вопросы моделирования диаграмм бокового каротажного зондирования (БКЗ) в скважинах с сильнопроводящим буровым раствором. Приводятся результаты математического моделирования диаграмм в скважинах с техногенными трещинами и кавернами.

Ключевые слова: математическое моделирование, боковое каротажное зондирование.

SIMULATION OF DIAGRAMS BKZ IN THE BOREHOLES WITH THE HIGHLY CONDUCTIVE DRILLING MUD

Irina V. Surodina
Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Koptyug, 3, Novosibirsk, 630090, Russian Federation, senior research worker, e-mail: sur@ommfao1.sscc.ru

The questions of the simulation of the diagrams of lateral logging sounding in the boreholes with the highly conductive drilling mud are examined in the article. The results of the mathematical simulation of diagrams in the boreholes with the technogenic cracks and the cavities are given.

Key words: mathematical simulation, lateral logging sounding.

1. Двумерное моделировние диаграмм БКЗ

Пусть в цилиндрической системе координат задано осесимметричное распределение проводимости $\sigma = \sigma(r, z)$. Задача моделирования показаний зондов БКЗ сводится к решению уравнения Пуассона для аномального поля потенциала $U^a = U - U^0$:

$$\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(\sigma r \frac{\partial U^a}{\partial r}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\sigma \frac{\partial U^a}{\partial z}\right) = \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left((\sigma_0 - \sigma) r \frac{\partial U^0}{\partial r}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left((\sigma_0 - \sigma)\frac{\partial U^0}{\partial z}\right), \qquad (1)$$

где U - полное поле искомого потенциала, U^0 - поле точечного источника, находящегося в однородной среде с проводимостью σ_0 в начале координат: $U^0 = \dfrac{I}{4\pi\sigma_0 R}$, I - сила тока, $R = \sqrt{r^2 + z^2}$. При удалении от источника потенциал затухает как $1/R$, поэтому для функции U^a вдали от источников были поставлены нулевые граничные условия: $U^a\big|_{r=R} = 0$, $U^a\big|_{z=\pm Z} = 0$. Граничные условия на оси скважиные: $\partial U / \partial r\big|_{r=0} = 0$.

После конечно-разностной аппроксимации уравнения (1) и последующей симметризации [2] полученной системы линейных алгебраических уравнений

для её решения применялся метод сопряженных градиентов с предобуславливателем SSOR (симметричой последовательной верхней релаксации).

Рассмотрим некоторые модели. На рис.1 показана базовая модель среды. Среда представлена в виде набора тороидальных областей прямоугольного сечения $\{\ zl_{j-1} \le z \le zl_j,\ \ rl_{j,k-1} \le r \le rl_{j,k}\ \}$ с электропроводностью σ_{jk} , где $j = 1, \ldots,\ n$, n - число горизонтальных границ; $k = 1, \ldots, m_j$; m_j - число вертикальных границ, $k = 1$ - соответствует стенке скважины.

Для учета влияния неровностей на стенке скважины (каверн) будем предполагать, что внутренняя цилиндрическая граница ($k = 1$, стенка скважины) в j-м пласте может иметь переменный радиус $\overline{r}_j$, отклоняющийся от номинального $r_j = r_1 + \Delta r_j(z)$, $z_{j-1} < z < z_j$ (рис. 2). Электропроводность в каверне такая же, как в скважине - σ_1. Трещины в $j-$м пласте представим в виде тонких пропластков радиальной глубины hr_j и мощностью h_j (с условием, что $h_j << hr_j$), заполненных буровым раствором (рис. 3).

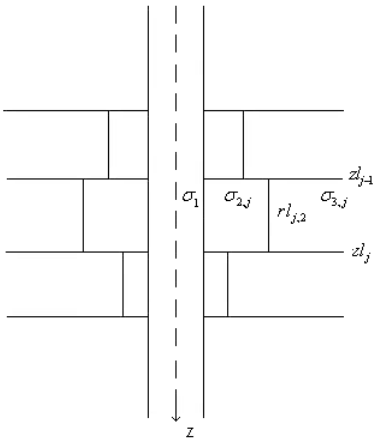


Рис. 1. Базовая модель среды

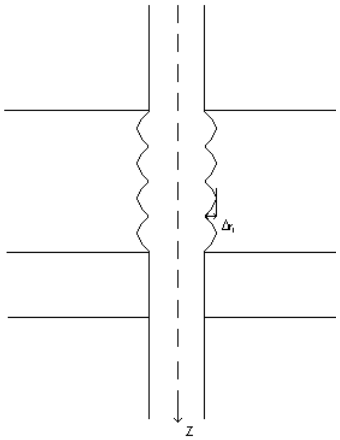


Рис. 2.Модель среды с кавернами

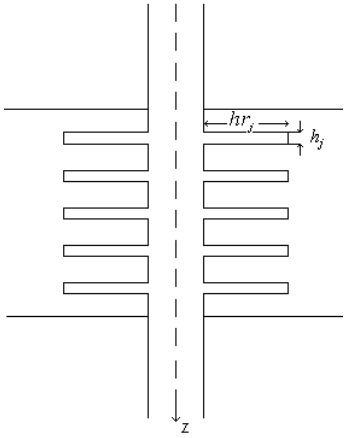


Рис. 3. Модель среды с трещинами

2. Анализ результатов численного моделирования

Исследуем влияния трещин и каверн на показания зондов БКЗ в однородном мощном пласте. Для всех расчётов была принята следующая базовая модель: $\sigma_1 = 50$ см/м, $\sigma_2 = 0.01$ см/м, $r_1 = 0.108$ м. В трещинах $\sigma_2 = 5$ см/м, $h_2 = 0.03$ м. Рассмотрим влияние на показание зондов БКЗ тонких трещин шириной 0.03 м и глубиной 0.05 м, равномерно расположенных на интервале от 0.11 м до 1.14 м через 0.25 м в плохопроводящем пласте. На рис. 4 приведен график кажущегося сопротивления для короткого зонда БКЗ длиной 0.5 м. Колебания, вызванные наличием трещин, присутствуют, причем наблюдается явное понижение кажущегося сопротивления к концу интервала. Каждый локальный минимум кривой сопротивлений соответствует положению трещин. Для остальных зондов диаграммы кажущегося сопротивления получились

аналогичными рассмотренной. Необходимо отметить, что колебания являются незначительными, в пределах точности измерений. На практических диаграммах влияние трещин едва ли будет заметно.

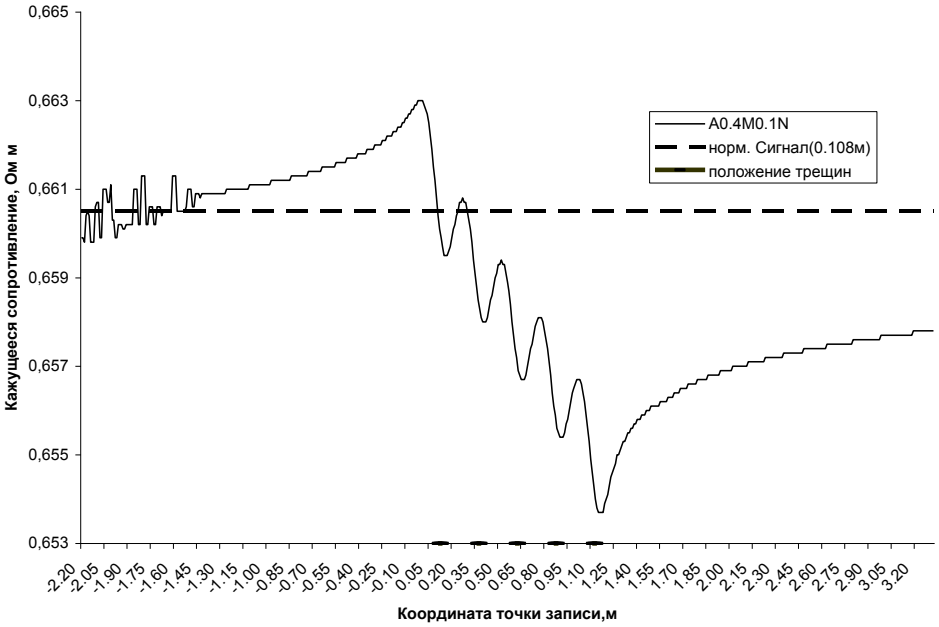


Рис. 4. Короткий зонд БКЗ. Модель с трещинами

На рис. 5а показаны диаграммы кажущегося сопротивления, когда в скважине присутствуют каверны разной глубины. При моделировании каверны задавались синусоидой, имеющий период 0.25 м. Для сравнения приведены кажущиеся сопротивления для гладких скважин радиуса 0.108 м, 0.113 м и 0.118 м. Увеличение глубины каверн, заполненных высокопроводящим раствором, приводит к понижению кажущегося сопротивления. Минимальное значение сопротивления на графиках соответствует максимальному отклонению каверны от стенки скважины.

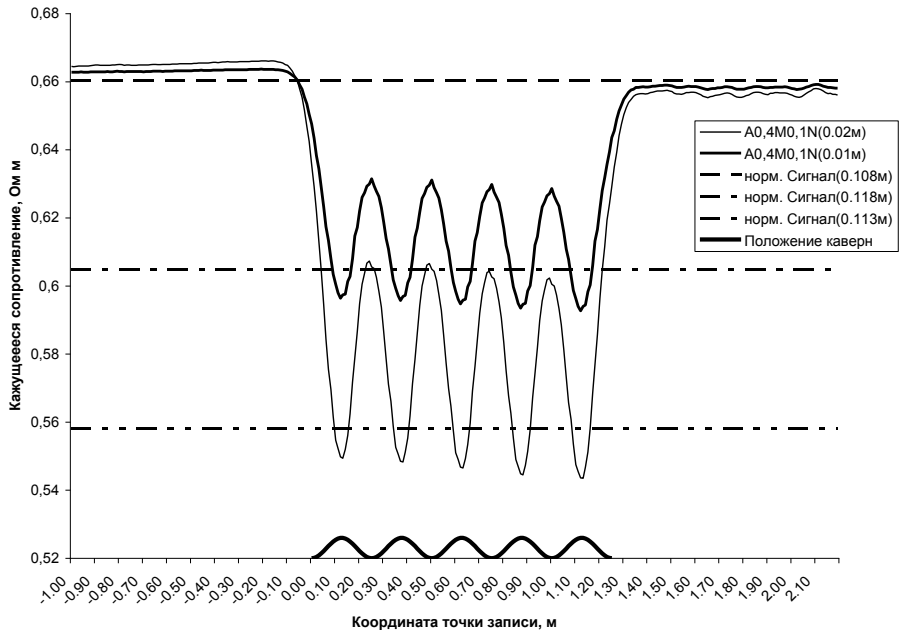


Рис. 5а. Короткий зонд 0.5 м. Пять каверн периода 0.25 м, глубиной 0.01 м и 0.02 м

Аналогичная картина наблюдается для зондов 0.2 м и 1 м. Для зондов 2 м и 4 м, имеющих базу 0.5 м, диаграммы меняются, учащается период колебаний. Это связано с тем, что между приемниками у этих зондов укладывается две каверны (рис. 5б).

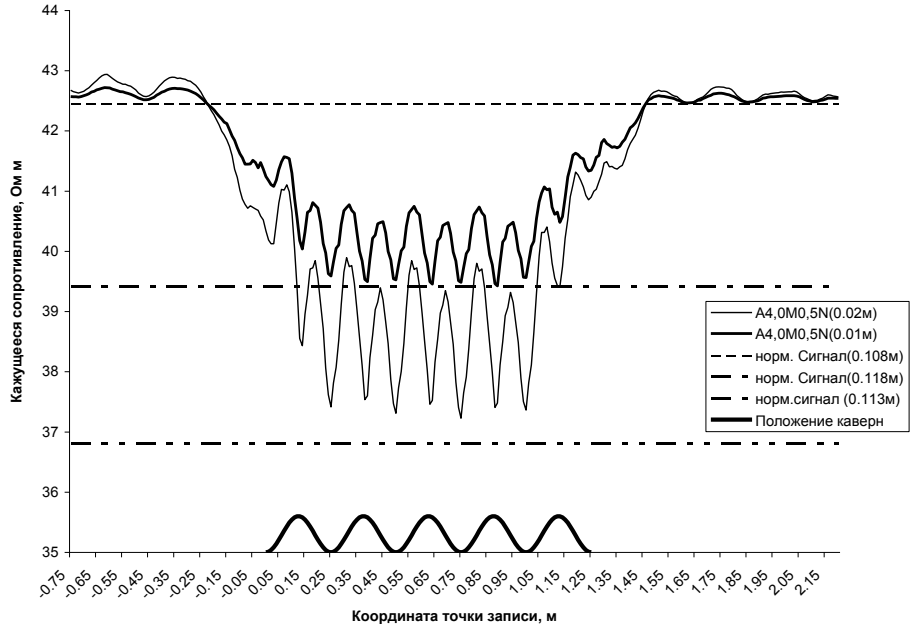


Рис. 5б. Зонд 4 м. Пять каверн периода 0.25 м глубиной 0.01 м и 0.02 м

Для длинного, 8-метрового зонда, у которого помещается 4 периода между приемниками, вновь наблюдается 5 минимумов, но при этом максимальному отклонению каверны от стенки скважины соответствует максимальное значение кажущегося сопротивления (рис.6). Это объясняется влиянием соседних каверн

на приемники. Увеличение глубины каверн так же, как и в предыдущем случае, приводит к понижению кажущегося сопротивления.

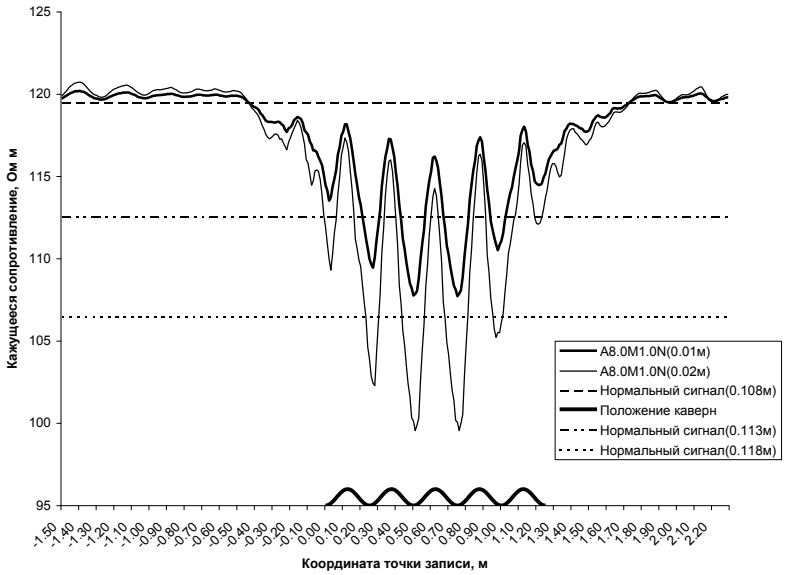


Рис. 6. Длинный зонд 8 м. Пять каверн периода 0.25 м глубиной 0.01 м и 0.02 м

На рис. 7 приведены графики кажущегося сопротивления в кавернозном интервале и кавернозном интервале, осложненном трещинами. Наличие трещин практически не влияет на показания зондов, как и в модели, соответствующей рис. 3.

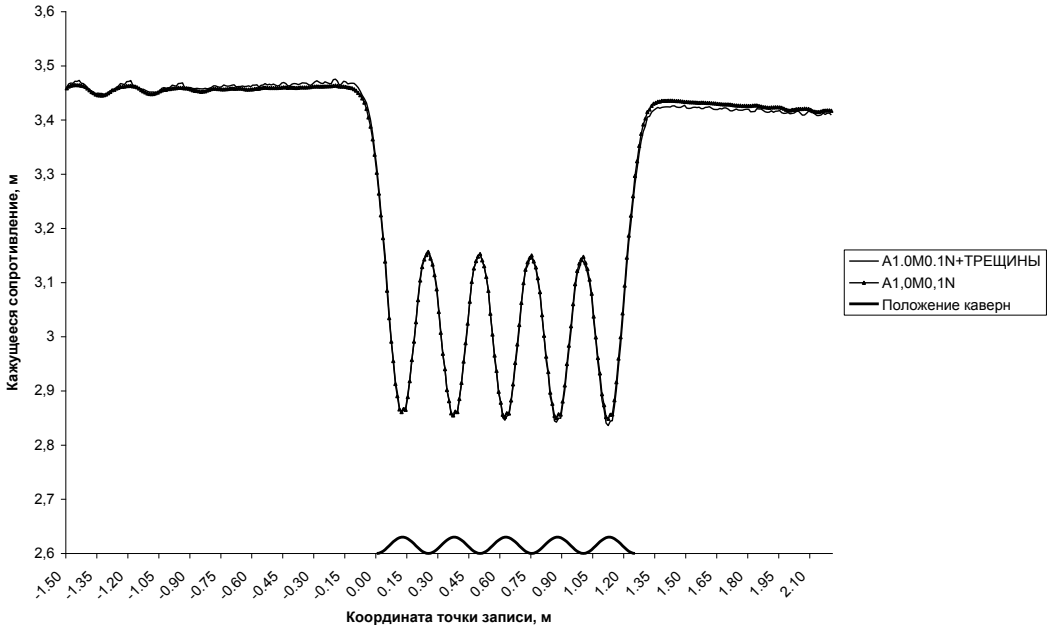


Рис. 7. Метровый зонд БКЗ. Пять синусоидальных каверн длиной 0.25 м, глубиной 0.01 м и пять каверн с трещинами, выходящими из «вершин» каверн (h = 0.03 м, hr = 0.05 м)

Заключение

На примере двумерного моделирования показано влияние неровностей стенки скважины, которое проявляется в виде колебаний и понижения кажущегося сопротивления на диаграммах зондов БКЗ. Для зондов, имеющих базу, меньшую, чем длина каверны, диаграмма, соответствующая кавернозному участку, повторяет рельеф стенки скважины.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дашевский Ю.А., Суродина И.В., Эпов М.И. Квазитрехмерное математическое моделирование диаграмм неосесимметричных зондов постоянного тока в анизотропных разрезах // Сибирский журнал индустриальной математики. Т. 5, № 3(11), 2002. С. 76-91.

2. Кузнецов Ю.И., Агапитова Н.С. Математические основы моделированияна ЭВМ. - Ю.-Сахалинск: Из-во ЮСИЭПИ, 2003, 213 с.

© И.В. Суродина, 2012