

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«ПЕРМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Пермское отделение межрегиональной общественной организации
«ЕВРО-АЗИАТСКОЕ ГЕОФИЗИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО»

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА РАЗВЕДОЧНОЙ И ПРОМЫСЛОВОЙ ГЕОФИЗИКИ

Материалы
Международной научно-практической конференции,
посвященной 85-летию Первой Всесоюзной
геофизической конференции
(г. Пермь, 23–24 ноября 2017 г.)



Пермь 2017

УДК 550.83
ББК 26.3242
Т32

*Главный редактор: д-р тех. наук, проф. **В. И. Костицын***

Теория и практика разведочной и промысловой
Т32 геофизики: материалы Междунар. науч.-практ. конф.,
посвящ. 85-летию Первой Всесоюзной геофизической
конференции (г. Пермь, 23–24 ноября 2017 г.) / гл. ред.
В. И. Костицын; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь,
2017. – 241 с.

ISBN 978-5-7944-2978-7

Материалы Международной научно-практической конференции
«Теория и практика разведочной и промысловой геофизики», состо-
явшейся 23–24 ноября 2017 г. в Пермском государственном нацио-
нальном исследовательском университете на кафедре геофизики, по-
священы 85-летию Первой Всесоюзной геофизической конференции и
освещают широкий спектр вопросов в области сейсморазведки, грави-
разведки, магниторазведки, электроразведки, петрофизики и геофизи-
ческих исследований скважин.

УДК 550.83
ББК 26.3242

*Печатается по решению ученого совета геологического факультета
Пермского государственного национального исследовательского университета*

Редакционная коллегия:

д-р тех. наук, проф. **В. А. Гершанок**

PhD, доц. **О. Н. Ковин**

д-р геол.-мин. наук, проф. **Б. А. Спасский**

канд. тех. наук, доц. **А. В. Шумилов**

ISBN 978-5-7944-2978-7

© ПГНИУ, 2017

На лицевой стороне обложки: фотографии участников

Первой Всесоюзной геофизической конференции

*На обратной стороне обложки: список участников Первой Всесоюзной
геофизической конференции, репрессированных в 1934–1939 гг.*

THE MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE
OF THE RUSSIAN FEDERATION

PERM STATE UNIVERSITY

EURO-ASIAN GEOPHYSICAL SOCIETY

THEORY AND PRACTICE OF EXPLORATION AND PETROLEUM GEOPHYSICS

Proceedings
of International Scientific and Practical Conference
devoted to 85th anniversary of the First All-Union
Geophysical Conference

(Perm, November 23–24, 2017)



Perm 2017

UDC 550.83
LBC 26.3242

Editor-in-Chief: Dr. Techn. Sci., Prof. **V. I. Kostitsyn**

Theory and practice of exploration and petroleum geophysics:
Proceedings of International Scientific and Practical Conference,
devoted to 85th anniversary of the First All-Union Geophysical Conference (Perm, November 23–24, 2017) / Ed. V. I. Kostitsyn; Perm State University. – Perm, 2017. – 241 p.

ISBN 978-5-7944-2978-7

Proceedings of International Scientific and Practical Conference «Theory and practice of exploration and petroleum geophysics» held on November 23–24, 2017 at Department of Geophysics of the Perm State University are devoted to the 85th anniversary of the First All-Union Geophysical Conference and highlight a broad scope of problems of seismics, gravity, magnetics, electrometry, petrophysics, and downhole logging.

UDC 550.83
LBC 26.3242

*Publication is confirmed by the Scientific Board
of Geological Faculty of Perm State University*

Editorial Board:

Dr. Techn. Sci., Prof. **V. A. Gershanok**

PhD, Docent **O. N. Kovin**

Dr. Geol.-Min. Sci., Prof. **B. A. Spasskiy**

Cand Techn. Sci., Docent **A. V. Shumilov**

ISBN 978-5-7944-2978-7

© Perm State University, 2017

Cover front image: pictures of participants of the First All-Union geophysical conference

Cover back image: list of participants of the First All-Union Geophysical Conference
repressed in 1934–1939

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Костицын В. И. К 85-летию Первой Всесоюзной геофизической конференции: опубликованные труды, принятые резолюции и дальнейшая судьба участников.....	12
Бахтерев В. В. Комплексные исследования при высоких температурах электрических параметров образцов магнетитовых руд Гороблагодатского железорудного месторождения.....	26
Березнев В. А., Никифоров В. В. Сопоставление упругих характеристик (скорости, затухания) волн с физико-механическими свойствами грунтов в пределах выделенных аномалий.....	30
Бобров В. Ю. Малоглубинная сейсморазведка при оценке техногенной изменчивости сейсмогеологических условий участков ВКМКС.....	34
Борисов А. В., Виноградов В. Б. Физико-геологическое моделирование Эмской площади.....	38
Боровский М. Я., Богатов В. И. Высокоточная гравиразведка при сопровождении процессов гидроразрыва продуктивного пласта.....	42
Бурдин Д. Л., Сальникова О. Л. Опыт применения ТК «Латераль» в скважинах со сложной конструкцией на объектах ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ».....	47
Бушуева Е. С., Ефремов И. Д., Овчинникова Е. А., Кулакова Н. В. Применение метода ВЭЗ для изучения карстовых полостей на Богомоловском месторождении гипса.....	54
Варзаков А. П., Зырянова А. В., Виноградов В. Б. Создание физико-геологической модели золоторудного месторождения...	58
Варов Е. Б. Разработка образовательных программ на основе профессиональных стандартов для нефтегазовой геофизики.....	62
Герасимова И. Ю., Горожанцев А. В., Огородова И. В. Результаты изучения пространства под бетонным покрытием методом георадиолокации.....	66
Гершанок В. А., Костицын В. И., Чадаев М. С. Сравнительная оценка ядерных и иных энергетических источников.....	70
Горбачёва А. П. Возможности спектрометрического гамма-каротажа при изучении литологических особенностей разреза...	75

Горожанцев С. В., Семенова Е. П., Лихачева О. Н., Левин Ю. Н. О регистрации ядерных взрывов 2016 года в КНДР дальневосточной сейсмологической сетью ФИЦ ЕГС РАН.....	82
Губайдуллин М. Г. Цифровой керн: взгляд на будущее.....	87
Долгаль А. С. Приближенные оценки влияния сферичности земли при интерпретации данных гравиразведки.....	92
Жикин А. А. Обработка данных комплексных малоглубинных сейсморазведочных исследований отраженными волнами по методике общей глубинной точки.....	96
Зрячих Е. С. Новые возможности и результаты электрического микросканирования на месторождениях Пермского Прикамья...	101
Каринский А. Д., Красносельских А. А. Каротаж электрической анизотропии; к обоснованию геофизического метода.....	106
Каринский А. Д., Даев Д. С., Филатова И. К., Юдин М. Н. Моделирование влияния имеющих разную форму объектов на результаты электропрофилирования.....	111
Кашин Г. С. Опыт комплексирования геолого-технологических исследований и каротажа в процессе бурения скважин.....	116
Ковин О. Н., Жуков А. А., Ворошилов В. А. Изучение анизотропии сильвинитовых пород методом георадар: Верхнекамское месторождение калийных солей.....	120
Колесников В. П., Ласкина Т. А. О повышении информативности интерпретации электрических зондирований.	124
Митюнина И. Ю. Использование геоинформационных технологий для решения задач нефтяной геологии.....	128
Некрасов А. С., Луппов В. И. Разделение карбонатных коллекторов с различной структурой порового пространства по данным геофизических исследований скважин.....	132
Новикова П. Н. Инженерная магниторазведка при локализации действующих и ликвидированных скважин в пределах промышленных территорий.....	139
Овчаренко А. В. Обработка и интерпретация временных рядов гравиметрического мониторинга.....	144
Паршаков Е. И., Ширяев К. Н. Использование классификаций электрометрических параметров при решении инженерно-геологических задач.....	146
Плешков Л. Д. Возможности метода главных компонент при анализе данных ГИС и исследований керна.....	151

Рябошапко С. М., Белоусов А. В. Оптимизация веса заряда с целью расширения спектра сейсмической записи и повышения производительности сейсморазведочных работ....	156
Сальникова О. Л., Черных И. А. Планирование и проведение геофизических исследований для решения задач по определению профиля притока в скважинах со сложным профилем.....	159
Серкина А. В. Повышение геологической эффективности данных ГИС.....	165
Сиротенко Л. В. О выделении газогидратов по данным ГИС....	171
Слепак З. М. Геофизические исследования для выявления сохранившихся остатков Собора во имя иконы Казанской Божией Матери и церквей на территории Казанского Богородицкого монастыря.....	175
Соснина Е. В., Гуляев П. Н., Губина А. И. Результаты исследований нетрадиционных коллекторов: комплекс ГИС для доманиковых отложений (D_{3dm}).....	181
Стогний В. В., Стогний Г. А. Гравитационные максимумы северо-западного Кавказа и Крыма как маркеры границы Восточно-Черноморской плиты.....	187
Тайницкий А. А., Кичигин А. В. Интерпретация данных электроразведки методом минимизации эмпирического риска...	191
Урдабаев А. Т. Комплексное геолого-геофизическое моделирование глубинных рудно-магматических структур Рудного Алтая с целью оптимизации поисков месторождений полиметаллов.....	195
Филимончиков А. А. Электроразведочные исследования в сложных инженерно-геологических условиях.....	202
Халилов Д. Г. Применение оптоволоконных технологий в скважинной геофизике.....	208
Цветков Г. А. , Шумилов А. В. , Ширяев П. Р., Шао Цайжуй Совершенствование каротажных приборов для измерения сопротивления пласта в процессе бурения скважин (LWD).....	213
Чухлов А. С. Возможности современного отечественного комплекса геофизических методов при решении геолого-технологических задач на месторождениях ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ».....	218
Шеремет Е. М., Бурахович Т. К., Николаев И. Ю. Геоэлектрические исследования при поисках углеводородов в Украине.....	225

Юдин М. Н., Даев Д. С., Каринский А. Д. О численном решении нестационарных задач геоэлектрики в неограниченных областях.....	232
Костицын В. И. Профессору Борису Алексеевичу Спасскому – 80 лет!	237

TABLE OF CONTENTS

	Page
Kostitsyn V. I. 85 th anniversary of the First All Union geophysical conference: publications, issued resolutions and further destiny of participants.....	12
Bakhterev V. V. A comprehensive study of electrical parameters of magnetite ore samples from the Goroblagodatskoye iron deposit at high temperature.....	26
Bereznev V. A., Nikiforov V. V. Comparison of elastic properties (velocity, attenuation) of the waves with the physical-mechanical properties of soils within the allocated anomalies.....	30
Bobrov V. Y. Shallow seismic exploration for assessment of technogenic variability of seismogeological conditions of territory of the UKPS.....	34
Borisov A. V., Vinogradov V. B. Physical-geological modeling of the Emskaya area.....	38
Borovskiy M. Ya., Bogatov V. I. High-precision gravity for studying the processes of hydraulic fracturing of reservoir.....	42
Burdin D. L., Salnikova O. L. The experience of using TC «Lateral» in wells with complicated structure at the fields of LLC «LUKOIL-PERM».....	47
Bushueva E. S., Efremov I. D., Ovchinnikova E. A., Kulakova N. V. Application of the VES method for study of karstic cavities at the Bogomolovskoe gypsum deposit.....	54
Varzakov A. P., Zyryanova A. V., Vinogradov V. B. The creation of physical-geological model of gold deposit.....	58
Varov E. B. Development of educational programs based on professional standards for oil and gas geophysics.....	62
Gerasimova I. Y., Gorozhantsev A. V., Ogorodova I. V. Results of studying the space under concrete slab by georadiolocation method.....	66
Gershanok V. A., Kostitsyn V. I., Chadayev M. S. Comparative assessment of nuclear and other energy sources.....	70
Gorbacheva A. P. Opportunities of the spectrometric gamma logging for study of lithological features of cross-section.....	75
Gorozhantsev S. V., Semenova E. P., Likhacheva O. N., Levin Yu. N. About recording the nuclear explosions at 2016 in the North Korea by the Far East seismological network of the Geophysical Survey of RAN.....	82

Gubaydullin M. G. Digital core: forward insight.....	87
Dolgal A. S. Approximate estimates of the influence of the earth's sphericity on the gravity interpretation data.....	92
Zhikin A. A. Data processing of integrated shallow seismic reflection survey.....	96
Zryachihk E. S. New opportunities and results of electric microscanning on fields of the Perm region.....	101
Karinskiy A. D., Krasnoselskikh A. A. An electrical anisotropy logging; to foundation of geophysical method.....	106
Karinskiy A. D., Daev D. S., Filatova I. K., Yudin M. N. Modeling the effect of objects with different shapes on the results of electrical profiling.....	111
Kashin G. S. Experience of combining of the geological-technological investigation and logging while drilling.....	116
Kovin O. N., Zhukov A. A., Voroshilov V. A. Georadar usage for study of the silvynite rocks anisotropy: Verkhnekamskoe potash Deposit.....	120
Kolesnikov V. P., Laskina T. A. Improvement of informative efficiency of electrical sounding interpretation.....	124
Mityunina I. Yu. The use of geoinformational technologies for solving the problems of oil geology.....	128
Nekrasov A. S., Luppov V. I. The separation of carbonate reservoirs with different pore space structure according to wells geophysical studies.....	132
Novikova P. N. Engineering magnetometry for location of active and abandoned wells on the industrial areas.....	139
Ovcharenko A. V. Processing and interpretation of time series of the gravity monitoring.....	144
Parshakov E. I., Shiryaev K. N. Classification of electrical parameters for solution of geoengineering problems.....	146
Pleshkov L. D. Principal component analysis inwell logging and core data correlation.....	151
Ryaboshapko S. M., Belousov A. V. Optimization of charge weight to expand the spectrum of seismic records and to enhance the productivity of seismic exploration.....	156
Salnikova O. L., Chernykh I. A. Planning and conducting geophysical studies to determine the inflow profile in wells with a difficult profile.....	159
Serkina A. V. The increase of geological effectiveness of GIS data..	165
Sirotenko L. V. About detection of gas hydrates using borehole logging data.....	171

Slepak Z. M. Geophysical prospecting for the location of the preserved remnants of the Cathedral of Kazan's Holy Virgin icon and church buildings on the premises of the Kazan Bogoroditskiy nunnery.....	175
Sosnina E. V., Gulyaev P. N., Gubina A. I. Results of investigations of nonconventional reservoirs: well logging for domanic deposits (D_{3dm}).....	181
Stogny G. A., Stogny V. V. Gravity maximums of the north-western Caucasus and Crimea as border marks of the East-Black Sea Plate.....	187
Taynitskiy A. A., Kichigin A. V. Interpretation of electrical survey data by the method of minimizing the empirical risk.....	191
Urdabayev A. T. Integrated geophysical modeling of deep ore-magmatic structures of the Rudny Altay for optimization of polymetallic deposits prospecting.....	195
Filimonchikov A. A. Electrical exploration in difficult geoengineering conditions.....	202
Khalilov D. G. Application of the optical fiber technologies in borehole geophysics.....	208
G. A. Tsvetkov G. A., Shumilov A. V., Shiryayev P. R., Shao Cairui. Development of the logging while drilling (LWD) tools for downhole formation resistivity measurements.....	213
Chukhlov A. S. The opportunities of modern domestic complex of geophysical methods for solving geological and technological problems in the fields of «LUKOIL-PERM».....	218
Sheremet E. M., Burakhovych T. K., Nikolaev I. Yu. Geoelectrical prospecting for hydrocarbons exploration in Ukraine...	225
Yudin M. N., Daev D. S., Karinskiy A. D. On the numerical solution of the unsteady problems of geoelectrics in unlimited regions.....	232
Kostitsyn V. I. 80 th anniversary of professor Boris Alekseevich Spasskiy!.....	237

В. И. Костицын
Пермский государственный национальный
исследовательский университет, г. Пермь

**К 85-ЛЕТИЮ ПЕРВОЙ ВСЕСОЮЗНОЙ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ: ОПУБЛИКОВАННЫЕ ТРУДЫ, ПРИНЯТЫЕ
РЕЗОЛЮЦИИ И ДАЛЬНЕЙШАЯ СУДЬБА УЧАСТНИКОВ**

V. I. Kostitsyn
Perm State University, Perm

**85TH ANNIVERSARY OF THE FIRST ALL UNION
GEOPHYSICAL CONFERENCE: PUBLICATIONS, ISSUED
RESOLUTIONS AND FURTHER DESTINY OF PARTICIPANTS**

Первая Всесоюзная геофизическая конференция состоялась 85 лет назад (22–27 марта 1932 г.) в г. Свердловске [10]. За прошедшие годы геофизические методы успешно развивались, достигнуты серьезные успехи в поисках месторождений нефти, газа, рудных полезных ископаемых. Существенно преобразился парк геофизической аппаратуры, основанный на цифровых методах записи полевой информации. Разработаны новые методики полевых наблюдений и на совершенно другом уровне выполняются обработка и интерпретация геофизических данных. Широко применяются математические методы и компьютерные технологии обработки и интерпретации геолого-геофизической информации.

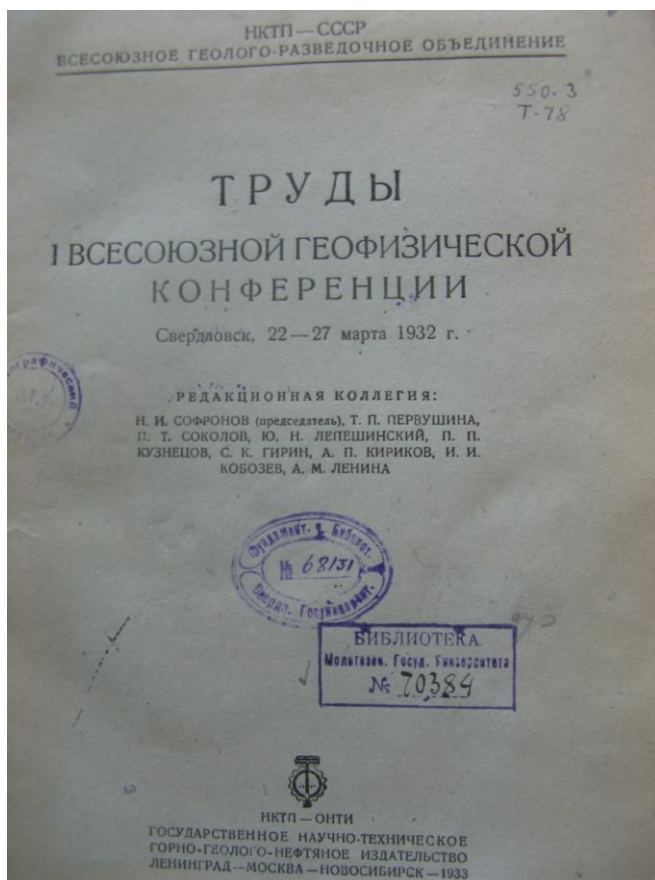
Для понимания широты рассмотрения вопросов приведем перечень докладов, опубликованных в Трудах Первой Всесоюзной геофизической конференции [10], развернутые резолюции конференции (без редакционной правки), список наиболее активных участников и их дальнейшую судьбу.

**Перечень докладов, опубликованных в Трудах
Первой Всесоюзной геофизической конференции**

Предисловие к трудам написано инженером Геофизического сектора ЦНИГРИ **Н. И. Софроновым** [1] (его поздние работы публикуется под фамилией Сафронов).

Пленарные заседания

1. Вступительный доклад на I Всесоюзной геофизической конференции. **Д. А. Петровский**. Москва, зам. начальника Союзгеоразведки.



2. Исторический обзор развития геофизических методов георазведки за границей и в СССР и дальнейшие перспективы и задачи. Инж. **П. Т. Соколов**. Ленинград, Геофизический сектор ЦНИГРИ.

3. Современное состояние электрометрических методов разведки руд цветных металлов. Проф. **В. Р. Бурсиан**. Ленинград, Геофизический сектор ЦНИГРИ.

4. Магнитометрические методы разведки черных металлов. Инж. **П. П. Кузнецов**. Ленинград, Геофизический сектор ЦНИГРИ.

5. О геофизических поисках неметаллических полезных ископаемых. Инж. **С. К. Гирин** [2, 3, 4]. Ленинград, Геофизический сектор ЦНИГРИ.

6. О плане научно-исследовательских работ Геофизического сектора ЦНИГРИ. Инж. **Ю. И. Лепешинский**. Ленинград, Геофизический сектор ЦНИГРИ.

7. Состояние и практическое развитие радиометрических и геотермических методов разведок. Геолог. **А. П. Кириков**. Ленинград, Геофизический сектор ЦНИГРИ.

8. Сейсмические методы георазведки в применении к решению вопросов глубинной геологии. Инж. **П. Т. Соколов**. Ленинград, Геофизический сектор ЦНИГРИ.

9. Применение электрометрических методов к решению задач глубинной и структурной геологии. Инж. **И. И. Кобозев**. Ленинград, Геофизический сектор ЦНИГРИ.

10. Итоги геофизических работ за 1931 г. и план их на второе пятилетие. Инж. **П. Ф. Родионов**. Москва, Союзгеоразведка.

11. Роль, значение и задачи Уральского геофизического и горно-геометрического института. Проф. **П. К. Соболевский**. Свердловск, Уральский геофизический институт.

12. Генеральная магнитная съемка СССР. **Н. Е. Малинина**. Ленинград, Гидрометкомитет.

13. О маятниковых наблюдениях в СССР и о геофизических работах Ленинградского нефтяного института в 1931 г. **Б. Ю. Козловский** [6]. Ленинград, Астрономический институт.

I. Электрометрическая секция

1. Итоги геофизических работ в Казахстане за 1931 г. и план работ на 1932 г. Инж. **С. А. Поярков**. Семипалатинск, Казгеолтрест.

2. Геофизические работы на Рудном Алтае. **А. П. Соловов**. Рудно-Алтайская группа геофизических партий (Казгеолтрест) и Геофизический сектор ЦНИГРИ.

3. Результаты и перспективы электроразведочных работ в Калатинском районе на Урале (конспект доклада). **П. А. Сычев**. Свердловск.

4. Итоги электроразведочных работ в Карабашском районе на Урале за время 1928–1932 гг. (Тезисы к докладу). **В. Г. Комин**. Свердловск.

5. Результаты применения методов индукции и естественного тока в Карабашском районе. **Н. И. Шахов**. Севцветметзолото.

6. Информация о результатах электроразведочных работ по методу сопротивления на нефть в Грозненском районе. **А. П. Морозов**. Грознефть.

7. Основные моменты современного состояния электроразведки

руд цветных металлов (Тезисы к докладу). Проф. **В. Р. Бурсиан**. Ленинград, Геофизический сектор ЦНИГРИ.

8. Результаты работ Уральской опытной электрометрической партии летом 1931 г. (краткое изложение). **Ю. Н. Лепешинский**. Ленинград, Геофизический сектор ЦНИГРИ.

II. Магнитометрическая секция

1. Вступительное слово председателя о задачах секции. Инж.

П. П. Кузнецов. Ленинград, Геофизический сектор ЦНИГРИ.

2. Обзор уральских магнитометрических работ. **Г. А. Баженов**. Свердловск, Уральский РГРТ.

3. Результаты магнитометрических работ 1931 г. на территории Восточно-Сибирского края и план работ на 1932 г. **В. А. Астапович**. Иркутск, Вост.-Сиб. РГРТ.

4. Результаты магнитометрической съемки в районе Кузнецкстроя и план на 1932 г. **П. И. Соболев**. Томск, Зап.-Сиб. РГРТ.

5. О магнитометрических работах по Вишерскому району. **Калганов**. Свердловск, Уральский РГРТ.

6. Итоги работ в Кривом Роге (краткое изложение). Инж. **П. П. Кузнецов**. Ленинград, Геофизический сектор ЦНИГРИ.

7. О магнитной разведке бурых железняков. Инж. **П. П. Кузнецов**. Ленинград, Геофизический сектор ЦНИГРИ.

8. О работах на железняках в Тульском районе. **Н. Е. Малинина**. Ленинград, Гидрометкомитет.

9. Результаты магнитометрических работ на Каменско-Синарском месторождении. **Н. Е. Малинина**. Ленинград, Гидрометкомитет.

10. О работах 2-й Каменско-Синарской магнитометрической партии (краткое изложение). **Д. А. Яковлев**. Урал, нач. 2-й Каменско-Синарской партии.

11. Дифференциация горных пород и контакты. **Красулин**. Урал, нач. Гумбейской микромагнитной партии.

12. Тезисы. Проф. **Н. А. Булгаков**. Ленинградский государственный университет.

13. Заключительное слово председателя секции. Инж. **П. П. Кузнецов**. Ленинград, Геофизический сектор ЦНИГРИ.

III. Гравитационно-сейсмическая секция

1. О гравиметрических разведках на хромиты. 1. Проф. **П. К. Соболевский**. Свердловск Уральский геофизический институт.
2. **С. К. Гирин** [2, 3, 4]. Ленинград, Геофизический сектор ЦНИГРИ.

2. Результаты гравитационных наблюдений в Соликамском районе. **С. И. Алексеев**. Урал.
3. О гравиметрических работах на уголь и железо. Инж. **С. К. Гирин** [2, 3, 4]. Ленинград, Геофизический сектор ЦНИГРИ.
4. О связи гравиметрических работ с тектоникой и о сочетании их с методом горно-геометрическим. Проф. **П. К. Соболевский**. Свердловск, Уральский геофизический институт.
5. О маятниковых наблюдениях. **И. А. Дюков**. Казань, университет.
6. План гравиметрических работ по Союзу ССР на 1932 г. Инж. **С. К. Гирин** [2, 3, 4]. Ленинград, Геофизический сектор ЦНИГРИ.
7. План гравитационно-сейсмических работ по Уралу на 1932 г. и состояние аппаратуры. Проф. **П. К. Соболевский**. Свердловск, Уральский геофизический институт.

По докладам Первой Всесоюзной геофизической конференции было принято **11 развернутых резолюций** по всему спектру геофизических методов и актуальности решаемых вопросов [9, 10], здесь приведем две из них (без редакторской правки). Резолюции по конкретным геофизическим методам были приведены автором данной статьи в работе [8].

Общая резолюция Первой Всесоюзной геофизической конференции (часть II)

Наша страна по богатству своих недр представляет исключительное сочетание полезных ископаемых. А между тем организация геологоразведочных работ не только не опережает нужды народного хозяйства, но отстает от темпов наиболее важных отраслей социалистической стройки. Новые гигантские требования к разведочному делу не могут быть удовлетворены только старыми методами разведок. Требуется активная мобилизация и комплексное применение всех методов разведочного дела. Геофизические методы разведок, являясь составной частью общей системы геологоразведочного дела в выполнении задач, стоящих перед разведками, должны получить максимальное развитие.

1. Отмечая значительный размах применения геофизических методов в разведках, Конференция констатирует, что их применение находится пока на уровне, не обеспечивающем выполнения поставленных партией задач. Общий размах применения геофизических работ явно недостаточен. Так, из 2100 геологоразведочных партий в системе Союзгеоразведки на 1931 г. по геофизике было всего 133, нет един-

ства и общего плана в организации и распределении геофизических работ, слабо развитие геофизических методов разведок в районах Казахстана, Восточной и Западной Сибири, Средней Азии, Урала, в центральной части РСФСР и совершенно не освоены еще районы севера СССР.

2. Советская геофизика, достигнувшая серьезных успехов как в области теоретической, так и практической, еще в значительной степени базируется на импортном оборудовании. Задача разрешения проблемы конструирования и изготовления своей собственной аппаратуры и приборов является основной и ближайшей задачей.

3. Конференция отмечает недостаточно плановую постановку научно-исследовательских ячеек на местах. Прикладная геофизика еще недостаточно повернулась к потребностям народного хозяйства.

4. В практической работе по геофизическим методам разведок шесть исторических условий тов. Сталина еще не получили должного применения и развития. Социалистическое соревнование и ударничество еще не стали организующим началом в практической работе геофизических разведочных партий.

5. Конференция отмечает совершенно недостаточную увязку планов геофизических и геологоразведочных работ, в результате чего практические результаты геофизической разведки не всегда получают полное применение и использование в разведке. Одновременно Конференция отмечает недостаточное внимание к геофизическим разведкам со стороны геологоразведочных работников и хозяйственных предприятий.

6. Грандиознейшие задачи, поставленные хозяйственным планом второй пятилетки, требуют широкого развертывания поисковых разведочных работ и в частности максимального развития геофизических разведок как в области поисков новых месторождений полезных ископаемых, оконтуривания уже разрабатываемых месторождений, так и в области нахождения новых методов прикладной геофизики на поиски новых объектов полезных ископаемых.

7. Одним из решающих условий обеспечения бурного развития творческой научной и практической деятельности в области геофизики является перестройка всей научно-исследовательской и практической работы на основе методов диалектического материализма. Геофизика, основанная на достижениях математики, физики и геологии, еще засорена метафизическими и механистическими теориями. Борьба с метафизикой, механицизмом и другими извращениями в области научной работы и практической деятельности должна стать

основной задачей в выполнении плана геофизических работ текущего года.

8. Конференция отмечает, что вызванная бурным ростом народного хозяйства множественность организаций, ведущих геофизические разведки, при отсутствии планово-объединяющего руководства приводит к разрозненности усилий по разработке новых методов, недостаточному ознакомлению с достижениями работающих организаций, а подчас к повторению проделанных работ на одном и том же месте. Исходя из этого, Конференция считает, что постановление ЦКК РКИ о геологоразведочном деле должно быть полностью осуществлено в области геофизических разведок. Союзгеоразведка должна стать основным органом, планирующим и координирующим работу по применению геофизики в разведочном деле всех организаций, ведущих геофизические разведки.

9. Для улучшения постановки геофизических разведок необходимо из общего плана геологоразведочных работ выделить объекты, подлежащие геофизическому исследованию, установить для них очередность во времени и наиболее целесообразный метод геофизической разведки, для чего закончить начатый анализ фактического накопления материала по геофизическим разведкам.

10. Конференция считает, что для успешного составления реального плана геофизических работ по Союзу необходимо иметь четко сформулированный план всех геофизических работ, как основу, определяющую объем и направление в развитии прикладной геофизики.

11. Включение в сферу разведочных работ новых объектов минерального сырья ставит перед научно-исследовательскими институтами по геофизике задачу широкого развития предварительной научно-исследовательской и экспериментально-опытной работы на основе непосредственной увязки с практикой разведочного дела. Конференция считает необходимым, наряду с усилением Центрального научно-исследовательского геологоразведочного института в области геофизики, также усиление научно-исследовательских институтов и ячеек на местах, организуя работу последних в соответствии с требованиями мест (уголь, нефть, руды, стройматериалы и т. д.) под углом зрения максимальной увязки данных геофизики с геологией. Конференция считает необходимым особо отметить необходимость усиления Геофизического сектора ЦНИГРИ, являющегося основным ядром геофизических работ, и Уральского геологоразведочного геофизического института, являющегося важной научно-исследовательской единицей в области геофизических методов на территории Урало-Кузбасса.

12. В целях лучшего использования результатов геофизических работ, получения возможности углубленной интерпретации последних и выявления возможности метода Конференция обращает внимание всех геологов и разведчиков на изучение и проверку геофизических работ со стороны геологов и хозобъединений.

13. Конференция считает необходимым широко организовать популяризацию геофизических методов разведок полезных ископаемых как при помощи геофизического журнала, так и при помощи всей прессы, в первую очередь органов Союзгеоразведки: «Вестник Союзгеоразведки» и «Разведка недр». Одновременно необходимо создать действительно массовую популярную литературу по геофизике. Конференция уверена, что геофизика, поставленная на службу социалистического хозяйства, может сыграть организующую роль в деле познания естественных богатств нашей земли, столь необходимого для победы социализма.

Резолюция о роли и месте научно-исследовательских институтов

1. Конференция целиком и полностью поддерживает политику Союзгеоразведки, направленную на то, чтобы во чтобы то ни стало увязать научно-исследовательскую работу в целом с оперативной геологоразведочной работой под углом зрения нашего социалистического хозяйства и в первую очередь нашей социалистической промышленности.

2. Конференция считает, что Союзгеоразведка обязана всемерно укреплять научно-исследовательскую работу по геофизическим разведкам на основе непосредственной увязки этой работы со всеми геологоразведочными работами. Для этой цели Союзгеоразведка должна всемерно поддерживать все существующие научно-исследовательские организации по геофизическим методам разведок; одновременно Конференция считает необходимым организацию научно-исследовательских ячеек по геофизическим разведкам на местах, в трестах, на территории которых ведутся большие геофизические разведки.

3. В целях правильного перенесения и широкого использования иностранного опыта в СССР, Конференция считает необходимым практиковать:

а) заграничные командировки работников по геофизическим разведкам как производственников, так и научных работников;

б) приглашение иностранных специалистов как для работ в поле, так и для консультации;

в) регулярную выписку иностранной литературы по геофизическим методам разведки как периодическую, так и основную.

4. Отмечая недостаточное планирование работ научно-исследовательских институтов по геофизическим разведкам, Конференция считает необходимым усилить эту работу, проводя все планирование научно-исследовательской работы через НИС Союзгеоразведки.

5. Отмечая крупные достижения в работе Геофизического сектора ЦНИГРИ, Конференция обращает внимание Союзгеоразведки на необходимость дальнейшего развития и укрепления Геофизического сектора ЦНИГРИ. Одновременно Конференция вменяет в обязанность Геофизического сектора ЦНИГРИ помощь в создании и укреплении научно-исследовательских институтов и ячеек по геофизическим разведкам на местах.

6. Отмечая возросшие потребности в обмене опытом, в ознакомлении работников по геофизическим разведкам с опытом работы, Конференция считает необходимым организацию специального печатного органа – периодического журнала – по геофизическим методам разведок. Одновременно Конференция поручает ЦНИГРИ организовать издание библиографического справочника по геофизической литературе. Конференция обязывает всех работников по геофизическим методам разведок принять активное участие в обмене опытом и в ознакомлении всей массы геологоразведочных работников с достижениями и методикой по геофизическим разведкам на страницах «Известий Союзгеоразведки» и журнала «Разведка недр».

Такие же развернутые резолюции были приняты по геофизическим методам (электрометрии, магнитометрии, гравиметрии, сейсмическим методам, радиометрии), о кадрах и труде, изготовлению аппаратуры, внедрению хозрасчета в геофизические работы и широкому спектру других проблем того времени [9, 10]. Многие из них остаются актуальными и в настоящее время.

Дальнейшая судьба участников конференции

При анализе имеющихся справочных документов оказалось, что 12 участников Всесоюзной геофизической конференции (из 40 чел., которые выступали с докладами и в прениях) были репрессированы в 1934–1939 гг.: **Г. А. Баженов, В. Р. Бурсиан, С. К. Гири́н, М. Ф. Думнис, А. П. Кириков, Б. Ю. Козловский, П. П. Кузнецов, Ю. Н. Лепешинский, Т. П. Первушина, Н. И. Сафронов, П. И. Соболев, П. Т. Соколов** [9]. Почти все они обвинены в принадлежности к контррево-

люционной фашистской организации, имевшей террористические цели, или подготавливавшие покушение на И. В. Сталина (геофизическая ветвь «пулковского дела»). В 1956–1957 гг. они реабилитированы ВК Верховного Совета СССР, но многие из них уже, к глубокому сожалению, посмертно [7].

О многих участниках конференции нет никакой информации в справочнике «Геофизики России» [5]. О некоторых из них удалось найти краткие сведения в отдельных геофизических статьях и через систему Интернет в разделах о репрессированных геологах и геофизиках. Приведем краткие сведения о них.

1. **БАЖЕНОВ Георгий Александрович** (1899–1961). Геофизик, специалист по магнитометрической съемке. Сотрудник ЦНИГРИ, на Всесоюзной геофизической конференции в 1932 г. представлял Уральский геологоразведочный трест (г. Свердловск). Репрессирован.

2. **БУРСИАН Виктор Робертович** (1886–1945). Геофизик, физик-теоретик, специалист по электро- и термодинамике, физике кристаллов, теории лектроразведки, доктор физ.-мат. наук, уроженец Петербурга, сын врача. Окончил физико-математический факультет Санкт-Петербургского университета. До 1919 г. преподавал физику в Петроградском политехническом институте, с 1919 – в ЛГУ, профессор (1932), заведующий кафедрой теоретической физики, декан физического факультета (1933), директор Научно-исследовательского физического института при ЛГУ (1934). Сотрудник различных геофизических подразделений Геолкома-ЦНИГРИ, организатор и руководитель электроразведочных работ. В 1928–1933 гг. – участник ряда экспедиций (Урал, Западно-Сибирская низменность, Кузбасс, Кузнецкий Алатау, Прикаспийская низменность, Баку). Арестован 15 октября 1936 г., обвинен в принадлежности к «контрреволюционной фашистской организации», имевшей террористические цели и подготавливавшей покушение на Сталина (геофизическая ветвь «пулковского дела»). По показаниям арестованных, в письменном столе в его служебном кабинете долгое время лежал револьвер, исчезнувший в 1935 г. Это утверждение В. Р. Бурсиан решительно отвергал. Умер в заключении. Реабилитирован определением ВК ВС СССР 8 декабря 1956 г.

3. **ГИРИН Сергей Кузьмич** (1896–1937). Уроженец д. Фоминское Калязинского уезда Тверской губернии. Геофизик, гравиметрист, кандидат технических наук [2, 3, 4]. Окончил ЛГИ (1925), работал там же (преподаватель, заведующий кабинетом гравиметрии, помощник декана) и в геофизическом секторе ЦНИГРИ, в научно-исследовательских полевых партиях, выпустил пособия для студентов и

справочную книгу геофизика-разведчика [4]. Член редакционной коллегии «Трудов I Всесоюзной геофизической конференции». Научный руководитель завода «Геологоразведка». Арестован 13 сентября 1936 г. (геофизическая ветвь «пулковского дела»). Выездной сессией ВК ВС СССР в г. Ленинграде 23 мая 1937 г. приговорен по ст. ст. 58, п. 6, 8, 11 к высшей мере наказания. Расстрелян в день вынесения приговора. Реабилитирован определением ВК ВС СССР 3 декабря 1957 г.

4. **ДУМПИС Макс Францевич** (1893–1938)¹. Родился в Курляндской губернии. Советский дипломат, геофизик. Унтер-офицер 4-го латышского полка, чл. РСДРП(б) с февр. 1917 г. В апреле 1918 г. назначен московским губернским военным комиссаром. С 1919 г. работал в Латвии: чл. РВС Латармии и Рижского ревкома, военком оперативного упр. штаба Зап. фронта; в 1920–1921 гг. командовал 10-й и 170-й бригадами на Польском фронте. Во второй половине 1921 г. отозван из армии и направлен в НКВД. Генконсул РСФСР в Тебризе (Персия; сент. 1921 г. – янв. 1923 г.), генконсул СССР в Мазари-Шерифе (Афганистан; февр. 1923 г. – июнь 1925 г.) и Кашгаре (Китай; июль 1925 г. – март 1928 г.). В Мазари-Шерифе завербован ОГПУ и принял на себя функции резидента советской разведки. В 1928 г. работал в секции водного хозяйства Госплана СССР. В 1930 г. окончил Горную академию в Москве, в 1931 г. – экстерном геофизический факультет МГРИ, работал преподавателем, заместителем декана геофизического факультета. В 1932 г. руководил комплексной экспедицией физических методов разведки в Якутии. В 1933–1935 гг. работал в Главном геологоразведочном управлении НКТП; с дек. 1936 г. по март 1937 г. исполнял обязанности директора Московского горного института. С июля 1937 г. исполнял обязанности научного сотрудника АН СССР по Группе технической физики. Награжден орденом Красного Знамени. В канун ареста – ст. научный сотрудник АН СССР. Арестован в ночь с 23 на 24 декабря 1937 г., 19 февраля 1938 г. ВК ВС СССР приговорен к высшей мере наказания (шпионаж, КРТО). Приговор приведен в исполнение в тот же день на полигоне НКВД «Коммунарка». Реабилитирован ВК ВС 5 мая 1956 г.

5. **КИРИКОВ Андрей Павлович** (1892–1937). Геофизик, геохимик, доктор геолого-минералогических наук, профессор, создатель радиометрического метода поисков. Окончил ПГИ (1923). В 1920-е годы – научный сотрудник Радиевого института. К моменту ареста – заведующий радиометрической лабораторией ЦНИГРИ (г. Ленинград),

¹ Информацию представил Ю.И. Блох, доктор физико-математических наук, профессор, г. Москва.

преподаватель ЛГИ. Арестован 7 ноября 1936 г. (геофизическая ветвь «пулковского дела»), находился в «Крестах». 26 мая 1937 ВК ВС приговорен по ст. 58, п. 10, 11 к тюремному заключению на 10 лет с конфискацией имущества и последующим поражением в правах на 5 лет. После вынесения приговора переведен в Грязовец Вологодской области. Переписка оборвалась в 1937 г. Посмертно реабилитирован 8 декабря 1956 г. В сентябре 1937 г. была арестована его жена и осуждена как ЧСИР на 5 лет ИТЛ.

6. **КОЗЛОВСКИЙ Борис Юрьевич** (1892–1953). Астроном, геодезист, гравиметрист, один из первых специалистов отечественной нефтяной геофизики. Князь, сын царского генерала, представитель рода А. С. Пушкина. Арестован в декабре 1934 г. Осужден ОСО при НКВД СССР по ст. 58, п. 10 и приговорен к 5 годам ИТЛ [6]. В последние годы работал в Пермском университете, преподавал геофизические дисциплины. Умер в апреле 1953 г., похоронен на Егошихинском кладбище г. Перми. По инициативе кафедры геофизики Пермского университета и Пермского отделения Евро-Азиатского геофизического общества ему и его сестре княжне Ольге Юрьевне установлен новый гранитный памятник в 2013 г.

7. **КУЗНЕЦОВ Павел Петрович** (1887–1937). Геофизик, магнитометрист, специалист по горной геометрии, уроженец Сердобска Саратовской губернии. Окончил ПГИ (1916), с 1919 доцент ПГИ, работал на кафедре геофизики. В 1932 г. – инженер Геофизического сектора ЦНИГРИ (г. Ленинград). Член редакционной коллегии «Трудов I Всесоюзной геофизической конференции». Арестован 8 октября 1936 г. (геофизическая ветвь «пулковского дела»). Выездной сессией ВК ВС СССР в Ленинграде 22 мая 1937 г. приговорен по ст. 58, п. 8, 11 к высшей мере наказания. Расстрелян 23 мая 1937 г. Реабилитирован 3 декабря 1957 г.

8. **ЛЕПЕШИНСКИЙ Юрий (Георгий) Николаевич** (1891–1937). Уроженец с. Литвиновичи Могилевской губернии. Геофизик, специалист по электрометрическим и магнитометрическим методам поисков. Инженер, научный сотрудник Геофизического сектора ЦНИГРИ (г. Ленинград), профессор ЛГИ. Член редакционной коллегии «Трудов I Всесоюзной геофизической конференции». Преподавал также в ЛГУ. Арестован 20 сентября 1936 г. в Зырянске (Рудный Алтай) по обвинению в принадлежности к контрреволюционной фашистской организации (геофизическая ветвь «пулковского дела»). Выездной сессией ВК ВС СССР в г. Ленинграде 22 мая 1937 г. приговорен по ст. 58, п. 8, 11 к высшей мере наказания. Расстрелян 23 мая 1937 г. Реабилитирован определением ВК ВС СССР 13 декабря 1957 г.

9. **ПЕРВУШИНА Татьяна Полиевктовна**. Родилась в 1896 г. Геофизик, электроразведчик. Заведовала геофизическим сектором ЦНИГРИ. Член редакционной коллегии «Трудов I Всесоюзной геофизической конференции» (1933 г.). Участник XVII МГК (1937 г.). Арестована в 1939 г., ее дальнейшая судьба не известна.

10. **САФРОНОВ Николай Ильич** (1904–1982). Геофизик, геохимик, создатель геохимических методов поисков рудных месторождений. Доктор геолого-минералогических наук, профессор [1]. Окончил Ленинградский горный институт (1936). В 1930-е годы – сотрудник ЦНИГРИ, специализировался сначала в области электрометрических методов. Начальник первой Чаунской геологопоисковой экспедиции Всесоюзного Арктического института (1936–1937). Арестован в Ленинграде 6 ноября 1937 г. На допросах у него была повреждена барабанная перепонка и разорвана диафрагма. Осужден особым совещанием при наркоме внутренних дел СССР 3 декабря 1937 г. на 5 лет ИТЛ по ст. 58, п. 10, 11. Отбывал срок сначала на лесоповале в Карелии (близ Медвежьей Горы), после начала войны с Финляндией переведен в Актюблаг (Казахстан), где курировал поиски воды геофизическими методами под оборонные объекты. При освобождении (10 ноября 1942 г.) ему был запрещен выезд с территории Актюблага, и он выполнял маркшейдерскую работу на руднике Хромтау. Переведен в Магадан, с 15 апреля 1944 г. – начальник геофизического отдела ГРУ Дальстроя, проработал на Колыме 11 лет. В 1950-е годы был реабилитирован, к концу 1955 г. вернулся в Ленинград, работал старшим научным сотрудником, а затем заместителем директора ВИТРа по научной работе до 1970 г.

11. **СОБОЛЕВ Петр Илларионович** (1906–1936). Уроженец с. Проскурино Бузулукского района Оренбургской области. Работал ст. инженером Западно-Сибирского геологоразведочного треста (г. Томск). Арестован в 1936 г. Расстрелян.

12. **СОКОЛОВ Павел Тимофеевич** (1900–1937). Физик, геофизик, профессор. Специалист по теории упругости, сейсморазведке, атмосферному электричеству. Участвовал в разработке методики разведки радиоактивных руд. В 1927–1929 гг. руководил экспедициями Геолкома по изучению радиоактивных руд Средней Азии. В 1929–1932 гг. – преподаватель ЛГИ (кафедра электродинамики), вел курс прикладной геофизики в Политехническом институте. В 1932 г. инженер Геофизического сектора ЦНИГРИ (г. Ленинград). Арестован в 1936 г. по обвинению в принадлежности к контрреволюционной фашистской организации (геофизическая ветвь «пулковского дела»), погиб в заключении. Реабилитирован ВК ВС СССР 3 декабря 1957 г.

Таким образом, можно констатировать, что труды Первой Всесоюзной геофизической конференции и в настоящее время не потеряли своей актуальности по стратегии развития геофизических методов, решаемым геологическим задачам и постановке масштабных геолого-геофизических исследований. Как видим, участники первой конференции внесли существенный вклад в развитие науки и практики на первоначальном этапе развития отечественной геофизики и показали дальнейшие направления её развития.

Геофизическая общественность России глубоко сожалеет о трагическом жизненном пути первых отечественных геофизиков, которые с большим оптимизмом участвовали в развитии новой науки – геофизики.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Блох Ю. И., Цирель В. С.* Знаменитый и неизвестный Николай Сафронов // Геофизический вестник, 2017. № 2. С. 23–31.
2. *Блох Ю. И., Калинин Д. Ф., Михайлов В. О., Цирель В. С.* Репрессированный учебник по гравиразведке // Геофизический вестник, 2015. № 2. С. 37–41.
3. *Гири́н С. К., Попов А. А., Садовский М. А., Успенский Д. Г.* Курс гравитационной разведки. М-Л: Главная редакция геологоразведочной и геодезической литературы. 1935. 368 с.
4. *Справочная книга геофизика-разведчика.* В 4-х выпусках, под общей редакцией С.К. Гирина. Вып. 2. Гравитационный метод. Ленинград-Москва-Новосибирск: Горгеонефтеиздат. 1933. 175 с.
5. *Геофизики России.* Информационно-биографический справочник. Гл. ред. Н. А. Савостьянов. М., ЕАГО, 2005. 844 с.
6. *Костицын В. И.* Гравиметрист Б.Ю. Козловский – представитель рода А.С. Пушкина // Кафедра геофизики Пермского государственного университета. Пермь, Перм. гос. ун-т, 2004. С. 165–177.
7. *Костицын В. И.* Судьба первых советских геофизиков // Природа. 2014. № 3. С. 61–70.
8. *Костицын В. И.* Значение Первой Всесоюзной геофизической конференции на современном этапе развития геофизики // Развитие геофизических методов с позиций Первой Всесоюзной геофизической конференции (1932 г). Пермь, ПГНИУ, 2012. С. 5–27.
9. *Труды I Всесоюзной геофизической конференции* (с комментариями) / Отв. за переиздание трудов В.И. Костицын. Пермь, ПГНИУ, 2012. 312 с.
10. *Труды I Всесоюзной геофизической конференции* (Свердловск, 22–27 марта 1932 г.). Ленинград-Москва-Новосибирск, Гос. научно-техн. горно-геологическое нефтяное издательство, 1933. 184 с.

В. В. Бахтерев
Институт геофизики имени Ю. П. Булашевича
УрО РАН, г. Екатеринбург

**КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ ВЫСОКИХ
ТЕМПЕРАТУРАХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
ОБРАЗЦОВ МАГНЕТИТОВЫХ РУД ГОРОБЛАГОДАТСКОГО
ЖЕЛЕЗОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

V. V. Bakhterev
Yu. P. Bulashevich Institute of Geophysics Russian
Academy of Sciences, Urals Branch, Ekaterinburg

**A COMPREHENSIVE STUDY OF ELECTRICAL PARAMETERS
OF MAGNETITE ORE SAMPLES FROM
THE GOROBLAGODATSKOYE IRON DEPOSIT
AT HIGH TEMPERATURE**

Значительная часть минералов, горных пород, руд ближе всего примыкают к диэлектрикам. Из всего многообразия физических свойств важнейшими, характеризующими вещество как диэлектрик, являются электрические свойства: поляризация, электропроводность.

Возникновение того или иного вида поляризации определяется физико-химическими свойствами вещества. Ввиду неодинакового времени установления различных видов поляризации диэлектрическая проницаемость реального вещества с частотой существенно может меняться. В горных породах, представляющих многофазные системы, возможно одновременное проявление большинства типов поляризации, что осложняет зависимость диэлектрической проницаемости и проводимости от частоты. При этом частотная зависимость является характеристикой вещества, определяемая не только свойствами молекул, но и наличием и составом примесей, дисперсностью среды.

С повышением температуры исследуемого образца поляризация падает, так как тепловое движение препятствует упорядочению частиц, возрастают диффузия и рекомбинация, способствующие «рассасыванию» объемного заряда, уменьшается величина обратного тока, снижающего проводимость. При высоких температурах остаточное сопротивление приближается к значению «истинного» и при некоторой температуре может стать равным ему.

При переменном напряжении стационарное распределение заряда в диэлектрике образоваться не успевает вследствие непрерывного из-

менения направления поля. При высоких температурах сопротивление при постоянном напряжении (омическое) и переменном напряжении (активное) совпадают. Это свидетельствует о том, что в этой области температур (где уже нет заметного спадания тока со временем) потери определяются проводимостью, а для потерь проводимости характерно совпадение активного сопротивления при переменном напряжении и омического сопротивления при постоянном напряжении.

На Гороблагодатском месторождении установлено несколько этапов метаморфических и метасоматических преобразований. На месторождении выделяют три типа руд: скарновый «оспенный», гидросиликатный [1].

Образцы магнетитовой руды разного минерального состава, различной текстуры, разного генезиса отобраны из карьера «Центральный». Для исследований образцы вырезали в форме кубика с ребром 0,02 м. Измерения выполнены в открытой системе при атмосферном давлении. Электрическое сопротивление измеряли двухэлектродной установкой через каждые 10 градусов в интервале температур 20–800 °С. Скорость нагревания 0,066 град/с. Температуру в системе определяли платино-платинородиевой термопарой в 0,01 м от образца. Измерения электрического сопротивления осуществляли при постоянном и переменном напряжении. Прибор для измерения электрического сопротивления на постоянном токе – тераомметр Е6-13 с динамическим диапазоном от 10 до 10^{14} Ом и пределами допустимой относительной погрешности измерений от $\pm 2,5\%$ до 4 % в конце диапазона. В качестве прибора для определения электрического сопротивления на переменном токе использован «Измеритель LCR цифровой». Рабочая частота прибора 1 кГц. Для исследования частотной дисперсии активного сопротивления в интервале 0,02–100 кГц в качестве прибора использован измеритель иммитанса LCR-819.

Получены температурные зависимости электрического сопротивления при постоянном напряжении и активного сопротивления при переменном напряжении частотой 1 кГц различных типов руд из Гороблагодатского железорудного месторождения в интервале температур 20–800 °С. В области собственной проводимости магнетита (450–650 °С) определены электрические параметры (коэффициент электрического сопротивления $\lg R_0$ и энергия активации E_0) исследованных образцов. Установлена связь между параметрами. Графическое изображение этой связи в координатах E_0 и $\lg R_0$ обнаруживает обширное поле распределения фигуративных точек, которое вбирает в себя результаты исследований образцов. На этом поле можно выделить не-

сколько областей, в каждой из которых руда представлена определенным минеральным составом и парагенезисом.

Для каждого типа руд прослеживается связь между электрическими параметрами, которую можно выразить в виде $\lg R_0 = a - bE_0$, где a и b – коэффициенты. Для исследованных образцов все фигуративные точки расположены в области, ограниченной прямыми линиями $\lg R_0 = 4,80 - 6,65E_0$ и $\lg R_0 = 1,92 - 6,65E_0$. При этом значения параметров находятся в интервалах: E_0 – от 0,07 до 0,73 эВ, $\lg R_0$ – от –1,75 до 2,10. Положение точек с координатами E_0 , $\lg R_0$ в области $\lg R_0 = f(E_0)$ связано с минеральным составом и генетическими условиями исследованных образцом магнетитовой руды.

Пироксен-магнетитовые руды – высокотемпературные образования, хорошо раскристаллизованы, имеют максимальные размеры зерен. Эти руды пространственно ближе всего находятся к интрузиву. Образцы этих руд имеют самые большие значения коэффициента электрического сопротивления $\lg R_0$ и самые малые значения энергии активации E_0 из всех исследованных образцов. Дальше от интрузива расположены среднетемпературные руды – гранат-магнетитовые. Еще дальше – низкотемпературные эпидот-хлорит-магнетитовые, слабо раскристаллизованные, мелкозернистые.

По мере удаления от интрузива электрические параметры образцов руд, как пирит-халькопирит-магнетитовых, так и бессульфидных, изменяются: увеличивается E_0 , уменьшается $\lg R_0$ [1, 2].

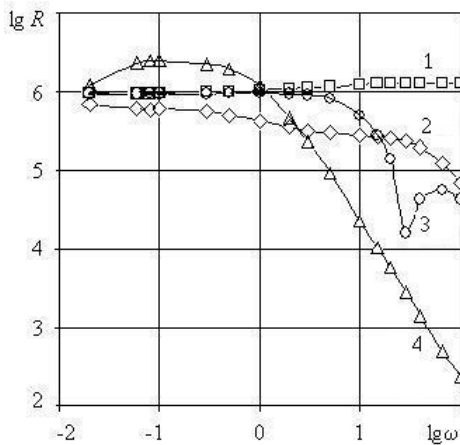
Выявлены температуры T_0 , при которых электрическое сопротивление при постоянном напряжении становится равным активному сопротивлению при переменном напряжении для образцов руд с различным содержанием магнетита (P , %). Установлена связь между температурой T_0 и содержанием магнетита в руде P , %. Для исследованных гранат-магнетитовых руд Гороблагодатского железорудного месторождения она выражается соотношением $P(\text{Fe}_3\text{O}_4, \%) = f(H)$. Здесь $H = T_0 / 20^\circ\text{C}$ [3].

Выявлено влияние Кушвинского сиенитового интрузива на электрические параметры магнетита в рудах и вмещающих породах. Установлено, что электрические параметры образцов руд из непосредственного контакта с сиенитовым массивом и образцов руд, не имеющих визуального контакта с сиенитовым массивом, имеют одинаковый характер изменения параметров.

Образцы магнетита из контакта сиенит-порфиров с вулканогенноосадочными породами отличаются по параметрам (электрическое сопротивление при постоянном и переменном напряжении, характер

изменения диэлектрических потерь, характер изменения энергии активации и коэффициента электрического сопротивления) [4].

Исследована частотная дисперсия активного сопротивления в интервале 0,02–100 кГц некоторых типов руд: 1 – пироксен-магнетитовая («оспенная»); 2 – эпидот-хлорит-магнетитовая (гидросиликатная); 3 – гранат-магнетитовая (скарновая); 4 – ортоклаз-магнетитовая («оспенная») (рисунок).



Исследование частотной дисперсии

Одной из задач исследований скарново-магнетитовых месторождений является более детальное прослеживание изменений состава руд по удалению от интрузива. Комплекс обсуждаемых электрических методов может дать дополнительную информацию при изучении типоморфных признаков магнетитового оруденения (парагенезис, тип руды, содержание магнетита, минеральный состав), а также позволит судить о пространственном положении относительно сиенитового массива исследуемых образцов.

Литература

1. Бахтерев В. В., Кузнецов А. Ж. Высокотемпературная электропроводность магнетитовых руд в связи с их генезисом и минеральным составом (на примере Гороблагодатского скарново-магнетитового месторождения) // Геология и геофизика. 2012. Т. 53. № 2. С. 270–276.
2. Бахтерев В. В. Особенности высокотемпературной электропроводности сульфидно-магнетитовых руд Гороблагодатского месторождения // Уральский геофизический вестник. 2011. № 1(18). С. 9–14.

3. *Бахтерев В. В.* О возможности оценки содержания магнетита в руде на основании сопоставления температурных зависимостей омического (при постоянном напряжении) и активного (при переменном напряжении частотой 1 кГц) сопротивлений // Уральский геофизический вестник. 2015. № 1(25). С. 9–14.

4. *Бахтерев В. В., Кузнецов А. Ж.* Влияние Кушвинского сиенитового интрузива на электрические параметры магнетита в рудах и вмещающих породах Гороблагодатского железорудного месторождения // Уральский геофизический вестник. 2012. № 1(19). С. 6–11.

В. А. Березнев¹, В. В. Никифоров²

¹ ФГБОУ ВО Пермская ГСХА, г. Пермь

² Горный институт УрО РАН, г. Пермь

СОПОСТАВЛЕНИЕ УПРУГИХ ХАРАКТЕРИСТИК (СКОРОСТИ, ЗАТУХАНИЯ) ВОЛН С ФИЗИКО- МЕХАНИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ ГРУНТОВ В ПРЕДЕЛАХ ВЫДЕЛЕННЫХ АНОМАЛИЙ

V. A. Bereznev¹, V. V. Nikiforov²

¹ Agricultural Academy, Perm

² Mining Institute UB RAS, Perm

COMPARISON OF ELASTIC PROPERTIES (VELOCITY, ATTENUATION) OF THE WAVES WITH THE PHYSICAL- MECHANICAL PROPERTIES OF SOILS WITHIN THE ALLOCATED ANOMALIES

Работа посвящена методам расчета модуля деформации, используемого при расчетах оснований и фундаментов по второй группе предельных состояний на основе анализа волнового поля отраженных продольных сейсмических волн. На конкретном примере показаны хорошая сходимостъ полученных значений с нормативными характеристиками и доказана возможность выявления аномалий, связанных с ухудшением деформационных свойств грунта.

Авторами принят следующий порядок расчета:

- Определить изменения скорости распространения упругих волн на аномальных участках по сравнению со средними значениями;

- Определить скорость распространения поперечных волн V_s , исходя из соотношения $V_s / V_p = 0,3$;
- Рассчитать по формуле [9] динамический модуль деформации.
- Используя корреляционную зависимость между динамическим и общим модулем деформации для глинистых пород, получить значения E для двух значений скорости продольных волн;
- Сравнить полученные модули деформации с нормативными значениями [8] для суглинков в заданном интервале коэффициента пористости/
- Оценить изменения модуля деформации, обусловленные аномалиями скорости V_p .

Определение изменений скорости на аномальных участках по сравнению со средними значениями

В результате обработки полевых сейсморазведочных исследований [7] получены временные разрезы по непродольным профилям и их динамические характеристики, построены сейсмогеологические разрезы, структурные схемы по отражающим горизонтам и схемы скоростей распространения упругих колебаний в двух интервалах: 0 – ОГ 1 и ОГ 1 – ОГ 2. Первый отражающий горизонт приурочен к кровле суглинков (глубина 4,5 м), второй – к их подошве, которая совпадает с кровлей коренных пород (глубина 11,5 м).

На профилях выделяется ряд аномальных участков. Они характеризуются нарушением регулярности отражающих горизонтов на временных разрезах, повышенным затуханием интенсивности сейсмической записи и пониженными значениями скоростных характеристик. Подобные особенности результатов обработки сейсморазведочных данных могут быть вызваны наличием «ослабленных» зон, в которых прогнозируется снижение значений физико-механических свойств.

Скорость продольных волн в суглинках, кровля которых приурочена к ОГ 1 (глубина 4–6 м), а подошва – к ОГ 2 (глубина 9–11,5 м), изменяется от 1200 до 1550 м/с. В пределах аномальных участков волнового поля в интервале от земной поверхности до ОГ 1 наблюдается падение значений скорости на 50 м/с. В то же время, на этих же участках в пределах от ОГ 1 до кровли коренных пород (ОГ 2) наблюдается повышение значений скорости на 100 м/с.

Определение скорости поперечных волн V_s

При определении деформационных характеристик грунтов обычно используют данные о скорости продольных и поперечных сейсмических волн [3]. Однако методика полевых сейсморазведочных работ основана на определении скоростей продольных волн. Для изучения волнового поля поперечных сейсмических волн необходимо

использовать другие источники колебаний, что приводит к удорожанию исследований.

Поэтому нами был избран другой путь – использование корреляционных зависимостей между продольными и поперечными сейсмическими волнами. Н. Н. Горяинов [3] приводит таблицу (стр. 13), в которой на основании полевых наблюдений определены соотношения V_p / V_s для разных пород, в том числе и для глинистых грунтов в водонасыщенном и неводонасыщенном состояниях. Поскольку проведение сейсморазведочных инженерных изысканий обычно опережает бурение и лабораторные исследования грунтов, было решено использовать средние значения этого соотношения для супесей (0,33), суглинков (0,30) и для глин (0,20).

Расчет по формуле [9] динамического модуля деформации

В механике грунтов основными упругими параметрами являются модуль деформации и E и коэффициент Пуассона ν . Модуль деформации или модуль Юнга определяется как коэффициент пропорциональности между относительной деформацией и напряжением. При этом методика испытаний предусматривает длительное приложение нагрузки (в компрессионных испытаниях до затухания деформации) [4], действующей в одном (вертикальном направлении). В отличие от этих испытаний распространение упругой волны сопровождается малыми знакопеременными напряжениями. Естественно, что модуль деформации, определенный в этих условиях будет отличаться от модуля деформации, используемого при определении осадки фундаментов при действии статических нагрузок от веса здания или сооружения.

Динамический модуль деформации E_d может быть рассчитан по формуле

$$E_d = \rho V_s^2 (3 V_p^2 - 4 V_s^2) / (V_p^2 - V_s^2) [9],$$

где ρ – плотность грунта.

Корреляционная зависимость между динамическим и общим модулем деформации для глинистых пород

Динамический и деформационный модуль деформации определяются одними и теми же параметрами [3]. Поэтому естественно предположить, что между ними существует функциональная связь. В общем виде эта задача не решена, исследователи утверждают, что эта зависимость линейна, но существенно отличается коэффициентами пропорциональности для разных пород. Наиболее близкими по угловому коэффициенту (0,025–0,020) оказались зависимости $E = aE_d + c$, определенные для суглинков [1], лессовидных суглинков [6] и водонасыщенных песков [2]. В наших расчетах принят коэффициент 0,025 и $c = 0$, что наилучшим образом удовлетворяет всем трем зависимостям.

В таблице приведены результаты вычислений.

Таблица

V_p , м/с	E_d , МПа	E , МПа	E_n при $\epsilon=0,55-0,75$, МПа			%
			$I_L = 0-0,25$	$I_L = 0,25-0,5$	$I_L = 0,5-0,75$	
1300	794	19,85	27-17	25-14	17-12	
1350	857	21,42	27-17	25-14	17-12	8
1400	921	23,05	27-17	25-14	17-12	16

Нормативные значения модуля деформации не зависят от скорости, поэтому их значения даны по таблицам [8]. Однако в дальнейших исследованиях можно дифференцировать эти значения по результатам лабораторных определений показателя текучести и коэффициента пористости [5]. Это представляет интерес прежде всего потому, что аномалии скоростей продольных волн как раз и определяются этими параметрами.

В результате расчетов для скорости $V_p = 1300$ м/с и аномальных значений $V_p = 1400$ м/с получены модули деформации 19,85 МПа и 23,05 МПа соответственно.

Нормативные значения E_n для тугопластичных суглинков аллювиально-делювиального происхождения четвертичного периода изменяются при коэффициенте пористости $\epsilon = 0,55-0,75$ от 25 до 14 МПа, что вполне соответствует полученным по сейсморазведочным данным значениям.

Отличие аномальных модулей деформации от средних значений составляет 16 %. При изменении скорости продольных волн на 50 м/с, отличие модуля деформации от средних значений составит около 8 %.

Литература

1. Аникин О. П., Горшенин Ю. В. Методические рекомендации по определению состава, состояния и свойств грунтов сейсмоакустическими методами. М.: Изд. ЦНИИС, 1985. 65 с.
2. Бондарев В. И. О взаимосвязи сейсмических и физико-механических свойств песчано-глинистых грунтов // Изв. ВУЗов. Сер. Геология и разведка, 1983. № 2. С. 84-91.
3. Горяинов Н. Н. Применение сейсмоакустических методов в гидрогеологии и инженерной геологии. М.: Недра, 1992.
4. ГОСТ 12248-2010. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости.
5. ГОСТ 5180-2015. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик.

6. Миндель И. Г. Методика сейсмоакустических исследований физико-механических свойств связных и малосвязных грунтов // Труды ПНИИИС, 1975. Вып. 35. С. 3–25.

7. Санфиров И. А. Инженерные сейсморазведочные исследования по оценке глубины забивки свай на объекте: «Здание магазина «Семья» по ул. Ленина в г. Чусовом». Пермь: ГИ УрО РАН, 2010.

8. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений (Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-83*).

9. СП-50-101-2004. Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений. М.: ГУП ЦПП Росстроя, 2005.

В. Ю. Бобров

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

**МАЛОГЛУБИННАЯ СЕЙСМОРАЗВЕДКА ПРИ ОЦЕНКЕ
ТЕХНОГЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ
СЕЙСМОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ УЧАСТКОВ ВКМКС**

V. Y. Bobrov

Mining Institute UB RAS, Perm

**SHALLOW SEISMIC EXPLORATION FOR ASSESSMENT
OF TECHNOGENIC VARIABILITY OF SEISMOGEOLOGICAL
CONDITIONS OF TERRITORY OF THE UKPS**

Малоглубинная сейсморазведка является отличным инструментом при изучении водозащитной толщи (ВЗТ) [1]. С ее помощью успешно проводятся мониторинговые исследования потенциально опасных зон на подработных территориях.

В качестве примера реализации малоглубинных сейсморазведочных работ рассмотрим результаты, полученные в пределах одного из потенциально-опасных участков в районе ВКМКС (Верхнекамское месторождение калийных солей) [2]. Основная задача сейсморазведочных наблюдений является детализация и оценка ВЗТ.

Полевой этап работ выполнен методом отраженных волн по общей глубинной точке (МОВ ОГТ). Возбуждение упругих колебаний производилось с помощью импульсного источника, в котором используется энергия пороховых газов. Данный источник обеспечивает генерацию волнового поля широкого частотного диапазона с интенсивно-

стью, достаточной для регистрации отраженных волн в интервале глубин до 500 метров.

С учетом теоретических предпосылок рассчитаны параметры системы регистрации, адаптированные для конкретных сейсмогеологических условий (табл. 1).

Таблица 1

Параметры систем наблюдений

Минимальное удаление ПВ от ПП, м	8
Максимальное удаление ПВ от ПП, м	320–504
Расстояние между ПВ, м	8
Расстояние между ПП, м	8
Кратность наблюдений, м	32

Данная система наблюдений обеспечивает уверенную регистрацию в частотном диапазоне до 120 Гц. Тип системы – 64 канальная переменная ассиметричная. В начале профиля – фланговая, раскрывающаяся до ассиметричной.

С целью повышения интенсивности отраженных волн на этапе полевой регистрации осуществляется подавление поверхностных волн посредством группирования сейсмоприемников (табл. 2).

Таблица 2

Параметры группирования сейсмоприемников

Количество приемников в группе	5
Шаг элементов группы, м	4
База группирования, м	16

На временных разрезах, полученных в рамках малоглубинных исследований (рис. 1), выделяется ряд наиболее динамически выраженных осей симфазности, которые соответствуют ОГ (отражающим горизонтам), приуроченным к кровле: соляно-мергельной толщи (СМТ), переходной пачки (ПП), карналлитового пласта Е (Ек) и подстилающей каменной соли (ПдКС).

В качестве основных признаков предполагаемых осложнений геологического разреза рассматриваются:

- 1) нарушение корреляции отражающих горизонтов (рис. 1);
- 2) снижение значений эффективных скоростей (рис. 2);
- 3) повышенное затухание сейсмической записи (рис. 3).

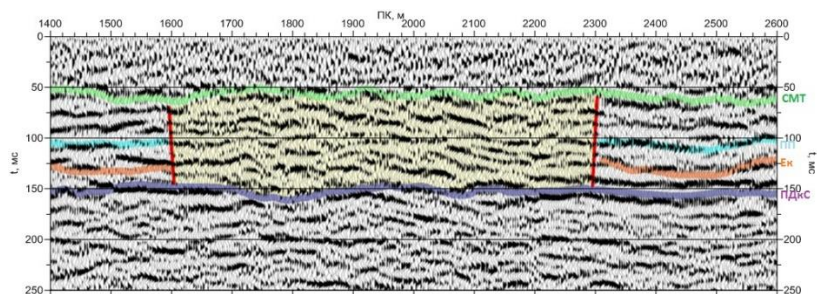


Рис. 1. Временной разрез ОГТ по профилю

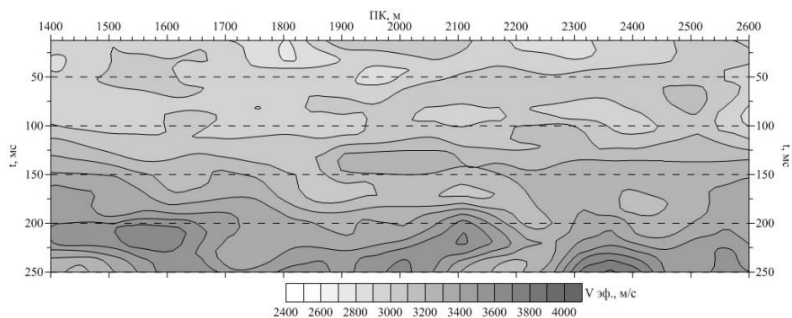


Рис. 2. Скоростная характеристика временного разреза

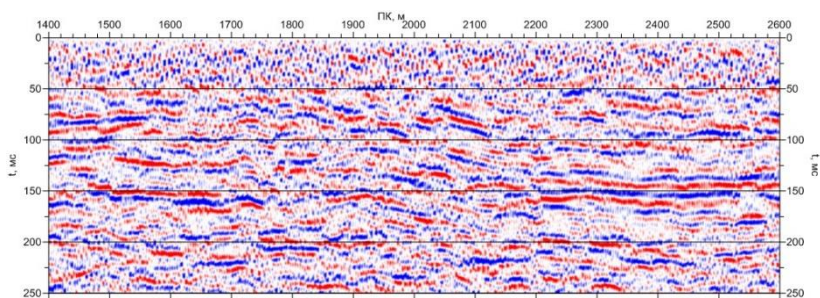


Рис. 3. Динамический временной разрез

Согласованность данных признаков отражается на разрезе комплексного параметра (рис. 4).

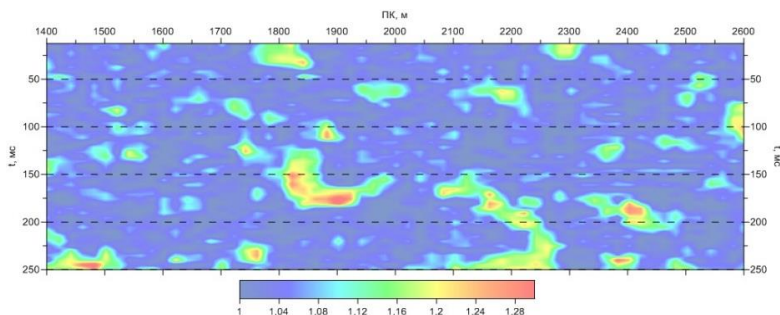


Рис. 4. Комплексный параметр

Для анализа негативных изменений упругих свойств пород с течением времени сформированы графики скоростей исследуемого профиля за 2012, 2014, 2015 и 2016 годы (рис. 5).

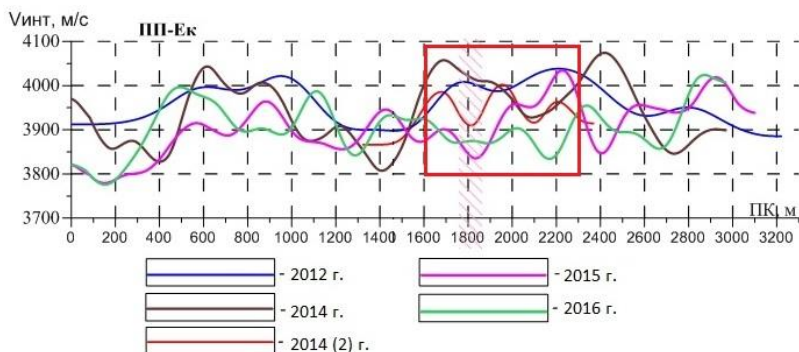


Рис. 5. Сечение скоростного разреза

На графиках скоростей для участка 1600–2300 м отмечается понижение интервальных скоростей. Данная особенность может быть обусловлена интенсификацией процессов трещинообразования для интервала ПП-Ек.

По совокупности перечисленных признаков на профильной линии выделяется участок с предполагаемыми осложнениями геологического разреза (рис. 1). Учитывая негативные изменения ВЗТ в пределах профильной линии, рекомендуется дальнейший контроль за изменением строения и свойств породного массива на профильной мониторинговой линии.

Литература

1. Санфи́ров И. А., Яросла́вцев А. Г., Жи́кин А. А., Гле́бов С. В., Ге́расимова И. Ю., О перспективах малоуглубинной сейсморазведки 3D на Верхнекамском месторождении солей // Геофизика. 2015. № 5. С. 6–11.

2. Сейсморазведочный мониторинг потенциально опасных отработанных участков шахтных полей. Отчет о НИР по договору № 1364/2012 с ОАО «Уралкалий». Пермь, 2012. Отв. исп. Санфи́ров И. А. Фонды ГИ УрО РАН.

А. В. Борисов, В. Б. Виноградов

Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург

ФИЗИКО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭМСКОЙ ПЛОЩАДИ

A. V. Borisov, V. B. Vinogradov

Ural State Mining University, Yekaterinburg

PHYSICAL-GEOLOGICAL MODELING OF THE EMSKAYA AREA

В восточных регионах страны поиски месторождений благородных металлов проводятся комплексом методов, включающим магниторазведку, электроразведку, спектрометрию (U, Th, K), Сеть наблюдений повсеместно 200×20 м. В современной геофизике на обработку и истолкование полей отводится ограниченное время. Поэтому необходима экспресс-технология извлечения геологической информации при истолковании комплексных геофизических наблюдений. Наиболее полное извлечение информации достигается построением объемных физико-геологических моделей [1]. Такая технология предложена авторами на основе единой сеточной модели и опробована на материалах Эмской площади. В качестве элементарного тела многослойных физико-геологических моделей выбран вертикальный цилиндр треугольного сечения.

Эмская площадь сложена породами одной свиты, нижняя подошва которой не установлена. Нижняя подсвита сложена ингимбридами риодацитов и риолитов. Верхняя подсвита сложена андезитами, дацитоандезитами, туфами среднего состава, базальтами и андезитобазальтами. Интрузивные и субвулканические тела представлены андезитобазальтами, гранитами, гранодиоритами. Физические свойства подсвет значительно отличаются. Геологическое строение Эмской

площади осложнено многочисленными разрывными нарушениями. Доминирующей является система нарушений северо-западного направления, принадлежащая к региональному разлому протяженностью сотни километров.

На площади широко представлены метасоматиты, кварцевые, карбонат-кварцевые и карбонатные жилы. Выявлены многочисленные зоны вторичных кварцитов, аргиллизитов, сульфидизации. Рудная минерализация связана с внедрением субвулканитов и интрузий, с зонами метасоматических изменений. Протяженность зон до 200 м, мощность 40–50 м, в раздувах до 50 м. Выявлена метасоматическая зональность, смена вещественного состава в последовательности: вмещающие породы → пропилиты → вторичные кварциты и аргиллизиты.

Метасоматиты обладают значительной изменчивостью вещественного состава, которая обуславливает высокую дисперсию физических свойств горных пород [2]. Вследствие этого над метасоматитами поля также обладают высокой дисперсией. Проявления однотипных метасоматитов в физических полях на разных участках площади разные. При количественных расчетах необходимо использовать модели с латеральной изменчивостью намагниченности и удельного сопротивления.

На первом этапе качественной интерпретации по данным всех методов создают предварительную схему распространения разных структурно-вещественных комплексов (СВК). На втором этапе формируют набор геофизических признаков СВК. Для решения задачи геологического картирования применяют идентификационные операторы. На завершающей стадии использовалась авторская программа расчета идентификационных функций $W(x, y)$

$$W_{ij} = \sum_i \frac{1}{1 + \mu |f_{ij} - f_{i0}| / (f_{i \max} - f_{i \min})},$$

где i – номер поля, $f_{i \min}$ и $f_{i \max}$ – максимальное и минимальное значения поля, f_{ij} – значение поля в j точке, μ – весовой коэффициент (стандартное значение 2), f_0 – модальные значения поля целевого структурно-вещественного комплекса.

На третьем этапе создают начальные однометодные объемные модели. Применение геометрических шаблонов со стандартным числом элементарных тел (не более 1500) заданной формы и размеров резко уменьшает затраты времени на создание и подготовку моделей к расчетам. Треугольники легко объединяются в многоугольники, что

влечет резкое уменьшение количества тел в модели. Создание объемных моделей проводится в автоматизированном режиме. В шаблоне предусмотрено более подробное описание среды в центре площади. Автоматизация создания объемной модели по стандартному шаблону значительно экономит время.

Объемное моделирование магнитного поля проводится в три стадии:

- 1 – в масштабе съемки,
- 2 – в масштабе 1:10000,
- 3 – для детальных участков в масштабе 1:5000.

Геофизические измерения проведены в 2016 г. по сети широтных профилей через 200 м с шагом наблюдений 20 м. Эта сеть эффективна для объектов меридионального простираения, длиной более 300 м, что не выполняется на Эмской площади ввиду выше указанных особенностей геологического строения.

На первом этапе проведена качественная интерпретация. Схема распространения разных СВК.

Сеть геофизических измерений значительно искажает характер поля. Меняется простираение аномалий. Сеть с соотношением расстояниями между пикетами и расстояниями между профилями 1:10 и 1:5 не выявляет объекты с широтным, северо-западным и северо-восточным простираением. В таких условиях сеть по возможности должна быть квадратной.

С помощью имитационного моделирования для изучаемой площади проведена оценка влияния параметров сети наблюдений на полноту выявляемых аномалий, правильную рисовку изолиний поля (рис. 1).

Для Эмской площади создана трехслойная модель, в качестве элементарного тела выбран вертикальный цилиндр многоугольного сечения, что позволило использовать менее 300 тел для всей площади. При использовании в качестве элементарных тел прямоугольных параллелепипедов количество тел в модели было бы в десятки раз больше.

Во всех геофизических полях Эмской площади отчетливо проявляется рельеф местности. По мнению авторов – единственное решение этой проблемы – подбор поля на физическом рельефе.

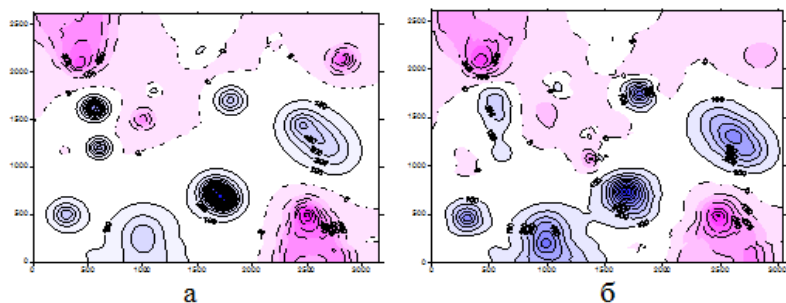


Рис. 1. Результаты имитационного моделирования для разных сетей измерения: а – 200×20 , б – 50×20

На следующем этапе истолкования с помощью идентификационных функций выделены области распространения целевых структурно-вещественных комплексов – андезитобазальтов, гранодиоритов, и других. Выделены области с разным типом метасоматоза (рис. 2). Для них построены крупномасштабные объемные модели.

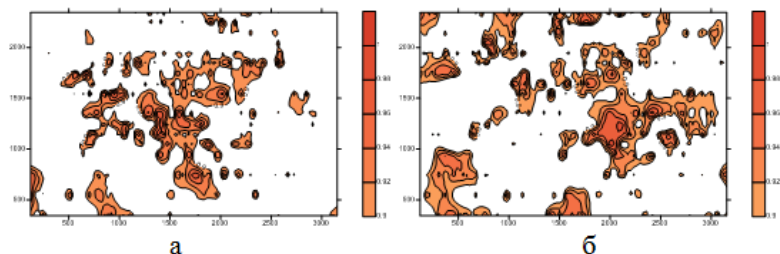


Рис. 2. Области распространения СВК и метасоматитов, выделенные с помощью идентификационных функций:
а – области пропилитизации, б – области аргиллитизации

Проведено объемное моделирование магнитного поля на всей площади. Для детальных участков выполнено моделирование в крупном масштабе. Модель четырехслойная, в качестве элементарного тела выбран вертикальный цилиндр многоугольного сечения. Расчет проведен по сети наблюдений, соответствующей детальным участкам полевых наблюдений 100×20 м. Определены участки для дальнейшего изучения (рис. 3).

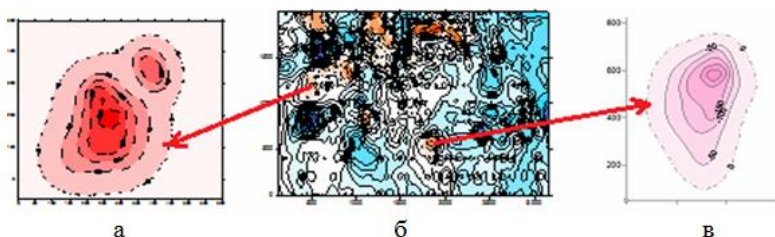


Рис. 3. Результаты объемного моделирования магнитного поля:
а и в – зон окварцевания, б – всей площади

Литература

1. Вахромеев Г. С., Давыденко А. Ю. Моделирование в разведочной геофизике. М.: Недра. 1987. 192 с.
2. Пахомов М. И., Пахомов В. И. Петрофизический метод выделения и оценки метасоматитов. М.: Недра. 1988. 152 с.

М. Я. Боровский, В. И. Богатов
ООО «Геофизсервис», г. Казань

ВЫСОКОТОЧНАЯ ГРАВИРАЗВЕДКА ПРИ СОПРОВОЖДЕНИИ ПРОЦЕССОВ ГИДРОРАЗРЫВА ПРОДУКТИВНОГО ПЛАСТА

М. Y. Borovsky, V. I. Bogatov
Geofizservice Ltd., Kazan

HIGH-PRECISION GRAVITY FOR STUDYING THE PROCESSES OF HYDRAULIC FRACTURING OF RESERVOIR

Одной из наиболее эффективных технологий интенсификации добычи нефти в карбонатных коллекторах является гидравлический разрыв пласта (ГРП) с пропантом или кислотой, в зависимости от геолого-физических свойств пласта и характеристики скважинного оборудования. После разрыва под воздействием давления жидкости трещина увеличивается, возникает ее связь с системой естественных трещин, не вскрытых скважиной, и с зонами повышенной проницаемости; таким образом, расширяется область пласта, дренируемая скважиной. Отсутствие информации об азимуте распространения трещин при гид-

роразрыве пласта осложняет оптимизацию разработки месторождения, в частности не удастся определить направление потоков жидкости, вытесняющей нефть. Вследствие этого, целесообразно выяснение причин, препятствующих запланированному росту продукции [7]:

1. Выявление несоответствия дизайна ГРП фактической геометрии и размерам трещин;

2. Прогноз негативного сценария распространения трещин за пределы целевого коллектора, в т.ч. в область водонасыщенных горизонтов.

Поэтому весьма важной задачей является определение реальных параметров трещины или трещиноватой зоны, полученной в результате проведения гидроразрыва. Оценка размера и характера развития трещины в пласте в процессе производства ГРП с последующим обобщением таких данных по площади обеспечит прогноз техногенной трещиноватости при ГРП на последующих объектах, что позволит уменьшить непроизводительные затраты.

Важные наводящие сведения для уменьшения уровней неопределенностей и повышения вероятности успешного бурения горизонтальной скважины, определения влияния ГРП на продуктивность трещиноватых карбонатных отложений в сложных геологических условиях может дать геофизическая разведка.

Революционные изменения в электронной базе и схемотехнике, совершенствование и появление новых способов интерпретации обуславливают целесообразность широкого внедрения в геологоразведочный процесс наукоемких наиболее информативных геофизических технологий. Привлекает возможность использования мобильного экологически приемлемого метода – высокоточной гравиразведки. Опыт [1–6, 8, 9, 11–14] гравиразведочных работ в Урало-Поволжье свидетельствует об успешном выявлении и картировании естественных проявлений диастрофизма земной коры – разломов, зон интенсивной трещиноватости, зон разуплотнения. При образовании зон трещиноватости в результате ГРП, в случае совпадения участков техногенной и естественной трещиноватости в плане, амплитуда гравитационного эффекта возрастет, что может служить определяющим фактором при оценке результатов гидроразрыва пласта.

Как отмечает С. Г. Бычков: «В настоящее время произошли принципиальные изменения в аппаратном оснащении гравиметрических исследований. Геофизические организации используют высокоточные гравиметры со смещением нуля-пункта несколько микрогал в день и автоматической записью результатов. Топографо-геодезическое обеспечение гравиметрических работ осуществляется с применением

систем спутниковой навигации, электронных тахеометров и другого оборудования, позволяющего получить плановое и высотное положение гравиметрических пунктов с погрешностью несколько миллиметров» [9]. Это, на наш взгляд [1, 2, 5, 6, 8], позволяет рекомендовать гравиметрическую разведку на решение задач в прорывных направлениях нефтегазовой геологии и геофизики.

В последнее десятилетие для изучения результатов процедуры гидроразрыва используется микросейсмический мониторинг. Целесообразна разработка рациональной методики оценки эффективности технологического процесса повышения нефтеотдачи пласта с помощью гидроразрыва. Предлагается образование систем трещин отслеживать комплексом методов с помощью микросейсмических исследований, высокоразрешающей электроразведки [7] и высокоточных гравиметрических измерений [8].

Применение гравиразведки позволяет (особенно важно для изучения процессов воздействия гидроразрыва на продуктивный пласт) обеспечить [1, 2, 4, 5, 6, 8] плотную систему наблюдений в плане, в частности, соответствующую нормативным показателям съемок масштаба 1:10 000–1:5 000 и крупнее для предлагаемых геофизических работ и значительную детальность сведений об особенностях геологического разреза.

Преимущества высокоточной гравиразведки:

- высокая разрешающая способность выявления плотностных неоднородностей;
- многократные геофизические измерения за небольшой промежуток времени: существенно для оценки результатов многостадийного гидравлического разрыва;
- регистрация аномалий силы тяжести в условиях присутствия энергопроводящих сооружений (ЛЭП, и др.) и металлических конструкций;
- нескважинный, неразрушающий метод исследования геологической среды;
- проведение изысканий на дневной поверхности;
- охват района расположения объекта плотной и равномерной сетью наблюдений, в том числе за пределами области воздействия ГРП, т. е. обеспечивается выход в «нормальное поле».

Разломы, зоны дробления, повышенной трещиноватости фиксируются [1–6, 8, 9, 11–14], как правило, в виде локальных гравитационных минимумов различной интенсивности. При решении вопросов определения конфигурации зон растрескивания коллекторов и окружающих пород, происходящих при закачке в пласт жидкости и про-

панта под большим давлением целесообразно проведение полевых геофизических измерений в профильно-площадном варианте. Гравиметрические наблюдения осуществляются по прямолинейным профилям, пересекающим в крест простирания объекты прогнозирования.

Работы выполняются в два этапа:

а) до проведения гидроразрыва пласта – регистрация фоновых геофизических полей;

б) определение изменений геофизических полей, произошедших после проведения гидроразрыва.

На первой стадии производится геологическое истолкование полученных гравиметрических материалов для корректировки траектории проходки горизонтальной скважины: наличие разломных нарушений вдоль ствола скважины существенно снижает возможности геонавигации; большое значение имеет прогнозирование зон вероятно-го поглощения промывочной жидкости.

На этой стадии и в последующем используется технология геолого-геофизического моделирования (ГТМ), заключающаяся (З. М. Слепак, 2017 [11–13]) в решении обратной линейной задачи гравиразведки с одновременным созданием плотностных моделей прогнозируемых объектов по измеренному полю без разделения на составляющие.

На целесообразность и возможность применения гравиразведки для оценки эффективности результатов гидроразрыва продуктивного пласта указано в публикациях (З. М. Слепак, 2017; А.М.Лобанов и др., 2017) [10, 13]

Основными задачами являются локализация зон повышенной трещиноватости, определение размеров и азимутов трещин. Существенным служит формирование геолого-геофизической основы для дальнейших исследований. Важно принимать во внимание негативные последствия освоения нетрадиционных источников углеводородного сырья [3] и геофизические методы прогноза, поисков и детализации последствий антропогенного вмешательства в геологическую среду.

Литература

1. *Боровский М. Я., Мухаметшин Р. З.* Высокоточные гравиметрические измерения – основа оперативного информационного обеспечения подготовки месторождений углеводородного сырья к разработке // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: Тез. докл. междунар. семинара им. Д. Г. Успенского. Екатеринбург: УГГГА, 1999. С. 190–192.

2. *Боровский М. Я.* Использование высокоточной гравиразведки – существенный фактор оптимизации заключительных этапов освоения нефтяных

месторождений // Опыт развед. и разраб. Ромашкинского и др. крупн. нефт. м-ний Волго-Камского региона. Казань: Новое Знание, 1998. С. 145–147.

3. *Боровский М. Я., Газеев Н. Х., Нурғалиев Д. К.* Геоэкология недр Республики Татарстан: геофизические аспекты / под ред. Д. К. Нурғалиева. Казань: Экоцентр, 1996. 316 с.

4. Геофизические методы подготовки и контроля процессов эксплуатации месторождений природных битумов / *М. Я. Боровский, Э. К. Швыдкий, Р. З. Мухаметишин, Ю. Э. Халабуда, Б. В. Успенский*; под ред. Р. З. Мухаметишина. М.: ГЕОС, 2000. 170 с.

5. *Боровский М. Я., Мухаметишин Р. З.* Геофизическая разведка – важнейший элемент эффективного освоения месторождений нефти горизонтальными скважинами // Разработка нефтяных месторождений горизонтальными скважинами: Матер, семинара-дискуссии. Казань: Новое Знание, 1998. С. 149–153.

6. *Боровский М. Я., Либерман В. Б.* Геолого-геофизическая подготовка нефтяных месторождений к горизонтальному бурению // Актуальные задачи выявления и реализации потенциальных возможностей горизонтальных технологий нефтеизвлечения: Тез. докл. научн.-практич. конфер., посвященной 10-летию Академии наук Республики Татарстан. Казань, 2001. С. 65–66.

7. *Боровский М. Я., Небрат А. Г., Богатов В. И.* Выделение высоко-разрешающей электроразведкой зон растрескивания коллекторов в карбонатных отложениях, полученных в процессе гидроразрыва пласта // Перспективы увеличения ресурсной базы разрабатываемых месторождений, в том числе из доманиковых отложений. Сборник докладов межрегиональной научно-практической конференции, посвященной 70-летию НГДУ «Ленинбург-нефть». Карабаш, 6–7 августа 2015 г. Альметьевск; ПАО «Татнефть», 2015. С. 200–206.

8. *Боровский М. Я., Успенский Б. В., Валеева С. Е.* Методические основы подготовки нефтяных месторождений к горизонтальному бурению // Горизонтальные скважины 2017. Казань, 15–19 мая 2017 г.

9. *Бычков С. Г.* Методы обработки и интерпретации гравиметрических наблюдений при решении задач нефтегазовой геологии. Екатеринбург: УрО РАН, 2010. 187 с.

10. *Лобанов А. М., Романов В. В., Никитин А. А., Шнеерсон М. Б., Смирнова И. А.* Мониторинг ГРП: почему бы не гравиметрия? // Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей: Материалы 44-й сессии Международного семинара им. Д. Г. Успенского. Москва. 23–27 января 2017 г. М: ИФЗ РАН, 2017. С. 229–231.

11. *Слепак З. М.* Гравиразведка в нефтяной геологии. Казань: Изд-во Казанского университета. 2005. 222 с.

12. *Слепак З. М.* Гравиразведка. Новые технологии прогнозирования нефтяных месторождений. Казань: Изд-во Казанского университета, 2015. 168 с.

13. *Слепак З. М.* Геолого-геофизические исследования при решении задач нефтяной геологии с целью повышения результативности бурения горизонтальных скважин // Горизонтальные скважины 2017. Казань, 15–19 мая

2017 г.

14. *Хисамов Р. С., Боровский М. Я., Гатиятуллин Н. С.* Геофизические методы поисков и разведки месторождений природных битумов в Республике Татарстан / под ред. Р. С. Хисамова. Казань: Изд-во ФЭН АН РТ, 2007. 247 с.

Д. Л. Бурдин, О. Л. Сальникова
ПАО «Пермнефтегеофизика», г. Пермь

**ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ТК «ЛАТЕРАЛЬ»
В СКВАЖИНАХ СО СЛОЖНОЙ КОНСТРУКЦИЕЙ
НА ОБЪЕКТАХ ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ»**

D. L. Burdin, O. L. Salnikova
Permneftegeophysica, Perm

**THE EXPERIENCE OF USING TC «LATERAL» IN WELLS
WITH COMPLICATED STRUCTURE AT THE FIELDS
OF LLC «LUKOIL-PERM»**

Исследования в горизонтальных скважинах специалистами ПАО «Пермнефтегеофизика» проводятся при помощи технологического комплекса «Латераль» различных модификаций, который обеспечивает доставку к забоям геофизических приборов, независимо от их массы и длины. Модификации комплекса позволяют выполнять геофизические исследования при помощи насосно-компрессорных труб (НКТ) малого диаметра («Латераль-2005»), комбинации НКТ и ЖГК («Латераль-2006»), с использованием оборудования для работ с избыточными давлениями («Латераль-2007») и др. Электрическая связь с предварительно спущенным в скважину на трубах прибором, в каждой из модификаций, выполняется при помощи закрепленного на геофизическом кабеле специального устройства [1].

Ниже приведены основные модификации комплекса «Латераль», использованные для решения нестандартных задач при освоении скважин на месторождениях ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ» в 2017 г.

1. Технологический комплекс «Латераль-2006»

Одним из инновационных направлений заканчивания скважин горизонтальным стволом становится оборудование ее хвостовиком с возможностью проведения многостадийного и кислотного ГРП. Ха-

© Бурдин Д. Л., Сальникова О. Л., 2017

ракторными особенностями такой конструкции являются наличие заколонных пакеров для отделения продуктивных интервалов друг от друга и наличие циркуляционных клапанов для поочередного проведения ГРП. В теле хвостовика отмечаются участки сужения внутреннего диаметра в интервалах установки циркуляционных клапанов, из-за чего использование стандартной технологии доставки приборов к забою не представлялось возможным. В связи с этим в ПАО «Пермнефтегеофизика» был внедрен опытно-промышленный комплекс доставки приборов с использованием отрезка жесткого кабеля, который намотан на лебедку несамостоятельного подъемника (рис. 1). Собственного веса ЖГК не хватает для прохождения к забою, поэтому в комплекс добавляется определенное количество НКТ-33. Кабельный канал связи позволяет использовать стандартную геофизическую аппаратуру. Отсутствие уступов и небольшой внешний диаметр кабеля ($d = 38$ мм) позволяют беспрепятственно проводить исследования во всем интервале хвостовика. Использование данного комплекса позволяет проводить исследования с любым видом освоения скважины (компрессирование, свабиrowание, УЭЦН).

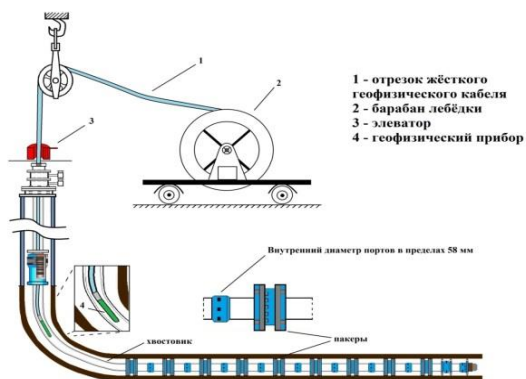


Рис. 1. Комплекс доставки приборов «Латераль-2006»

Такие исследования были проведены в скважине **Дозорцевского месторождения**, УГС которой обсажен «хвостовиком» сложной конструкции с 3-мя циркуляционными клапанами и заколонными пакерами. Вызов притока произведен при помощи компрессора с полными двумя циклами (компрессирование, стравливание давления). В процессе исследований установлено: по данным ТМ и СТИ в интервале «хвостовика» наблюдается интенсивная работа циркуляционных клапанов № 1 и № 3 на глубинах 1954,3 и 2186,3 м (рис. 2). Работа ЦК

2. Комплекс «Латераль» для исследований наклонно-направленных и ГС во время их освоения свабированием со спуском приборов под лифтовые трубы

Данная технология представляет собой стандартный комплекс «Латераль», который помещается под колонну НКТ-73. Понижение уровня производят методом свабирования. Эта технология позволяет сократить время производства работ за счет одновременного освоения и исследования скважины (рис. 3, А).

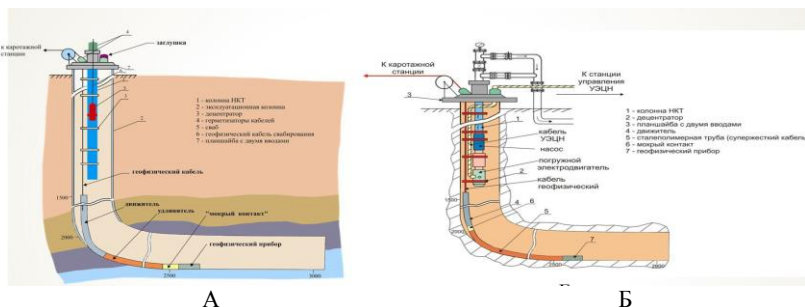


Рис. 3. Комплекс исследований «Латераль»: А – со спуском приборов под лифтовые трубы; Б – с предварительным спуском геофизических приборов под ЭЦН

Можно отметить следующие преимущества исследований с помощью комплекса «Латераль» со спуском приборов под лифтовые трубы:

- не создается избыточное давление, которое задавливает жидкость в пласт;
- наличие информации об уровне скважинной жидкости (известно забойное давление);
- контролируемая депрессия на пласт;
- получение информации о работающих интервалах и определения состава поступающего флюида в процессе освоения.

Приведем пример проведения исследования в УГС скважины **на месторождении им. Сухарева** при освоение с применением технологии свабирования.

В процессе работ происходило постепенное увеличение депрессии, но отмечалось интенсивная работа скважины и мгновенное восстановление уровня. Уровень жидкости в скважине понизить практически не удалось. При начальном уровне в 440 м, максимальное понижение удалось достигнуть лишь до 480 м.

На кривых термометрии, зарегистрированных во время свабирования, отмечалась работа выделенных по ГИС коллекторов, внедрения нефти в скважинную жидкость по данным методов состава не прослеживалось. Из-за наличия в скважине пресной промывочной жидкости (уд. вес $1,01 \text{ г/см}^3$) данные резистивиметрии для разделения работающих интервалов по составу поступающего флюида были непригодны. По данным влагометрии в конце свабирования содержание нефти в скважинной жидкости относительно фона незначительно увеличилось, но датчик ВГД малочувствителен к изменениям состава жидкости, если нефти в стволе скважины менее 40 % объёма (рис. 4). Определено, что выделенные интервалы работают нефтью с водой, небольшим количеством газа. По данным отобранных проб объёмная доля воды в продукции составила 12 %.

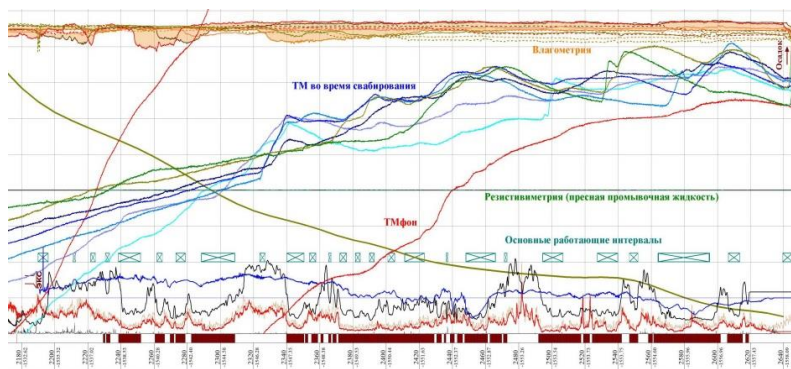


Рис. 4. Определение профиля притока при первичном освоении скважины месторождения им. Сухарева с применением технологии свабирования

Применение комплекса технологий спуска ТК «Латераль» под лифтовые трубы и освоение методом свабирования позволило решить задачи по определению основных работающих интервалов и характеру поступающего флюида, но из-за осложненных скважинных условий (заполнение ствола пресной водой, мало отличающейся по удельному весу с нефтью) в определении состава жидкости (даже с разнесёнными по периметру сечения скважины датчиками) не исключены ошибки. При высоких дебитах происходит быстрое расформирование жидкости по составу. По данным термометрии из-за эффекта калориметрического смешивания возможен пропуск менее интенсивно работающих интервалов.

Рекомендуется применение данной технологии в скважинах со средним и низким удельным дебитом. Следует отметить, что выбранная технология исследования позволила провести исследования до забоя при протяженности условно-горизонтального ствола 455 м.

3. ТК «Латераль» с предварительным спуском геофизических приборов под ЭЦН

Технология исследования скважины комплексом «Латераль» с предварительным спуском под электроцентробежный насос особенно успешно используется в высокодебитных скважинах. Исследования с предварительным спуском под ЭЦН (рис. 3, Б) позволяют проводить измерения при выводе скважин на заданный режим эксплуатации. Посредством смены штуцеров и изменения количества оборотов вращения электродвигателя насоса можно менять условия извлечения флюида за счет изменения депрессии на продуктивные интервалы. Это позволяет на более высоком уровне произвести измерения, уверенно решать различные технологические и геологические задачи, а также оценить оптимальный режим эксплуатации скважины и провести гидродинамические исследования.

Представленная технология использовалась при определении источника обводнения в условиях постоянной депрессии в скважине **Павловского месторождения**. Была рассчитана глубина установки ЭЦН для создания необходимой депрессии. Достаточно было проведения исследований на одном режиме (прямые обороты двигателя), дополненными информацией при остановленном двигателе ЭЦН, чтобы доказать, что причиной обводнения продукции является заколонный переток сверху из вышележащих водонасыщенных интервалов. Заколонный переток определен по следующим признакам (рис. 5):

1. Дроссельный разогрев по данным ТМ в интервале установки заколонного пакера;
2. Дроссельный разогрев по данным ТМ напротив водонасыщенного коллектора;
3. Пологий участок на кривых ТМ от интервала установки пакера до башмака эксплуатационной колонны – признак продвижения жидкости;
4. Открытый ствол по данным методов состава (ВЛГ, РЕЗ) работает нефтью, а максимальное увеличение минерализации жидкости отмечается у башмака эксплуатационной колонны.

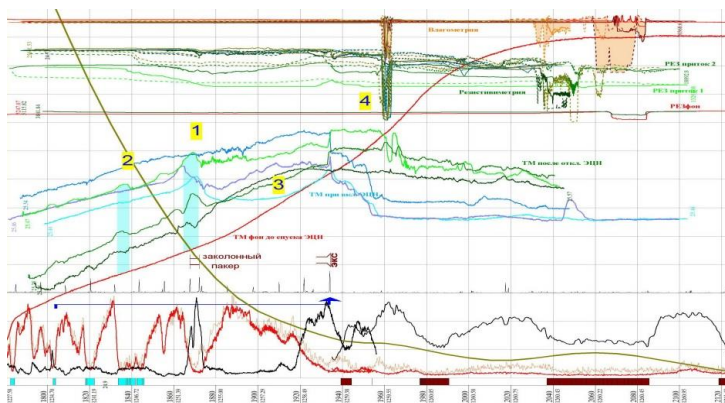


Рис. 5. Определение источника обводнения скважины Павловского месторождения с применением комплекса технологий «Латераль» и освоением скважины ЭЦН

Исследования в режиме постоянного отбора с предварительно спущенным геофизическим прибором под ЭЦН позволили уверенно доказать, что источником обводнения в данной скважине является за колонный переток сверху.

Следует отметить, что в процессе исследования геофизический материал поступает в службу интерпретации в режиме реального времени. Оперативная интерпретация и оценка качества полевого материала позволили уже на первом этапе исследований решить задачу. Было принято решение о завершении работ на скважине, сократив тем самым время на производство ГИС.

Коллективу ПАО «Пермнефтегеофизика» удалось успешно разработать и внедрить комплексы исследований, обеспечивающие безопасное проведение работ и позволяющие использовать стандартную геофизическую аппаратуру. Проведен анализ применения различных технологий для решения задач по определению профиля притока, состава поступающего флюида, поиска источника обводнения по скважинам на месторождениях ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ».

Изучая скважинные условия и промысловую ситуацию в районе работ, тщательно планируя ГИС, выбирая наиболее оптимальный комплекс технологий исследования; имея возможность корректировки плана работ в процессе их производства, тесно взаимодействуя со службами Заказчика и отделом интерпретации, мы способны уверенно решать геологические задачи и поддерживать конкурентоспособность

с технологиями зарубежными компаниями в условиях политики импортозамещения.

Литература

1. *Гайворонский И. Н., Савич А. Д., Черных И. А.* Технологии импортозамещения при исследованиях горизонтальных скважин и вторичном вскрытии пластов на депрессии // Тезисы докладов XXI научно-практической конференции «Новая техника и технологии для геофизических исследований скважин». Уфа: Изд. НПФ «Геофизика». 2015. С. 54–66.

Е. С. Бушуева, И. Д. Ефремов, Е. А. Овчинникова, Н. В. Кулакова
Пермский государственный национальный
исследовательский университет, г. Пермь

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ВЭЗ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ КАРСТОВЫХ ПОЛОСТЕЙ НА БОГОМОЛОВСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ ГИПСА

E. S. Bushueva, I. D. Efremov, E. A. Ovchinnikova, N. V. Kulakova
Perm State University, Perm

APPLICATION OF THE VES METHOD FOR STUDY OF KARSTIC CAVITIES AT THE BOGOMOLOVSKOE GYPSUM DEPOSIT

Пермский край отличается большим разнообразием типовых видов карста, значительным потенциалом добывающей и перерабатывающей промышленности и, соответственно, существенной техногенной нагрузкой на природные объекты. На данной территории закарстованы преимущественно гипсы, ангидриты, переслаивающиеся маломощными известняками, доломитами иренского горизонта, в меньшей степени – известняки и доломиты филипповского горизонта кунгурского яруса, а также известняки артинского яруса нижней перми [1]. Карст очень часто вызывает большие осложнения при проведении горных работ, обуславливает большие притоки воды в подземные выработки. При разработке карьера карст может привести к чрезвычайным ситуациям, связанных с образованием провалов в карстовых полостях, заполненных воздухом.

Из геофизических методов, применяемых при изучении карста, наиболее перспективными являются электроразведочные методы [2]. Метод ВЭЗ позволяет получить разрез среды и своевременно выявить

© Бушуева Е.С., Ефремов И.Д., Овчинникова Е.А., Кулакова Н.В., 2017

карстовые полости, что позволяет вовремя принимать соответствующие меры.

На территории исследуемого карьера были проведены электро-разведочные наблюдения методом ВЭЗ по 6 профилям для поисков карстовых полостей. При изысканиях использовалась аппаратура АМС-1. Для обработки и интерпретации полевых данных ВЭЗ применялась специализированная программа ЗОНД 2.0.

Богомоловское месторождение – гипсовый карьер (рис. 1), находящийся в окрестностях города Орды (Пермский край, Россия). В геологическом строении преобладают отложения пермской системы, а именно лунежская пачка, представленная гипсом и ангидритом. Данные породы подвержены карстовым процессам, которые могут вызывать проблемы при добыче гипсового камня.



Рис. 1. Схема Богомоловского карьера

На этапе качественной интерпретации решались вопросы изучения общего характера пространственного изменения электрических свойств среды, выявления зон аномально повышенных и пониженных сопротивлений, степень нарушенности структуры пород, их латеральная изменчивость, возможная обводненность, т. е. факторы, определяющих наличие карстовых образований [3]. Нами были получены горизонтальные сечения трехмерного поля кажущихся сопротивлений (рис. 2), характеризующие изменение электрических свойств пород как по площади, так и с глубиной.

Проинтерпретировав полученные данные, мы сделали вывод, что приповерхностная часть разреза до эффективных глубин 2,5–5 м характеризуется наличием, в основном, низкоомных отложений (рис. 2, а, б). На глубине 10 м в центральной части наблюдается зако-

номерное увеличение кажущегося сопротивления, указывающее на наличие карстовой области, приуроченной к гипсовым отложениям (рис. 2, в, 3, в, г).

По мере погружения эффективной глубины исследования, кажущее сопротивление продолжает увеличиваться, что свидетельствует о наличии плотных пород – ангидритов, подстилающих область карстообразования. Проследить это можно на горизонтальном сечении поля кажущихся сопротивлений (рис. 2, г), а также на картах кажущихся сопротивлений (рис. 3, д, е).

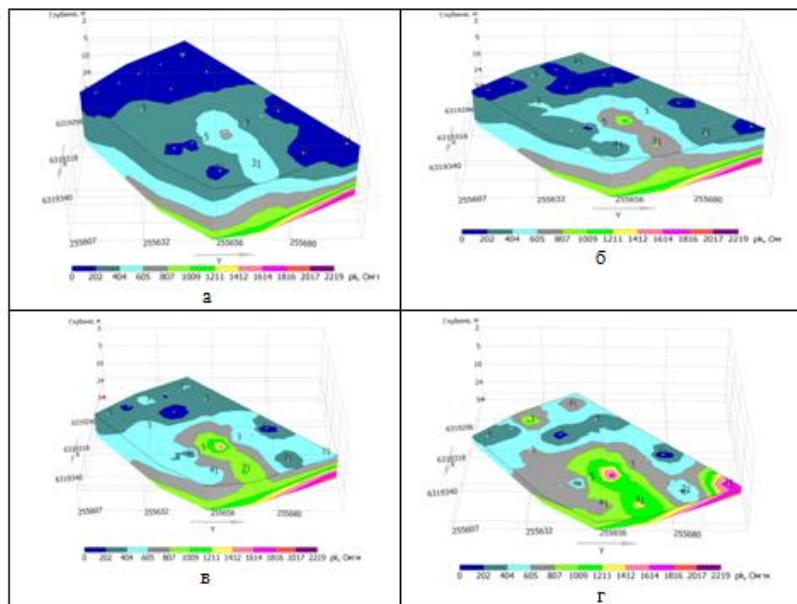


Рис. 2. Горизонтальные сечения поля кажущихся сопротивлений на эффективных глубинах 2,5 (а), 5 (б), 10 (в), 20 м (г)

По результатам качественной интерпретации данных, полученных на Богомоловском месторождении, мы предположили наличие карстовой полости в центральной и северо-восточной части территории. Карстовая полость заполнена воздухом и находится в гипсовых отложениях. При дальнейшей разработке карьера необходимо учитывать ее местоположение, чтобы предотвратить возможные аварии.

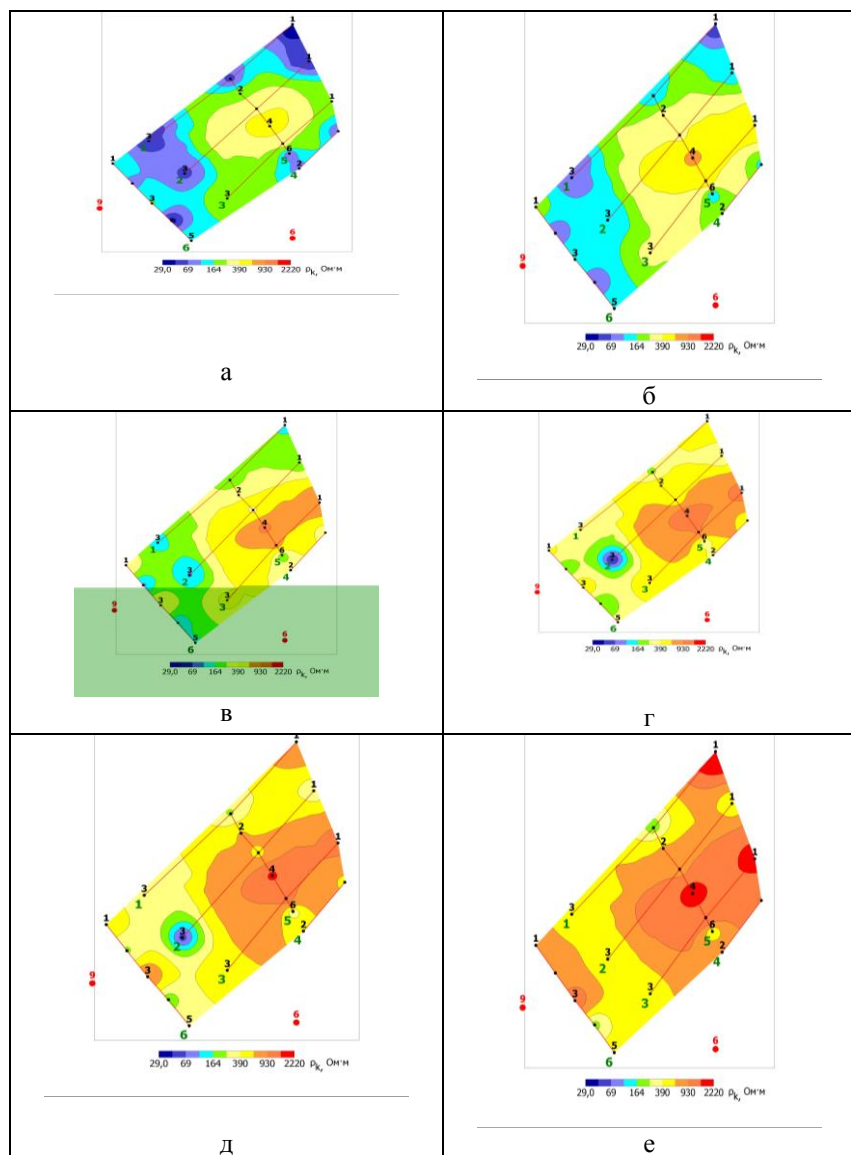


Рис. 3. Карты поля кажущихся сопротивлений на эффективных глубинах 1 (а), 2,5 (б), 5 (в), 10 (г), 14 (д) и 25 м (е)

Литература

1. Горбунова К. А., Андрейчук В. Н., Костарев В. П., Максимович Н. Г. Карст и пещеры Пермской области. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 1992. 200 с.
2. Колесников В. П., Татаркин А. В. Применение методов электрометрии для выявления закарстованных участков при решении инженерно-геологических задач // Кунгурская ледяная пещера: 300 лет науч. и тур. деятельности: матер. междунар. науч.-практ. конф. Кунгур, 2003. С. 329–333.
3. Колесников В. П., Татаркин А. В., Димухаметов М. Ш. Применение компьютерной технологии интерпретации электроразведочных данных при изучении закарстованных территорий // Вестник Пермского университета, 2008. № 10 (26). С. 136–143.

А. П. Варзаков, А. В. Зырянова, В. Б. Виноградов
Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург

СОЗДАНИЕ ФИЗИКО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

A. P. Varzakov, A. V. Zyryanova, V. B. Vinogradov
Ural State Mining University, Yekaterinburg

THE CREATION OF PHYSICAL-GEOLOGICAL MODEL OF GOLD DEPOSIT

В связи с окончанием гравиметровой съемки страны масштаба 1:200000 необходимо определить новые геологические задачи, которые могут быть решены с помощью гравиразведки. Более 50 % затрат на поиски твердых полезных ископаемых в нашей стране выделяются на поиски месторождений золота [1]. Одной из задач для гравиразведки должны стать поиски редко выявляемых или ранее не выявленных на территории страны месторождений золота. В качестве примера рассмотрим применение геофизических методов при изучении одного из месторождений золота калиевых щелочных массивов.

Существующие представления об ограниченной применимости гравиразведки для поиска золоторудных месторождений сформировались в 1970 – 1980-е годы. В настоящее время стоимость гравиразведочных работ значительно уменьшилась, точность измерений существенно повысилась, производительность увеличилась. Топографическое обеспечение существенно упростилось, его стоимость существенно уменьшилась. Применение спутниковых навигаторов избавляет от

разбивки профилей и пикетов. Наличие дополнительной информации на месторождениях намного сужают область неоднозначности решения обратной задачи.

В работе рассмотрено мелкое месторождение в Якутии. Средние и крупные месторождения будут создавать геофизические аномалии большей интенсивности на большей площади. В геологическом строении района работ принимают участие следующие структурно-вещественные комплексы: метаморфические образования архея в сочетании с архейско-протерозойскими интрузивными комплексами образуют кристаллический фундамент щита; осадочные терригенно-карбонатные породы формируют платформенный чехол; широко развиты интрузивно-вулканические комплексы мезозойского магматического цикла, повсеместно распространены рыхлые неоген-четвертичные образования.

На территории щелочной провинции выявлены многофазные гранитные штоки размером 400×600 м с золотым оруденением. Месторождение приурочено к пересечению разрывных нарушений северо-западного и северо-восточного простирания. На площади распространены гранитогнейсы, кристаллические сланцы, сиениты, сиенит-пегматиты, псевдолейцитовые сиенит-порфиры, шонкиниты, биотитовые и ортоклазовые пироксениты и перидотиты. Месторождение имеет прожилково-вкрапленное оруденение, представленное по большей части пиритом (1–10 %), галенитом (1–3 %) и более редкими халькопиритом, сфалеритом, молибденитом, борнитом, петцитом, аргентитом. Применение гравиразведки, магниторазведки, электроразведки для оконтуривания площадей контактово и метасоматически измененных пород и решения задач геологического картирования на этой территории рассмотрено в работе [2].

Влияние вмещающих пород на гравитационное и магнитное поле показано на рис. 1. Физико-геологические модели рудоносного штока и месторождения созданы на основе геологических планов на нескольких горизонтах [2]. Комплексные геофизические измерения позволили уточнить положение тектонических нарушений и контакты между разными структурно-вещественными комплексами. Рудоносный шток в поле силы тяжести многофазного штока проявляется отрицательными аномалиями небольшой амплитуды с поперечником около сотни метров. Комплексное истолкование магнитного и гравитационного полей существенно меняет представление об областях распространения пироксенитов и шонкинитов. По геофизическим данным значительно изменены контуры распространения интрузивных пород.

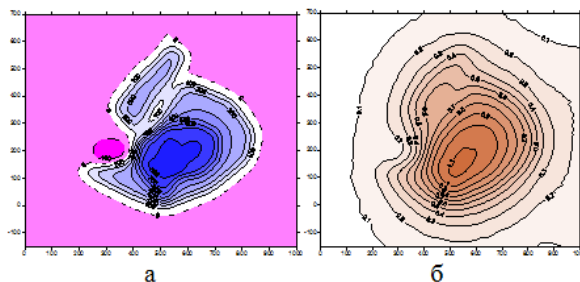


Рис. 1. Модельное магнитное поле (а) и модельное поле силы тяжести (б) многофазного штока

Плотность пород месторождения подробно изучена по образцам из обнажений, скважин, канав. По тем же данным составлена объемная геометрическая модель многофазного штока масштаба 1:1000. С помощью имитационного моделирования установлена зависимость интенсивности гравитационной аномалии от горизонтального поперечника штока и его вертикального размера. Ее график представлен на рис. 2, а. Шток уверенно выявляется, если его поперечник и вертикальный размер превышают 70 м.

Влияние глубины верхней кромки на амплитуду аномалии рудоносного штока мало (рис. 2, б). Если глубина до верхней кромки меньше 100 м и не превосходит горизонтальный размер штока, то амплитуда аномалии более 0,13 мГал.

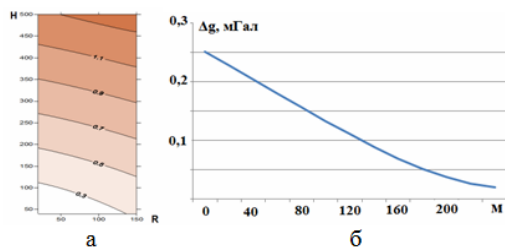


Рис. 2. Зависимость амплитуды гравитационной аномалии от половины вертикального размера H и поперечника рудоносного штока R (оцифровка в метрах) $\Delta g^{\max}(R, H)$ (а); зависимость амплитуды аномалии силы тяжести штока от глубины до его верхней кромки (б)

Аномалия рудоносного штока существенно зависит от интенсивности сульфидизации. Увеличение содержания сульфидов на 1 % во всем объеме штока влечет уменьшение интенсивности отрицатель-

ной аномалии силы тяжести на 13 %. При содержании сульфидов 7 % плотность штока и вмещающих пород одинакова, аномалии силы тяжести не будет. При содержании сульфидов более 7 % над штоком появляется положительная аномалия. Таким образом, проявляется в поле силы тяжести уровень эрозионного среза: надрудный, рудный, подрудный. Для корректного истолкования необходимо иметь данные комплекса методов.

Ранее авторами рассматривалась решение двумерной задачи. В работе [3] показана возможность применения гравиразведки при изучении месторождений для изучения рудных тел жиллообразной формы. Те же задачи могут быть решены для месторождений трубообразной формы. Форма штока всегда сложная, и часто по скважинным данным восстанавливается с большой погрешностью. Уточнение формы рудоносного штока возможно в процессе добычи, как это сделано еще в 1950-х годах А. Я. Ярошем и позднее повторено много раз. На этом этапе геофизические методы, кроме гравиразведки не пригодны вследствие техногенных помех

На рис. 3 показано изменение формы аномалии силы тяжести при изменении местоположения и формы рудных тел. На рис. 3, в представлено поле разности двух аномалий, подтверждающие возможность изучения формы штока.

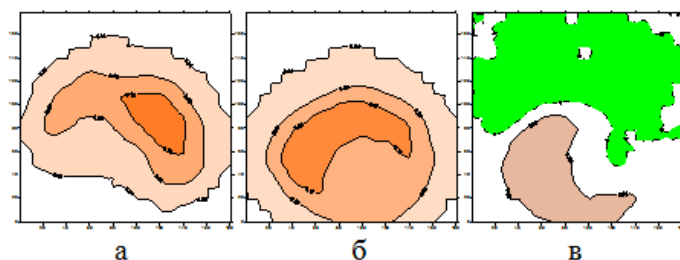


Рис. 3. Аномалии силы тяжести рудных тел разной формы и разностное поле

Выводы. Данные гравиразведки позволяют создать рациональную сеть скважин, канав и других горных выработок при изучении золоторудных месторождений калиевых щелочных массивов.

По материалам гравиразведки можно уверенно выявлять рудоносные штоки щелочных массивов с промышленно значимым обогащением.

На этапе детальной разведки гравиметрический метод может применяться для определения формы рудоносного штока и рудных тел на золоторудных месторождениях калиевых щелочных массивов.

Литература

1. *Аксенов В. А.* Основные результаты геологоразведочных работ на твердые полезные ископаемые в 2016 г. и задачи на 2017 г. // Отечественная геология. 2017. № 1. С. 3–18.
2. *Дворник Г. П.* Метасоматизм и золотое оруденение калиевых щелочных массивов (на примере Центрально-Алданской щелочной провинции). Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2014. 329 с.
3. *Варзаков А. П., Виноградов В. Б.* О применении гравиразведки на золоторудных месторождениях Амурской области // Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле земли, интерпретация геофизических полей. Восьмые научные чтения памяти Ю. П. Булашевича. Материалы конференции. Екатеринбург: УрО РАН, 2015. С. 402–405.

Е. Б. Варов

РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, г. Москва

РАЗРАБОТКА ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ НА ОСНОВЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ СТАНДАРТОВ ДЛЯ НЕФТЕГАЗОВОЙ ГЕОФИЗИКИ

E. B. Varov

Gubkin University, Moscow

DEVELOPMENT OF EDUCATIONAL PROGRAMS BASED ON PROFESSIONAL STANDARDS FOR OIL AND GAS GEOPHYSICS

Процесс формирования единой национальной системы квалификаций на базе профессиональных (ПС) и образовательных стандартов (ФГОС ВО), начатый пять лет назад, переходит в завершающую фазу. Для многих видов деятельности уже приняты профессиональные стандарты (ПС), в том числе по нефтегазовой геофизике. В настоящее время с учетом требований ПС актуализируются стандарты (ожидается публикация стандартов ФГОСЗ++), и в них профессиональные компетенции (ПК) уже не будут указываться. Требования ПС должны использоваться как основа при формировании ПК, определяющих содержание образовательных программ и учебно-методических материалов, обеспечивая взаимодействие сфер профессионального образова-

ния и трудовой деятельности в целях повышения качества подготовки выпускников и их конкурентоспособности [1].

Семь геофизических ПС для нефтегазовой отрасли образуют матрицу с разделением по виду объектов проведения работ (измерения на поверхности Земли, в скважине или на образце) и их характеру (получение данных или их обработка и интерпретация). На основе этих стандартов необходимо будет осуществлять образовательную деятельность по специализациям «Сейсморазведка» и «Геофизические исследования скважин» ФГОС ВО специальности «Технология геологической разведки» (21.05.03) в нефтегазовой отрасли [1, 2, 4]. Отметим, что при обсуждении ПС нефтегазовые компании высказывали пожелание, чтобы специалисты имели более основательную и широкую подготовку в области интерпретации геофизических данных (в частности, было предложение объединить ПС по обработке и интерпретации). Это следует учитывать при формировании основных профессиональных образовательных программ (ОПОП).

Подходы, реализованные в ФГОС3++, являются значительным шагом в создании условий для динамичного развития высшей школы. Помимо возможности полноценного учета требований, связанных с профессиональной деятельностью, в них осуществлен переход к заданию только нижнего порога объема блоков вместо интервала, убраны элементы, связанные с профессиональной терминологией (объекты и виды деятельности). Вместе с тем, не все поставленные при их создании задачи были полноценно реализованы – во многих стандартах содержательная часть пунктов, касающаяся ОПК, состава практик, а также цифры по объему блоков далеки от совершенства. Наибольшие сложности при разработке новой версии стандартов возникли при формировании единых ОПК для укрупненных групп (поскольку дисциплины и практики, обеспечивающие УК и ОПК, становятся обязательными для всех образовательных учреждений).

Анализ планов для бакалавров в области нефтегазового дела, нефтегазовой геологии и геодезии показывает существенные различия по дисциплинам с выделением двух групп – отраслевые ВУЗы и классические университеты. Совпадение по дисциплинам при этом обеспечивается в объеме 63–68 зачетных единиц, тогда как по стандарту обязательная часть должна составить не менее 96. Идея сближения программы обучения студентов первых двух курсов понятна и несомненно целесообразна, но не может быстро реализоваться.

В последнее время уделяется большое внимание вопросам, связанным с повышением привлекательности российского образования на международном рынке образовательных услуг с экспортом образова-

ния. Поэтому при разработке образовательных программ желательно также учитывать сложившиеся там подходы. В Европе и Америке формированию траектории обучения студентов с учетом требований работодателей уделяется большое внимание. Большое влияние на эти процессы оказывают специализированные сервисные фирмы по совершенствованию профессиональной деятельности работников. По их оценкам, порядок решаемых задач обучения по важности должен быть следующим: способность к обучению; работа в команде (коммуникабельность); практические навыки; знания.

В структуре учебных планов предметы, как и у нас, классифицируются по двум признакам – типу и уровню содержания. Тип связан с характером компетенций, они примерно соответствуют делению на блоки и циклы. Блоку 1 соответствуют первые четыре типа дисциплин (модулей): основные (1), обеспечивающие формирование ПК, поддерживающие (2) и организационные и коммуникационные (3), специализированные (4), конкретизирующие подготовку в соответствующей области деятельности. Блокам 2 и 3 приблизительно соответствует пятый тип, который помимо практик и выпускных работ, включает и курсовое проектирование. Его объем составляет около трети общего объема программы (в бакалавриате – четверти), что согласуется с широко применяемым делением учебного года на триместры.

По уровню изложения дисциплины (модули) разделяются на четыре группы: В – введение в предмет (Basic), I – расширение базового знания (Intermediate), А – углубленные знания (Advanced), S – специализация знаний (Special). На практике это обеспечивает упорядочивание последовательности изучения дисциплин (модулей) в рамках одной предметной области.

Такой подход реализуется и в наших учебных планах, но из-за сохранившейся со времен СССР изначальной более узкой специализации программ обучения (магистр за 5 лет), дисциплин уровня «введение в предмет» мало. Отметим также, что для кодировки дисциплин учебного плана широко применяется система, состоящая из двух букв, определяющих предметную область, и трех цифр; первая определяет год обучения, для которого предназначена дисциплина, а две последующие – порядковый номер. Это позволяет обеспечить логическую структуру и упростить формирование индивидуальных учебных планов.

Важной частью процесса разработки ООП становится определение необходимых ПК, порядка их формирования и привязки к дисциплинам [2–5].

На практике вузам потребуется переработка имеющихся ОПОП в соответствии с ПООП и, в первую очередь, учебных планов, являющихся основными документами при осуществлении образовательной деятельности. Необходимой частью процесса разработки учебных планов становится определение необходимых ПК, порядка их формирования и привязка к дисциплинам.

По характеру компетенций дисциплины (модули) можно разделить на несколько групп. Первая группа включает следующие дисциплины: философия, история, иностранный язык, безопасность жизнедеятельности, экономика, правоведение, информатика, физическое воспитание. Они обеспечивают УК и могут быть общими для всех.

Далее следует группа дисциплин, определяемая областями образования (общие ОПК): математика, физика, химия, экология, компьютерные технологии. В учебном плане предметы этих групп обычно присутствуют как отдельные дисциплины.

Затем идут обязательные дисциплины, связанные с ОПК по направлениям. Дисциплины этой группы для одной предметной области могут излагаться на разном уровне, поэтому целесообразно при разработке учебного плана отражать их как модули, что обеспечивает большую гибкость.

Например, для 21 УГС по направлениям модули могут быть следующими – *Прикладная геология и геофизика; Разработка месторождений полезных ископаемых; Прикладная геодезия и геоинформатика*, а также модуль *Организация производства и работ в отрасли*. Это позволит корректировать объемы изложения по уровням и профилям. Далее идет группа профессиональных дисциплин и модулей, обеспечивающие ПК, сформулированные на основе ПС, дающие необходимый уровень подготовленности студентов к участию в производственных процессах.

Разработка образовательных программ на основе ПС требует значительных усилий, особенно при создании ПООП. Ряд документов в области прикладной геофизики, которые требуются для решения этих задач, нуждаются в совершенствовании и более глубокой интегрированной проработке. Есть и многочисленные иные проблемы, возникающие при использовании новых критериев, например, по перезачетам при переходах студентов. Однако приведение ПК в соответствие с ПС должно обеспечить гибкость и оперативность развития профессионального обучения и дать новые возможности повышения как качества подготовки специалистов, так и конкурентоспособности всей российской высшей школы на международном рынке образования.

Литература

1. Губанова Е. Н., Лоргина Н. Н., Мартынов В. Г. Оптимизация рынков труда и образовательных услуг // Проблемы экономики и управления нефте-газовым комплексом». ВНИИОЭНГ. 2006. № 3.
2. Методические рекомендации по разработке основных профессиональных образовательных программ и дополнительных профессиональных программ с учетом соответствующих профессиональных стандартов. Утверждены Минобрнауки России 22.01.2015, № ДЛ-1/05вн.
3. Методические рекомендации по актуализации действующих федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования с учетом принимаемых профессиональных стандартов (утв. Минобрнауки России 22.01.2015 N ДЛ-2/05вн) URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_175196/
4. Профессиональные стандарты нефтегазового комплекса. URL: <http://www.spkngk.ru/about/activity/standards/list/>.
5. Проекты ФГОС ВО 3++. URL: <http://fgosvo.ru/fgosvo/142/141/16>.

И. Ю. Герасимова^{1,2}, А. В. Горожанцев², И. В. Огородова²

¹ Горный Институт УрО РАН, г. Пермь

² Пермский государственный национальный
исследовательский университет, г. Пермь

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ПРОСТРАНСТВА ПОД БЕТОННЫМ ПОКРЫТИЕМ МЕТОДОМ ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ

I. Y. Gerasimova^{1,2}, A. V. Gorozhantsev², I. V. Ogorodova²

¹ Mining Institute UB RAS, Perm

² Perm State University, Perm

RESULTS OF STUDYING THE SPACE UNDER CONCRETE SLAB BY GEORADIOLOCATION METHOD

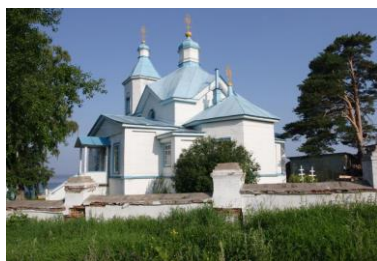
В настоящее время в качестве неразрушающего геофизического метода исследования, а также контроля в промышленном и гражданском строительстве широко применяется георадиолокация [1]. Действие георадара основано на излучении импульсов метрового и дециметрового диапазона электромагнитных (наносекундных) волн и приеме сигналов, отраженных от границ раздела слоев зондируемой сре-

ды, характеризующихся различными электрофизическими свойствами.
В

исследуемых средах это могут быть контакты между сухими и влагонасыщенными грунтами, породами различного литологического состава, породой и материалом искусственного сооружения и т. д. [3]. Основные параметры, которые характеризуют особенности распространения волн в среде, это волновое число, скорость, длина волны. В свою очередь они являются функциями частоты излучаемых электромагнитных импульсов, диэлектрической проницаемости среды и её удельного электрического сопротивления.

Исследования с целью выявления возможных крупных пустот естественного или искусственного (подклет, погреб и т.п.) происхождения под бетонным полом здания (год постройки 1869) проводились по просьбе представителя администрации Церкви Рождества Христова (рис. 1, а), расположенной в с. Усть-Гаревая Сенькинского сельского поселения Добрянского муниципального района Пермского края в месте слияния р. Полуденная и р. Кама (рис. 2, а). Исходя из строения береговой полосы р. Камы, находящейся в непосредственной близости от объекта исследования, было определено, что фундамент здания церкви заложен на глинистых образованиях.

Георадиолокационное обследование с использованием георадара «ОКО-2» проводилось непосредственно в здании церкви с экранированными антенными блоками, имеющими центральную частоту 250 Гц (рис. 1, б).



а



б

Рис. 1. Вид на Церковь Рождества Христова (а) и общий вид георадара «ОКО-2» с экранированными антенными блоками

Измерения проведены по 10 линиям наблюдений (профили) общей протяженностью 95,8 м. Пространственное положение профилей внутри помещения схематически представлено на рис. 2, б.

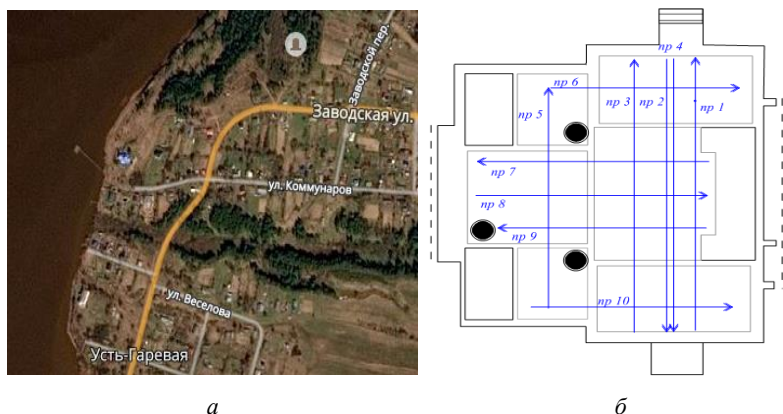


Рис. 2. Гибридная схема местоположения объекта исследования (по ООО ИТЦ «Сканекс») (а) и схема расположения линий наблюдения (б). Стрелками показано направление движения, круги – печи)

Практика показывает, что не всегда удается найти однозначное объяснение наблюдаемым изменениям волновой картины при описании и анализе результатов георадиолокации. В этих случаях можно лишь констатировать наличие в записи аномальных участков. К числу таких аномалий относят изменение конфигурации осей синфазности любого класса, регистрация дифрагированных волн, изменения полярности отражений, появление зон «звучащей» записи и т.д. Поэтому при интерпретации материалов, полученных в процессе изучения объекта, требуется определение всех изменений волновой картины вдоль линий наблюдений [1–3].

Обработка полученных данных георадиолокационной съемки проводилась с использованием программного обеспечения GEOSCAN. При этом выполнены следующие операции: определение нуля шкалы глубин, исключение маскирующего эффекта сигнала прямого прохождения, фильтрация, корректировка шкалы глубин на основе расчета величины диэлектрической проницаемости (средняя величина принята равной 4,51), корреляция оси синфазности.

На рис. 3 для примера приведена радарограмма по профилю 2, на которой видно, что отражающий горизонт, отождествляемый с подошвой фундамента здания, отчетливо прослеживается на глубине порядка 1 м, несколько отклоняясь от горизонтали на величину до 20 см. Также здесь выделяется два участка осложненных дифрагированными волнами (соответственно, в интервалах 0,4–1,6 м и 7,0–8,8 м от

начала профиля), вероятнее всего, обусловленные наличием технологических особенностей установки бетонного пола в помещении. На радарограммах, полученных вдоль других профилей, также наблюдаются области, отличающиеся наличием «звучащей» записи, которые предположительно связаны с конструктивными особенностями сооружения более поздних пристроев справа и слева относительно центральной части здания.

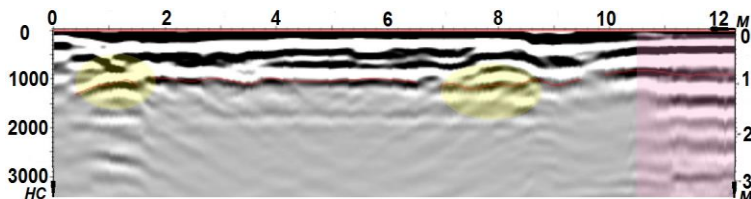


Рис. 3. Радарограмма вдоль профиля 2

Схема расположения выделенных аномальных участков приведена на рис. 4, а. Глубина залегания отражающего горизонта, отождествляемого с подошвой фундамента здания, представлена в виде карты изолиний (рис. 4, б).

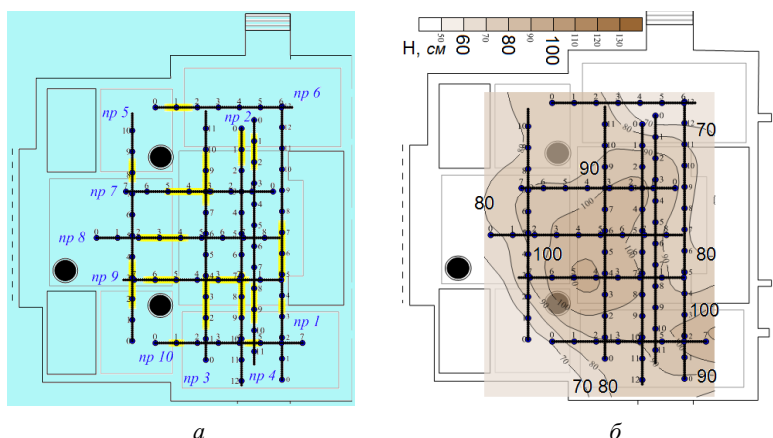


Рис.4. Схема аномальных зон волнового поля (а) и карта изолиний подошвы фундамента здания (б)

Таким образом, по итогам результатов обработки и интерпретации результатов георадиолокационных наблюдений в основании объекта исследования признаков наличия крупных пустот естественного

или искусственного происхождения по волновым характеристикам не выявлено.

Литература

1. Владов М. Л., Старовойтов А. В. Введение в георадиолокацию. Учебное пособие. М.: Изд. МГУ, 2005. 153 с.
2. Кичигин А. В., Степанов Ю. И., Горожанцев А. В. Выделение зон просевших грунтов под бетонным полом методом георадиолокации // Вопросы обработки и интерпретации геофизических наблюдений. Материалы науч.-практ. конф. Обнинск-Пермь: ГС РАН-ПГНИУ, 2012. С. 199–202.
3. Радиотехнический прибор подповерхностного зондирования (георадар) «ОКО-2»: [Электронный ресурс]. Техническое описание. Инструкция по эксплуатации. Версия 2.6. ООО «Логические системы». Раменское МО, 2013. 98 с. URL: <http://www.geotech.ru/files/Okо20130718to.pdf> (д. о. 27.09.2017).

В. А. Гершанок¹, В. И. Костицын¹, М. С. Чадаев²

¹Пермский государственный национальный
исследовательский университет, г. Пермь,

²Горный институт УрО РАН, г. Пермь

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЯДЕРНЫХ И ИНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ

V. A. Gershanok¹, V. I. Kostitsyn¹, M. S. Chadayev²

¹Perm State University, Perm,

²Mining Institute UB RAS, Perm

COMPARATIVE ASSESSMENT OF NUCLEAR AND OTHER ENERGY SOURCES

На протяжении многих лет основным видом энергетического сырья служит органическое топливо: нефть, газ, уголь, торф. Это сырье относится к невозобновляемым и рано или поздно будет исчерпано. Оно является также ценным химическим сырьем и, как отмечал в свое время Д. И. Менделеев, сжигать его все равно, что «топить ассигнациями».

Используя данные К. А. Гладкова (табл. 1), оценим «вклад» различных видов топлива в получение энергии. В таблице приведена сравнительная оценка органического топлива и радиоактивного сырья.

Таблица 1

**Предполагаемая энергия, которая может быть
получена от невозобновляемых видов источников**

Источник	Запасы, млрд. т	Получаемая энергия от имеющихся запасов	
		10^{15} кВт-ч	10^{22} Дж
Уголь	10660	86,25	31,0
Нефть	120	0,97	0,35
Газ	60	0,49	0,18
Торф	560	4,55	1,64
Урановые, ториевые руды	6500	527	189

Кроме перечисленных невозобновляемых источников, человек научился использовать, так называемые, возобновляемые источники. Приведем некоторые примеры таких источников (табл. 2).

Таблица 2

**Получаемая энергия за год
от возобновляемых источников**

Источник	Получаемая энергия за год	
	10^{15} кВт-ч	10^{22} Дж
Солнечное излучение	1500	540
Морские приливы	70	25,18
Ветер	17,36	6,24
Тепло Земли	0,289	0,104
Энергия рек	0,033	0,012

Любой один вид источника за год может дать столько энергии, что ее хватит для удовлетворения потребностей всего человечества. Однако, к сожалению, современный уровень развития науки и техники не позволяет в должной мере использовать «даровую» природную энергию.

Подробнее рассмотрим еще один вид энергетического источника – урановые и ториевые руды. Согласно [2], при распаде одного атома урана выделяется 10^{11} Дж энергии. В 1 г U^{238} содержится $2,53 \cdot 10^{21}$ атомов, поэтому 1 г урана выделит $2,53 \cdot 10^{10}$ Дж.

По данным, приведенным в табл. 1 можно определить, что при сжигании 1 г нефти выделится лишь $41 \cdot 10^3$ Дж, а 1 г антрацита – $31 \cdot 10^3$ Дж. Это значит, что по выделяемой энергии 1 г U^{238} эквивалентен 2,2 т нефти или 2,8 т антрацита!

К тому же следует отметить, что хотя радиоактивные руды отнесены к невозобновляемым источникам энергии, тем не менее, их можно считать неисчерпаемыми, т. к. периоды полураспада урана и тория – родоначальников радиоактивных семейств – исчисляются миллиардами лет, т.е. они будут существовать практически вечно.

Эксплуатация любых энергетических установок нарушает экологическое благополучие территории, загрязняет окружающую среду различными отходами. Среди населения обычно бытует мнение, что наиболее существенное загрязнение среды происходит при эксплуатации атомных электростанций, создающих существенную радиационную опасность. Прокомментируем эту точку зрения.

В нормальном режиме работы один блок АЭС средней мощности выбрасывает в окружающую среду около 0,2 мКи/год радиоактивных отходов. Согласно базе данных МАГАТЭ «PRIS» в мире работает 449 блоков, общий выброс которых составляет около 900 мКи/год (0,9 Ки/год). Это количество радионуклидов создает дополнительно 2–3 % излучения к уровню местного радиационного фона.

Радиационное воздействие тепловых электростанций, работающих на угле, оказывается значительно большим, т.к. в угольной золе содержатся повышенные концентрации основных естественных радиоактивных изотопов – K^{40} , U^{238} , Ra^{226} , Pb^{210} , Th^{232} и некоторых других. Уран и торий, как родоначальники радиоактивных семейств, создают вместе с членами семейств не только γ – излучение, но также α – и β – излучения и являются источниками образования радиоактивных газов – радона и торона.

В табл. 3 приведена информация о концентрации изотопа Th^{232} в различных горных породах, а также в угле и угольной золе. Из приведенных данных видно, насколько концентрация Th^{232} в угольной золе больше, чем в любой горной породе, включая гранит.

Таблица 3

Концентрация Th^{232} в горных породах, угле и угольной золе
(по Ю. П. Пивоварову и В. П. Михалеву)

Горная порода	Концентрация Th^{232}, пКи/г
Гранит	2,2
Сланцы	1,2
Песчаник	0,3
Известняк	0,2
Уголь	0,3–2,0
Угольная зола	2,3–8,7

По мере работы тепловой электростанции зола складывается и радиационный фон местности постепенно повышается. Существенно важным является и то, что при сжигании угля в атмосферу поступает радиоактивный углерод C^{14} с периодом полураспада 5560 лет. Все это приводит к тому, что радиационный фон в районах расположения угольных электростанций в 2–3 раза превышает фон в районах работы атомных станций, которые к тому же не производят выброс в атмосферу углекислого газа и не потребляют кислород.

Однако не следует забывать, что эксплуатация любых энергетических установок может приводить к авариям. По статистике за пять лет в среднем в мире случаются 4 аварии на АЭС. Такие аварии представляются наиболее опасными по сравнению с другими видами техногенных катастроф. Они имеют отдаленные последствия, связанные с радиоактивным загрязнением местности. Кроме того, отходы атомных станций также создают опасность загрязнения. Длительность радиоактивного загрязнения зависит от периодов полураспада образовавшихся при аварии изотопов.

Характеристика основных радионуклидов, образующихся при радиационных авариях, приведена в табл. 4. Количество того или иного изотопа уменьшается со временем по экспоненциальному закону. Практически полный распад элемента произойдет за время, равное 10 периодам полураспада [2].

Таблица 4

«Аварийные» радионуклиды (по Н. А. Комарову)

Радионуклид	Период полураспада	Типичное излучение и его энергия, кэВ
Цезий Cs^{137}	30 лет	$E_{\gamma} - 662$; $E_{\beta} - 511$
Стронций Sr^{90}	29 лет	$E_{\beta} - 546$
Иттрий Y^{90}	2,7 дня	$E_{\beta} - 2300$
Цезий Cs^{134}	2 года	$E_{\gamma} - 605$; 795 ; $E_{\beta} - 975$
Церий Ce^{144} и	284 дня	$E_{\beta} - 310$
Празеодим Pr^{144}	17 мин	$E_{\beta} - 3000$
Рутений Ru^{106}	1 год	$E_{\gamma} - 511$; 621
Родий Rh^{106}	30 с	$E_{\beta} - 3540$
Иод I^{131}	8 дней	$E_{\gamma} - 365$; $E_{\beta} - 600$
Цирконий Zr^{95}	64 дня	$E_{\gamma} - 724$; 750 ; $E_{\beta} - 400$
Ниобий Nb^{95}	35 дней	$E_{\gamma} - 765$; $E_{\beta} - 160$
Плутоний Pu^{238} , плутоний Pu^{239}	87 лет, 24000 лет	α

Основными долгоживущими техногенными изотопами, накапливающимися в окружающей среде, являются Cs^{137} и Sr^{90} . Что касается наиболее долгоживущих изотопов Pu^{238} и Pu^{239} , то их поступление в среду на несколько порядков меньше, чем Cs^{137} и Sr^{90} .

Аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 г., а затем на Фукусима 1 в 2011 г. приостановили развитие атомной энергетики, а некоторые страны заявили о пересмотре своих планов по строительству новых АЭС. Однако в результате дискуссии, затронувшей все слои мирового сообщества, о целесообразности использования атомной энергетики сформировалось мнение большинства, что энергетические проблемы не могут быть решены без использования безаварийно работающих АЭС. Спустя короткое время стало ясно, что ядерной энергетике трудно найти адекватную замену. Отказ от нее в пользу тепловых электростанций существенно поднимет цены на электричество, ухудшит экологическую обстановку, усилит энергетическую зависимость стран от ископаемого органического топлива и нанесет урон безопасности.

Атомная энергетика в настоящее время стала традиционной отраслью энергетики, АЭС вырабатывают электроэнергию в 31 стране мира. По количеству атомных электростанций лидирующее положение занимают США, страны Европы, а также Япония, Ю.Корея, Канада. В

13 странах доля электроэнергии, вырабатываемой на атомных станциях превышает 30 %, а во Франции достигает почти 77 %.

Самую масштабную программу строительства новых АЭС осуществляет Китай. Значительные программы имеют также Индия, Россия, Ю. Корея. На их долю приходится порядка 60 % всех строящихся в настоящее время АЭС.

Очевидно, что полемика о достоинствах и недостатках тех или иных источников энергии будет продолжаться. Несомненно лишь одно – будущее принадлежит возобновляемым источникам получения энергии. Они неисчерпаемы, экологически чисты, а их широкое использование в настоящее время ограничено лишь целым рядом нерешенных технических проблем.

Литература

1. *Гершанок В. А.* Радиометрия и ядерная геофизика: учеб. пособие. Пермь, Перм. гос. нац. иссл. ун-т. 2012. 260 с.
2. *Справочник необходимых знаний.* М.: «РИПОЛ КЛАССИК», 2001. 768 с.

А. П. Горбачёва

ПАО «Пермнефтегеофизика», г. Пермь

ВОЗМОЖНОСТИ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОГО ГАММА-КАРОТАЖА ПРИ ИЗУЧЕНИИ ЛИТОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ РАЗРЕЗА

A. P. Gorbacheva

Permneftegeofizika, Perm

OPPORTUNITIES OF THE SPECTROMETRIC GAMMA LOGGING FOR STUDY OF LITHOLOGICAL FEATURES OF CROSS-SECTION

Спектрометрический гамма-каротаж (СГК) наиболее чувствительный метод изучения литологических особенностей разреза, основанный на регистрации гамма-излучения естественно-радиоактивных элементов в скважине [3]. В последнее время СГК все чаще применяется в качестве дополнительного метода в составе стандартного комплекса ГИС при исследовании разрезов эксплуатационных и разведочных скважин в сложных условиях Пермского края.

© Горбачёва А. П., 2017

В рамках расширенной программы опытно-промышленных работ ПАО «Пермнефтегеофизика» в 2016 и 2017 гг. методом СГК было исследовано более 40 скважин. Исследования проводились в карбонатных и терригенных отложениях аппаратурно-программным комплексом многопараметрического радиоактивного каротажа АИНК-73С-2 (модуль ГК-73С). По результатам обработки проведена оценка содержания в разрезе естественных радиоактивных элементов, определен состав глинистых пород, оценено содержание радиоактивной органики, определены условия осадконакопления и фациальные обстановки формирования осадочных пород, уточнены прогнозные литолого-фациальные карты данных сейсморазведки 3D.

Определение минерального состава глинистого вещества

По энергетическим спектрам естественного гамма-излучения, зарегистрированного модулем ГК-73С, определяется массовое содержание радиоактивных элементов: тория (Th), урана (U), калия (K).

При помощи кросс-плот анализа с использованием палетки «Schlumberger» (для мономинерального состава глин) производится оценка минерального состава глинистого вещества по всему интервалу исследования и по отдельным стратиграфическим подразделениям.

Специалистами ПАО «Пермнефтегеофизика» систематизируются данные по минеральному составу глин на месторождениях Пермского края. По скважинам с отбором керна оценивается корректность определения минерального состава глин по данным описания шлифов. Проводится сопоставление данных СГК с результатами спектрометрического и рентгеноструктурного анализа керна, исследованного в лабораториях филиала ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть».

Выявление литологических особенностей разреза

Средняя массовая концентрация калия (K) в земной коре равна 2,59 %, среднее содержание тория (Th) – 12 ppm, среднее содержание урана (U) – 3 ppm [2]. Повышенное содержание в породах урана является признаком наличия органического вещества и битума, тория – акцессорных минералов. По ранее проведенному анализу описания большого количества шлифов (более 100) по месторождениям Пермского края установлено, что в бобриковских и радаевских глинах содержание акцессорных минералов, таких как циркон, сфен, турмалин – существенно и составляет до 4–5 % при встречаемости от 66 до 97 %.

На рис. 1 приведен пример повышенных показаний урана (U), соотношения урана и калия (U/K) в интервале нефтематеринских до-

маниковых отложений (2342–2358,5 м) по одной из эксплуатационных скважин Стретенского месторождения.

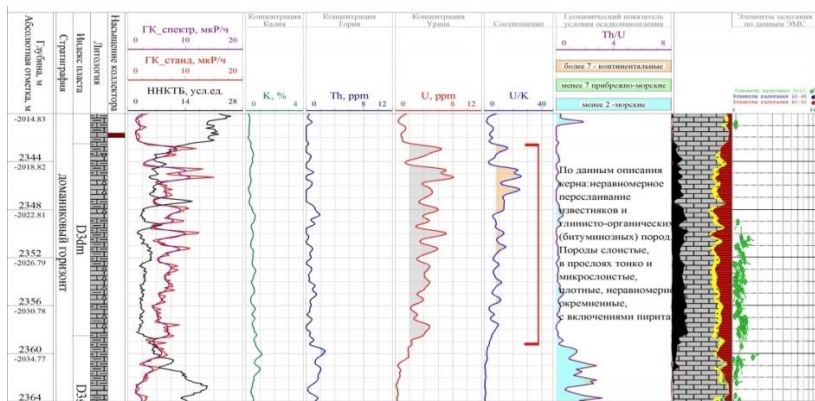


Рис. 1. Повышенное содержание U в интервале битуминозных пород доманикового горизонта

Данные SGK подтверждают битуминозность нефтематеринских пород и согласуются с объемной литологической моделью породы, построенной по комплексу методов ГИС (РК+АК+ГГКлп+БК), а также подтверждаются данными керна.

Спектрометрическая характеристика разреза актуальна и при определении емкостных свойств пластов-коллекторов (глинистости, пористости). Не рекомендуется определять объемную глинистость через урановую составляющую и через калий, более корректное определение – через калий-ториевый индекс или через концентрацию тория [3].

На рис. 2 приведен пример оценки глинистости по данным интегрального ГК и спектрального ГК по концентрации тория и калия. По результатам интегрального ГК в интервалах 1313–1314 м и 1317,8–1328,5 м пласта Бш коэффициент глинистости завышен в среднем до 4 %. С учетом пересчитанных значений глинистости и открытой пористости скорректированы границы нефтенасыщенных коллекторов, рекомендованных для испытания в колонне. В ПАО «Пермнефтегеофизика» проводятся опытные работы по изучению возможности определения объемной глинистости по данным SGK.

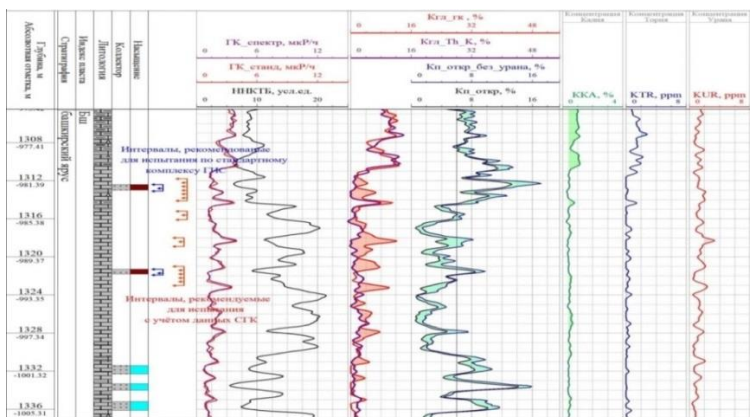


Рис. 2. Сопоставление данных SGK и GK по оценке объёмной глинистости

Оценка условий осадконакопления, фациальный анализ, уточнение прогнозных литолого-фациальных схем

По данным SGK по геохимическому показателю (Th/U) оцениваются условия осадконакопления: более 7 – **континентальные** (окислительная среда), менее 7 – **прибрежно-морские**, менее 2 – **морские** [3].

Установление фациальной природы песчаных тел, выявление особенностей внутреннего строения песчаных тел и карбонатных массивов, условий формирования проводится по комплексу методов ГИС (SGK, ЭМС – электромагнитное сканирование). По данным SGK оцениваются условия осадконакопления, по форме кривой GK устанавливается фациальная природа песчаных тел [1, 2], по данным ЭМС определяются элементы залегания, их направленность и активность гидродинамического режима водной среды. Данные ЭМС во многом облегчают интерпретацию по определению условий формирования песчаных тел. Например, фации кос и фации отмелей по кривой GK часто имеют одинаковую форму, однако их формирование происходит в разных гидродинамических режимах. Фации кос – активный режим, фации отмелей – спокойный режим. Привлечение данных ЭМС в таких случаях позволяет более точно оценить условия формирования песчаных тел.

На рис. 3 по одной из скважин Забродовской площади приведен пример оценки условий осадконакопления терригенных отложений и фациальной природы песчаных тел по комплексу методов ГИС (SGK+ЭМС).

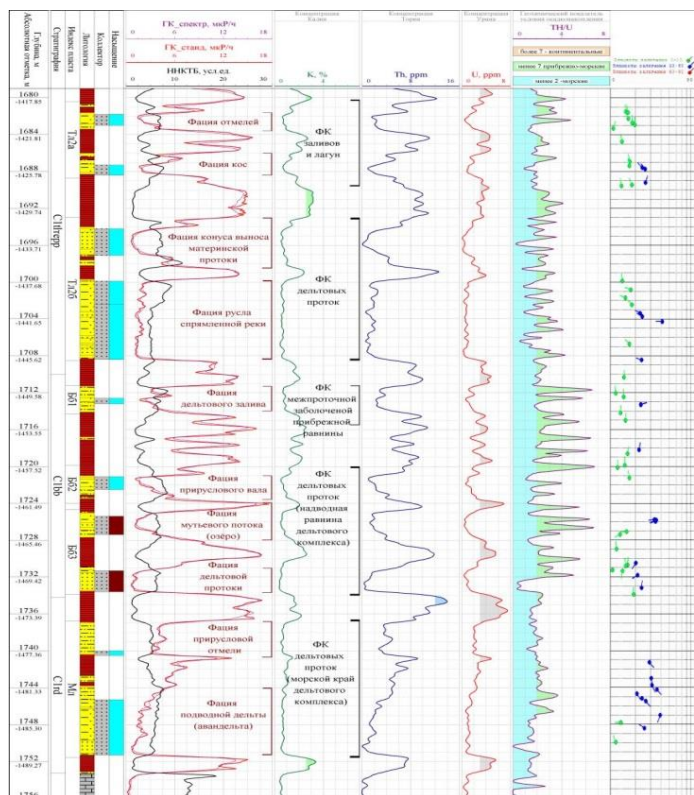


Рис. 3. Определение фаций и фациальных комплексов по данным СГК и ЭМС в скважине Забродовской площади

Анализируя данные керна и описания шлифов, специалисты ПАО «Пермнефтегеофизика» выделили основные особенности, характерные для того или иного фациального комплекса и фаций:

1. Определенные по данным СГК прибрежно-морские условия образования осадков подтверждаются отмеченными по всему разрезу включениями пирита и углистости;

2. Более континентальные (прибрежные) условия формирования осадков бобриковских отложений подтверждает отсутствие по данным керна карбонатов, в отличие от мелководно-морских тульских и радаевских отложений;

3. Биотурбированные песчаники и субвертикальные ходы илоедов характерны для более тиховодных участков отложений заливов-

лагун-отмелей и не отмечены в средах с более активным режимом (русло, протока, дельта);

4. В разрезе преобладают мелкозернистые песчаники. Присутствие среднезернистых разностей отмечено в средах с более активным гидродинамическим режимом водной среды (протока, русло, подводная дельта, конус выноса протоки), в тиховодных участках среднезернистые разности не отмечены;

5. Признаки косой и наклонной слоистости отмеченные в русле тульского возраста и в радаевской дельте (морской край) отобразилась на имидже ЭМС элементами с углами от 10° до 60°;

6. Наилучшие фильтрационные свойства отмечены в песчаниках фаций протоки и русла с активным гидродинамическим режимом среды – средние значения проницаемости, соответственно, 679,7 и 479,1 Мд. В песчаниках фациальных комплексов заливов и лагун, заболоченной равнины (фации – залив, отмель, коса) фильтрационные свойства песчаников самые низкие – средние значения, соответственно, 19,4; 28,64; 39,64 Мд. Промежуточные значения проницаемости отмечены в песчаниках фациального комплекса дельтовой протоки (вне фаций протоки и русла) – фации: прирусловая отмель (73 Мд), конус выноса (124 Мд), прирусловый вал (153,6 Мд), подводная дельта (188,8Мд), мутьевой поток (203 Мд).

Данные ГИС по оценке фациальной природы песчаных тел подтверждают или корректируют прогнозные литолого-фациальные карты, примеры приведены на рис. 4. По данным ГИС скорректированы области распространения предполагаемых проток в радаевское и тульское время, подтверждена фациальная природа песчаных тел бобринских отложений в скв. № 1 Забродовской площади.

Выводы

1. По данным спектрометрического каротажа в ПАО «Пермнефтегеофизика» решаются задачи по определению содержания естественных радиоактивных элементов и определению минерального состава глин на месторождениях Пермского края, выявляются литологические особенности разреза и уточняется расчёт глинистости.

2. Метод СГК в комплексе с данными ЭМС успешно используется для оценки условий осадконакопления, установления фациальной природы песчаных тел и уточнения прогнозных литолого-фациальных схем.

3. Корректность определения минерального состава глинистого вещества и определения фаций подтверждается микроописаниями данных кернa.

4. Преимущества спектрометрического гамма-каротажа, как дополнительного метода исследования нефтегазовых скважин очевидны. Широкое применение СГК, введение его в стандартный комплекс геофизических исследований скважин, повысит эффективность исследований и точность определения фильтрационно-ёмкостных характеристик пластов-коллекторов.



Рис. 4. Литолого-фациальная схема отложений нижнетульского, бобриковских и радаевского цикллитов на Забродовской площади

Литература

1. Ежова А. В. Литология: Учебник. Томск: Томский политехнический университет, 2008.
2. Муромцев В. С. Электрометрическая геология песчаных тел – литологических ловушек нефти и газа. Л.: Недра, 1984. 260 с.
3. Урманов Э. Г. Спектрометрический гамма-каротаж нефтегазовых скважин. М.: ВНИИОЭНГ, 1994.

**С. В. Горожанцев¹, Е. П. Семенова²,
О. Н. Лихачева², Ю. Н. Левин²**

¹ ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск

² Сахалинский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Южно-Сахалинск

**О РЕГИСТРАЦИИ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ 2016 ГОДА В КНДР
ДАЛЬНЕВОСТОЧНОЙ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКОЙ СЕТЬЮ
ФИЦ ЕГС РАН**

**S. V. Gorozhantsev¹, E. P. Semenova²,
O. N. Likhacheva², Yu. N. Levin²,**

¹ FIC ECS RAS, Obninsk

² Sakhalin Branch of the FIC ECS RAS, Yuzhno-Sakhalinsk

**ABOUT RECORDING THE NUCLEAR EXPLOSIONS AT 2016
IN THE NORTH KOREA BY THE FAR EAST SEISMOLOGICAL
NETWORK OF THE GEOPHYSICAL SURVEY OF RAN**

Испытания ядерного оружия, проводимые на территории Корейского полуострова, вызывают большой интерес со стороны мирового научного сообщества и служб спецконтроля [1] РФ в связи с необходимостью правильной идентификации сейсмических сигналов от производимых взрывов.

6 января и 9 сентября 2016 г. станциями дальневосточной сейсмологической сети ФИЦ ЕГС РАН зарегистрированы землетрясения, которые были вызваны взрывами, произведенными в районе ядерного полигона Пхунгери Корейской Народно-Демократической Республики (КНДР). В табл. 1 представлены параметры этих землетрясений по данным различных сейсмологических центров. Как видно из таблицы, по всем данным очаги землетрясений располагались на земной поверхности (нулевая глубина), и координаты эпицентров совпадали (до сотых долей градуса) по долготе и по широте. Следует отметить, что событие 9 сентября 2016 г. имеет более мощный энергетический потенциал по сравнению с взрывом 6 января.

На карте (рис. 1) показано место проведения ядерных испытаний в Северной Корее и расположение сейсмических станций дальневосточной сети Сахалинского филиала ЕГС РАН и станций Университета Хоккайдо на эпицентральных расстояниях до 1500 км.

Таблица 1

**Параметры землетрясений 6 января и 9 сентября 2016 г.
по результатам обработки в СФ ФИЦ ЕГС РАН и мировых
сейсмологических центрах**

Сейсмологи- ческие центры	Время в очаге $t_0 =$ ч:мин:с	Эпицентр 6.01.2016		Глубина h , км	Магнитуда		
		φ°, N	λ°, E		MS	mb	ML
СФ ФИЦ ЕГС РАН	01:30:00,7	41,30	129,02	0	4,6	5,3	5,5
MOS	01:29:58,9	41,29	129,07	0	—	5,1	4,3
NEIC	01:30:01,0	41,30	129,049	0	—	5,1	
EMSC	01:30:00,7	41,31	129,05	0	—	5,1	
		Эпицентр 9.09.2016					
		φ°, N	λ°, E				
СФ ФИЦ ЕГС РАН	00:30:00,7	41,30	129,07	0	4,7	5,5	
MOS	00:29:59,0	41,30	129,13	0	—	5,4	
NEIC	00:30:01,4	41,287	129,078	0	—	5,3	
EMSC	00:30:01,1	41,32	129,02	0	—	5,3	



Рис. 1. Карта с расположением сейсмических станций, по которым проведена локализации взрывов 6 января и 9 сентября 2016 г. (черные треугольники – станции СФ ФИЦ ЕГС РАН, серые – станции Университета Хоккайдо). Звездочкой отмечен ядерный полигон Пхунгери (КНДР)

Идентификация сейсмических волн

На рис. 2 и 3 приведены сейсмограммы землетрясений 6 января и 9 сентября 2016 г., записанные сейсмической станцией «Мыс Шульца» ($\Delta 2,2^\circ$). Видно, что записи землетрясений (волновые формы) этих событий практически идентичны.

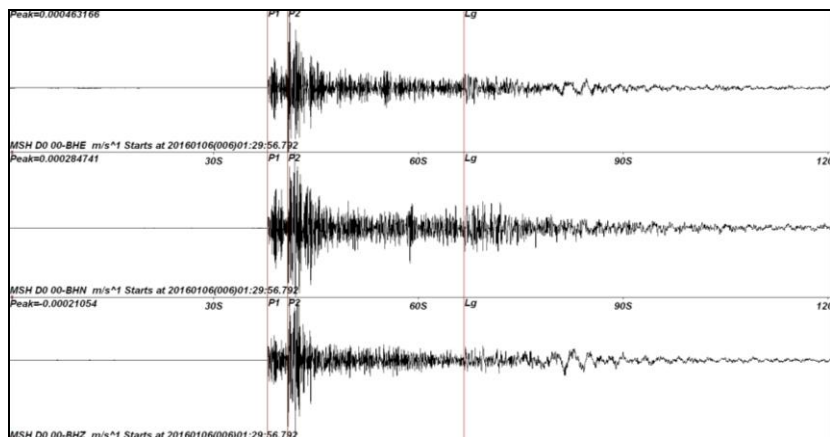


Рис. 2. Сейсмограмма сейсмического события 6 января 2016 г., полученная на станции «мыс Шульца»

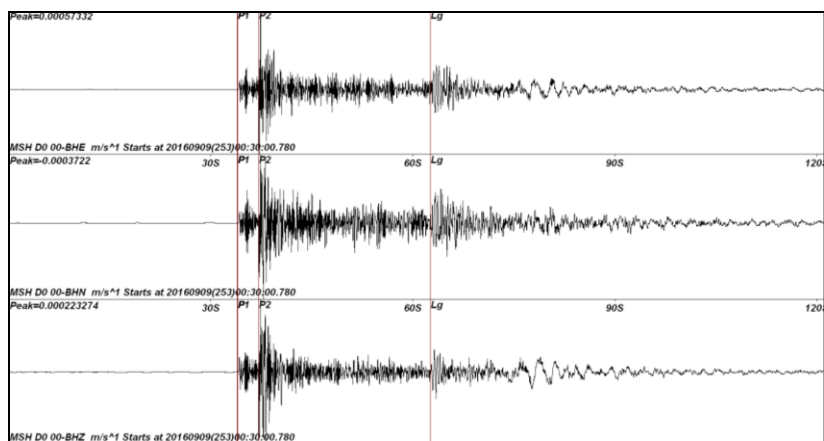


Рис. 3. Сейсмограмма сейсмического события 9 сентября 2016 г., полученная на станции «мыс Шульца»

Ядерный взрыв представляет собой ударно-колебательный процесс, результатом которого является генерация сейсмических (продольных и поверхностных) волн. Под воздействием мгновенно возникающего огромного давления газа и других продуктов взрыва в земной коре распространяется с высокой скоростью волна сжатия [2]. На рис. 4 показан фрагмент сейсмограммы, записанной на станции «Мыс Шульца», с группой продольных волн. Через несколько секунд после начала регистрации Р-волны (волна сжатия) последовал более интенсивный цуг (волна разрежения) из группы продольных волн. Азимут, определенный по первым вступлениям ($Az\ 229^\circ$) на сейсмической станции «Мыс Шульца», совпадает с направлением на ядерный полигон (взрывы 6 января и 9 сентября 2016 г.) Обращает на себя внимание узкий диапазон колебаний (0,12–0,16 с) в группе продольных волн на записях всех трех компонент. Возможно, это характерно именно для взрывов.

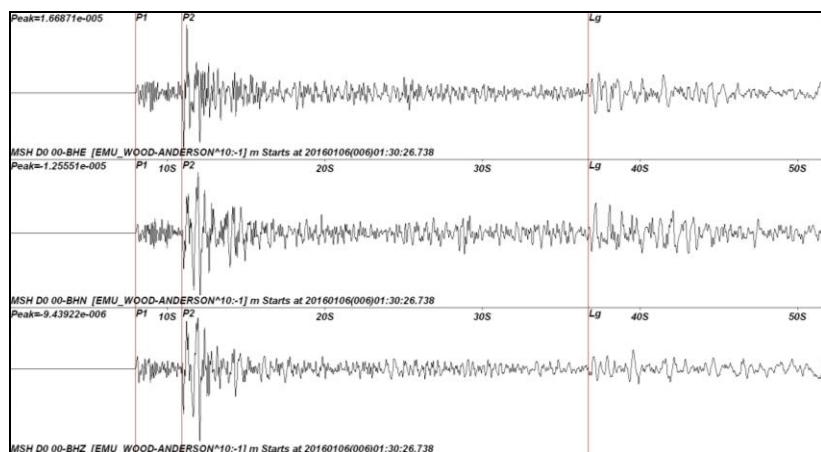


Рис. 4. Фрагмент сейсмограммы 6 января 2016 г. на станции «мыс Шульца» с группой продольных волн. Отчетливо видны первая волна Р1 (положительное смещение) и цуг колебаний Р2 (отрицательное смещение)

Помимо Р-волны важными для обнаружения и идентификации ядерных взрывов являются волны Релея. На рис. 5 приведены сейсмограммы события 6 января 2016 г. со станций «Горнотаежное» ($\Delta 3,5^\circ$), «Терней» ($\Delta 6,8^\circ$), «Хабаровск» ($\Delta 8,6^\circ$), «Горный» и «Зоря» ($\Delta 12,8^\circ$). На записях всех станций выделяется волна Релея, которая представляет собой единичный цуг поверхностных волн с периодами 8–11 с.

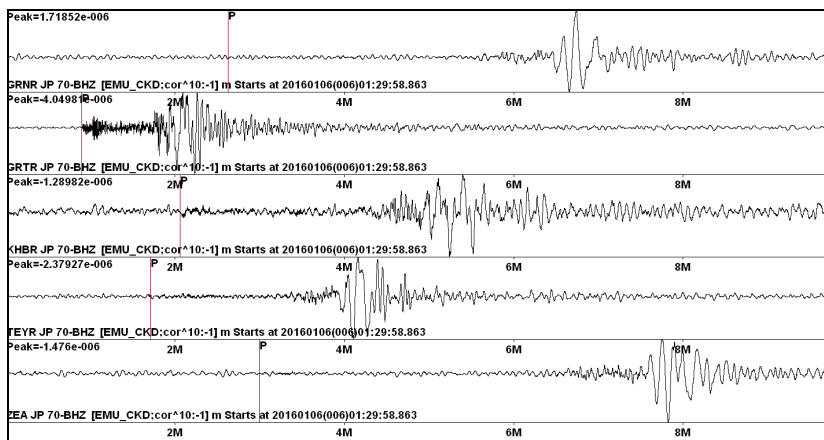


Рис. 5. Сейсмограммы ядерного взрыва 6 января 2016 г. на станциях «Горный», «Горнотаежное», «Хабаровск», «Герней», «Зея», приведенные к аппаратуре типа СКД (вертикальная компонента)

На записях станций, размещенных в континентальной части Дальнего Востока, отмечаются каналовые волны Lg, распространявшиеся со скоростью 3,5 км/с. На всех компонентах записи землетрясений на станции «мыс Шульца» (рис. 2, 3, 4) выделяются короткопериодные колебания с приблизительно равными амплитудами горизонтальных и вертикальной компонент. Отличительной особенностью волны Lg является то, что вдоль континентов эта волна распространяется на большие расстояния со сравнительно слабой потерей энергии, но быстро затухает при прохождении океанических трасс [3].

Результаты

Основным результатом проведенных исследований следует считать получение сейсмологического материала, способствующего разработке эффективной методики для распознавания ядерных взрывов.

Литература

1. Горожанцев С. В., Левин Ю. Н., Семёнова Е. П., Фокина Т. А. О регистрации сейсмического сигнала от взрыва 6 января 2016 года на территории КНДР // Глубинное строение, минерагения, современная геодинамика и сейсмичность Восточно-Европейской платформы и сопредельных регионов: материалы XX Всероссийской конференции с международным участием, посвященной дате 20 лет сейсмологическим наблюдениям на Воронежском кристаллическом массиве (25–30 сентября 2016 г.) /под ред. чл.-кор. Н. М. Чернышева, к.г.-м.н. Л. И. Надежка; Воронежский гос. ун-т. Воронеж: Научная книга, 2016. С. 155–159.

2. Мак-Коун Ф. А, Дики Д. Д. Некоторые соотношения между геологией и эффектом подземных ядерных взрывов на полигоне в Неваде // Подземные ядерные взрывы. Сб. статей под ред. В. И. Кейлиса-Бороко и Ю. В. Ризниченко, Москва: Ин. лит., 1962. С. 36–41.

3. Рихтер Ч. Ф. Элементарная сейсмология. Москва: Ин. лит., 1963. С. 672.

М. Г. Губайдуллин

Северный (Арктический) федеральный университет
имени М. В. Ломоносова, г. Архангельск

ЦИФРОВОЙ КЕРН: ВЗГЛЯД НА БУДУЩЕЕ

M. G. Gubaydullin

Northern (Arctic) Federal University named
after M. V. Lomonosov, Arkhangelsk

DIGITAL CORE: FORWARD INSIGHT

«Цифровой керн» – многоцелевой инструмент для решения множества задач в области геологоразведки и добычи углеводородов на различных стадиях. Технология цифрового моделирования керна является востребованным и развивающимся направлением в оценке геологических запасов нефти в мире. В России данная технология только начинает развиваться. Цифровое моделирование керна представляется весьма актуальным в силу того, что не всегда имеется достаточное количество кернового материала с исследуемых скважин, а иногда таковой и вовсе отсутствует [2]. Создание цифровой модели керна позволит в той или иной степени решить данные проблемы, а также снизить затраты нефтегазовых компаний на проведение керновых исследований.

В процессе математического моделирования макроскопических свойств пористых сред возникает задача 3D-реконструкции микроструктуры керна и оценки связи между геометрией микроструктуры и макроскопическими физическими свойствами. Для пористых материалов, проницаемость является макроскопическим параметром, представляющим практический интерес, и его измерение имеет важное значение для прогнозирования потоков на макроуровне. В последнее время появились значительные подвижки в получении отображений

внутрипорового пространства, и применение технологий высокопроизводительных вычислений ускорило разработку и использование инструментов «цифровой керн» в дополнение к физическим лабораторным измерениям обеспечивая быстрый и эффективный доступ к свойствам породы, извлекая их из трехмерных изображений [3–5 и др.].

Моделирование порового пространства керна осуществляется в несколько этапов. Сначала моделируются примитивы форм зерен, гранулометрического состава, текстуры горной породы. Затем каждому слою назначаются изображения, полученные с соответствующего шлифа для калибровки по пористости. Задаются коэффициенты заполнения порового пространства глинистым цементом, указываются параметры физической модели, алгоритма калибровки и представления результатов. В итоге, формируется модель пористой среды, которая используется для моделирования фильтрационных процессов в пористой среде пласта.

Моделирование геометрии микроструктуры керна может производиться следующим образом:

- 1) плотной упаковкой шаров;
- 2) плотной упаковкой сферополиэдров;
- 3) плотной упаковкой выращенных кристаллов.

При рассмотрении в качестве пористой структуры керна совокупности капилляров, имеющих различное поперечное сечение, вычисление потоков массы газа через капилляры можно свести к решению однородного линейного дифференциального уравнения первого порядка с частными производными с использованием модельного уравнения Вильсона. Решение данной задачи может быть получено с использованием численных методов, в то же время для каналов простейшей конфигурации – аналитически. В частности, проведен анализ течения вязкого газа через капилляры цилиндрического и прямоугольного поперечного сечений, что позволяет вычислительно эффективно решать задачу проницаемости в рамках резистивного подхода [1].

Модель микроструктуры керна, полученная с помощью алгоритма стохастической или симуляционной упаковки микрочастиц с уплотнением, используется в качестве основы для последующего анализа порового пространства. Произведя переход от представления упаковки частиц к представлению поровой сетевой модели, проводимость одиночных каналов можно рассчитывать с помощью молекулярной динамики. Таким образом, для сетевой модели порового коллектора составляется система линейных уравнений относительно давления в каждой поре. Оценка падения давления на образце дает возможность рассчитать абсолютную проницаемость по закону Дарси.

В данной работе рассмотрена упрощенная модель геометрического строения ядерного пространства, представляющая собой цилиндр, плотно заполненный шарами различного диаметра. Распределение диаметров шаров может быть получено натурными исследованиями ядра. Упаковка шаров производится в результате проведения симуляции молекулярной динамики. В цилиндре, образованном аналогом углеродной нанотрубки хиральности $(Z, 0)$, где Z – число, подходящее для необходимого диаметра цилиндра, с учетом используемого Ван-дер-Ваальсового радиуса взаимодействия углерода, ограниченно-го снизу графеновой плоскостью, проводилась симуляция молекулярной динамики с атомами, имеющими радиус Ван-дер-Ваальсового взаимодействия, распределение которых соответствует распределению, определенному в результате натуральных исследований. Руководствуясь результатами натурального эксперимента, расстояние между атомами углерода в нанотрубке и графене и радиус Ван-дер-Ваальса углерода были выбраны равным 20 микрон и 25 микрон, соответственно и Z составил 2720. В качестве потенциала межатомного взаимодействия выбран потенциал Леннард-Джонса.

Дополнительно к свободным атомам (кроме атомов углеродной нанотрубки и графена) применяется внешняя сила, аналогичная гравитационной. Постепенно отнимая энергию взаимодействия с графеновым дном, система приходит в стационарное состояние, являющееся аналогом плотной упаковки шаров. Для определения порового пространства, достаточно пройти координатное пространство цилиндра пробным атомом с определенным Ван-дер-Ваальсовым радиусом. В результате получается система микроканалов, в которой можно применить электродинамическую аналогию, представив течения в виде сети связанных электрических сопротивлений. Решив задачу нахождения полного сопротивления, можно найти проницаемость. Были проведены экспериментальные исследования терригенного коллектора, представленного одним образцом ядра стандартного размера диаметром 30 мм и длиной 30 мм. На образце был определен коэффициент открытой пористости методом насыщения жидкостью в соответствии с (ГОСТ 26450.1-85. Породы горные. Метод определения коэффициента открытой пористости жидкостенасыщением), коэффициент абсолютной проницаемости в соответствии с (ГОСТ 26450.2-85. Породы горные. Метод определения коэффициента абсолютной газопроницаемости при стационарной и нестационарной фильтрации), остаточная водонасыщенность – методом капилляриметрии в соответствии с (ГОСТ 39-204-86. Нефть. Метод определения остаточной водонасыщенности коллекторов нефти и газа). После этого образец был насыщен кероси-

ном и были определены проницаемости керн по флюиду в пластовых условиях на установке УИК-5(7).

Для решения поставленных задач и накопления статистических данных проводились лабораторные исследования керна для получения основных фильтрационных показателей и сравнения их с данными, полученными при проведении вычислительных экспериментов на суперкомпьютере. В качестве объекта лабораторных исследований использовались образцы керна стандартного размера диаметром 30 мм и длиной 30 мм (месторождения терригенного песчаника Berea Sandstone (USA)), обладающих минимальной анизотропией фильтрационно-емкостных свойств. Исследования керна проводились в лаборатории комплексного изучения керна Инновационно-технологического центра арктических нефтегазовых лабораторных исследований САФУ имени М. В. Ломоносова.

При проведении лабораторных исследований на образцах керна были определены следующие показатели: пористость, газопроницаемость, плотность, минералогический состав пород (для выяснения свойств песчано-алевритовых пород как коллекторов нефти и газа важно определить их гранулометрический состав) [2], проницаемость по керосину при создании термобарических условий, фотофиксация торцов керна при истирании. В ходе данных экспериментов был получен массив цифровых данных, который был использован для математического моделирования и создания цифровой модели керна.

Для создания 3D-микроструктуры керна использовался вычислительный кластер САФУ имени М. В. Ломоносова. В вычислительных экспериментах рассматривалась упрощенная модель геометрического строения керна, когда оно представляет собой цилиндр, плотно заполненный шарами различного диаметра. Упаковка шаров производилась в результате проведения симуляции молекулярной динамики [3, 4] с использованием пакета симуляции молекулярной динамики LAMMPS на гибридной вычислительной платформе.

Модель микроструктуры керна, полученная с помощью алгоритма стохастической или симуляционной упаковки микрочастиц с уплотнением, используется в качестве основы для последующего анализа порового пространства. Произведя переход от представления упаковки частиц к поровой сетевой модели, проводимость одиночных каналов рассчитывалась с помощью молекулярной динамики.

В результате сравнения вычислительных экспериментов с данными, полученными в ходе лабораторных экспериментов, погреш-

ность определения коэффициентов открытой пористости и проницаемости породы по флюиду составила не более 5 %.

Таким образом, предложенный подход к решению задачи математического моделирования макроскопических свойств пористых сред, в котором для 3D-реконструкции микроструктуры ядра используется метод молекулярной динамики, можно рассматривать в качестве доступного и наименее затратного по времени способа получения петрофизической информации об основных фильтрационно-емкостных свойствах и движения флюидов в породах-коллекторах.

Для дальнейшего развития такого инструмента как цифровой ядро, актуальным вопросом является разработка методики включения происходящих в пласте химических процессов при моделировании течений флюидов в микроканалах ядра. Последующее наполнение микроструктуры цементом, проницаемость которых определяется посредством численных экспериментов молекулярной динамики и моделированием течений в микроканалах, позволит увеличить предсказательную точность модели. Для нивелирования влияний различных погрешностей, вносимых моделью на вычисленные макроскопические свойства породы, перспективным направлением видится применение аппарата машинного обучения для согласования модельных прогнозов к результатам геофизических исследований скважин. С целью коррективки, выявления характерных особенностей, а также валидации модели планируется провести сопоставление компьютерной модели виртуального ядра с реальными данными КЕРН-ГИС. Создание высокоточной цифровой модели микроструктуры порового пространства с использованием высокопроизводительных компьютерных систем позволит оперативно с достаточной степенью достоверности получать петрофизическую информацию об основных фильтрационно-емкостных свойствах пород и о течении флюидов при моделировании термобарических условий естественного залегания.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-29-15116 оф_и _м.

Литература

1. *Гермидер О. В., Попов В. Н.* Применение трехмерных графических структур системы компьютерной алгебры Maple для моделирования транспортировки газа в трубе произвольного сечения // Материалы XLV Ломоносовских чтений «М.В. Ломоносов и развитие минерально-сырьевого комплекса России» и Международной научно-практической конференции «Перспективы и проблемы освоения нефтегазовых месторождений приарктической зоны России». САФУ имени М.В. Ломоносова, 2016. С. 47–54.

2. Губайдуллин М. Г., Белозеров И. П., Березовский В. В. О создании цифровой модели керна терригенных пород для решения поисково-разведочных задач // Глубинное строение и геодинамика Приладожья. Петрозаводск. КНЦРАН, 2017. С. 27–35.

3. Мизгулин В. В., Косильников В. В. и Кадушников Р. М. Оптимизационный подход к имитационному моделированию микроструктур // Компьютерные исследования и моделирование, 2013. Т. 5. № 4. С. 597–606.

4. Berezovsky V., Gubaydullin M. Modelling of the microstructure of a clastic oil and gas reservoir rock using molecular dynamics simulation // XVth International Conference Geoinformatics. Kiev. 15–17 May, 2017.

5. Renard P., Genty A. and Stauffer F. Laboratory determination of the full permeability tensor // Journal of Geophysical Research. 2001. № 106. P. 443–452.

А. С. Долгаль

Горный институт УрО РАН, г. Пермь,
Пермский государственный национальный
исследовательский университет, г. Пермь

ПРИБЛИЖЕННЫЕ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ СФЕРИЧНОСТИ ЗЕМЛИ ПРИ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ ГРАВИРАЗВЕДКИ

A. S. Dolgal

Mining Institute UB RAS, Perm,
Perm State University, Perm

APPROXIMATE ESTIMATES OF THE INFLUENCE OF THE EARTH'S SPHERICITY ON THE GRAVITY INTERPRETATION DATA

Ученый все равно, что мимоза, когда замечает свою ошибку,
и рычащий лев – когда обнаружит чужую ошибку.

Альберт Эйнштейн

При решении различных задач в качестве моделей Земли используются плоскость, шар, эллипсоид вращения, квазигеоид, геоид. При интерпретации данных гравirazведки наиболее широко применяется модель «плоской Земли», в которой используется прямоугольная система координат Σ хуz и аномалии силы тяжести отвечают составляющей V_z гравитационного потенциала. Модель «сферической Земли», являющаяся более точным приближением к форме нашей планеты, успешно используется при изучении больших территорий (напри-

мер [1]). В этом случае при решении прямых и обратных задач гравиразведки используется сферическая система координат $\Sigma r \phi \lambda$ и радиальная составляющая V_R потенциала V .

По мнению В. Н. Страхова, одним из основных направлений развития гравиразведки является разработка теории, методов и численных алгоритмов, основанных на представлении о Земле, как о теле, близком к сфере, с использованием соответствующих аналитических соотношений в $\Sigma r \phi \lambda$ [4]. Однако есть и другие мнения, в частности, приводятся результаты вычислительных экспериментов, свидетельствующие о том, «что для среднemasштабных плотностных моделей небольшой глубины (порядка десятков километров) поправка в значения поля за «сферичность» Земли не превышает 1 %» [3]. Это утверждение не согласуется с ранее представленными нами оценками [2], поэтому предлагаем вновь вернуться к этому вопросу.

Проведем вычислительный *эксперимент 1*: профиль гравиметрических измерений AD длиной 300 км, проходит по меридиану от северного полюса к югу и включает в себя 151 точку измерений. Земля является сферой с радиусом 6371 км. В нижнем полупространстве располагаются 2 одинаковых аномалиеобразующих объекта – шары диаметром 20 км, обладающие избыточной плотностью $0,2 \text{ г/см}^3$. Расстояния (дуги) $AB = BC = CD = 100 \text{ км}$, глубины до центров шаров, отсчитываемые по нормали к земной поверхности $BB^* = CC^* = 20 \text{ км}$ (рис. 1, а). Решение прямой задачи гравиразведки в системе $\Sigma r \phi \lambda$ показывает, что максимальные амплитуды аномалий V_R над центрами шаров достигают 14,08 мГал при ширине на уровне полумаксимума $\sim 30 \text{ км}$. Как очевидно, линия A^*D^* находится на внутренней эквипотенциальной поверхности (сфере с радиусом 6351 км). Расстояния (дуги) на этой поверхности $A^*B^* = B^*C^* = C^*D^* \cong 99,686 \text{ км}$.

Для построения модели данного профиля в системе $\Sigma \text{хуз}$ применим цилиндрическую равноугольную картографическую проекцию Гаусса-Крюгера, предполагая, что линия AD принадлежит осевому меридиану. Используем 2 соосных цилиндра с радиусами $R_1 = 6371 \text{ км}$ и $R_2 = 6351 \text{ км}$. В этом случае почти все линейные размеры модели, представленной на рис. 1, б, будут полностью совпадать с вышеуказанными значениями. Исключение составляют субвертикальные линии $BB^* \cong 20,003$ и $CC^* \cong 20,010 \text{ км}$. Рассчитаем аномальный эффект источников V_z на горизонтальном профиле AD и сравним полученные величины с имеющимися у нас значениями V_R . Их разность Δ будет лежать в диапазоне от $-0,356$ до $0,394 \text{ мГал}$.

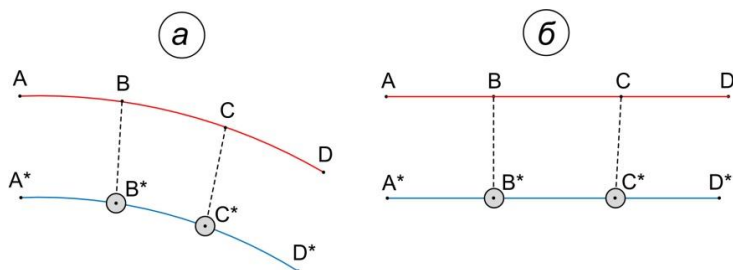


Рис. 1. Схемы размещения источников гравитационного поля:
 a – на сферической Земле; $б$ – на плоской Земле

Однако, сместив по горизонтали центры шаров B^* , C^* в сторону точки D^* на 314 м и 628 м, соответственно, можно добиться практически полного совпадения полей V_R и V_Z для сферической Земли и ее плоской модели. Диапазон разности Δ в этом случае составит $[-0,024; 0,010]$ мГал. Именно такой принцип моделирования предлагается в работе [3]. При этом не учитываются неизбежно возникающие искажения в геометрических параметрах источников (в данном случае – это местоположение центров шаров). Фактическое расстояние L по прямой (хорде) между точками B^* и C^* равно 99,685 км (рис. 1, a), а в рассматриваемой модели (близкой по виду к представленной рис. 1, $б$) – 100 км. Следовательно, эта модель является эквивалентной, т. е. заведомо не обеспечивающей аппроксимацию распределения плотности в изучаемой среде, но обеспечивающей высокую степень близости полей. Представляется некорректным отождествлять полученные низкие значения Δ с «поправкой за влияние сферичности Земли» [3]. Следует добавить, что автор использовал преобразование Гаусса-Крюгера в этом эксперименте вместо традиционного ортогонального проектирования точек, с целью минимизации величины Δ .

С целью независимого контроля представленных результатов выполним еще *эксперимент 2*. Приблизительно оценим влияние замены плоской уровенной поверхности на сферическую для эквивалентной плоской модели разреза (близкой к рис. 1, $б$), где прямые $AB = BC = CD = 100$ км и $A^*B^* = B^*C^* = C^*D^* = 100$ км, глубины центров шаров – 20 км. Расчет поля V_Z для нее был выполнен ранее. Описание модели, использующейся при расчете V_R приводится ниже.

Поместим центр O сферической Земли на глубине 6371 км под начальной точкой A профиля наблюдений. Отклонения точек расчета поля от горизонтали в используемой при расчетах системе координат

Σ $x y z$ определяются по формуле $z = \sqrt{6371^2 - x^2}$ и составляют для точки $B - 785$ м, для точки $C - 3140$ м. Увеличим глубины центров соответствующих шаров на эти значения, без изменения их горизонтальных координат x [2]. Вертикальные линии, по которым произошло перемещение аномалиеобразующих масс, близки к нормальям к поверхности сферической Земли: углы между ними в точках B и C составляют менее 1° и $2,0^\circ$, соответственно. Длина криволинейного профиля по сравнению с горизонтальным AD увеличилась на 111 м, но максимальное изменение расстояний между точками расчета не превышает 2 м (0,1 % от шага измерений). Расстояние L между центрами перемещенных по OZ шаров увеличилось на $\sim 27,7$ м, сами шары находятся на разных уровнях поверхности.

Безусловно, в геометрические параметры моделируемого разреза внесены определенные искажения, но они существенно меньше, чем при предлагаемых в работе [3] преобразованиях координат и глубин (где $L = 99,685$ км). Максимальная величина абсолютной погрешности при вычислении поля V_R , связанной с изменением длины расчетного профиля, не превышает 0,004 мГал. Разность полей Δ изменяется в диапазоне от $-0,353$ до $0,398$ мГал. Легко заметить высокую степень близости оценок, полученных в ходе двух различных вычислительных экспериментов (рис. 2). Физический смысл представленных графиков

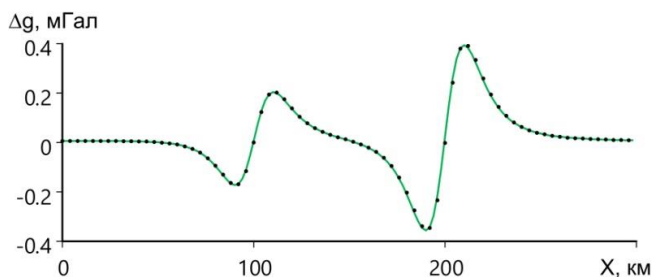


Рис. 2. Разности Δ гравитационных аномалий V_R и V_Z для сферической и плоской моделей Земли:
сплошная линия – эксперимент 1 (проекция Гаусса-Крюгера);
точки – эксперимент 2 (вертикальное проектирование)

очевиден: в эпицентрах локальных аномалий, обусловленных одинаковыми массами, разности V_R и V_Z близки к нулю; знакопеременный характер Δ связан с геометрическими особенностями использованных моделей. Следует подчеркнуть, что размах значений Δ («влияние сфе-

ричности») составляет более 5 % от максимальной амплитуды гравитационных аномалий над центрами источников.

Представленные результаты свидетельствуют о том, что вопрос о целесообразности использования сферической модели Земли в процессе интерпретации среднемасштабных гравиметрических съемок нельзя считать закрытым.

Литература

1. Глазнев В. Н. Комплексные геофизические модели литосферы Феноскандии. Апатиты: «КаэМ», 2003. 252 с.
2. Долгаль А. С., Симанов А. А., Хохлова В. В. Решение геокартировочных и прогнозно-поисковых геологических задач методом гравиразведки с учетом сферичности Земли // Георесурсы. 2015. Т. 2. № 4 (63). С. 56–61.
3. Ладовский И. В., Бызов Д. Д., Чернокутов А. И. О проблеме построения среднемасштабных плотностных моделей для сфероидальной Земли // Уральский геофизический вестник. 2017. № 1 (29). С. 73–97.
4. Страхов В. Н. Разрушение господствующего стереотипа мышления – главная задача в развитии теории и практики интерпретации потенциальных полей (гравитационных и магнитных аномалий) в начале XXI века. М.: ОИФЗ РАН, 2000. 44 с.

А. А. Жикин

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

ОБРАБОТКА ДАННЫХ КОМПЛЕКСНЫХ МАЛОГЛУБИННЫХ СЕЙСМОРАЗВЕДОЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ОТРАЖЕННЫМИ ВОЛНАМИ ПО МЕТОДИКЕ ОБЩЕЙ ГЛУБИННОЙ ТОЧКИ

A. A. Zhikin

Mining institute UB RAS, Perm

DATA PROCESSING OF INTEGRATED SHALLOW SEISMIC REFLECTION SURVEY

Обеспечение безопасной разработки месторождений твердых полезных ископаемых является приоритетным направлением исследований Горного института УрО РАН. В рамках данного направления решается широкий круг задач, в том числе методами геофизического контроля подработанных площадей и перспективных участков Верхнекамского месторождения калийных и магниевых солей (ВКМКС). Лидирующее место при производстве геофизических работ занимают

© Жикин А. А., 2017

сейсморазведочные исследования по методике общей глубинной точки (ОГТ), зарекомендовавшие себя, как наиболее информативные при контроле за состоянием водозащитной толщи на участках с ускоренными оседаниями земной поверхности [1].

Рассмотрим пример обработки данных комплексных высоко-разрешающих сейсморазведочных исследований на подобном участке. Положение участка сейсморазведочных наблюдений приурочено к Соликамской антиклинали. Соленосная толща сложена нижнепермскими собственно соленосными отложениями, включающими сильвинитовую и сильвинито-карнолитовую зоны, общей мощностью около 80 м, и верхнепермскими терригенно-хемогенными породами, слагающими надсоленой комплекс, включающий верхнюю подтолщу соляно-мергельной толщи, отложения терригенно-карбонатной толщи и четвертичные отложения, общей мощностью до 210 м.

Комплекс сейсморазведочных наблюдений представлен малоглубинными исследованиями, направленными на изучение глубин до 500 метров, выполненными по 9 профильным линиям, и тремя инженерными линиями наблюдений, для изучения первых десятков метров (до 50 м). Цель работы заключалась в анализе и прогнозе состояния водозащитной толщи (ВЗТ), выявлении в ВЗТ осложнений в строении и свойствах, влияющих на безопасность ведения горных работ. Использование инженерной сейсморазведки в комплексе также позволяет сопоставить влияние глубинных аномалий с неоднородностями верхней части разреза, оценить их воздействие на устойчивость грунтов, оконтурить наиболее ослабленные зоны и по результатам всего комплекса предоставить параметрические данные для расчетов геометрической модели данного участка [3].

Полевые работы выполнены по методике невзрывной сейсморазведки высокого разрешения с использованием интерференционной системы наблюдений по общей глубинной точке [1]. Регистрация упругих колебаний осуществлялась сейсмоакустическим регистратором «IS128» (Россия, Латвия), количество активных каналов 64, шаг дискретизации – 0,2 мс и 0,5 мс, длина записи 1500 дискрет, усиление 64 Дб. Расстояние между пунктами приема и возбуждения – 2 метра при инженерных и 8 метров при малоглубинных исследованиях. Система наблюдения – 64-канальная переменная асимметричная. Колебания возбуждались с использованием импульсного источника упругих колебаний с использованием энергии пороховых газов.

В пределах неглубоких месторождений, типа ВКМКС, при выполнении профилирования по методике многократных перекрытий

цифровая обработка и интерпретация полученных данных строится на общепринятых положениях с учетом повышенного частотного диапазона регистрируемых волновых полей [3].

Как правило, граф обработки, как для малоглубинных, так и для данных инженерных наблюдений, содержит все обязательные традиционные этапы:

- предобработку (формирование входного потока сейсмической информации и корректировку исходного материала, предусматривающие редакцию, регулировку уровня записи, изучение частотного состава и исходного отношения сигнал/помеха);

- корректирующую фильтрацию (полосовую частотную и обратную);

- вычитание волн-помех (в двумерной области скоростей и волновых чисел);

- ввод и последующую совместную коррекцию статических и кинематических поправок;

- коррекцию формы записи (устранение остаточного фазового разброса, усиление интенсивности регулярной составляющей);

- получение и обработку окончательного временного разреза (рис. 1).

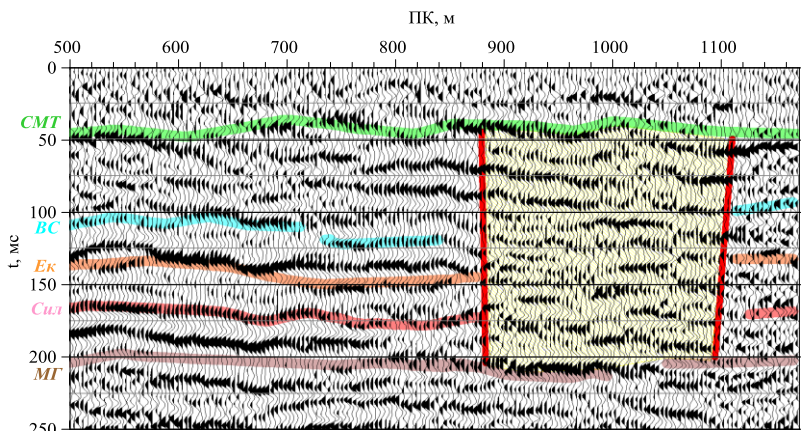


Рис. 1. Фрагмент конечного временного разреза, с выделением наиболее выраженных осей синфазности – целевых отражающих горизонтов, приуроченных к кровле: соляно-мергельной толщи (СМТ), первых выраженных пластов каменной соли (ВС), карналитового пласта Е (Ек), сильвинитовой зоны (Сил) и интервалу маркирующей глины (МГ). Желтым цветом выделена аномалия волнового поля

Перечисленные этапы составляют две стадии процесса обработки: обработку сейсмограмм и обработку временного разреза. Ряд перечисленных процедур носит итеративный характер. Это совместная коррекция статических и кинематических поправок, вычитание волн-помех с последующей нормализацией спектра результирующей записи.

На рис. 2 приведен пример поэтапного преобразования данных малоглубинных исследований. Первоочередной задачей начального

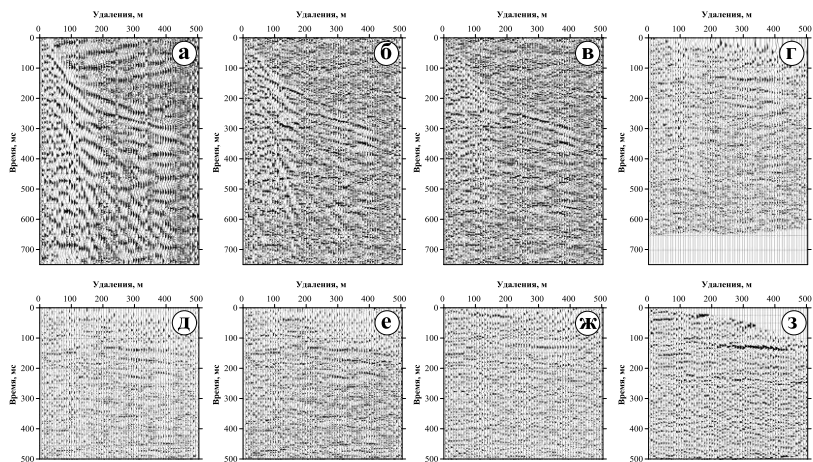


Рис. 2. Примеры сейсмограмм общего пункта возбуждения на различных тапах обработки данных малоглубинной сейсморазведки: а) исходные сейсмограммы; б) сейсмограммы на этапе предобработки (центрирование трасс, регулировка амплитуд, полосовая фильтрация, предсказывающая деконволюция); в) пространственно-временная фильтрация; г) ввод статических и кинематических поправок; д) с последующей пространственной фильтрацией; е) многоканальная деконволюция + когерентная фильтрация; ж) Винеровская корректирующая фильтрация; з) конечная сейсмограмма после автомьютинга, когерентной и Винеровской фильтрации

этапа обработки является полное или частичное подавление наложенных волн-помех, которые, зачастую, преобладают над полезной записью. Кроме традиционных процедур предобработки и корректировки сигнала (нормировка, полосовая и обратная фильтрации) (рис. 2, б), в первую очередь следует обращать внимание на использование процедур пространственно-временной фильтрации двумерных волновых полей. Подобные процедуры позволяют разделить отраженные волны

и волны-помехи за счет нахождения двумерного спектра исходного волнового поля, обнуления части записи и обратного преобразования Фурье (рис. 2, в, д).

Следующим этапом обработки является ввод кинематических и, в случае обработки малоглубинных данных, статических поправок, с их последующей коррекцией (рис. 2, г). Как показала практика [2], введение априорной статики при инженерных высокочастотных исследованиях имеет больше отрицательных моментов, чем положительных. Во-первых, может быть потеряна значительная полезная часть записи, во-вторых, введение статических поправок зачастую хорошо удаляет лишь реальные структуры, подчеркивая ложные и образуя когерентные события из помех [2].

Наибольшей трудностью при обработке отраженных продольных волн оказывается не отделение полезного сигнала от помех, а корректный подбор скоростной модели среды и нахождение компромисса между качеством конечного материала и отображения в нем особенностей геологического строения. Зачастую, в связи с недостаточным параметрическим обеспечением данными скважинных методов в пределах исследуемых площадей, подбор скоростей суммирования осуществляется путем анализа разверток и спектров *Semblance* как функций скоростей перебора V_{const} и удаления источник-приемник L [3].

Одной из наиболее часто встречаемых ошибок при обработке данных сейсморазведки является получение на конечных суммах ОГТ ложных осей синфазности, связанных с преломленными волнами [4]. Для исключения подобных проблем необходимо учитывать тот факт, что при нормальных геологических условиях частота отражений на конечных сейсмограммах должна уменьшаться с глубиной. Другими словами, на суммарных разрезах ОГТ не должно наблюдаться инверсии спектра с увеличением времени. В случае же подсуммирования преломленных волн в верхней части записи данное условие не выполняется [2, 4].

Высокая зашумленность сейсмической записи иногда не позволяет добиться высокой разрешенности и динамической выразительности целевых отражений, поэтому обязательными являются процедуры коррекции формы полезного сигнала, связанных с условиями возбуждения и приема. Это достигается с помощью Винеровской корректирующей фильтрации (рис. 2, ж, з). Кроме того, повышение разрешенности и динамической выразительности дальнейших результатов обработки достигается итеративным использованием многоканальной деконволюции и когерентной фильтрации различных выборок сейсмических записей (рис. 2, е).

К основным проблемам, возникающим при обработке сейсмической информации, можно отнести: пространственное наложение поверхностных волн, ложную интерпретацию полученных в результате обработки ударных волн, которые принимаются за отраженные [4], ошибочную интерпретацию преломленных волн отраженными на разрезах ОГТ, а также появление различного рода артефактов, при некорректном выборе параметров процедур обработки.

Литература

1. Санфиров И. А. Рудничные задачи сейсморазведки МОГТ. Екатеринбург, УрО РАН, 1996.
2. Санфиров И. А., Ярославцев А. Г., Жикин А. А., Никифорова А. И., Байбакова Т. В. Особенности цифровой обработки в инженерной сейсморазведке МОГТ // Геофизика. 2012. № 5. С. 35–41.
3. Ярославцев А. Г., Жикин А. А. Особенности цифровой обработки сейсморазведочных данных при изучении малоглубинной калийной залежи // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2012. № 5. С. 188–193.
4. Steeples W., Miller D. Avoiding pitfalls in shallow seismic reflection surveys // Geophysics. 1998. № 63. P. 1213–1224.

Е. С. Зрячих

ООО «ПИТЦ «Геофизика», г. Пермь
Пермский государственный национальный
исследовательский университет, г. Пермь

НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ И РЕЗУЛЬТАТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МИКРОСКАНИРОВАНИЯ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ПЕРМСКОГО ПРИКАМЬЯ

E. S. Zryachikh

PITC Geofizika Ltd., Perm
Perm State University, Perm

NEW OPPORTUNITIES AND RESULTS OF ELECTRIC MICROSCANNER ON FIELDS OF THE PERM REGION

Метод электрического микросканирования применяется в Пермском крае с 2012 г., на данный момент было исследовано более 120 скважин. Метод электрического микросканирования позволяет

© Зрячих Е. С., 2017

полноценно изучить разрез скважины. Рассчитываемые углы и азимуты пластов используются при моделировании месторождений. Структурный анализ проводится через определение угла и азимута наклона пласта в районе пересечения его со скважиной, что позволяет значительно снизить риски при бурении скважин и оперативном планировании разработки месторождения, в том числе уточнение положения пласта перед бурением горизонтального участка.

Прибор электрического микросканирования состоит из трех модулей – зондовый блок, на котором расположены электроды (восемь башмаков, которые прижимаются к стенкам скважины), модуль инклинометра, позволяет правильно ориентировать получаемую информацию, модуль памяти, отвечает за накопление информации в приборе и передачу ее части по трехжильному кабелю на регистратор. Совместно используется технологический модуль, содержащий канал ГК, для точной увязки записи по стволу.

С 2017 г. на месторождениях Пермского Прикамья в скважинах с диаметром 124–143 мм проводятся исследования микросканером компании Weatherford приборами CMI и COI. Первый прибор работает в скважинах, заполненных буровым раствором на водной основе, второй – на нефтяной. Приборы относятся к серии Compact, совместимы с другими приборами из этой серии. Прибор CMI имеет три модификации – CMI 5.0 ($d = 127$ мм), CMI 4.1 ($d = 104$ мм), CMI 2.4 ($d = 60,1$ мм). Прибор COI с диаметром 104 мм оснащен электродами с резцами, которые созданы для проникновения электродов через корку бурового раствора. Микроимиджеры компании Weatherford отличаются универсальностью способов доставки (возможна запись в горизонтальных стволах), хорошей детализацией изображения при обработке. Пример записи аппаратурой CMI в боковом стволе скважины приведен на рис. 1. В первых шести колонках представлены данные по скважине – глубина, стратиграфия, тип коллекторов и характером насыщения, кривые ГИС, далее данные электрического микросканирования – статический, динамический имиджи и результаты их обработки – колонка наклонограммы, диаграммы Шмидта по напластованию, трещиноватости, объемный профиль скважины.

Данные микросканера, в комплексе с другими методами ГИС, используются при уточнении седиментологических особенностей разреза, например, направлений русел палеорек. На рис. 2 представлена карта распределения фаций пласта Бб, построенная на основании коэффициента песчанистости: светло-желтым цветом отмечаются наиболее песчаные отложения (русовая фация), темно-зеленым – более глинистые отложения Бб (озерно-болотные).

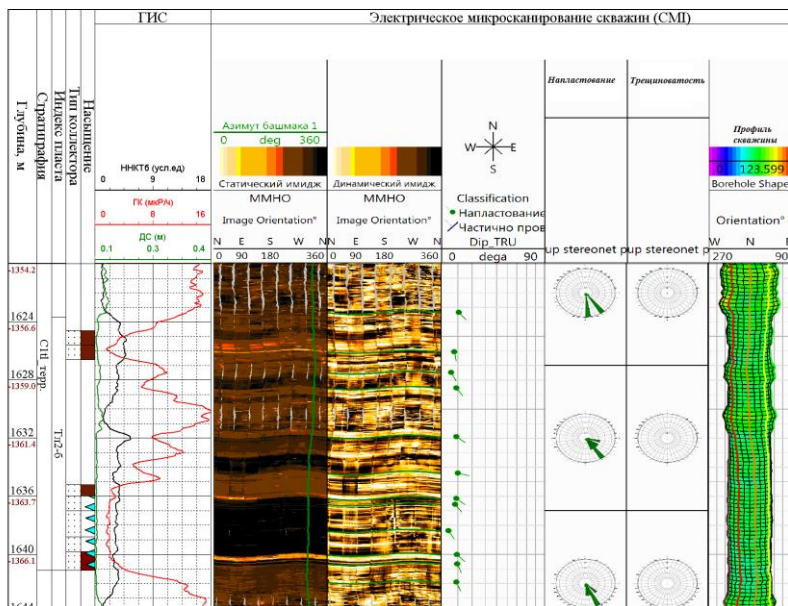


Рис. 1. Пример записи микроимиджером СМІ (Compact Microimager) в скважине малого диаметра

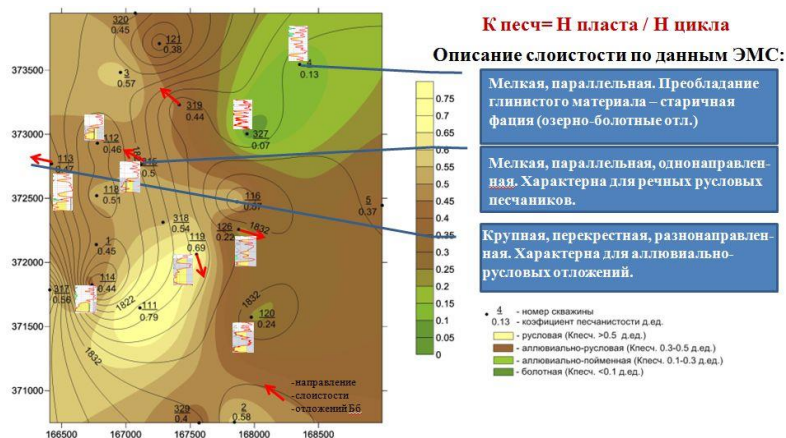


Рис. 2. Карта распределения фаций пласта Б6 одного из месторождений Пермского Прикамья

Поскольку направление слоистости по методу ЭМС практически совпало с направлением структурного наклона, а также литологически преобладает крупная косая слоистость по ЭМС, течение палеореки обладает небольшой динамической силой потока, что характерно для равнинных рек (тектоническая основа – Березниковское позднедевонское палеоплато).

Для воссоздания цельной картины палеотечений и детального изучения палеорусл необходимо проводить метод ЭМС в каждой скважине. Эта информация повышает достоверность рационального выбора мест заложения скважин и систем разработки.

Поскольку имидж имеет высокое вертикальное разрешение по нему можно выделять и визуально наблюдать интервалы трещиноватости и кавернозности, изучать текстурные особенности терригенных коллекторов (слоистость), ориентировать керновые данные. Имидж позволяет рассчитать коэффициент охвата трещиноватости и по полученным данным построить карты охвата трещиноватости для месторождений, а также определять параметры отдельных трещин.

На рис. 3 приведены результаты обработки электрического микросканирования, в представленном интервале выделено несколько

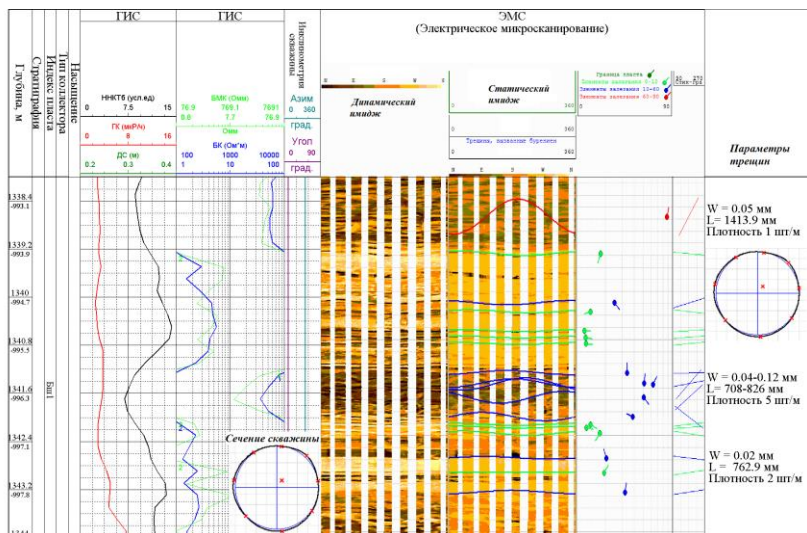


Рис. 3. Результаты обработки электрического имиджа КарСар МС-110 в интервале карбонатных отложений башкирского яруса с определением параметров трещин (W – раскрытость трещин, L – длина трещин)

трещин. С 2017 года по данным электрического микросканера КарСар МС-110 программное обеспечение позволяет рассчитывать параметры трещин, такие как раскрытость, длина, плотность. Алгоритм расчета параметров трещин был взят из статьи Luthi и Souhaité – «Fracture apertures from electrical borehole scans» [1], в которой представлен способ получения раскрытости трещин по данным электрического микросканера фирмы Schlumberger – Formation MicroScanner (FMS).

Авторами статьи было проведено трехмерное конечно-разностное моделирование изменения силы электрического тока вблизи измерительного электрода прибора при прохождении им трещины. Ток, вследствие заполнения трещины промывочной жидкостью на водной основе, резко увеличивается, при этом интенсивность увеличения зависит от раскрытости и угла падения трещины, контраста сопротивлений пласта и ПЖ, а также от отклонения прижимной пластины от стенки скважины. Таким образом, количество избыточного тока A , возникающего при наличии проводящей трещины, определяется выражением

$$A = \frac{1}{V_e} \int_{z_0}^{z_n} \{I_b(z) - I_{bm}\} dz, \quad (1)$$

где V_e – разность потенциалов между электродами на прижимной пластине и в верхней части прибора, I_b – ток вблизи измерительного электрода, пересекающего трещину (как функция от его положения z_n относительно трещины z_0), I_{bm} – фоновое значение тока вдали от трещины, z – расстояние трещины вдоль оси скважины.

Согласно результатам моделирования, раскрытость трещины W прямо пропорционально величине избыточного тока A и может оцениваться по формуле

$$W = cAR_m^b R_{x0}^{1-b}, \quad (2)$$

где R_m и R_{x0} – УЭС промывочной жидкости и горной породы, c и b – коэффициенты, полученные расчетным путем при численном моделировании и зависящие от параметров прибора и условий измерений. Например, коэффициент b зависит от геометрии прибора, коэффициент c получают путем калибровки прибора.

Данный метод определения параметров трещин обладает большой чувствительностью, способен обнаружить трещины раскрытостью от 10 мкм (0,01 мм) всего в 1 см друг от друга [1].

Использование электрических микросканеров в Пермском Прикамье позволяет определять углы и азимуты элементов залегания – уточнять структуру месторождений, профиль скважины, параметры трещин, фациальную обстановку изучаемых отложений, проводить уточнение интервалов пород-коллекторов и моделей месторождений. В перспективе отечественного электрического микросканера работа в скважинах с буровым раствором на нефтяной основе, и уменьшение диаметра аппаратуры для возможности работы в боковых стволах скважин и скважинах малого диаметра.

Литература

1. *Luthi, S., and Souhaitet, P.* Fracture apertures from electrical borehole scans // GEOPHYSICS, VOL. 55. NO. 3 (JULY 1990); P. 821–833.

А. Д. Каринский¹, А. А. Красносельских²

¹ Российский государственный геологоразведочный университет, г. Москва

² Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов, г. Москва

КАРОТАЖ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АНИЗОТРОПИИ; К ОБОСНОВАНИЮ ГЕОФИЗИЧЕСКОГО МЕТОДА

A. D. Karinskiy¹, A. A. Krasnoselskikh²

¹ Russian State Geological Prospecting University, Moscow

² Central Research Institute of Geological Prospecting for base and precious metals, Moscow

AN ELECTRICAL ANISOTROPY LOGGING; TO FOUNDATION OF GEOPHYSICAL METHOD

В электрически анизотропных горных породах удельное электрическое сопротивление ($УЭС$) ρ зависит от направления. Анизотропия пород может быть обусловлена их тонкослоистой структурой, трещиноватостью и др. Для характеристики электрических параметров анизотропных пород обычно применяют модель среды с осевой анизотропией. $УЭС$ такой среды характеризуют два значения: поперечное

© Каринский А. Д., Красносельских А. А., 2017

УЭС ρ_n по оси анизотропии n (ориентированной, например, по нормали к напластованию тонкослоистых пород) и продольное УЭС ρ_t по любому ортогональному оси n направлению t . Коэффициент электрической анизотропии $\lambda = (\rho_n / \rho_t)^{1/2}$. Параметры, ρ_n , ρ_t , λ по-разному зависят от практически значимых свойств пород. Но результаты применяемых электрических и электромагнитных методов исследования скважин зависят, в основном, от параметра ρ_t , либо испытывают сложное влияние параметров ρ_t и ρ_n .

Приведенные ранее в работе [1] результаты теоретических исследований показали, что для определения коэффициента λ пройденных скважиной пород может быть применён имеющий новую конструкцию зонд. У этого зонда электромагнитное поле возбуждает генераторная антенна Γ в виде замкнутого витка гармонически меняющегося тока I или «катушка» из таких витков. При известных условиях такую антенну можно аппроксимировать переменным магнитным диполем с моментом $\mathbf{M}$. Если датчиком II служат ортогональные оси l магнитного диполя и взаимно ортогональные короткие измерительные линии MN с центрами на оси l , то можно определить амплитуду $|E_y|$ ортогональной плоскости ($y = 0$) (рис. 1, *a*) компоненты E_y электрического поля $\mathbf{E}$. В работах [2, 4] показано, что источниками этой составляющей поля $\mathbf{E}$ являются индуцированные заряды, плотность которых зависит от λ и не зависит от ρ_n , ρ_t . Пусть в точке II на оси l (рис. 1, *a*) произведение $|k_t|L \ll 1$ (ближняя зона). Здесь модуль волнового числа k_t : $|k_t| = (2\pi f \mu_0 / \rho_t)^{1/2}$, f – частота, μ_0 – магнитная постоянная. Тогда при $\alpha \neq 0$ амплитуду $|E_y|$ компоненты E_y в точке II определяет выражение

$$|E_y(II)| \approx \frac{\mu_0 M f}{2L^2} \left[\operatorname{ctg} \alpha \left(\frac{\lambda}{\sqrt{\sin^2 \alpha + \lambda^2 \cos^2 \alpha}} - 1 \right) \right], \quad (1)$$

где α – угол между осями l и n .

Из выражения (1) следует, что при заданных значениях частоты f , амплитуды M магнитного диполя и длины L зонда величина $|E_y(II)|$ зависит только от коэффициента анизотропии λ и угла α .

На рис. 1, *б, в* приведены зависимости $|E_y(II)|$ от угла α и коэффициента λ . Эти зависимости получены на основе выражения для $|E_y(II)|$ при произвольных значениях $|k_t|L$ и α , а не приближённой формулы (1). Значения $|E_y(II)|$ нормированы на амплитуду первичного магнитного поля в точке II : $H^n = M / (2\pi L^2)$. На рис. 1, *б* видно, что зависимости $|E_y|/H^n$ от α , приведенные для двух значений ρ_t , идентичны. Это связано с тем, что при указанных на рис. 1, *б* величинах f , L , ρ_t произведение $|k_t|L \ll 1$.

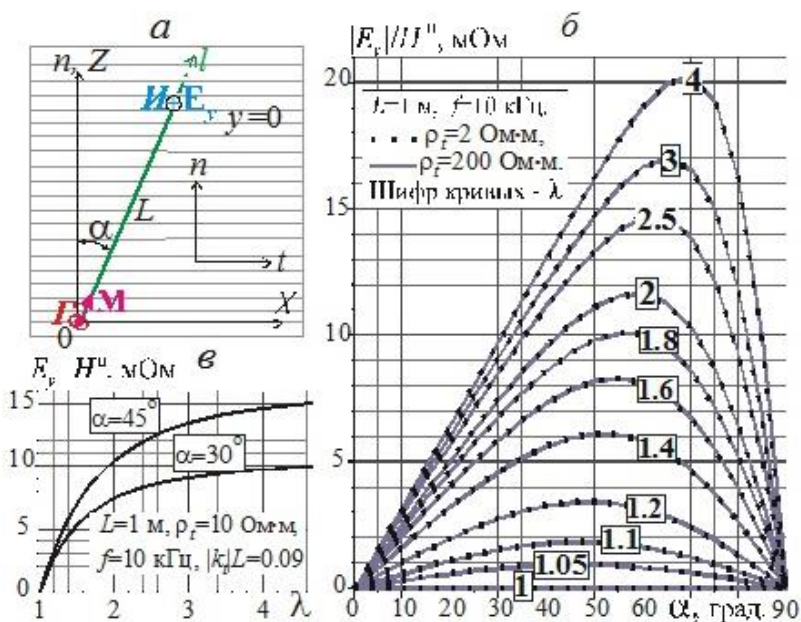


Рис. 1. Зонд ИГ в модели однородной анизотропной среды (а) и примеры зависимостей $|E_y|/H^n$ от α (б) и λ (в)

На рис. 1, в приведены зависимости $|E_y|/H^n$ от λ при двух значениях α . При характерных для большинства анизотропных горных пород значениях $\lambda < 3-4$ величина $|E_y|(II)$ имеет относительно высокую «чувствительность» к изменению коэффициента λ . При не характерных для горных пород, более высоких значениях λ величина $|E_y|(II)$ испытывает лишь незначительное влияние λ .

Приведенные на рис. 1 результаты расчётов были получены для модели однородной анизотропной среды. Результаты физического моделирования, показанные на рис. 2, б получены для (приближающейся к возможным реальным условиям измерений при каротаже) 3D-модели среды (рис. 2, а.)

На рис. 2, б приведены экспериментальные кривые $|E_y|$, полученные (в разное время) против модели анизотропного пласта из слоёв картона. Как показали результаты экспериментов, электрические параметры такой модели пласта зависят от продолжительности её нахождения в воде (рис. 2, б, в).

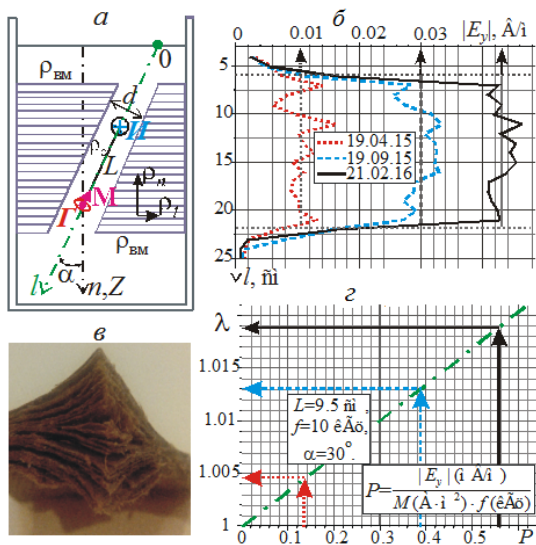


Рис. 2. Схема установки для физического моделирования (а), экспериментальные кривые (б), фрагмент модели пласта из слоёв картона (в), примеры определения коэффициента λ (г)

В соответствии с формулой (1), при известных значениях $|E_y|$, L , f , M , α и при $|k_i|L \ll 1$ для определения λ на основе полученных при разных частотах f результатов измерений $|E_y|$ удобно было воспользоваться величиной $P = |E_y(H)| / (M f)$. Значения L , f , α при физических экспериментах были известны. При определении абсолютной величины M момента магнитного диполя было установлено, что у применённого при физическом моделировании прототипа зонда величина $M \approx 7,7 \text{ A} \cdot \text{m}^2$. На горизонтальной оси рис. 2, г приведено значение параметра P при размерностях $|E_y| - \text{мВ/м}$, $f - \text{кГц}$, $M - \text{А} \cdot \text{м}^2$. При указанной выше величине M и частоте $f = 10 \text{ кГц}$ для величины P получаем следующие численные значения P : 0,14; 0,39; 0,56.

Штрихпунктирной линией на рис 2, г показана полученная на основе расчётов для модели однородной анизотропной среды (при $\alpha = 30^\circ$ и $L = 9,5 \text{ см}$) зависимость $\lambda(P)$. Как видно на этом рисунке, указанным выше величинам P отвечают следующие значения коэффициента анизотропии модели пласта: $\lambda \approx 1,0045$; $\lambda \approx 1,013$; $\lambda \approx 1,019$. Это означает, что по результатам измерений с применённым при физическом моделировании прототипом зонда, коэффициент λ пройденного скважиной пласта может быть определён даже в том случае, когда ве-

личина λ больше значения $\lambda = 1$ (изотропная среда) на десятые доли процента. Этот вывод, конечно, справедлив, если значения угла α не близки к 0° или к 90° . Нами на основе расчётов были получены количественные оценки влияния ошибки измерения α при разных значениях α на погрешность определения λ .

Физические эксперименты были проведены также для других моделей анизотропного пласта. Одна из таких моделей пласта была сконструирована из чередующихся прослоев картона и полиэтиленовой плёнки с отверстиями. Коэффициент λ такой модели можно было только оценить с погрешностью в десятки процентов: $\lambda \approx 4-6$. То, с чем связана такая большая погрешность, видно на рис. 1, в. Это означает, что при очень высоких (и не типичных для большинства горных пород) значениях λ по величине $|E_y(I)|$ можно лишь сделать вывод о том, что коэффициент λ имеет аномально-высокое значение. Но и это может дать важные сведения о свойствах пород.

Литература

1. Каринский А. Д. Физические предпосылки измерения различных компонент поля в электромагнитном каротаже при изучении анизотропии пластов // Геофизика. 2002. № 4. С. 15–23.
2. Каринский А. Д., Красносельских А. А. Моделирование каротажного зонда, предназначенного для определения коэффициента электрической анизотропии пород // Геофизика. 2016. № 1. С. 26–33.
3. Каринский А. Д., Красносельских А. А. Патент «Зонд комбинированного электромагнитного каротажа для определения электрической анизотропии горных пород, пройденных скважиной». Заявка № 2016104113/28 (006554), приоритет с 09.02.2016. Зарегистрирован в Роспатенте. Патент №165115. Бюллетень «Изобретения, полезные модели». 2016. № 28.
4. Красносельских А. А., Каринский А. Д. Опыт лабораторного и математического моделирования нового зонда электромагнитного каротажа для определения коэффициента электрической анизотропии горных пород // Руды и металлы. 2015. № 3. С. 78–84.

А. Д. Каринский, Д. С. Даев, И. К. Филатова, М. Н. Юдин
Российский государственный геологоразведочный
университет, г. Москва

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИМЕЮЩИХ РАЗНУЮ ФОРМУ ОБЪЕКТОВ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ЭЛЕКТРОПРОФИЛИРОВАНИЯ

A. D. Karinskiy, D. S. Daev, I. K. Filatova, M. N. Yudin
Russian State Geological Prospecting University, Moscow

MODELING THE EFFECT OF OBJECTS WITH DIFFERENT SHAPES ON THE RESULTS OF ELECTRICAL PROFILING

Тому влиянию, которое оказывают на результаты электроразведки методом сопротивлений разные области среды, либо расположенные в проводящем полупространстве однородные по удельному электрическому сопротивлению (УЭС) ρ объекты (локальные неоднородности) V_0 , отличающиеся по ρ от вмещающей их среды, был посвящён ряд исследований. К этой тематике относятся и опубликованные нами ранее работы [2–5].

В этой работе приведены полученные для электроразведочной установки симметричного электропрофилирования (СЭП) данные математического моделирования для тех случаев, когда на результаты СЭП могут оказывать влияние расположенные в однородном проводящем полупространстве с $\rho = \rho_1$ и имеющие различную форму однородные по ρ тела (включения) V_0 с $\rho = \rho_0$. Достоверность результатов получаемых на основе применённого нами подхода к методике расчётов подтверждает, в частности, приведенное в работе [2] сравнение полученных нами результатов расчётов с данными, приведенными в зарубежных научных изданиях.

В методах сопротивлений источниками первичного электрического поля $\mathbf{E}^п$ являются заряды токовых электродов A, B . Кажущееся удельное электрическое сопротивление ρ_k определяют по разности потенциалов ΔU_{MN} между измерительными электродами M, N . Как было показано в работе [1], источниками вторичного стационарного электрического поля $\mathbf{E}^в$ являются заряды, индуцированные в местах нарушения однородности среды по УЭС.

В работах [4, 5] показано, что обусловленное присутствием объекта V_0 поле $\mathbf{E}^в$ можно представить суммой полей, создаваемых множеством («заполняющих» область V_0) малых элементов ΔV в форме куба с дипольными моментами $\Delta \mathbf{P}$. В разработанных нами алгоритмах

расчётов и программах предусмотрен учёт влияния дипольных моментов ΔP элементов ΔV , как источников поля E^B , на дипольные моменты ΔP других элементов ΔV . Рассмотрим теперь некоторые результаты математического моделирования.

На рис. 1, *а* показаны направления векторов поля E^n , создаваемого зарядами токовых точечных электродов A, B в однородном проводящем полупространстве. В присутствии электрического поля E , в соответствии с [1], на границе тела (объекта) V_0 существуют индуцированные поверхностные заряды - источники поля E^B . Для случая, когда локальная неоднородность V_0 имеет форму куба (с рёбрами 8 м) при длине $AB = 20$ м, направления векторов поля E^B показаны на рис. 1, *б, в*. На этом и других рисунках в этой работе приведены результаты моделирования для случаев, когда центры тел V_0 и линия AB лежат в плоскости чертежа.

На рис. 2 показаны кривые нормированного на ρ_1 кажущегося удельного сопротивления ρ_k для установки СЭП в случаях, когда однородный по ρ объект V_0 имеет форму куба с ребром H (рис. 2, *а*), либо шара с диаметром $D = H$ (рис. 2, *б*). Отметим, что результаты математического моделирования, приведенные на рис. 2, *б*, получены для случая, когда V_0 фактически отличается по форме от «идеального» шара с диаметром D и с радиусом $R_0 = D/2$. Такое включение с $\rho = \rho_0$ состоит из большого числа элементов ΔV в форме куба, заполняющих область V_0 . Расстояния от центров элементов ΔV , оказывающих влияние на поле E^B , до центра локального тела V_0 в форме шара – меньше, чем радиус R_0 (рис. 2, *б*).

На рис. 2 видно, что на кривых ρ_k СЭП, кроме экстремальных значений ρ_k над центрами объектов V_0 , есть и другие экстремумы разного знака. Такие «осложнения» кривых ρ_k были названы С-эффектом. Этот эффект, конечно, обусловлен изменением распределения индуцированных электрических зарядов на границе локального тела V_0 , которое зависит от положения относительно V_0 источников поля E^n – зарядов токовых электродов A, B .

При сравнении рис. 2, *а* и 2, *б* видно, что при небольшой глубине z_1 верхней границы объекта V_0 (и при показанной на этих рисунках размерах установки $AMNB$ СЭП) форма V_0 может оказывать существенное влияние на особенности (конфигурацию) кривых ρ_k .

В отличие от рис. 2, на рис. 3 приведены результаты расчётов ρ_k / ρ_1 для установки СЭП (с $AB = 50$ м и $MN = 5$ м) для случаев, когда однородный по ρ объект V_0 имеет не изометричную форму. На рис. 3, *а* V_0 – прямоугольный параллелепипед с рёбрами $l_x = 150$ м, $l_y = 50$ м, $l_z = 25$ м при «глубине» до верхней границы V_0 $z_1 = 5$ м. Приведенные

на рис. 3, б результаты расчётов получены для случая, когда объект V_0 по форме близок к 3-х-осному эллипсоиду, вписанному в параллелепипед с указанными выше размерами. При сравнении рис. 3, а и рис. 3, б видно, что и в этом случае (как на рис. 2) форма тела V_0 может оказывать существенное влияние на результаты СЭП.

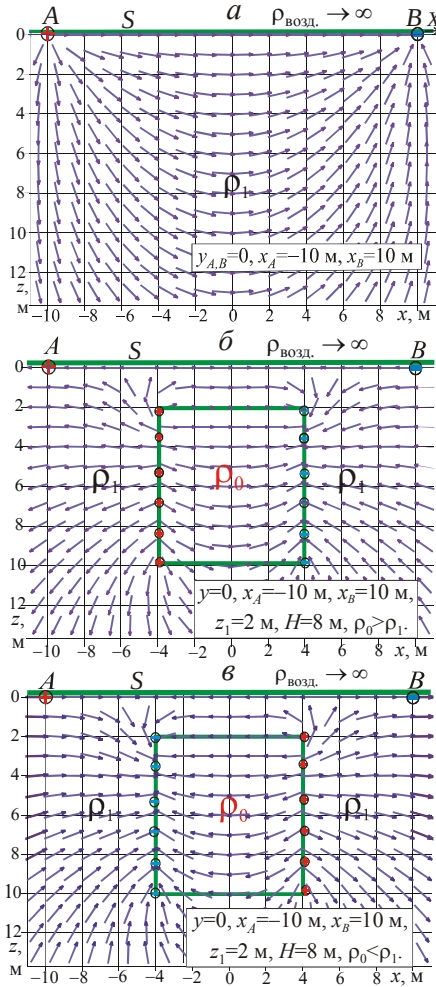


Рис. 1. Направления векторов первичного поля $E^п$ (а) и векторов вторичного поля $E^в$ при $\rho_0 > \rho_1$ (б) и $\rho_0 < \rho_1$ (в)

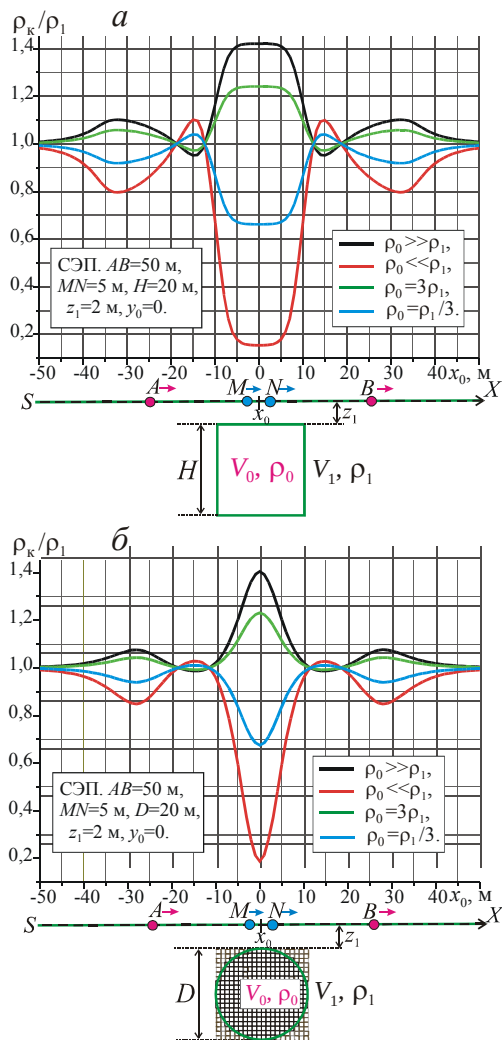


Рис. 2. Кривые ρ_k/ρ_1 с установкой $AMNB$ СЭП над объектом V_0 в форме куба (а) и шара (б)

Разработанные алгоритмы и программы можно применить для того, чтобы количественно определить влияние имеющих различную форму объектов V_0 не только на результаты СЭП, но и других методов сопротивления (СГ, ВЭЗ и др.).

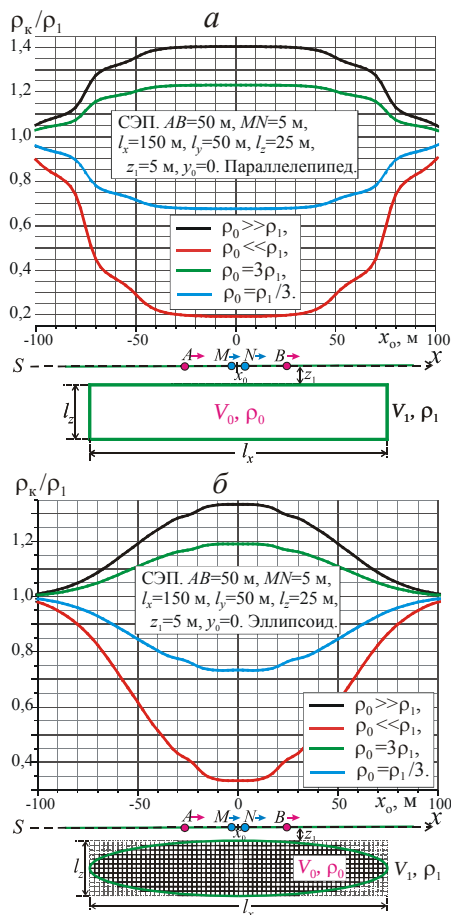


Рис. 3. Кривые ρ_k / ρ_1 с установкой $AMNB$ СЭП над объектом V_0 в форме прямоугольного параллелепипеда (а) и эллипсоида (б)

Литература

1. Альпин Л. М. Источники поля в теории электроразведки // Прикладная геофизика. Гостоптехиздат, 1947. Вып. 3. С. 56–100.
2. Каринский А. Д., Давев Д. С. Об областях пространства, существенно влияющих на результаты измерений в электромагнитных методах // Геофизика. 2012. № 6. С. 42–53.

3. Каринский А. Д., Даев Д. С., Мазитова И. К. Математическое моделирование С-эффекта и Р-эффекта в методах сопротивлений электроразведки // Геофизика. 2014. № 1. С. 36–45.

4. Каринский А. Д., Даев Д. С., Мазитова И. К., Юдин М. Н. Математическое моделирование влияния локальных объектов на результаты методов сопротивлений электроразведки // Теория и практика разведочной и промысловой геофизики. Пермь, ПГНИУ, 2016. С. 122–126.

5. Каринский А. Д., Даев Д. С. Влияние локальных объектов на результаты электроразведки методом сопротивлений; опыт математического моделирования // Геофизика. 2017. № 1. С. 35–44.

Г. С. Кашин

ПАО «Пермнефтегеофизика», г. Пермь

ОПЫТ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ГЕОЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И КАРОТАЖА В ПРОЦЕССЕ БУРЕНИЯ СКВАЖИН

G. S. Kashin

Permneftegeofizika, Perm

EXPERIENCE OF COMBINING OF THE GEOLOGICAL-TECHNOLOGICAL INVESTIGATION AND LOGGING WHILE DRILLING

При разработке нефтяных месторождений одной из важнейших задач недропользователя является увеличение эффективности работ и снижение затрат на строительство скважин. Внедрение новых технологий, оптимизация и комплексирование работ, в первую очередь, способствуют росту технико-экономических показателей [1–7].

Технологический процесс бурения организован таким образом, что при выполнении работ одним сервисным предприятием возникают ситуации, при которых остальные вынуждены находиться в ожидании. Значительное время в процессе строительства скважин, при котором останавливается бурение, занимают геофизические исследования скважин (ГИС). Эффективным способом сокращения временных затрат на ГИС в данном случае служит применение технологии каротажа в процессе бурения. На текущий момент лидерами в данной сфере являются зарубежные компании Schlumberger, Halliburton и Baker Hughes.

К примеру, оборудование компании Schlumberger позволяет проводить такие исследования в процессе бурения как: определение пористости, проницаемости, литологии пород, акустические исследования, сверхглубокое картирование разреза, гидродинамические исследования, каротаж сопротивления [8].

Для реализации технологии комплексных работ по геологическому сопровождению наклонно-направленного бурения скважин ПАО «Пермнефтегеофизика» рассматривалось оборудование, не попадающее под удары санкционной политики и способное конкурировать по стоимости с мировыми лидерами.

Первым опытом в этом направлении была попытка адаптации Китайской телесистемы фирмы «Goaltech» со станцией ГТИ ИМС в 2012 г. По точности показаний претензий к системе не было. Инклинометрический модуль и модуль ГК выдавали достоверные значения. Основные сложности возникли с несовместимостью технологических датчиков с элементами буровой установки и устойчивостью сигнала с забойных модулей. В итоге, проведя работы на трех скважинах, из-за постоянных сбоев пришлось отказаться от оборудования «Goaltech».

Следующим этапом работ является опыт комплексирования телесистемы производства ПАО НПП «ВНИИГИС» г. Октябрьский ЗИС-4МЭ и станции ГТИ Геосенсор. Опытные работы проводились на разведочных скважинах. Основной задачей при строительстве таких скважин является выделение и оценка продуктивных интервалов. Технологический процесс при этом сложен следующим образом: бурение сплошным забоем до предполагаемой границы кровли продуктивного пласта, подъем инструмента, привязочный каротаж с целью уточнения интервала отбора керна, подбурка до кровли предполагаемого нефтенасыщенного горизонта, отбор керна, определение насыщения коллектора испытателем пластов, продолжение бурения сплошным забоем до следующей предполагаемой продуктивной толщи.

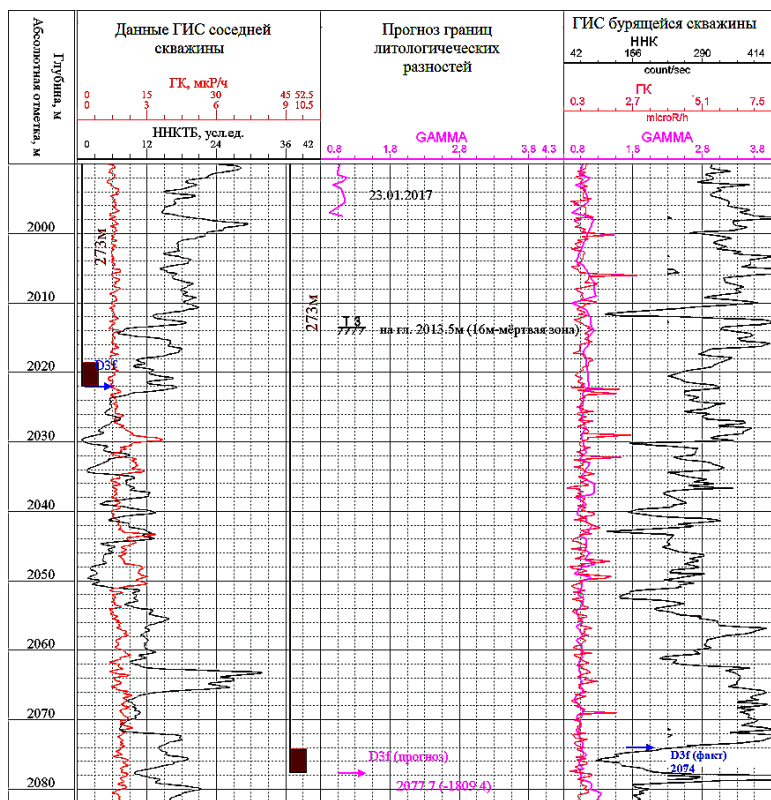
При включении в состав компоновки низа бурильной колонны забойной телеметрической системы с модулем гамма каротажа, привязка происходит в процессе бурения. Таким образом, переход к работам по отбору керна осуществляется без лишних спускоподъемных операций, «подбурок» и каротажа на кабеле.

Привязка геологической информации, полученной в результате геолого-технологических исследований по глубине, заключается в прослеживании геологического разреза строящейся скважины относительно известного геологического разреза соседней скважины (рисунки) и по возможности внесения корректировок. В связи с этим важно

иметь качественный геофизический материал по уже пробуренным скважинам.

В результате оптимизации на каждой разведочной скважине в зависимости от числа интервалов отбора керна исключены от одного до пяти привязочных каротажей, а соответственно и количество спуско-подъемов, что в свою очередь дает сокращение времени строительства скважины до четырех суток.

Использование гамма-каротажа эффективно, но не достаточно для перехода к работам в горизонтальных скважинах. По этой причине поиск альтернативного оборудования был продолжен. В 2016 г. на российском рынке появилось оборудование компании АО «НПФ Геофизика» LWD Vector.



Привязка границ литологических разностей по глубине

В состав системы включены модули ГК, ННК и резистивиметр, что позволяет осуществлять работы в горизонтальных скважинах. Кроме того, следует отметить возможность извлечения прибора с источником нейтронов в случае прихвата бурового инструмента.

Испытания проводились в конце 2016 г. на двух скважинах ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ». Система Vector дополняла комплексные работы по геолого-технологическим исследованиям и проводке скважины телесистемой ЗИС-4МЭ с модулем гамма-каротажа. Работы проводились поэтапно. На первом этапе спуск в скважину телесистемы Vector был произведен без модуля нейтронного каротажа и резистивиметра. Далее, после получения устойчивого сигнала по гидравлическому каналу связи от модулей системы вектор, на второй и последующие рейсы в компоновку был включен модуль нейтронного каротажа. В процессе работы четко прослеживалась повторяемость данных системы Vektor, телесистемы ЗИС-4МЭ и приборов на кабеле. В итоге удалось провести ствол скважины по заданной траектории, отследить разрез скважины не только в терригенных, но и в карбонатных отложениях.

Проведенные исследования показали актуальность и эффективность комплексирования геолого-технологических исследований и каротажа в процессе бурения разведочных скважин. Использование телеметрического оборудования отечественного производства в составе комплексных работ по проводке скважин с геолого-технологическим сопровождением может являться альтернативой услугам по геонавигации зарубежных компаний.

Литература

1. *Беляков Н. В., Лукьянов Э. Е., Нестерова Т. Н., Петров А. Н.* Использование новых технологий ГТИ и ГИС при проводке скважин // Газовая промышленность, 2000. № 9. С. 49–51.
2. *Делия С.В., Ракитин М.В.* Тенденции развития ГТИ и ГИС бурения // Бурение и нефть. 2014. № 2.
3. *Лукьянов Э. Е., Беляков Н. В.* Геолого-технологические исследования при проводке горизонтальных скважин // 3-й международный семинар «Горизонтальные скважины»: Тезисы докладов. М. 2000. С. 145–146.
4. Национальный стандарт Российской Федерации. Скважины нефтяные и газовые. Геолого-технологические исследования. Общие требования Oil and gas wells. Geological-technological logging. General requirements ГОСТ Р 53375-2009. Дата введения 1 июля 2010 г.
5. *Перелыгин В. Т., Даниленко В. Н., Лысенков А. И., Григорьев В. М., Чупров В. П., Кнеллер Л. Е.* Развитие геофизических технологий для решения сложных геолого-технических задач в нефтяных и газовых скважин // Нефть. Газ. НОВАЦИИ. 2014. № 2.

6. РД 153-39.0-069-01. Техническая инструкция по проведению геолого-технологических исследований нефтяных и газовых скважин. Тверь. 2001.

7. Рязанцев Н. Ф., Беляков Н. В., Домащенко Г. М., Нестерова Т. Н. Геолого-технологическая программа комплексного изучения разреза в процессе бурения скважин // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море, 2002. № 5. С. 6–10.

8. Технологии ННБ, телеметрии и каротажа во время бурения. Краткий справочник. 2013 [Электронный ресурс]. URL: [http://www. Schlumberger, slb.com/drilling/](http://www.Schlumberger, slb.com/drilling/).

О. Н. Ковин¹, А. А. Жуков², В. А. Ворошилов¹

¹Пермский государственный национальный
исследовательский университет, г. Пермь

²ПАО «Уралкалий», г. Березники

ИЗУЧЕНИЕ АНИЗОТРОПИИ СИЛЬВИНИТОВЫХ ПОРОД МЕТОДОМ ГЕОРАДАР: ВЕРХНЕКАМСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ

O. N. Kovin¹, A. A. Zhukov², V. A. Voroshilov²

¹Perm State University, Perm

²PJSC Uralkali, Berezniki

GEORADAR USAGE FOR STUDY OF THE SILVYNITE ROCKS ANISOTROPY: VERKHNEKAMSKOE POTASH DEPOSIT

Метод георадар широко используется в калийных рудниках для обеспечения безопасности горных работ, планирования отработки продуктивных пластов и контроля за состоянием выработок. Сотрудниками ПАО «Уралкалий» и Пермского государственного научно-исследовательского университета были проведены лабораторные измерения анизотропии методом георадар на блоках сильвинитовых пород Верхнекамского месторождения калийных солей. Результаты исследований показали, что в некоторых случаях анизотропия свойств пород может вносить существенные ошибки в результаты измерений в выработках.

Метод георадар использовался для изучения анизотропии физических свойств связанной с ориентацией зерен минералов в гнейсах [2], трещиноватостью в ледниках Аляски [1] и др. Результаты проведенных ранее работ показали, что неучет анизотропии может привести к существенным ошибкам при интерпретации геофизических данных или, с

© Ковин О. Н., Жуков А. А., Ворошилов В. А., 2017

другой стороны, её изучение может дать новую информацию о состоянии и структуре массива горных пород. Анизотропия пород калийных месторождений связана в основном с наличием прослоев глинистого материала, электрические параметры которого существенно отличаются от параметров соляных пород. Трещиноватость также может оказывать влияние на анизотропию массива горных пород.

Исследования проводились на блоках пород из сильвинитовых пластов рудника СКРУ-3 различного типоразмера (табл. 1). Измерения выполнялись путем измерения скорости прохождения эхо-сигнала между параллельными гранями блоков, ориентированными вдоль и вкрест простирания пластов (рис. 1).

Таблица 1

Результаты измерений электрических параметров соляных пород

Номер образца	Направление измерения	Высота образца, (м)	Время прохождения сигнала, Δt (нс)	Скорость, v (м/нс)	Диэлектр. проницаемость, ϵ
1	вдоль	0,295	4,94	0,119	6,36
	вдоль	0,230	3,70	0,124	5,85
	вкрест	0,287	5,67	0,101	8,82
2	вдоль	0,289	4,78	0,120	6,25
	вдоль	0,300	4,93	0,122	6,25
	вкрест	0,216	3,60	0,120	6,25
3	вдоль	0,263	4,20	0,125	5,76
	вдоль	0,216	3,74	0,116	6,69

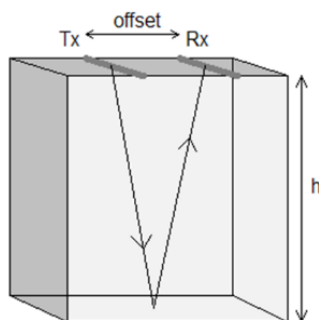


Рис. 1. Схема проведения измерений скорости прохождения электромагнитных волн на блоках пород. Tx и Rx – излучатель и приемник соответственно [3]

Скорость в этом случае определяется выражением [3]:

$$v = 2 \left(h^2 + \left(\frac{\text{offset}}{2} \right)^2 \right)^{1/2} / \Delta t, \quad (1)$$

где h – высота образца, offset – расстояние между излучающей и приемной антеннами, Δt – время прихода донного сигнала. Расстояние между антеннами существенно меньше высоты образца, поэтому им можно пренебречь и выражение вычисления скорости упростится

$$v = \frac{2h}{\Delta t}. \quad (2)$$

Измерения проводились с помощью георадара SIR 3000 компании GSSI. В связи с небольшими размерами образцов использовалась антенна 1600 МГц, обеспечивающая необходимую разрешающую способность измерений. Пример записи георадарных трасс дан на рис. 2.

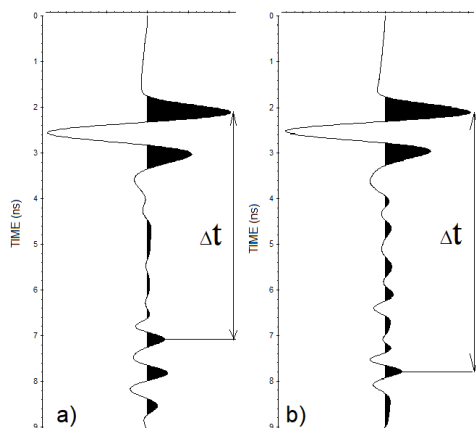


Рис. 2. Пример георадарных данных, полученных на образце № 1:
а) – вдоль напластования; б) – вкрест напластования

Можно заметить, что на трассе, записанной вкрест простираения, количество промежуточных отражений значительно больше, чем на трассе, полученной вдоль простираения. Это свидетельствует о наличии на пути распространения сигнала глинистых пропластков, которые оказывают влияние на его параметры (скорость, затухание). В табл. 1 приведены результаты измерений на трёх образцах силвинитовых пород. В связи с неровностью одной из граней образца № 3 измерение вкрест простираения не проводилось.

Диэлектрическая проницаемость среды ε , где распространяется электромагнитная волна, рассчитывается по формуле

$$\varepsilon = \left(\frac{c}{v} \right)^2, \quad (3)$$

где $c = 0,3$ – скорость в вакууме.

Значения скорости, измеренные вдоль напластования, отличаются на единицы процента от среднего, равного 0,121 м/нс. Это свидетельствует об относительной однородности материала на пути распространения сигнала с небольшими отклонениями, связанными, скорее всего, с мелкой складчатостью.

Скорость, измеренная вкрест простирания на образце № 1, меньше измеренной вдоль пропластков на 15 %, что указывает на наличие анизотропных свойств пород на участке разреза, из которого он был отобран. Отсутствие отличия скоростей, замеренных вдоль и вкрест напластования на образце № 2 может быть связано с тем, что он был отобран на участке разреза с малым содержанием глинистого материала.

Предварительные результаты анализа полученных данных позволяют сделать вывод о том, что изучение анизотропных свойств пород на различных участках разреза позволит более точно подбирать значения скоростей при решении конкретных горно-технических задач.

Литература

4. *Bradford J. H., Nichols J., Harper J. T., Meierbachtol T.* Compressional and EM wave velocity anisotropy in a temperate glacier due to basal crevasses, and implications for water content estimation // *Annals of Glaciology*. 2013. V. 54. N. 64. С. 168–178.
5. *Cook F. A., Vasudevan K.* Georadar anisotropy in the Gotthard gneiss, Switzerland // *Geophysical Research Letters*. 1997. V. 24, N. 2. С. 197–200.
6. *Kovin O.* Ground Penetrating Radar investigations in Upper Kama potash mines. Mining problems and solutions. LAP Lambert Academic Publishing, 2010. 124 с.

В. П. Колесников, Т. А. Ласкина
Пермский государственный национальный
исследовательский университет, г. Пермь

О ПОВЫШЕНИИ ИНФОРМАТИВНОСТИ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЗОНДИРОВАНИЙ

V. P. Kolesnikov, T. A. Laskina
Perm State University, Perm

IMPROVEMENT OF INFORMATIVE EFFICIENCY OF ELECTRICAL SOUNDING INTERPRETATION

Развитие методов электрометрии направлено на повышение информативности и экономической эффективности исследования геологической среды. Практическая реализация этого сопряжена как с решением фундаментальных проблем, связанных с обеспечением *однозначности и единственности решений*, так и физико-геологической содержательности получаемых результатов.

В настоящее время существует многообразие различного рода методов электрического зондирования (вертикальное электрическое зондирование, 2D-электротомография, групповые зондирования и др.) и используемых интерпретационных параметров (кажущееся сопротивление, кажущаяся проводимость, дифференциальные трансформанты и др.), нацеленных на эффективность ведения работ и максимально возможное извлечение полезной информации в рамках информативности метода, что требует создания способов для анализа этих информационных возможностей.

Наиболее информативным и сложным является процесс количественной интерпретации, направленной на определение истинных параметров среды, выполняемой на практике путем расчленения разреза на обобщенные пакки пород, наиболее контрастно отображаемых в наблюдаемом поле (кривых зондирования, кривых Дар-Заррук).

Рассмотрим некоторые из результатов наших исследований в этом направлении.

Ключевую роль при количественной интерпретации, согласно [4], играют два основных фактора: *единственность* решения – определяющая потенциальные возможности получения истинной модели среды, доказанная для 1D-модели среды [2] и *однозначность* – характеризующая устойчивость решения к малым изменениям исходных данных (влиянию погрешностей наблюдения). Эти два фактора являя-

ются основными при оценке информативности метода в условиях неизбежного наличия различного рода погрешностей наблюдения, оказывающих существенное влияние на детальность расчленения исследуемой среды.

Практическая реализация интерпретационного процесса в рамках данной интерпретационной модели осуществляется с использованием *фундаментального принципа регуляризации*, направленного на привлечение различного рода *дополнительной информации*, связанной как с *информационными возможностями метода*, так и *физико-геологическими особенностями* геологической среды, включая: 1) расчленение разреза на обобщенные комплексы (пачки) пород, наиболее контрастно отображаемые в наблюдаемом поле (адаптивная регуляризация), при согласовании их с литологическими либо стратиграфическими границами; 2) оценку достоверности результатов, выполняемую с учетом информационных возможностей метода; 3) многофункциональность способов интерпретации, обеспечивающих выбор рационального набора интерпретационных параметров (подхода) для решения конкретных задач.

Основной принцип регуляризации сводится к поиску решения (параметров горизонтально-слоистой среды) следующего функционального уравнения:

$$F(p, \alpha) = \sum_{j=1}^N \left(\frac{\rho_{k_j}(r) - \bar{\rho}_{k_j}(r, p)}{\rho_{k_j}(r)} \right)^2 + \alpha \cdot \Omega(p) = \min, \quad (1)$$

где $p = (h_i, p_i, i = 1, n)$ – параметры среды; $\Omega(p)$ – дополнительная информация о решении.

Решение выполняется при условии отклонения расчетной функции кажущегося сопротивления $\rho_k(r)$ от наблюдаемых ее значений в рамках погрешности наблюдений.

Для повышения согласованности решений с литологическими, либо стратиграфическими границами, при расчленении разреза на обобщенные комплексы пород, наиболее контрастно отображаемые в электрическом поле в рамках информативности метода, используется

$$\text{анализ параметрических зондирований } \Omega(p) = \sum_{i=1}^{2n-1} |p_i^{cкс} - p_i| = \min.$$

Эффективность регуляризации во многом зависит от набора и необходимого обоснования использования дополнительной информации [1]. Для этого проанализирован ряд новых факторов для доопределения обратной задачи, включая: а) оптимальное сглаживание геоэлек-

трических границ на основе анализа петрофизических и структурных характеристик среды с учетом диапазона эффективного проявления слоя на кривой зондирования; б) использование *параметра подобия* для оценки расхождения расчетного и наблюдаемого полей

$$\delta_{\Pi} = \sum_{j=1}^{n-1} (\delta_{j+1} - \delta_j), \text{ где } \delta_j - \text{относительное расхождение расчетного и}$$

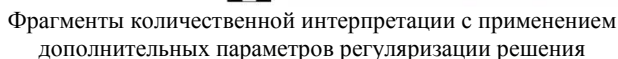
наблюдаемого значений $\rho_k(r)$ на j -м разное.

Поиск оптимального сглаживания границ вытекает из особенностей параметров горизонтально-слоистой среды, в частности из того, что наибольшее влияние на наблюдаемое электрическое поле оказывает электрическое сопротивление пород по сравнению с мощностью выделяемых обобщенных слоев. Диапазон изменения *истинных значений* сопротивления по своим петрофизическим характеристикам обычно во много раз (порядка до 10^7) превышает степень изменения истинных мощностей слоев в условиях исследования осадочных образований. При решении большинства практических задач аномальность электрического сопротивления значительно превышает пределы эквивалентности, в то время как диапазон изменения глубин залегания (мощности) обобщенных пачек пород слоя (в условиях осадочных образований) значительно близок к пределам эквивалентности. Поэтому одним из приемов доопределения задачи правомерно применять сглаживание границ в пределах эквивалентных решений (ЗОНД) с учетом диапазона эффективного проявления слоя на кривой зондирования, приводящее к уточнению и электрического сопротивления в силу действия принципа эквивалентности.

Немаловажную роль при истолковании результатов наблюдений играет физическая оценка детальности расчленения разреза как по площади, так и с глубиной на основе анализа распределения плотности тока в исследуемом пространстве [3], определяющая информационные возможности метода.

Также в целях повышения наглядности анализа наличия и степени проявления аномальных зон реализована возможность оперативного выбора оптимальных градаций при визуализации расчетных параметров среды (рисунок).

Проанализированы способы и приемы повышения информативности результатов электрического зондирования, включая оптимальное сглаживание геоэлектрических границ с учетом диапазона эффективного проявления слоя на кривой зондирования, использование *параметра подобия* для оценки расхождения расчетного и наблюдаемого полей.



Литература

- 128

И. Ю. Митюнина
Пермский государственный национальный
исследовательский университет, г. Пермь

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ НЕФТЯНОЙ ГЕОЛОГИИ

I. Yu. Mityunina,
Perm State University, Perm

THE USE OF GEOINFORMATIONAL TECHNOLOGIES FOR SOLVING THE PROBLEMS OF OIL GEOLOGY

В настоящее время геоинформационные системы (ГИС) используются в геологоразведочной отрасли, главным образом, как универсальные базы пространственных данных. В то же время наличие в современных полнофункциональных ГИС широкого спектра инструментов геоанализа позволяет осуществлять в рамках геоинформационных технологий решение целого ряда геолого-геофизических задач [3]. В работе приведены некоторые примеры решения задач нефтегазовой геологии в геоинформационной системе ArcGIS (ESRI Inc., США).

Прогноз коллекторских свойств пород на основе мультиатрибутного анализа сейсмических данных

Традиционно для изучения коллекторских свойств продуктивных отложений в межскважинном пространстве используются атрибуты сейсмических записей. Физическая основа атрибутивного анализа заключается в том, что характер изменения волновой картины на временных разрезах связан со свойствами пород. Анализ изменений атрибутов волнового поля в межскважинном пространстве позволяет осуществлять прогноз свойств резервуара на основании связей, установленных между скважинными характеристиками пород (пористость, эффективная толщина, песчанистость и т. д.) и свойствами записей упругих волн (амплитуда, частота, фаза) в точках расположения скважин.

Опыт использования атрибутивного анализа при интерпретации сейсмических данных [1, 7] показал, что ни один геофизический параметр не имеет прямого соответствия с каким-либо геологическим признаком или фактором. В то же время наиболее характерные закономерности геологического строения, вещественного состава, коллекторских свойств и т.п. могут отражаться в некой комбинации параметров, т. е. в многомерном пространстве атрибутов сейсмической записи.

© Митюнина И. Ю., 2017

Нами в рамках геоинформационной системы ArcGIS была разработана технология мультиатрибутного анализа сейсмических данных на базе многомерной обработки растровых (грид) моделей пространственных данных [4]. Ключевым моментом технологии является применение факторного анализа многомерного пространства атрибутов сейсмической записи методом главных компонент [5]. Это позволяет осуществить переход от анализа большого числа взаимосвязанных атрибутов сейсмических записей к конечному небольшому числу независимых переменных, каждая из которых через простейшие регрессионные зависимости может быть связана с целевыми физико-геологическими параметрами среды.

Технология была успешно использована для прогноза эффективных толщин коллекторов на ряде месторождений нефти Пермского края и Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции.

Автоматизация процесса подсчета запасов углеводородов объемным методом

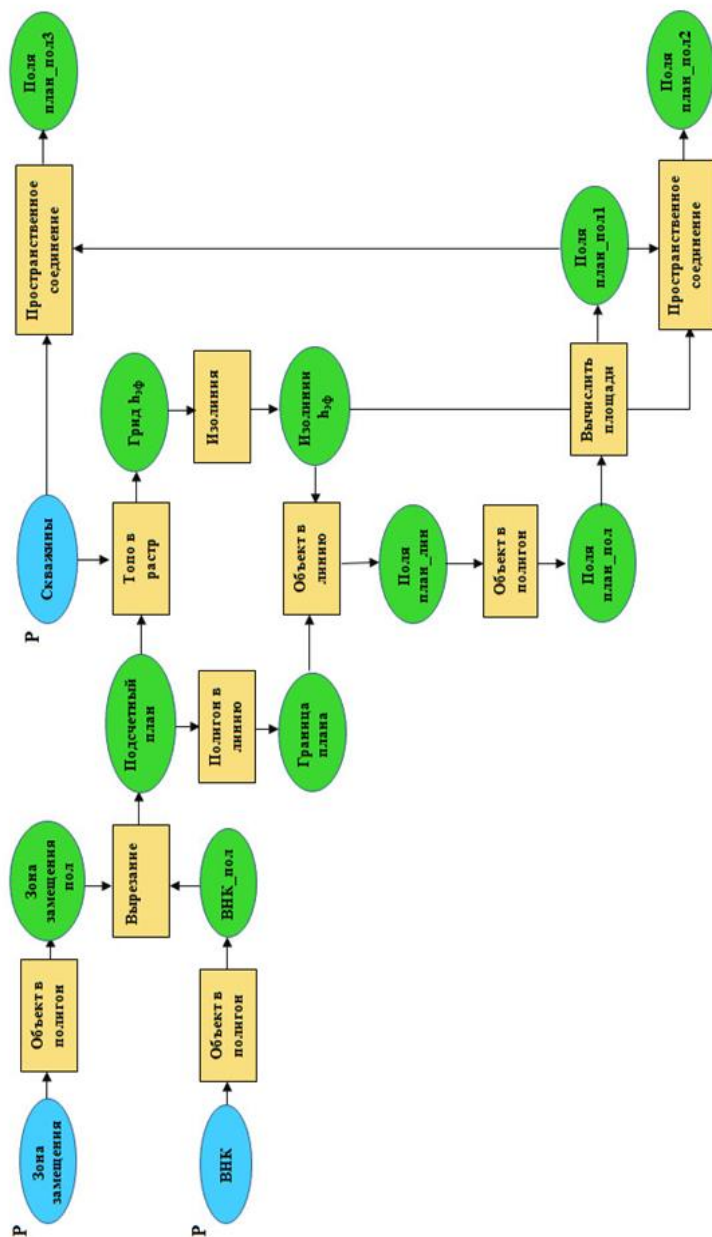
В настоящее время при подсчете запасов углеводородов используется объемный метод, сущность которого заключается в определении массы нефти или газа, приведенных к стандартным условиям, залегающих в пустотном пространстве пород-коллекторов [6].

Важнейшим параметром при подсчете запасов является объем продуктивной части пласта, который определяется в большинстве случаев путем умножения горизонтальной проекции площади залежи на среднее значение вертикальной эффективной нефтенасыщенной толщины пласта $h_{эфф}$. При этом площадь нефтеносности устанавливается на основе данных пробуренных скважин и их испытания.

Геоинформационная система ArcGIS предоставляет широкие возможности для реализации процедуры подсчета запасов углеводородов объемным методом. Технология осуществляется с помощью инструментов ArcToolbox и включает несколько этапов [3]:

- расчет грид модели распределения эффективных нефтенасыщенных толщин и построение карты изопакит;
- выделение в пределах контура нефтеносности отдельных участков планиметрии и вычисление их площади;
- определение средних нефтенасыщенных толщин в пределах каждого участка планиметрии;
- подсчет суммарных запасов углеводородов для участков насыщения коллекторов.

Для автоматизации процесса вычислений нами составлена модель обработки, представленная на рисунке. В модели сохраняется весь технологический процесс, что позволяет, во-первых, осущест-



Блок-схема подсчета запасов нефти объемным методом

влять вычисления в пакетном режиме, и, во-вторых, проводить расчеты повторно, изменяя наборы входных параметров.

Модель обработки была опробована при подсчете запасов нефти на ряде месторождений Пермского края. Отличие полученных результатов от представленных к защите в ГКЗ не превышает 3%, что не выходит за пределы допустимых пределов точности.

Литература

1. *Ампилов Ю. П.* От сейсмической интерпретации к моделированию и оценке месторождений нефти и газа. М., ООО «Издательство «Спектр», 2008. 384 с.
2. *Митчелл Э.* Руководство ESRI по ГИС анализу. Том 1: Географические закономерности и взаимодействия. ESRI Press, 1999. 190 с.
3. *Митюнина И. Ю., Дерендяева А. А.* 3D моделирование залежей углеводородов с использованием ГИС технологий // Материалы региональной научно-практической конференции «Геология и полезные ископаемые Западного Урала». Пермь, ПГУ, 2013. С. 120–123.
4. *Митюнина И. Ю.* Комплексный анализ геофизических полей в геоинформационной системе ArcGIS // Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей: Материалы 44-й сессии Международного семинара им. Д. Г. Успенского. М: ИФЗ РАН, 2017. С. 252–256.
5. *Никитин А. А., Петров А. В.* Теоретические основы обработки геофизической информации: учебное пособие. 3-е изд., дополненное. М.: ВНИИ-геосистем, 2013. 118 с.
6. *Петерсилье В. И., Порожун В. И., Яценко Г. Г.* Методические рекомендации по подсчету геологических запасов нефти и газа объемным методом. Москва-Тверь, 2003.
7. *Barnes A. E.* Handbook of Poststack Seismic Attributes // Geophysical References Series. 2016. No 21. 254 p.

А. С. Некрасов^{1,2}, В. И. Луппов²
¹ Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг»
«ПермНИПИнефть» в г. Перми, г. Пермь
² Пермский государственный национальный
исследовательский университет, г. Пермь

РАЗДЕЛЕНИЕ КАРБОНАТНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ С РАЗЛИЧНОЙ СТРУКТУРОЙ ПОРОВОГО ПРОСТРАНСТВА ПО ДАННЫМ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН

A. S. Nekrasov^{1,2}, V. I. Luppov²
¹ LUKOIL-Engineering Ltd. PermNIPIneft, Perm
² Perm State University, Perm

THE SEPARATION OF CARBONATE RESERVOIRS WITH DIFFERENT PORE SPACE STRUCTURE ACCORDING TO WELLS GEOPHYSICAL STUDIES

Проведено разделение коллекторов по структуре порового пространства с учетом литологии пород и различных упругих характеристик (коэффициентов сжимаемости) межзерновых пор, каверн и трещин. Использование результатов гидродинамических исследований скважин подтвердило наличие высокопроницаемых зон, выделенных по ГИС. Результаты работ позволяют корректировать размещение эксплуатационных скважин по площади месторождения и контролировать разработку залежей, приуроченных к карбонатным коллекторам смешанного типа.

Методика разделения сложнопостроенных карбонатных коллекторов по структуре порового пространства [1] рекомендована и опробована на месторождениях Башкирии, Оренбургском газоконденсатном и Тенгиз (Казахстан) [2].

В основу методики заложена зависимость скорости (V_p) распространения упругих волн от коэффициентов сжимаемости (β): межзерновых пор (β_n), насыщающих флюидов (β_n – нефти, β_v – воды), твердой фазы (β_{tv}), трещин (β_p) и каверн ($\beta_{кав}$)

$$\Delta T_n = 1 / V_p = [\beta_o \cdot \delta_n \cdot (1 + \nu) / 3(1 - \nu)] \cdot 0,5 , \quad (1)$$

где $\delta_{\text{п}}$ – объемная плотность породы; ν – коэффициент Пуассона. Коэффициент объемной сжимаемости пористого тела β_0 определяется по формуле

$$\beta_0 = K_{\text{п}} \cdot \beta_{\text{п}} / [1 + \beta_{\text{п}} / (\beta_{\text{ж}} - \beta_{\text{тв}})] + \beta_{\text{тв}}. \quad (2)$$

Коэффициенты сжимаемости породы, содержащей кроме межзерновых пор каверны или трещины, определяются соответственно следующими выражениями:

$$\beta_{\text{п, кав}} = \beta_{\text{п, мз}} - (K_{\text{кав}} / K_{\text{п}}) \cdot (\beta_{\text{п, мз}} - \beta_{\text{кав}}), \quad (3)$$

$$\beta_{\text{п, тр}} = \beta_{\text{тр}} \cdot (K_{\text{тр}} / K_{\text{п}}) + \beta_{\text{п, мз}}, \quad (4)$$

где $K_{\text{кав}} / K_{\text{п}}$ и $K_{\text{тр}} / K_{\text{п}}$ – соответственно отношения каверновой и трещинной составляющих к общей пористости породы.

По константам, установленным для условий залегания и вскрытия изучаемых пород, рассчитаны палетки $\Delta T_{\text{п}} = f(K_{\text{п, ГИС}}, K_{\text{кав}} / K_{\text{п}}, K_{\text{тр}} / K_{\text{п}})$, где $K_{\text{п, ГИС}}$ – общая пористость породы с учетом литологии. Для литологических разностей карбонатных пород (доломиты, известняки, доломитизированные известняки) палетки отличаются из-за различия коэффициентов сжимаемости $\beta_{\text{тв}}$ и $\beta_{\text{п}}$.

Для фаменско-турнейских отложений изучаемых месторождений [3], в разрезе которых присутствуют все вышеназванные разновидности карбонатных пород, палетки рассчитаны для известняков, доломитизированных известняков и доломитов. В качестве насыщающего флюида принята пластовая вода. При расчетах теоретических кривых $\Delta T_{\text{п}} = f(K_{\text{п, ГИС}}, K_{\text{кав}} / K_{\text{п}}, K_{\text{тр}} / K_{\text{п}})$ по зависимости (рис. 1, а, б) с учетом литературных данных [1, 2] принимались константы, характеризующие упругие характеристики твердой фазы ($\beta_{\text{тв}}$) известняка, доломитизированного известняка и доломита, соответственно $1,34 \cdot 10^{-5}$ МПа⁻¹, $1,25 \cdot 10^{-5}$ МПа⁻¹, $1,16 \cdot 10^{-5}$ МПа⁻¹ и насыщающего флюида (воды) $\beta_{\text{ж}} = 30 \cdot 10^{-5}$ МПа⁻¹ [4].

Коэффициенты сжимаемости пор ($\beta_{\text{п}}$) и особенно трещин ($\beta_{\text{тр}}$) зависят от реального эффективного давления, характерного для условий изучаемых отложений и составляющего $P_{\text{эф}} = 35$ МПа.

Величины коэффициентов сжимаемости пор для различных литотипов устанавливаются по результатам изучения керна при всестороннем изометрическом сжатии и соответствующих эффективных давлениях. Из-за отсутствия таких исследований на керне из изучае-

мых объектов для уточнения β_n и $\beta_{тр}$ использованы данные ГИС и гидродинамические исследования скважин (Q_n , $P_{пл}$, $P_{заб}$).

Уточнение величины β_n проведено по гидродинамическим исследованиям с применением формулы, связывающей $\beta_{n, пл}$ с продуктивностью пласта [5],

$$\beta_{n, пл} = \ln (\eta_1 / \eta_2) / 4\Delta P, \quad (5)$$

где $\beta_{n, пл}$ – коэффициент сжимаемости пор пласта, η_1 и η_2 – максимальные коэффициенты продуктивности пласта при установившемся режиме работы скважины, ΔP – изменение пластовых давлений в процессе разработки пласта.

Для определения коэффициентов продуктивности скважин при разных эффективных давлениях построены индикаторные кривые по данным испытания скв. 35, 41, 97 Енапаевской площади и скв. 205, 206, 209 Кудрявцевской площади. По индикаторным кривым [3] определялись максимальные коэффициенты продуктивности скважин, которые использовались для оценки $\beta_{n, пл}$ по формуле (5).

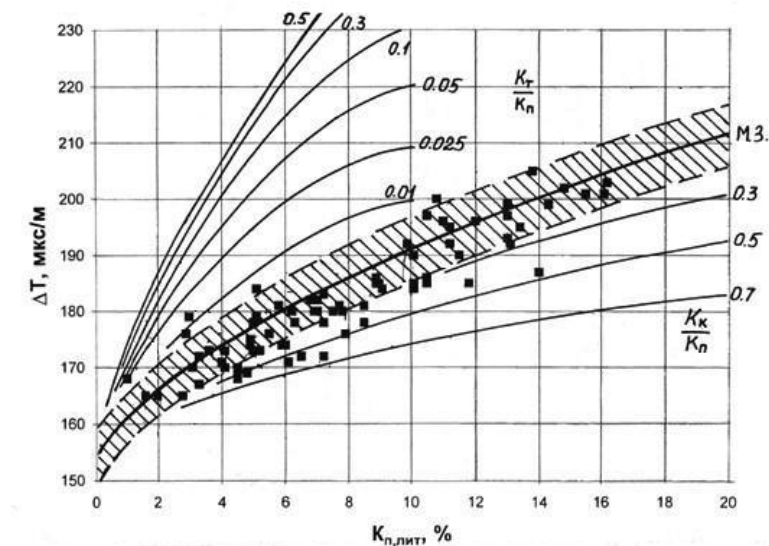


Рис. 1, а. Палетка для разделения карбонатных пород по структуре порового пространства (известняк) с фактическими точками по скв. 219 Кудрявцевской площади

При этом величина ΔP установлена по результатам мониторинга пластовых давлений в турнейских отложениях Кудрявцевской площади. Параметры $\beta_{п, пл}$, определенные по результатам гидродинамических исследований скв. 205, 206, 209 Кудрявцевской площади при $\Delta P = 1$ МПа изменяются от $55 \cdot 10^{-2}$ МПа $^{-1}$ до $675 \cdot 10^{-2}$ МПа $^{-1}$. Такой порядок величин $\beta_{п, пл}$ свидетельствует о том, что в разрезах скважин преобладает трещинно-кавернозно-поровый тип коллектора и снижение пластового давления связано, в основном, с деформациями пласта за счет сжимаемости трещин.

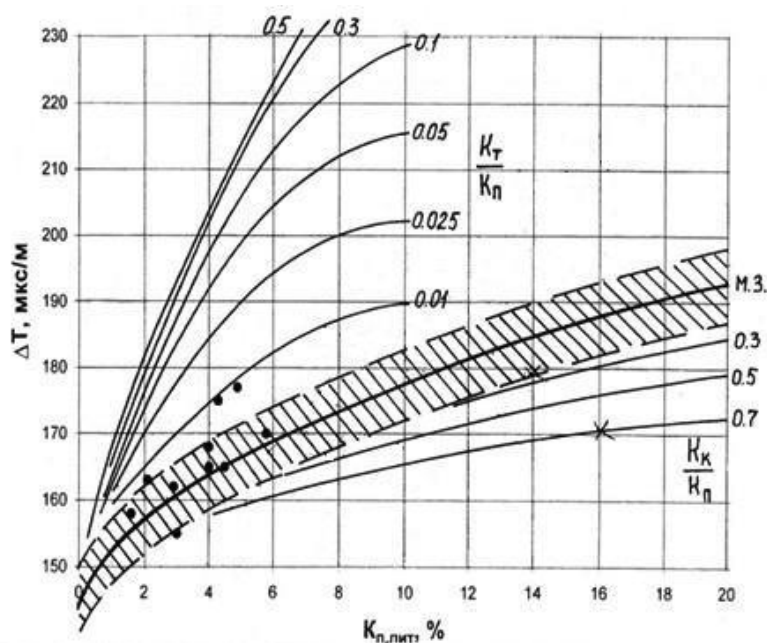


Рис. 1, б. Палетка для разделения карбонатных пород по структуре порового пространства (доломит) с фактическими точками по скв. 219 Кудрявцевской площади

По результатам экспериментального изучения коэффициентов сжимаемости пор $\beta_{п}$ различных осадочных пород в зависимости от эффективного напряжения ($P_{гор} - P_{пл}$) [1, 2], $\beta_{п}$ известняков и доломитов при $P_{эф} = 35$ МПа изменяется в широком диапазоне от $15 \cdot 10^{-5}$ до

$200 \cdot 10^{-5} \text{ МПа}^{-1}$, что свидетельствует о значительном влиянии литологии и структурных особенностей на упругие константы пород.

Для расчета теоретических палеток $\Delta T_{\text{п}} = f(K_{\text{п, ГИС}}, K_{\text{кав}} / K_{\text{п}}, K_{\text{тр}} / K_{\text{п}})$ по формулам (1–4) были приняты необходимые константы – коэффициенты сжимаемости межзерновых пор. Значения этих параметров близки к значениям коэффициентов сжимаемости межзерновых пор карбонатных объектов Оренбурга, Башкирии и Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции с различной литологией (известняки, доломитизированные известняки и доломиты) [1, 3]: $\beta_{\text{п, изв.}} = 15 \cdot 10^{-5} \text{ МПа}^{-1}$, $\beta_{\text{п, изв. дол.}} = 12,5 \cdot 10^{-5} \text{ МПа}^{-1}$, $\beta_{\text{п, дол.}} = 10 \cdot 10^{-5} \text{ МПа}^{-1}$. Установлено [1, 3], что коэффициент сжимаемости изометрических пор (каверн – $\beta_{\text{кав}}$) существенно ниже коэффициентов сжимаемости межзерновых пор ($\beta_{\text{п}}$) и принят по аналогии с перечисленными карбонатными объектами равным $4 \cdot 10^{-5} \text{ МПа}^{-1}$.

Коэффициент сжимаемости трещин ($\beta_{\text{тр}}$) на порядок выше коэффициента сжимаемости межзерновых пор и существенно зависит от величины эффективного давления. При расчете палеток для трещинных разностей $\Delta T_{\text{п}} = f(K_{\text{п, ГИС}}, K_{\text{тр}} / K_{\text{п}})$ при каждом фиксированном значении коэффициента пористости рассчитывалась величина $\beta_{\text{тр}}$, изменяющаяся при $K_{\text{п}}$ от 1 до 7 % соответственно от $5,0 \text{ МПа}^{-1}$ до $0,6 \text{ МПа}^{-1}$.

Расчет интервального времени распространения упругой волны в породах с межзерновым, межзерново-кавернозным и межзерново-трещинным типом пористости ($\Delta T_{\text{мз}}$, $\Delta T_{\text{кав}}$, $\Delta T_{\text{тр}}$) выполнен по формуле (1), при этом β_0 межзерновой, межзерново-кавернозной и межзерново-трещинной породы рассчитывалось по следующим выражениям:

$\beta_{0, \text{мз}}$ – по формуле (2), где $\beta_{\text{п}}$ и $\beta_{\text{тв}}$ – принимаются в соответствии с литологической принадлежностью;

$$\beta_{0, \text{кав}} = K_{\text{п}} \cdot \beta_{\text{п, кав}} / (1 + \beta_{\text{п, кав}} / (\beta_{\text{ж}} - \beta_{\text{тв}})) + \beta_{\text{тв}}, \quad (6)$$

где $\beta_{\text{п, кав}}$ – определяется по формуле (3);

$$\beta_{0, \text{тр}} = K_{\text{п}} \cdot \beta_{\text{п, тр}} / (1 + \beta_{\text{тр}} / (\beta_{\text{ж}} - \beta_{\text{тв}})) + \beta_{\text{тв}}, \quad (7)$$

где $\beta_{\text{п, тр}}$ – рассчитывается по формуле (4).

Объемная плотность породы, входящая в формулу 1 для расчета $\Delta T_{\text{п}}$, определяется по зависимости

$$\Delta \delta = 2,71 - 0,0273 \cdot K_{\text{п, ГИС}}, \quad (8)$$

где $K_{\text{п, ГИС}}$ – пористость, определяемая по ГИС.

Коэффициент Пуассона (ν), входящий в формулу расчета $\Delta T_{\text{п}}$, определялся по результатам волнового акустического каротажа.

Следует иметь ввиду, что при разделении карбонатных пород по структуре порового пространства комплексом АК-ННК-Т ($\Delta T - K_{\text{п, ГИС}}$) в качестве $K_{\text{п, ГИС}}$ используются исправленные за влияние литологии величины $K_{\text{п, п}}$ (коэффициенты пористости по данным нейтронного метода) – $K_{\text{п, лит}}$.

С учетом литологической неоднородности карбонатных фаменско-турнейских отложений месторождений юга Пермского Прикамья, обусловленной присутствием в разрезе как чистых известняков, так и в различной степени доломитизированных вплоть до чистых доломитов, при определении истинных коэффициентов пористости ($K_{\text{п, лит}}$) необходимо комплексирование методов ГГК-ННК-Т. Использование комплекса АК-ННК-Т не позволяет определять истинные величины $K_{\text{п}}$ из-за влияния на показания акустического метода, как литологии пород, так и структуры порового пространства (кавернозности, трещиноватости). При определении коэффициентов пористости с учетом литологии ($K_{\text{п, лит}}$) использовался кроссплот $\delta_{\text{п, ГГК}} - K_{\text{п, п}}$ (ВНИ-Инефтепромгеофизика, 1984).

На рис. 2 приведен кроссплот $\Delta T - K_{\text{п, лит}}$ (сводная палетка) на который нанесены фактические точки, соответствующие пластам различной литологии, по перечисленным скважинам. Фактические точки по скважинам в основном располагаются в поле расчетных палеток от известняка до доломита.

На сводной палетке $\Delta T_{\text{п}} = f(K_{\text{п, лит}}, K_{\text{кав}} / K_{\text{п}}, K_{\text{тр}} / K_{\text{п}})$ (рис. 2), нанесены линии межзерновых пород для известняков, доломитизированных известняков и доломитов и линии с различными $K_{\text{кав}} / K_{\text{п}}$ и $K_{\text{тр}} / K_{\text{п}}$.

Для кавернозных пород с увеличением доли кавернозности в общей пористости коллекторов ($K_{\text{кав}} / K_{\text{п}} = 0,3; 0,5; 0,7$) $\Delta T_{\text{п}}$ также снижается, в то же время для трещинных разностей с увеличением доли трещиноватости ($K_{\text{тр}} / K_{\text{п}} = 0,01-0,5$) интервальное время существенно увеличивается относительно межзерновых разностей. Такой характер кривых $\Delta T_{\text{п}} = f(K_{\text{п}})$ для преимущественно трещинных и кавернозных пород обусловлен значительным различием коэффициентов сжимаемости межзерновых пор, трещин и каверн: $\beta_{\text{тр}} \gg \beta_{\text{з}} > \beta_{\text{кав}}$.

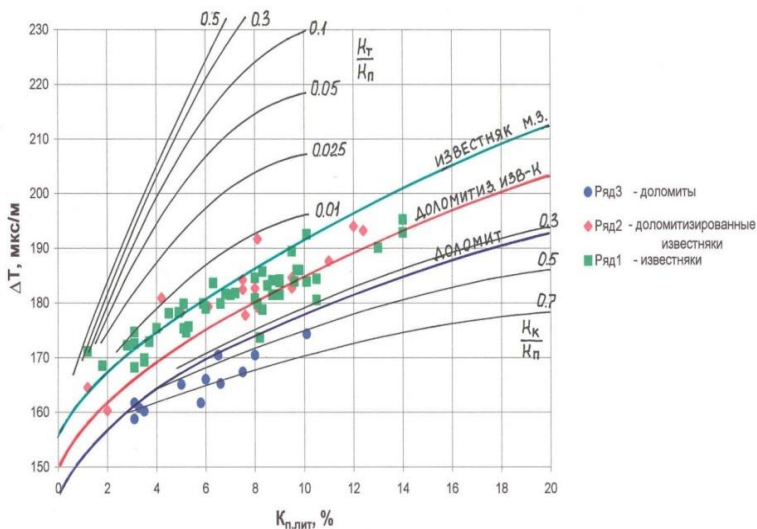


Рис. 2. Сопоставление $K_{п, \text{лит}}$ с ΔT по скважинам Кудрявцевской площади (сводная палетка)

Во всех рассмотренных скважинах кавернозность пород проявляется при $K_{п} > 1-7\%$ и в большинстве случаев приурочена к известнякам, при этом доля кавернозности изменяется от 0,3 до 0,6, в отдельных случаях до 0,7 (рис. 2). Трещиноватость пород по данным АК в разрезе фаменско-турнейских отложений установлена при $K_{п}$ от 0,5–7,0 %, в основном доля ее в общей пористости ($K_{т} / K_{п}$) составляет 0,01–0,025 с единичными отклонениями до 0,3–0,5 при $K_{п} = 1-2\%$ (скв. 206, Кудрявцевская площадь). Невысокая доля трещинной составляющей и низкие величины коэффициентов трещинной емкости для фаменско-турнейских отложений – $K_{тр} = 0,01-0,5\%$, в единичных случаях до 1–2 % – подтверждаются результатами опробования. Дебиты скв. 206 и 219 соответственно равны 41,0; 2,5 т/сут. К сожалению, высокодебитные скважины не интерпретировались из-за отсутствия записи в них ГГК-II, кроме скв. 35, 41, 97 Енапаевской площади.

Таким образом, комплексная интерпретация результатов ГИС, гидродинамических исследований и эксплуатации скважин дает возможность разделить породы по структуре порового пространства, что в конечном итоге позволяет правильно размещать эксплуатационные скважины по площади месторождения и контролировать разработку залежей, приуроченных к карбонатным коллекторам смешанного типа.

Литература

1. Добрынин В. М. Изучение пористости сложных карбонатных коллекторов // Геология нефти и газа. № 5. 1991. С. 28–34.
2. Добрынин В. М. Определение сжимаемости пор сложных коллекторов по изменению продуктивности скважин // Геология нефти и газа. № 7. 1985. С. 21–24.
3. Некрасов А. С. Геолого-геофизические исследования карбонатных коллекторов нефтяных месторождений. Пермь, Перм. ун-т, 2006. 422 с.
4. Добрынин В. М., Вендельштейн Б. Ю., Кожевников Д. А. Петрофизика: Учеб. для вузов. М.: Недра, 1991. 368 с.
5. Фарманова Н. В., Костерина В. А. Разделение сложнопостроенных коллекторов месторождения Тенгиз по структуре порового пространства // Геология нефти и газа. № 5. 1991. С. 16–19.
6. Наказная Л. Г. Фильтрация нефти и газа в трещиноватых коллекторах. М.: Недра, 1972. 146 с.

П. Н. Новикова

Горный институт УрО РАН, г. Пермь,
Пермский государственный национальный
исследовательский университет, г. Пермь

ИНЖЕНЕРНАЯ МАГНИТОРАЗВЕДКА ПРИ ЛОКАЛИЗАЦИИ ДЕЙСТВУЮЩИХ И ЛИКВИДИРОВАННЫХ СКВАЖИН В ПРЕДЕЛАХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

P. N. Novikova

Mining Institute UB RAS, Perm,
Perm State University, Perm

ENGINEERING MAGNETOMETRY FOR LOCATION OF ACTIVE AND ABANDONED WELLS ON THE INDUSTRIAL AREAS

Одной из проблем инженерной магниторазведки является поиск погребенных магнитных объектов, таких как военная техника, подземные трубопроводы и инженерные сооружения, в том числе и на акваториях [1]. Такими объектами могут выступать действующие и ликвидированные скважины различного назначения. Актуальность таких работ заключается в том, что отсутствие актуальной проектной документации по местоположению скважин может привести к аварийно-опасным ситуациям.

Специфика наблюдений для решения таких задач заключается в том, что измеряемое внешнее магнитное поле промышленных участков всегда осложнено интенсивными техногенными помехами различной формы и интенсивности [4, 5, 6] таким образом, что амплитуда ΔT_a даже от сильнонамагниченных приповерхностных объектов будет сопоставима с интенсивностью нежелательной компоненты сигнала. С другой стороны, скважина является крайне ограниченным объектом (с диаметром обсадной трубы от 30 см), с размерами магнитной аномалии от 1×1 м до 4×4 м с учетом аномалий сопровождения. Эффективность применения магниторазведки при поиске недействующих скважин также напрямую зависит от метода ликвидации скважин.

В июне 2017 г. с целью выявления возможностей инженерной магниторазведки в пределах промышленных территорий были выполнены микромагнитные съемки с шагом сети 1×1 м с периодическим разрежением сети до 2×1 м на двух участках исследования. На участке 1 располагалась действующая скважина, на участке 2 – две ликвидированные скважины. Магнитовариационные станции (МВС) устанавливались в непосредственной близости от участков наблюдения для корректного учета быстроизменяющихся техногенных помех [4]. Контроль качества магнитных съемок производился путем повторных измерений (50 % от общего объема пунктов наблюдения). Среднеквадратическая погрешность выполненных съемок не превышала 15 нТл.

Магнитные вариации показывают наличие интенсивных разноамплитудных импульсных техногенных помех. Для изучения амплитуд и состава техногенных помех по одному из набора данных был применен метод EMD-разложения [2, 3]. EMD (Empirical Mode Decomposition) представляет из себя инструмент частотного анализа нелинейных и нестационарных процессов, использующих заранее неопределенные внутренние моды. Метод основывается на адаптивной итерационной процедуре выделения из исходной функции, состоящих из локальных экстремумов внутренних колебаний с переменной частотой и амплитудой, но с обязательным нулевым средним значением. В конечном итоге, сложный сигнал можно представить суммой модовых функций, наложенных на остаточную трендовую компоненту.

Частотный состав данных МВС по каждой выполненной съемке по EMD-технологии выявил 12 периодических модовых компонент с частотой, изменяющейся в пределах $(0,3 \div 10) \cdot 10^{-3}$ Гц. Первые 5 компонент являются импульсной помехой, непостоянные по амплитуде, изменяющиеся в широком спектре частот. Компоненты 6, 7, 8 являются более стабильными по амплитуде и частоте сигналами. Компоненты 9–12 являются относительно остальных составляющих низкочастот-

ными периодическими сигналами со стабильной амплитудой и частотой.

На рис. 1 приведен график наблюдаемых и контрольных значений. Как видно из рисунка, магнитные поля серий измерений идентичны по форме, тогда как амплитуда значений может различаться на несколько десятков нТл. Такую ситуацию, помимо наличия техногенной помехи, можно объяснить наличием локальных высокоградиентных зон магнитного поля, в которых в условиях микромагнитной съемки даже небольшое смещение местоположения датчика на повторных пунктах может повлиять на результат измерения. Поэтому в таких условиях оправдан контроль качества полевых материалов по сходности графиков наблюдаемых и контрольных значений.

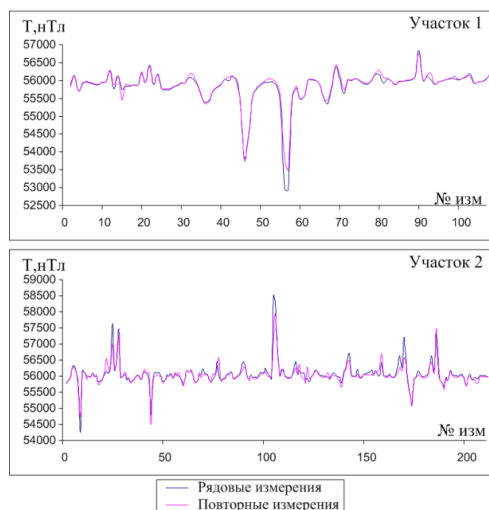


Рис. 1. Графики наблюдаемых и повторных измерений на участках наблюдения магнитного поля

По результатам выполненных микромагнитных съемок были построены карты аномального магнитного поля по двум участкам (рис. 2).

Первичный анализ аномального магнитного поля ΔT_a для двух участков выявил ряд интенсивных знакопеременных локальных аномалий, однозначно соответствующих сильномагнитным источникам. Большинство из них являются промышленным мусором, находящимся на поверхности наблюдения или неглубоко залегающим. Также на

участке 2 было определено местоположение подземного электрического кабеля по виду магнитных аномалий в соответствии с результатами ранее выполненных работ [4].

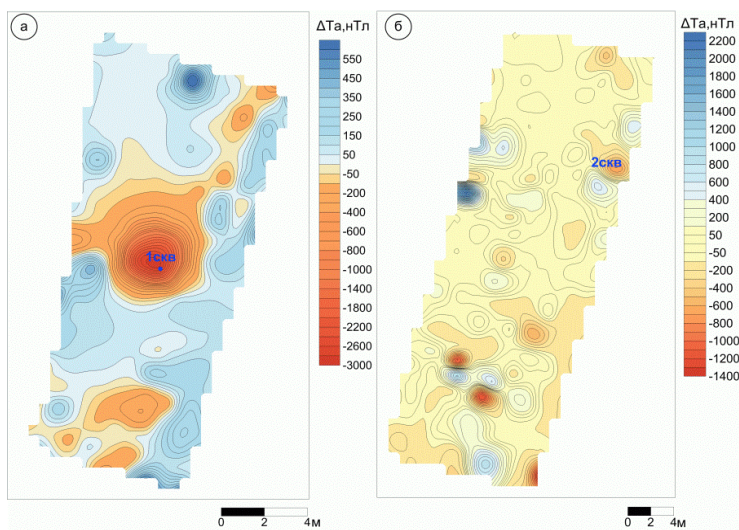


Рис. 2. Аномальное магнитное поле на участках, содержащих:
а – действующую инженерно-геологическую скважину (участок 1);
б – предполагаемую скважину (участок 2)

Основным результатом микромагнитной съемки на участке 1 является определение формы эталонных магнитных аномалий неглубоких инженерных скважин – это интенсивный локальный минимум, обрамленный малоамплитудными локальными максимумами (рис. 2, а). Следует предположить, что если устье скважины не будет выходить на поверхность, то интенсивность такой аномалии может быть в несколько раз меньше, в зависимости от глубины залегания.

Анализ аномального магнитного поля на участке 2 показал наличие магнитной аномалии, по морфологии схожей с эталонным полем от действующей скважины (рис. 2, б). Также априорно известное местоположение ликвидированной скважины указывает на наличие некоторого вертикально распространенного ограниченного объекта в пределах выявленной аномалии.

Стоит отметить, что техногенные объекты могут создавать близкие по морфологии и интенсивности магнитные аномалии с аномалиями от обсаженных скважин, если они погребены на небольшую

глубину, поэтому каждая такая магнитная аномалия должна подвергаться заверке.

Проведенные экспериментальные работы по локализации скважин показывают, что метод инженерной магниторазведки является эффективным для данного типа работ при условии применения специальной технологии обработки магнитных данных с целью фильтрации интенсивных техногенных помех.

Литература

1. Гершанок Л. А. Малоуглубленная магниторазведка в условиях промышленных помех // Вестник Пермского университета. Сер.: Геология. 2013. Вып. 1 (18). С. 34–49.
2. Давыдов В. А., Давыдов А. В. Очистка геофизических данных от шумов с использованием преобразования Гильберта-Хуанга // Электронное научное издание «Актуальные инновационные исследования: наука и практика», 2010. № 1.
3. Долгаль А. С., Христенко Л. А. Применение эмпирической модовой декомпозиции при обработке геофизических данных // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов, 2017. Т. 328. № 1. С. 100–108.
4. Новикова П. Н., Ворошилов В. А., Копытин В. В., Субботин П. А., Калашикова М. М., Темиров П. А. Инженерная магниторазведка при обнаружении подземных коммуникаций в условиях помех техногенного происхождения // Восемнадцатая уральская молодежная научная школа по геофизике: Сборник науч. материалов. Пермь, ГИ УрО РАН, 2017. С. 147–151.
5. Уткин В. И., Тягунов Д. С., Сокол-Кутыловский О. Л., Сенина Т. Е. Искажение геомагнитного поля электромагнитным шумом низких частот техногенного происхождения // Вестник КРАУНЦ. Серия: Науки о Земле, 2010. Вып. 15. № 1. С. 216–222.
6. Фоменко Н. Е., Журбицкий Б. И., Фоменко Л. Н. Прогноз электромагнитного загрязнения городских территорий с применением специальных аппаратных и программных средств // Геофизические методы при разведке недр: материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 70-летию основания в Томском политехническом институте кафедры «Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых». Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2016. С. 283–288.

А. В. Овчаренко
Институт геофизики УрО РАН, г. Екатеринбург

ОБРАБОТКА И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ ГРАВИМЕТРИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

A. V. Ovcharenko
Institute of Geophysics UB RAS, Yekaterinburg

PROCESSING AND INTERPRETATION OF TIME SERIES OF THE GRAVITY MONITORING

При гравиметрическом мониторинге основной целью является получение т. н. неприливных аномалий гравитационного поля, которые традиционно объясняют изменением уровня подземных вод, сезонными и климатическими факторами, тектоническими факторами изменения высоты прибора, колебаниями жидкого ядра Земли, внешними космическими факторами, в том числе гравитационным влиянием плазмы при коронарных выбросах на Солнце. Не учет этих факторов не позволяет получать аномалии Буге с точностью в микрогаллы, что существенно снижает эффективность гравиметрического метода при поисках месторождений [1–4].

Для изучения факторов, вызывающих неприливно-аномалии гравитационного поля, нами использовались два гравиметра Scientrex CG5-Autograph, установленные на расстоянии 180 км. Один располагался в геофизической обсерватории Арти, в подземном бункере на глубине около 3 м на устойчивом бетонном постаменте. Второй в Институте геофизики УрО РАН (Екатеринбург) в удаленном корпусе с минимальной производственной деятельностью. Он установлен на бетонном полу в неотапливаемом помещении. Оба гравиметра работают с включенным сейсмическим фильтром, время накопления сигнала при частоте измерений 6 Гц составляет 256 сек. Такой режим позволяет проводить измерения с максимальной точностью на уровне 1 микрогалл.

Первичная обработка состоит в учете поправок за лунно-солнечный прилив и учете сползания нуля. Далее устраняется нелинейный тренд путем аппроксимации наблюдений полиномом 8 степени. Остаточные аномалии имеют сложный характер и амплитуду в сотые миллигалла. Применяя к остаточным аномалиям фильтрацию на основе сплайн-сглаживания с автоматическим выбором параметра сглаживания, получаем остаточные аномалии второго порядка ампли-

тудой 2–4 микрогалла (рис. 1). Нами применялось также сглаживание временного ряда на основе его аппроксимации потенциальной функцией фиктивного простого эквивалентного слоя

$$Gz(t) = \sum_{i=1}^n m_i \frac{\Delta z}{(t - t_i)^2 + \Delta z^2}. \quad (1)$$

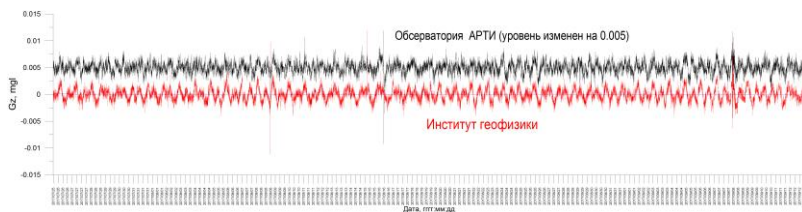
В формуле (1) параметры n и Δz играют роль дополнительных параметров сглаживания, n – количество фиктивных источников, Δz – фиктивная глубина источников, m_i – неизвестные параметры аппроксимации. Эти параметры находятся путем оптимизации сглаживающего функционала А. Н. Тихонова

$$M^\alpha(m, \alpha) = \sum_{j=1}^k \left[Gz(t_j) - \sum_{i=1}^n m_i \frac{\Delta z}{(t_j - t_i)^2 + \Delta z^2} \right]^2 + \alpha \Omega(m), \quad (2)$$

где α – параметр сглаживания, который в данной задаче может принимать значения из диапазона $10^{-8} \div 10^{-3}$, Ω – стабилизатор задачи, который в данном случае имел вид

$$\Omega = \sum_{i=1}^n m_i^2. \quad (3)$$

Оптимизация выражений (2–3) приводит в итоге к решению системы линейных алгебраических уравнений размерностью n . Этот параметр находится в нашем распоряжении и может быть выбран в пределах (100–1000), чтобы избежать формирования и решения системы чрезмерно большой размерности. Число k – количество точек исходного временного ряда. Такой подход к фильтрации дает близкие к сплайн-сглаживанию результаты, но, в отличие от него, позволяет более гибко управлять процессом, путем варьирования параметрами n и Δz , в меньшей степени α . По такой схеме были обработаны данные мониторинга гравиметров ИГФ и АРТИ, в обоих случаях получены практически идентичные периодические слабые аномалии, амплитудой 2–3 микрогалла (рисунок).



Сравнение остаточных неприливных гравиметрических аномалий на обсерватории Арти (черный график) и ИГФ УрО РАН (красный график)

Возникновение таких аномалий мы объясняем релятивистскими эффектами движения Земли [1–2]. Еще более значительные неприливные аномалии наблюдаются в годовом цикле движения Земли.

Литература

1. Овчаренко А. В. Необходимость учета релятивистских эффектов в прикладной разведочной гравиметрии // Эко-потенциал, 2016. № 4 (16). С. 65–72. <http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/6203>.
2. Овчаренко А. В. Методика выявления релятивистских эффектов по данным гравиметрического мониторинга // Эко-потенциал, 2017. № 2 (18). С. 70–74. <http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/6555>.
3. Прошкина З. Н., Валитов М. Г., Кулинич Р. Г., Колпащикова Т. Н. Изучение приливных вариаций силы тяжести в зоне перехода от континента к Японскому морю // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле, 2015. № 3. Вып. 27. С. 71–79.
4. К. де Бур. Практическое руководство по сплайнам. М. Радио и Связь, 1985. С. 179–190.

Е. И. Паршаков, К. Н. Ширяев
Горный институт УрО РАН, г. Пермь

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КЛАССИФИКАЦИЙ ЭЛЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ РЕШЕНИИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

E. I. Parshakov, K. N. Shiryayev
Mining Institute UB RAS, Perm

CLASSIFICATION OF ELECTRICAL PARAMETERS FOR SOLUTION OF GEOENGINEERING PROBLEMS

В результате исследований, выполненных в 2012 г. на одной из подработанных ВКМС, были выявлены два потенциально опасных

участка. В пределах одного из них (на пересечении пр. 43, 51, 59) в 2015 г. были выполнены детальные исследования по 7 профилям (рис. 1, б). Исследования включали методы ЕП и трехразностное симметричное электропрофилирование (СЭП), которые позволяют получить высокую детальность изучения геологической среды на сравнительно небольших глубинах, повысить точность получаемой информации при комплексировании с другими геолого-геофизическими методами.

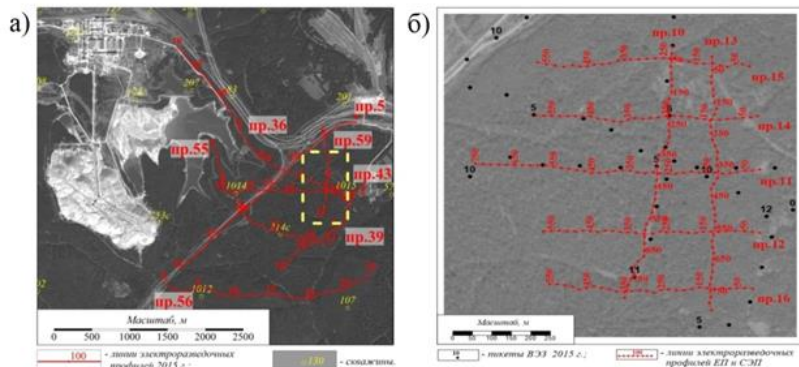


Рис. 1. Схема мониторинговых наблюдений: а) – схема профилей геофизических наблюдений, б) – детализационный участок

Целью исследований является повышение достоверности и информативности результатов интерпретации, естественных и искусственных электрических полей при использовании быстрого вейвлет-преобразования (БВП) и методов вероятностно-статистического подхода.

Основополагающая идея многомасштабного вейвлет-представления сигналов заключается в разбивке имеющихся цифровых значений на две составляющие: «грубую» (аппроксимирующую) и «уточненную» (детализирующую), с последующей их детализацией итерационным методом. Для выполнения прямого и обратного вейвлет-преобразования, особенно с применением быстрых алгоритмов преобразований, используют вейвлеты на основе ортогональных базисных функций, функция Хаара – простейший пример ортогонального вейвлета.

Использование вейвлетов позволило выявить и описать скрытые особенности сигналов, получить удобные для анализа представления графики электрических параметров при различной детальности их рассмотрения. Было высказано предположение о том, что вейвлет-

преобразование дискретных значений кажущихся сопротивлений (КС) позволит получить более достоверные результаты.

Программой HAAR_2 [1], было выполнено БВП для дискретных значений кажущихся сопротивлений [2]. Расчеты проводились для 3, 4 и 5 уровней разложения сигнала при заданной среднеквадратической погрешности аппроксимации наблюдаемых значений 1 и 2 Ом.

Чтобы выделить зоны возможных инженерно-геологических осложнений по единым критериям, целесообразно было выполнить классификацию общего признакового пространства по всем профилям исследования. Для этого измерения на субпараллельных и практически равноудаленных профилях рассматривались, как площадные. Значения потенциалов ЕП и кажущихся сопротивлений (КС) интерполировались в узлы регулярной сети [4, 5].

Для расширения признакового пространства различными методами (в скользящем окне, в одномерном и двумерном динамических окнах) и с различными размерами окон (3×3 , 5×5 , 7×7 , 9×9 , 11×11 шагов сети), рассчитывались оценки статистических характеристик интерполированных значений потенциалов ЕП и КС на 3-х разносах питающей линии АВ (100, 250 и 500 м).

Анализ значений статистических моментов дает возможность получить дополнительную полезную информацию о характере распределения значений признака. Кроме того, эти характеристики распределения эффективно используются в задачах районирования классификационными программами, в том числе и комплекса КОСКАД, с помощью которого выполнялись все процедуры [3].

Отбор статистических характеристик осуществлялся или путем визуального анализа (если разница очевидна), или по распределениям рассчитанных характеристик, которые позволяли оценить степень однородности выборок.

Наиболее предпочтительными оказались характеристики потенциалов ЕП и КС, рассчитанные в скользящем окне 5×5 шагов сети.

Отобранные статистические характеристики потенциалов ЕП объединялись поочередно со статистиками КС с $AB/2 = 50$, 100 и 250 м, т.е. были сформированы три многопризнаковых пространства, структура которых анализировалась с помощью различных методов безэталонной классификации (общего расстояния, динамических сгущений, по Петрову). В результате анализируемые совокупности были разбиты на однородные, по формальным математическим критериям, классы. На рис. 2 представлены результаты классификаций по статистическим характеристикам СЭП с $AB/2 = 50$ м и потенциалам ЕП в окне 5×5 шагов сети.

Метод общего расстояния позволил получить наиболее содержательные классы. Пространственное положение контуров классов сопоставлялось с результатами сейсмических исследований (рис. 3) [6].

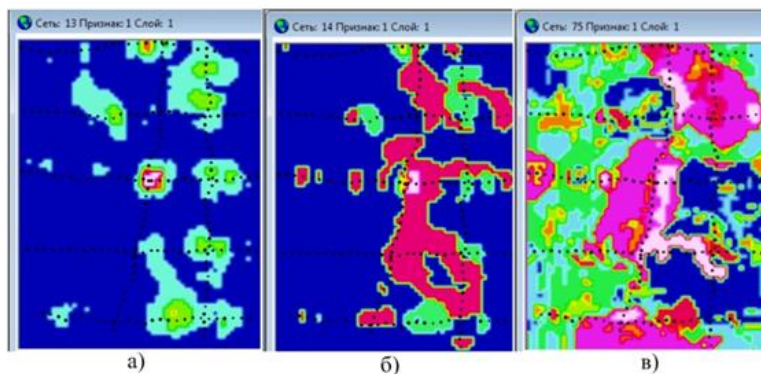


Рис. 2. Результаты классификаций по статическим характеристикам СЭП с $AB/2 = 50$ м и ЕП в окне 5×5 шагов сети: а) – методом общего расстояния, б) – методом динамических сгущений, в) – методом Петрова

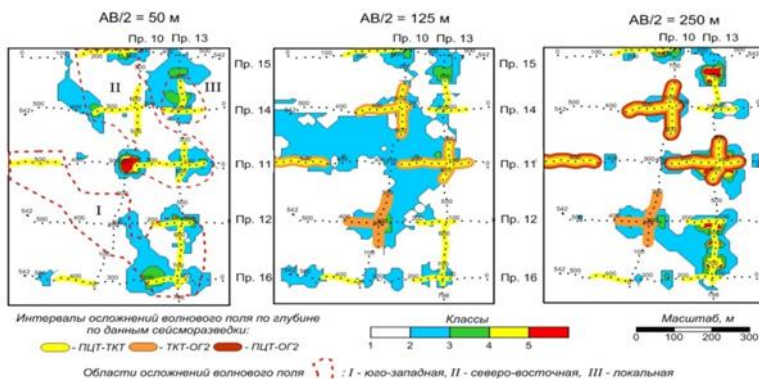


Рис. 3. Результаты классификаций методом общего расстояния по статистикам потенциалов ЕП и восстановленных КС

Для верхней части разреза (ВЧР) осложнения волнового поля объединены в две протяженные (южную и северную) и одну локальную области. Контуров классов, выделенных по статистикам ЕП и СЭП с AB 100 м, пространственно ложатся в пределы этих областей. По сейсми-

ческим параметрам предполагается более вероятным техногенное происхождение западных частей выделенных протяженных областей в ВЧР.

В интервале ТКТ пространственное совпадение контура класса, выделенного по статистикам ЕП и СЭП с АВ = 250 м, с областью осложнения волнового поля отмечается лишь на пересечении 10 и 12 профилей. Возможно, в данном случае имеет значение структура порового пространства. Лишь сквозные каналы дают вклад в электропроводность. Тупиковые ответвления и изолированные поры поглощают большую часть растворов и, увеличивая пористость, не влияют на электропроводность. Высокая пористость, приводящая к значительному снижению скорости сейсмических волн, может мало сказываться на изменении удельного сопротивления, поэтому глубины волноводов и проводящих слоев не всегда совпадают.

В районе пересечения профилей 10, 11 и 13 установлены наибольшие негативные изменения в упругих параметрах для всех интервалов, т.е. это «сквозная зона». Происхождение ее носит смешанный природно-техногенный характер. Контуры классов, выделенных по статистикам ЕП и СЭП с АВ = 500 м, пространственно ложатся в пределы этой зоны и еще в ряд интервалов вдоль 13-го профиля.

Отмечаемое пространственное совпадение контуров выделенных классов (по данным электроразведки) с осложнениями волнового поля можно рассматривать, как косвенное свидетельство о достоверности выполненных преобразований.

Литература

1. Долгаль А. С. Применение кратномасштабного вейвлет-анализа при аналитических аппроксимациях геопотенциальных полей / А. С. Долгаль, А. А. Симанов // Докл. Акад. наук, 2008. Т. 418. № 2. С. 256–261.
2. Христенко Л. А. Быстрое вейвлет-преобразование с базисными функциями Хаара при интерпретации данных электропрофилирования / Христенко Л. А., Степанов Ю. И. // Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей: материалы конф. / Ин-т геофизики УрО РАН [и др.]. Екатеринбург, 2015. С. 354–356. (Восьмые науч. чтения памяти Ю. П. Булашевича).
3. Петров А. В. Технология анализа геополей в скользящих окнах / Петров А. В., Солоха Е. В. // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: материалы 33-й сес. Междунар. семинара им. Д. Г. Успенского / Ин-т геофизики УрО РАН [и др.]. Екатеринбург, 2006. С. 272–275.
4. Интерпретация мониторинговых электроразведочных наблюдений при выделении участков опасных инженерно-геологических осложнений / Христенко Л. А., Степанов Ю. И., Кичигин А. В., Паршаков Е. И., Тайницкий А. А., Ширяев К. Н. // Применение современных электроразведочных технологий

при поисках месторождений полезных ископаемых: тез. 13-го Междунар. геофизич. науч.-практ. семинара / СПб. горн. ун-т. СПб., 2016. С. 148–152.

5. Совершенствование методики интерпретации мониторинговых электроразведочных наблюдений при выделении опасных инженерно-геологических осложнений / Христенко Л. А., Кичигин А. В., Паршаков Е. И., Степанов Ю. И., Тайницкий А. А., Ширяев К. Н. // Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей: материалы 44-й сес. Междунар. науч. семинара им. Д. Г. Успенского. ИФЗ РАН. М., 2017. С. 379–383.

6. Геомеханическое заключение и прогноз состояния водозащитной толщи на основе комплексных геофизических исследований и инструментальных наблюдений на потенциально-опасном участке в юго-восточной части БКПРУ-2: В 1 кн. и 1 папке: отчет по договору № 4390/2015 с ПАО «Уралкалий» / ГИ УрО РАН; рук. И.А. Санфилов. Пермь, 2015. 51 с.

Л. Д. Плешков

Пермский государственный национальный
исследовательский университет, г. Пермь

ВОЗМОЖНОСТИ МЕТОДА ГЛАВНЫХ КОМПОНЕНТ ПРИ АНАЛИЗЕ ДАННЫХ ГИС И ИССЛЕДОВАНИЙ КЕРНА

L. D. Pleshkov

Perm State University, Perm

PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS INWELL LOGGING AND CORE DATA CORRELATION

Большой объем разнородной информации, получаемой при скважинных и лабораторных исследованиях горных пород с одной стороны позволяет более подробно описывать их совокупностью петрофизических зависимостей и параметров, с другой — доставляет сложности в выборе наиболее информативных и надежных из них. Одним из подходов к преодолению этой проблемы является метод анализа главных компонент [2].

Метод главных компонент (англ. *Principle component analysis*) — это один из статистических способов изучения взаимосвязей в наборе переменных путем уменьшения размерности данных. Данные имеют n измерений, если каждый объект данных может быть охарактеризован набором n переменных.

Под главными компонентами понимаются направления, вдоль которых значения выборочной дисперсии s^2 для набора переменных

были бы максимальными. Первая главная компонента имеет максимальную s^2 . Каждая последующая главная компонента выбирается так, чтобы она была в наименьшей степени коррелируема с предыдущими, при максимальной возможной s^2 .

Метод главных компонент позволяет визуализировать сложный набор данных, содержащих множество переменных, создав «искусственным образом» несколько (обычно две или три) новых переменных, содержащих в себе практически всю информацию, которая содержится в исходных данных. Эти новые переменные, или главные компоненты, будут связаны с теми исходными переменными, которые имеют наибольшую дисперсию, то есть в наиболее широком диапазоне характеризующими объекты данных [1].

Метод главных компонент был применен для анализа данных, включающих в себя результаты лабораторных и скважинных измерений физических свойств горных пород. Данные скважинных измерений (с шагом 0,1 м) были линейно интерполированы на исправленные после привязки к ГК глубины образцов керна.

В выборку включено 359 образцов цилиндрической формы 30×30 мм. Образцы представлены терригенными отложениями радаевского, бобриковского и тульского (терригенного) горизонтов и карбонатными отложениями турнейского яруса, тульского (карбонатного), верейского и каширского горизонтов нижнего и среднего отделов каменноугольной системы. Каждый образец характеризовался набором из девятнадцати петрофизических параметров, приведенных в табл. 1.

С помощью МГК было найдено восемнадцать главных компонент, при этом первые три из них описывают 78,5 % информации, содержащейся в исходных данных. С первой, второй и третьей главными компонентами коррелируют соответственно 11, 6 и 2 параметра с коэффициентами корреляции выше 0,5 по абсолютному значению.

Анализ матрицы соответствия параметров и коэффициентов корреляции между параметрами и главными компонентами позволил сократить число сильно коррелирующих друг с другом параметров (независимо от знака корреляции), такие как, например, НК-т и W, $k_{пo}$ и δ_n . Было выбрано 9 параметров, наиболее полно характеризующих выборку, которые отмечены в табл. 2 полужирным шрифтом.

Повторное применение метода главных компонент для набора переменных, отобранных на первом этапе, подтверждает обоснованность выбора этих переменных. На рисунке представлена диаграмма рассеяния в координатах первой и второй главных компонент, полученная при повторном применении метода главных компонент. Как видно, параметры ΔTP и $\delta_{кмп}$ в плоскости 1-й и 2-й главных компо-

нент обладают высокой отрицательной корреляцией, однако в плоскости 2-й и 3-й главных компонент угол между ними близок к 90°, что говорит об отсутствии корреляции. То же можно сказать и о наличии отрицательной корреляции на рисунке между ГК и k_p , и отсутствии ее в других плоскостях.

Таблица 1

Петрофизические параметры лабораторных и скважинных измерений, использованные в методе главных компонент

№	Параметр	Обозначение	Способ измерения
1	Коэффициент открытой пористости	$k_{по}$	Керн
2	Объемная плотность	δ_p	
3	Кажущаяся минералогическая плотность	$\delta_{кмп}$	
4	Коэффициент проницаемости по газу	$k_{пр\ г}$	
5	Удельное электрическое сопротивление полностью водонасыщенной породы	$\rho_{в\ п}$	
6	Параметр пористости	P_p	
7	Диаметр скважины	ДС	ГИС
8	Естественная гамма-активность	ГК	
9	Показания ближнего зонда каротажа по тепловым нейтронам	НК-т (ближний)	
10	Показания дальнего зонда каротажа по тепловым нейтронам	НК-т (дальний)	
11	Объемное водородосодержание	W	
12	Удельная электрическая проводимость по индукционному каротажу	ИК	
13	Удельное электрическое сопротивление по боковому каротажу	БК	
14	Интервальное время пробега продольной волны	ΔTP	
15	Коэффициент пористости по ГИС	k_u	
16	Показания зондов бокового каротажного зондирования	A 0.4 M 0.1 N	
17		A 2.0 M 0.5 N	
18		A 1.0 M 0.1 N	
19	Показания бокового микрокаротажа	БМК	

Таблица 2

Главные компоненты 1–3 после первого этапа обработки

Главная компонента	Параметр	Способ измерения	Корреляция
PC1	$k_{по}$	Керн	–0,66
	$\delta_{п}$	Керн	0,72
	$\delta_{кмп}$	Керн	0,71
	$k_{пр г}$	Керн	–0,70
	$\rho_{в п}$	Керн	0,79
	$P_{п}$	Керн	0,79
	ДС	ГИС	–0,82
	НК-т (ближний)	ГИС	–0,85
	НК-т (дальний)	ГИС	0,88
	W	ГИС	0,89
	ΔТР	ГИС	–0,88
PC2	$k_{по}$	Керн	0,66
	$\delta_{п}$	Керн	–0,62
	ИК	ГИС	–0,76
	$k_{п}$	ГИС	0,58
	A 0.4 M 0.1 N	ГИС	0,66
	A 2.0 M 0.5 N	ГИС	0,78
PC3	A 1.0 M 0.1 N	ГИС	0,73
	ГК	ГИС	–0,58
	БК	ГИС	0,66
	БМК	ГИС	0,52

Интерпретируя совместно диаграммы рассеяния, построенные в координатах 1-й и 2-й, 1-й и 3-й, 2-й и 3-й главных компонент, можно сделать несколько выводов. Во-первых, вся выборка четко делится на породы терригенного и карбонатного происхождения (рисунок) вдоль первой главной компоненты практически по всем отобранным параметрам: терригенным породам свойственно увеличение ΔТР, показаний ГК, ДС для некоторых типов глин, повышенная проницаемость. Вдоль второй главной компоненты наиболее выражено происходит изменение коллекторских свойств пород (по параметрам $k_{п}$, $k_{пр г}$, ГК), а вдоль третьей – изменение показаний БМК, что, вероятнее всего, связано с использованием бурового раствора на водной основе ($\rho_{пж} = 0.08 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ по БКЗ).

Выявленные на данном этапе закономерности дают предпосылки к классификации пород по литолого-петрофизическим характеристикам и прогнозированию их в разрезах скважин без отбора данных керна на основе статистических методов.

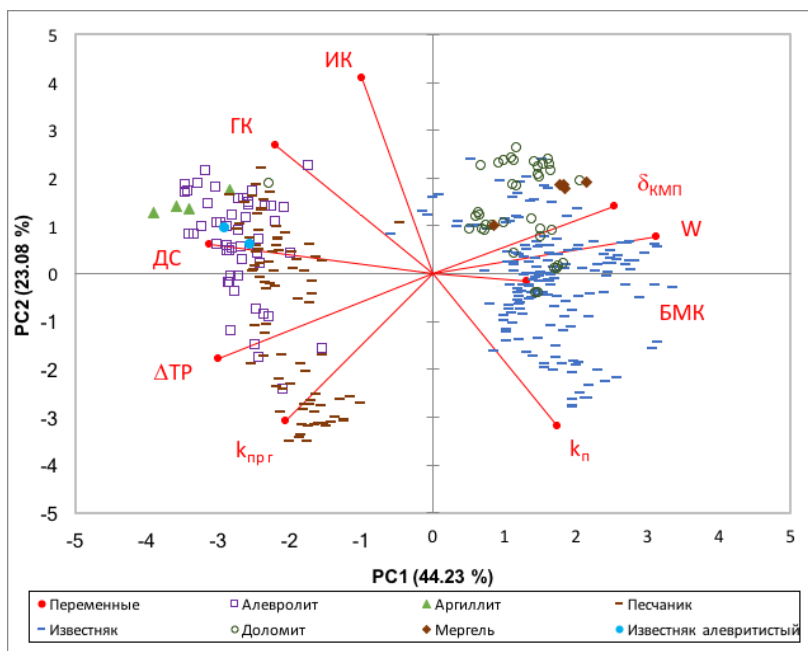


Диаграмма рассеяния в координатах первой и второй главных компонент, полученная в результате повторной обработки данных

Литература

1. Орлов А. И. Прикладная статистика. М.: Изд. «Экзамен», 2004.
2. Jarzyna J., Kazmierczuk M. Statistics to improve results of well-logging interpretation in reservoir rocks: two cases from the Carpathian Foredeep // Proceedings of the XIX CBGA Congress, Thessaloniki, Greece 2010. Special volume 99. P. 141–147.

С. М. Рябошапко¹, А. В. Белоусов^{1,2}

¹ ЗАО «ГСК», г. Москва

² РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина, г. Москва

ОПТИМИЗАЦИЯ ВЕСА ЗАРЯДА С ЦЕЛЮ РАСШИРЕНИЯ СПЕКТРА СЕЙСМИЧЕСКОЙ ЗАПИСИ И ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СЕЙСМОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

S. M. Ryaboshapko¹, A. V. Belousov^{1,2}

¹ JSC «GSC», Moscow

² Gubkin University, Moscow

OPTIMIZATION OF CHARGE WEIGHT TO EXPAND THE SPECTRUM OF SEISMIC RECORDS AND TO ENHANCE THE PRODUCTIVITY OF SEISMIC EXPLORATION

В последние годы количественная интерпретация сейсмических данных, основанная на атрибутивном и динамическом анализе сейсмограмм и разрезов (кубов), становится де-факто стандартом для решения постоянно усложняющихся геологических задач. Для осуществления корректного прогноза по данным динамической интерпретации требуется, чтобы был соблюден ряд условий на всех стадиях сейсморазведочного процесса, к наиболее существенным из которых относятся:

1) при полевых работах – обеспечение максимально широкого частотного диапазона сейсмической записи; наличие в записи как высоких (более 50 Гц), так и низких (менее 6 Гц) частот;

2) при обработке – сохранение соотношения амплитуд; отказ от потрассных процедур, искажающих динамику записи [3].

В данной работе рассматриваются вопросы повышения эффективности сейсморазведочных работ в свете необходимости решения динамических задач на основе оптимального выбора веса заряда.

Основное внимание в работе сосредоточено на практических приемах обеспечения качества сейсмических данных на стадии полевых работ для целей последующей динамической интерпретации.

Требование повышения максимальной частоты регистрируемого сигнала на стадии полевых работ очевидным образом приводит к идее понижения веса заряда, с учетом предсказываемого теорией и наблюдаемого на практике расширения спектра в область высоких частот при использовании таких зарядов.

В реальных условиях на зависимость изменения спектра излучаемых частот от величины заряда источника влияет много факторов:

- плотность пород в очаге взрыва, их обводнённость;
- глубина погружения, качество укупорки и вертикальный размер заряда;
- бризантность взрывчатого материала и др.

Поэтому вопрос о величине заряда для производственных сейсморазведочных работ обычно решается на основе результата опытных работ сейсмопартии. Но на решение специалистов при выборе веса заряда влияет ограничивающий фактор – требуемый Заказчиком уровень атрибутов сейсмической записи, применяемых при оценке качества отработанных наблюдений: доминантная частота (как основа определения частотного спектра полезного сигнала) и величина отношения сигнал/микросейсмы [1].

Вместе с тем, как показывает практика, отработка наблюдений с небольшими зарядами, дающими искомый уровень частотных атрибутов, довольно часто не позволяет качественно провести динамический анализ сейсмической информации из-за низкой энергии ее высокочастотной составляющей в целевом интервале. Кроме того, уменьшение веса заряда предъявляет исключительно жесткие требования к уровню окружающих шумов, что приводит к многочисленным простоям сейсмопартии.

Для решения проблемы, на наш взгляд, необходимо повысить излучаемую энергию при сейсморазведочных работах с целью повышения отношения сигнал/помеха и уверенного проведения динамического анализа для решения геологической задачи.

С теоретической точки зрения, подтверждаемой многочисленными практическими примерами, при увеличении веса заряда частота максимума спектра, действительно, смещается в область низких частот [2]. Отметим при этом, что при уменьшении частоты максимума спектра (и, как следствие, доминантной частоты) доля энергии, приходящаяся на высокие частоты спектра, всё же растёт с повышением веса заряда (повышается энергия как низких, так и высоких частот). Таким образом, сейсмическая запись содержит более амплитудно выраженный сигнал во всем частотном диапазоне.

Окна оценки качества сейсмической информации для вычисления её атрибутов практически всегда стараются задать на больших удалениях и на самых глубоких целевых горизонтах вне присутствия волн-помех. Такой подход объясняется тем, что геофизикам на обработке желательно получить, в т.ч. и на высоких частотах, большое отношение сигнал/помеха. И в большинстве случаев в ГТЗ Заказчика ве-

личина этого отношения требуется 20 и выше. В окне оценки вычисления атрибутов присутствуют волны помех, полезного сигнала и микросейсмы. Регулярные низкочастотные волны-помехи не должны значительно влиять на АЧХ записи, что определено выбором окна. В то же время на высокие частоты полезных волн заметно влияют микросейсмы, так как они обычно соизмеримы по амплитуде с полезным сигналом на высоких частотах.

На основании проведенного анализа при принятии решения о величине заряда для производственных работ предлагается следующая последовательность действий на опытных работах:

1. По результатам предусмотренных проектом стандартных опытных работ определяется оптимальная глубина погружения (с минимальным зарядом для данной площади), на которой качество сейсмической информации будет соответствовать заложенным в проекте атрибутам согласно ГТЗ;

2. Проводится выбор *оптимального* веса заряда по сейсмограмме, качество которой будет соответствовать заложенным в проекте атрибутам, в т.ч. и по доминантной частоте;

3. Для производственных работ вес заряда принимается в два раза больше оптимального, при котором доминантная частота должна сместиться, что отражается в обновленном ГТЗ.

Изложенный подход к выбору параметров регистрации для производственных работ позволит:

- получать более уверенно качественную сейсмическую информацию;
- повысить производительность сейсмических работ в партии.

Для большей уверенности принятия такого решения можно предусмотреть в партии отработку 10–15 пог. км профиля МОГТ-2D с малым и большим зарядом.

Литература

1. *Большат В. М.* Об оптимальных глубинах возбуждения сейсмических колебаний при использовании взрывного источника и атрибутивном анализе качества полевого материала // Приборы и системы разведочной геофизики. 2013. № 4. С. 18–29.
2. *Гурвич И. И.* К теории сферического излучателя поперечных сейсмических волн // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1968. № 1. С. 44–52.
3. *Череповский А. В.* Сейсморазведка с одиночными приёмниками и источниками: обзор современных технологий и проектирование съёмок. Образовательное турне EAGE. Москва, 2012. 133 с.

О. Л. Сальникова¹, И. А. Черных²
¹ ПАО «Пермнефтегеофизика», г. Пермь
² ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ», г. Пермь

**ПЛАНИРОВАНИЕ И ПРОВЕДЕНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ
ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПРОФИЛЯ ПРИТОКА В СКВАЖИНАХ
СО СЛОЖНЫМ ПРОФИЛЕМ**

O. L. Salnikova¹, I. A. Chernykh²
¹ Permneftegeophysica, Perm
² LUKOIL-PERM, Perm

**PLANNING AND CONDUCTING GEOPHYSICAL STUDIES
TO DETERMINE THE INFLOW PROFILE IN WELLS
WITH A DIFFICULT PROFILE**

В настоящее время различные геологические, технические и техногенные причины обязывают специалистов проектировать бурение скважин со сложным профилем, преимущественно с горизонтальным окончанием. Эффективность такого бурения подтверждается результатами освоения скважин: данными о работающих интервалах и характере поступающей жидкости, а также оценкой дебита скважины при первоначальном освоении. Получение такой информации по объектам требует применения нетрадиционных подходов к технологиям проведения исследований скважин и к интерпретации полученных результатов.

Представляем конкретный пример освоения одной из новых скважин месторождения ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ», в которой с одного транспортного ствола забурено три горизонтальных (рис. 1).

Геологический разрез всех трёх горизонтальных стволов представлен карбонатными породами башкирского яруса (C2b). Общий транспортный ствол обсажен эксплуатационной колонной диаметром 168 мм. Диаметры пробуренных горизонтальных стволов составляют 152,4 мм.

Была поставлена задача по определению работающих интервалов третьего горизонтального ствола и дебита каждого из трех горизонтальных стволов, т. е. необходимо было оценить эффективность и целесообразность бурения трехствольной скважины. Суммарный дебит жидкости планировался на уровне 69,1 м³/сут.

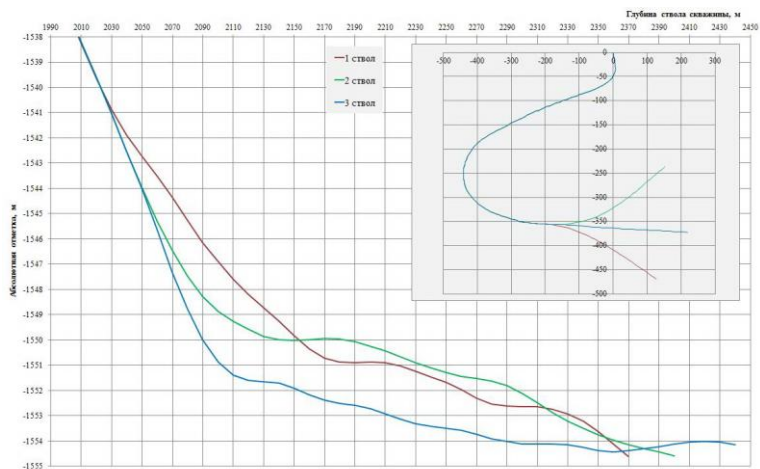


Рис. 1. Пространственное положение 3-х горизонтальных стволов

Для решения задач по определению профиля притока и определения состава поступающего флюида в условиях горизонтального ствола в ПАО «Пермнефтегеофизика» разработан и применяется целый ряд технологий проведения ГИС. Все исследования в горизонтальных скважинах проводятся при помощи технологического комплекса «Латераль» различных модификаций. Специалистами ПАО «Пермнефтегеофизика» проанализировано большое количество результатов исследований, полученных на нефтяных месторождениях ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ» во время освоения горизонтальных скважин с применением различных технологий (компрессирование, свабирование, насос, колтюбинг). Так, на основе имеющегося опыта, было принято решение об освоении представленной скважины при помощи электроцентробежного насоса с предварительным спуском ТК «Латераль». Преимущества такой технологии исследований заключаются в том, что скважину выводят на установившийся режим за оптимальное время, а изменение депрессии на продуктивные интервалы достигается сменой режимов работы скважины за счет изменения частоты вращения насоса. Такой подход позволяет на более высоком уровне произвести измерения, уверенно определить работающие интервалы, места поступления воды, заколонные перетоки, а также оценить оптимальный режим эксплуатации скважины и провести гидродинамические исследования.

Перед началом исследований проведен анализ промысловой информации на месторождении и изучены особенности геологического строения пробуренных горизонтальных стволов. Установлено, что третий горизонтальный ствол суммарно больше прошел по коллектору и вскрытый им разрез значительно отличается от разрезов двух других стволов. Определение работающих интервалов и оценка характера притока проводились в данном стволе. Отмечены участки, на которых проведение исследований методом расходомерии позволит разделить информацию и оценить количественный вклад каждого из стволов в общий дебит скважины.

Геофизические исследования проводились при выходе скважины на режим, в режиме работы на прямых и обратных оборотах двигателя с различной частотой и во время остановки работы ЭЦН. Подробная схема исследований представлена на рис. 2 в виде графика изменения забойного давления на глубине 1940 м, который достаточно наглядно характеризует все процессы, происходящие в скважине во время её освоения.

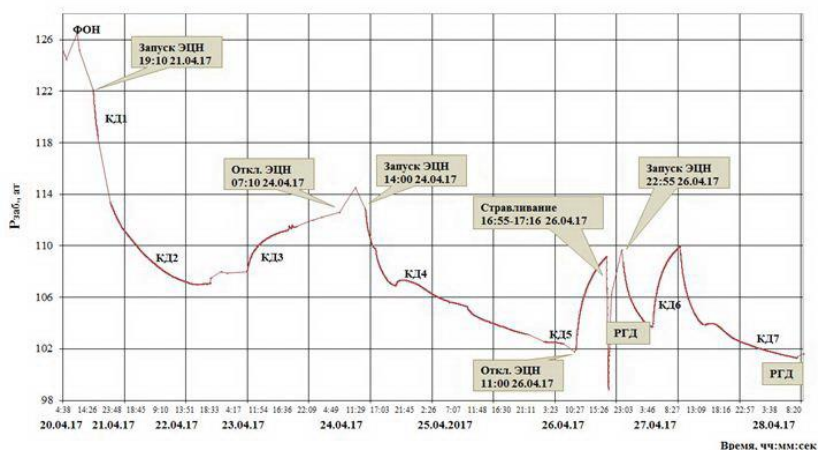


Рис. 2. График изменения давления в процессе исследований на глубине 1940 м

На рис. 3 представлены графики изменения дебита и обводнённости флюида в процессе проведения ГИС на различных режимах работы ЭЦН.



Рис. 3. Графики изменения дебита и обводнённости получаемой продукции при освоении скважины на различных режимах работы ЭЦН

Анализируя графики можно проследить, что происходило в скважине в процессе освоения, и разделить эти процессы на 4 основных этапа.

На **I этапе** произведен запуск двигателя электроцентробежного насоса на прямых оборотах, скважина выходит на режим, но при этом отмечается снижение дебита, происходит очистка призабойной зоны пластов, пласты практически не работают, идет отбор жидкости, заполняющий стволы скважины. На этом же этапе произведена смена работы ЭЦН на обратные обороты и снижение депрессии. Эта операция позволила выделить работающие интервалы по данным термометрии, которые ранее не отмечались из-за эффекта калориметрического смешивания потока жидкости с нижележащих интервалов. **Этап II** – остановка ЭЦН, прекращение отбора, процесс восстановления давления. **Этап III** – запуск ЭЦН, увеличение депрессии, из пластов начала поступать вода, закачанная при промывке скважины, отмечается максимальное увеличение обводнённости (до 58 %) продукции при растущем дебите. **Этап IV** – скважина вышла на режим эксплуатации при работе электродвигателя ЭЦН, оценены потенциальные возможности

скважины. Скважина освоена, поступающий флюид – нефть с минимальным содержанием воды (до 4 %), средний дебит составил 142 м³/сут.

Одной из проблем на I этапе и при записи фоновых замеров до включения ЭЦН было наличие осадка в стволе скважины. Датчики состава, влагометрии и резистивиметрии, при попадании в осадок загрязнились и не дали полезной информации до конца исследований. Только дополнительный модуль с шестью распределенными датчиками влагометрии позволил довольно уверенно определить состав поступающего флюида и получить его графическую развертку по объему ствола скважины в процессе исследований (рис. 3). Датчики РГД в начале исследования были также загрязнены, и полученные данные не могли быть использованы для обработки. Оперативно было принято решение о проведении специальных процедур по очистке датчиков РГД, которые позволили в дальнейшем записать профиль притока. Своевременная оценка качества материала ГИС и корректировка плана исследований позволяют эффективно решать любые задачи еще на стадии производства геофизических работ.

При выходе скважины на режим были проведены замеры РГД на различных скоростях. Была определена доля и процентное соотношение доли притока жидкости каждого из пробуренных горизонтальных стволов. Результаты расчетного профиля притока представлены на рис. 4. Согласно полученным данным можно сделать вывод, что

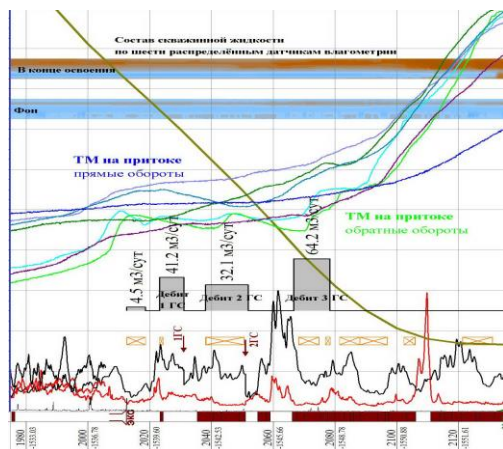


Рис. 4. Профиль притока по данным РГД.
 – работающие интервалы по результатам исследования

основной приток поступал из третьего ствола и составил 64,2 м³/сут (45,2 %); из второго горизонтального ствола поступало 32,1 м³/сут (22,6 %); из первого – 41,2 м³/сут (29 %). К общему дебиту стоит добавить приток из интервала коллектора 2012,6–2018,7 м, находящегося выше всех ГС 4,5 м³/сут (3,2 %).

Выводы

1. Определение профиля притока, работающих интервалов и состава флюида на горизонтальных участках эксплуатируемой скважины является довольно сложной задачей, решение которой зависит от множества факторов. Необходимо глубокое изучение промысловых данных по месторождению и скважине, выбор технологии проведения исследований с получением данных ГИС в режиме «он-лайн».

2. Геофизические исследования горизонтальных скважин при освоении по технологии предварительного спуска геофизического прибора под ЭЦН при помощи ТК «Латераль» позволяют своевременно оценивать качество материала и оперативно корректировать план работ с целью повышения эффективности производства ГИС для решения поставленных задач.

3. Задача по определению работающих интервалов третьего горизонтального ствола и дебита по каждому из трех горизонтальных стволов решена полностью. По результатам исследования установлено, что 45,2 % от общего объёма притока жидкости по скважине в процессе освоения поступает из третьего горизонтального ствола. Этот факт подтверждает корректность определения коэффициента проницаемости по данным ГИС, который имеет высокие значения у коллекторов именно в третьем горизонтальном стволе.

4. Результаты исследований показывают высокую эффективность бурения скважин сложной конструкции с горизонтальными окончаниями.

5. Для повышения информативности данных ГИС требуется качественная подготовка ствола скважины к исследованиям. Необходимо разработать технологию промывки ствола скважины со сложным профилем.

ПОВЫШЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДАННЫХ ГИС

A. V. Serkina
Permneftegeofizika, Perm

THE INCREASE OF GEOLOGICAL EFFECTIVENESS OF GIS DATA

Достоверность оценки емкостных свойств пластов-коллекторов зависит от степени изученности литологического состава горных пород, слагающих разрезы нефтегазовых скважин. Если горная порода представлена трехкомпонентной моделью и поровое пространство заполнено жидкостью, то совместная обработка методов плотностного, нейтронного, акустического и электрического каротажа дает корректные результаты при решении ряда геологических задач, в том числе при определении коэффициента пористости. При более сложной литологии необходимы дополнительные данные ГИС, к которым можно отнести метод литоплотностного каротажа. Для повышения геологической эффективности ГИС, уточнения пористости и литологии пластов к стандартному комплексу ГИС включен метод гамма-гамма литоплотностного каротажа.

1. Физические основы метода

При прохождении гамма-излучения через вещество происходит его взаимодействие с ядрами и электронами атомов. Известно несколько видов взаимодействия, из которых для условий гамма-гамма каротажа основными являются фотоэлектрическое поглощение и комптоновское рассеяние. Вероятность того или иного взаимодействия зависит от объемной плотности вещества, энергии гамма-излучения и атомного номера Z .

При фотоэлектрическом поглощении гамма-квант передает всю свою энергию одному из электронов на внутренней оболочке атома, который освобождается из атома с энергией гамма-кванта за вычетом энергии связи электрона с ядром. Вероятность этого процесса зависит от атомного номера вещества и энергии гамма-квантов в приближенном соотношении $Z^p/E^{3.15}$, где $p = 3-4$. Следовательно, часть энергетического спектра гамма-квантов, рассеянных на атомах горной по-

роды будет особенно чувствительна к заряду атома рассеивающей среды. Если вещество представлено элементами с небольшим атомным номером ($Z < 20$), что характерно для основных минералов осадочных горных пород, то влияние фотоэлектрического поглощения при энергии гамма-квантов более 0,15 МэВ пренебрежимо мало. При наличии в горной породе примесей с высоким атомным номером (например, бария, железа, свинца и др.) влияние фотоэлектрического поглощения становится существенным. На эффекте фотоэлектрического поглощения реализована литологическая модификация гамма-гамма каротажа.

Для комптон-эффекта характерна передача электрону части энергии гамма-кванта. При этом гамма-квант изменяет направление первоначального движения – происходит процесс рассеяния. Такой вид взаимодействия наиболее вероятен при взаимодействии гамма-квантов с энергией 0,1–1,0 МэВ с веществом состоящим из легких элементов ($Z < 20$). В результате нескольких актов рассеяния энергия гамма-квантов уменьшается до величины, при которой он полностью поглощается за счет фотоэффекта.

При гамма-гамма каротаже горная порода облучается источником гамма-излучения цезий-137 с энергией гамма-квантов 0,662 МэВ. В плотностной модификации метода детектором регистрируются рассеянные в породе гамма-кванты с энергией 0,15–0,47 МэВ.

Основные интерпретационные зависимости для плотностной модификации гамма-гамма каротажа определяются для стандартных условий измерений, в качестве которых приняты пласты водонасыщенного известняка (кальцита Ca-CO_3), тогда в качестве измеряемого параметра принимается эквивалентная плотность пород $\sigma_{\text{экв}}$. Для водонасыщенного известняка $\sigma_{\text{экв}} = \sigma_{\text{об}}$, для остальных литотипов $\sigma_{\text{экв}}$ пород равна такой плотности водонасыщенного известняка, у которого электронная плотность равна электронной плотности исследуемых пород.

Для исследования нефтяных и газовых скважин, как правило, используются двухзондовые прижимные к стенке скважины измерительные устройства, экранированные от скважины, с азимутальной коллимацией излучения источника и регистрируемого излучения. Совместная обработка показаний двух зондов в процессе каротажа позволяет ослабить влияние промежуточной среды (глинистой корки, локальных микрокаверн) на измерение плотности горных пород.

Параметры зондов – длина зонда, углы коллимации излучения источника и регистрируемого излучения, пороги энергетической дискриминации выбираются из условия разных глубинности и чувствительности зондов к изменению плотности горных пород и параметрам промежуточной среды [1].

2. Обработка данных ГГК-ЛП

В ПАО «Пермнефтегеофизика» разработана методика определения количественных параметров и построения объёмной модели породы по решению системы уравнений с применением методики ЛПСТ [2]. В производственном режиме проводится оценка качества исходного материала инструментом «КРОССПЛОТ», разработана форма отчёта с учетом получаемых новых данных.

Оценка качества ГИС проводится по опорным пластам с известными литологическими параметрами. Вычисляется необходимость введения аддитивных или мультипликативных поправок с учетом особенностей регистрации различных приборов и скважинных условий при проведении измерений.

При помощи кроссплот анализа по кривым нейтронной пористости ($K_{п_нт}$), плотности ($ГГК_{пл}$), сечению фотоэффекта (P_e), интервального времени продольной волны (ДТР) выявляются основные литологические разности. На рис. 1–4 представлены кроссплоты литологических характеристик разреза по терригенным и карбонатным отложениям. На кроссплотах различным цветом нанесены номограммы решений системы уравнений для литологических разностей: кварц (—), доломит (—), кальцит (—), ангидрит (—). Выброс точек за линии палеточных зависимостей связан с влиянием глинистости. Плотность точек результатов измерений указывает на преобладающее содержание того или иного минерала.

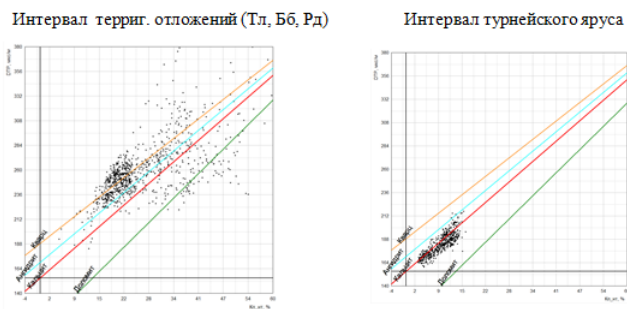


Рис. 1. Кроссплоты по кривым ДТР и $K_{п}$ (нейтронная пористость)

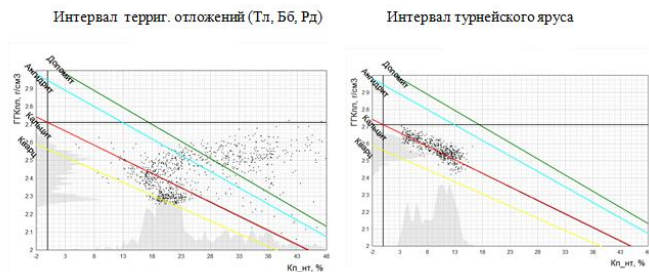


Рис. 2. Кроссплоты по кривым ГТК_п и К_п (нейтронная пористость)

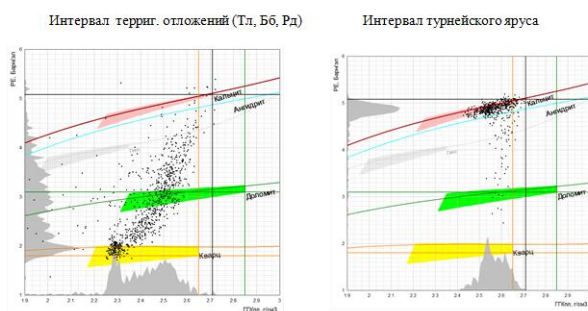


Рис. 3. Кроссплоты по кривым Re и ГТК_п

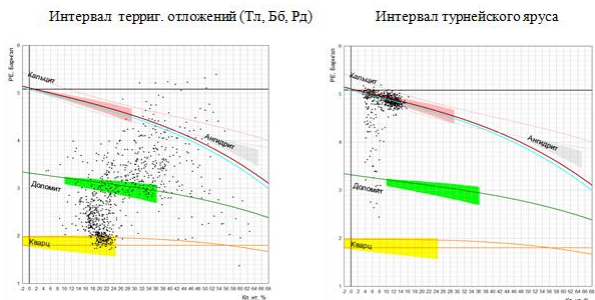


Рис. 4. Кроссплоты по кривым Re и К_п (нейтронная пористость)

По результатам проводимого кроссплот анализа оценивается качество исходных и отредактированных кривых, и соответствие полученных данных литологическому разрезу.

Для литологической (минеральной) объемной модели, как правило, выбираются следующие компоненты:

1. Для карбонатных отложений: кальцит, доломит, ангидрит, кварц, иллит (глина), сидерит, пирит;

2. Для терригенных отложений: кварц, кальцит, доломит, иллит (глина), пирит, сидерит.

Флюидальная модель включает: углеводороды, свободную (капиллярную) воду, связанную воду глин и неподвижное органическое вещество.

Ниже приводится пример построения объемной модели по стандартной методике (колонка 2, рис. 5) и с использованием метода

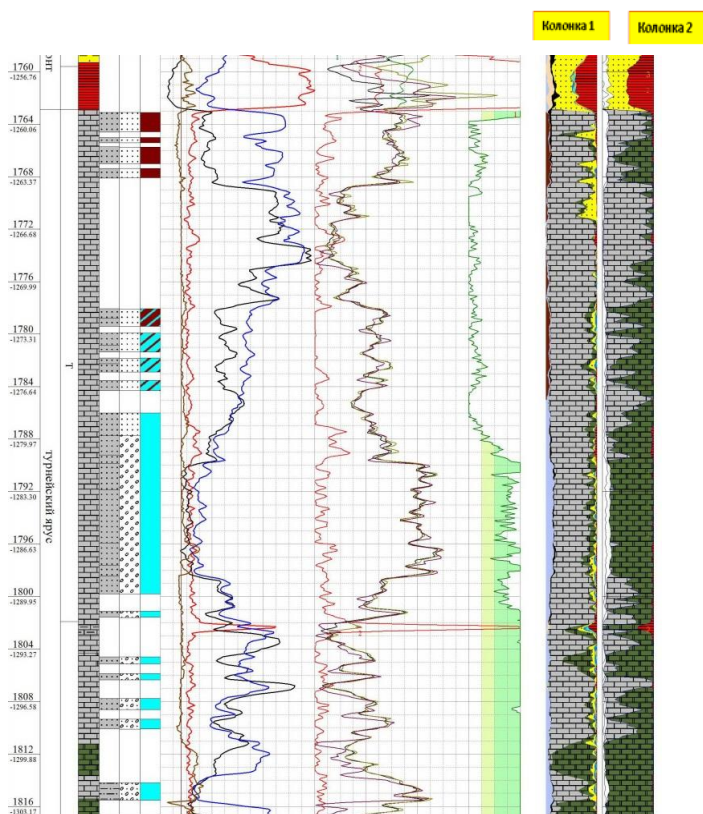


Рис. 5. Сравнительный пример построения объемной модели по данным АК+ЭК+РК+ГТК-ЛП (колонка 1) и РК+АК (колонка 2)

ГГК-ЛП (колонка 1, рис. 5). Корректность построения объёмной модели по комплексу АК+ЭК+РК+ГГК-ЛП очевидна. Уточняется литология и пористость пластов. При построении объёмной модели выявляются литологические особенности скелета породы и особенности флюидонасыщенности. Объёмная модель породы является основой для моделирования и анализа упругих свойств пород с целью изучения коллекторских свойств пород по данным сейсморазведки.

Достоверность определения пористости по данным ГИС оценивается путем сопоставления с кеновыми данными в кондиционных пластопересечениях, отвечающих следующим требованиям – вынос керна из исследуемых пластов (интервалов долблений) – не менее 80 % и плотность анализов – не менее 3–5 на 1 м вынесенного керна. Результаты сопоставления значений пористости по данным ГИС и керна для пластов турнейского яруса приведены на рис. 6.

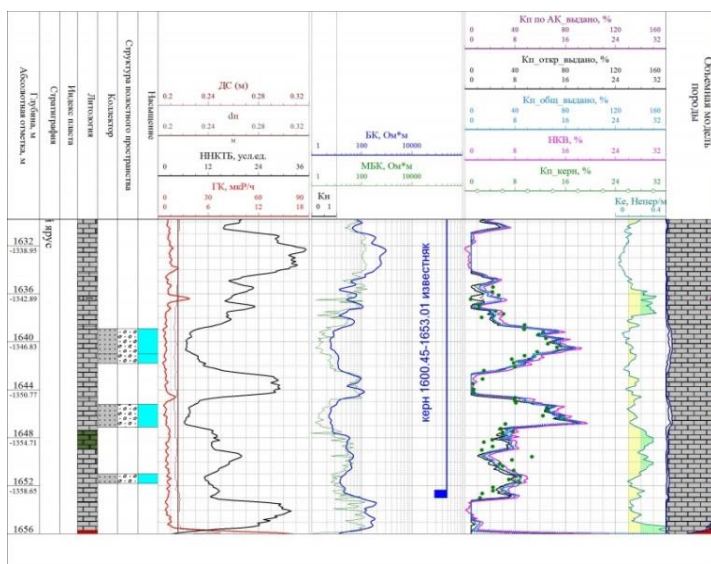


Рис. 6. Пример сопоставления ФЕС по данным керна и методов ГИС в интервале известняков турнейского яруса

Полученные результаты объёмной литологической модели породы позволяют уточнить емкостные параметры пластов-коллекторов, вещественный состав скелета пород, что повышает геологическую эффективность интерпретации данных ГИС.

Литература

1. Инструкция по проведению литоплотностного гамма-гамма каротажа аппаратурой МАГИС-ГГК-ЛП и первичной обработке результатов измерений. Уфа, АО НПФ «Геофизика», 2011.

2. Князев А. Р., Некрасов А. Н., Малиновский А. К. Методическое пособие по интерпретации комплекса ГИС с целью оценки трещиноватостинизкопористых карбонатных пород (методика ЛПСТ). Пермь, ОАО «Пермнефтегеофизика». Инновационно-методический отдел Центра новых технологий, 2014.

Л. В. Сиротенко

АО КамНИИКИГС, г. Пермь

О ВЫДЕЛЕНИИ ГАЗОГИДРАТОВ ПО ДАННЫМ ГИС

L. V. Sirotenko

KamNIIGKS Ltd., Perm

ABOUT DETECTION OF GAS HYDRATES USING BOREHOLE LOGGING DATA

В последнее время гидраты газов привлекают к себе все большее внимание как нетрадиционные источники углеводородов [1–10]. Газогидраты представляют собой различные по генезису структурные образования, существующие в ограниченном диапазоне температур ($70\text{--}350^\circ\text{K}$) и давлений ($2\cdot 10^{-8}\text{--}2\cdot 10^3\text{ МПа}$), и состоят из кристаллов молекул воды, пустоты которых в кристаллической решетке могут быть заполнены молекулами всех углеводородных газов (кроме н-бутана) и не УВ газов (кроме гелия) [3, 4]. Наибольшее распространение (более 98 %) газогидраты имеют на акваториях мирового океана, главным образом на шельфе и континентальных склонах материков [3]. По разным источникам прогнозные ресурсы газогидратов составляют $2\cdot 10^{14}\text{--}7,6\cdot 10^{18}\text{ м}^3$ [3]. Наиболее вероятной величиной ресурсов является значение $2\cdot (10^{14}\text{--}10^{15})\text{ м}^3$ [7]. К настоящему времени в мире известно более 50 районов залегания газогидратов.

В Японии национальной корпорацией по нефти, газу и металлам (JOGMEC) с 2013 г. ведется пробное извлечение метана из газогидратов в открытом море. В Китае в 2017 г. уже начата полноценная добыча газогидратов со дна Южно-Китайского моря [10].

В России наличие месторождений газогидратов подтверждено на дне озера Байкал, Черного, Каспийского и Охотского морей, однако разработка газогидратов на них пока не ведется. Предварительные расчеты компании «Газпром ВНИИГАЗ» на наличие в стране ресурсов газогидратов оцениваются в 1100 трлн. куб. м. В 2013 г. сообщалось, что Дальневосточный геологический институт РАН предложил «Роснефти» изучить возможность добычи газовых гидратов на шельфе Курил, оценивая их потенциал в 87 трлн. куб. м [10].

Проблема существования газогидратов наиболее широко обсуждалась на примере газовой залежи в сеноманских отложениях Мессояхского месторождения (Усть-Енисейский район Красноярского края) [2, 6]. Присутствие газогидратов предполагается также в отложениях сеномана Гыданского месторождения (север Западной Сибири). Наиболее благоприятными зонами для формирования скоплений газогидратов в континентальных условиях являются территории с распространением сплошных многолетнемерзлых пород. Такие условия могли создаваться в районах бурения скважин на севере Западной Сибири.

Пур-Тазовская геокриологическая область, в пределах которой расположена Тюменская СГ-6, характеризуется повсеместным распространением многолетнемерзлых пород. На севере Западной Сибири кроме сеноманского комплекса выделяется газалинская пачка кузнецовской свиты турона, залегающей выше сеномана и поэтому по термобарическим условиям более склонной для газогидратообразования. В ней газовые залежи выявлены на Заполярной, Южно-Русской, Харампурской, Тэрельской, Фестивальной, Ново-Часельской и др. площадях, там же предполагаются зоны развития газогидратов [1].

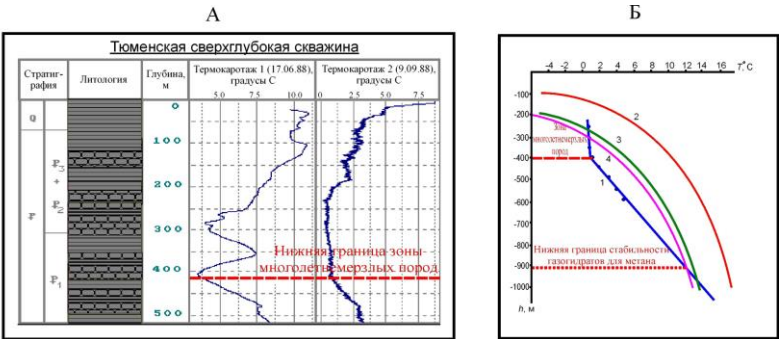
Анализ и переинтерпретация имеющихся геофизических материалов по Тюменской СГ-6 позволили установить, что для ее разреза зона развития многолетнемерзлых пород (МПП) достаточно хорошо выделяется по данным 2-х замеров термокаротажа (рис. А). Начиная с дневной поверхности на обеих кривых термокаротажа четко прослеживается существенное падение температуры, обусловленное вхождением в зону МПП, с глубины порядка 200 м отмечается ее некоторая стабилизация и последующий рост ниже 405 м.

Таким образом, интервал глубин 0–405 м в разрезе Тюменской СГ-6 может рассматриваться как зона развития многолетнемерзлых пород. Здесь существование газогидратов наиболее вероятно.

Пластовое давление (P) в верхней части разреза скважины в основном соответствует гидростатическому и изменяется прямо пропорционально глубине пластов (h) и удельному весу воды (γ) в соответствии с выражением $P = \gamma h$. За счет повышения давления с глубиной

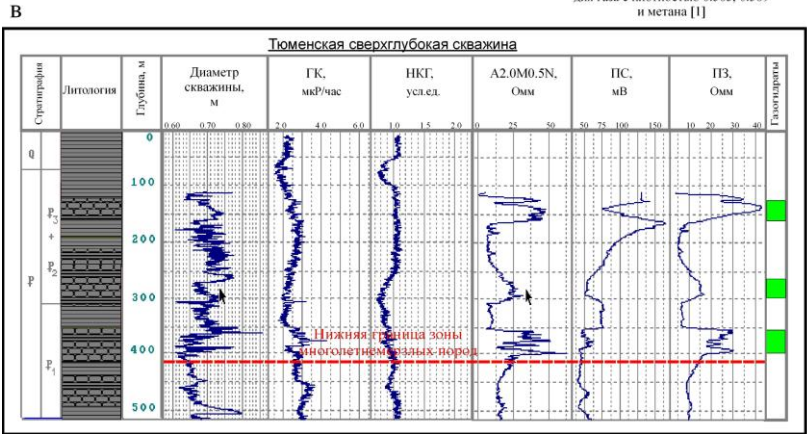
газогидраты могут образовываться и существовать значительно ниже зоны развития многолетнемерзлых пород. Сопоставление кривой распределения температуры, фиксируемой по стволу скважины, с теоретическими кривыми гидратообразования показывает, что газовые гидраты в разрезе Тюменской СГ-6 могут существовать вплоть до глубин ~900 м для метана и до >1000 м для природного газа (рис. Б).

Выделение коллекторов по материалам комплексной интерпретации каротажных данных в ВЧР, представленного четвертичными и палеогеновыми терригенными отложениями, затруднено из-за повышенной глинистости пород и их слабой сцементированности.



Два замера температур. Второй замер соответствует более высшему режиму

1- кривая распределения температуры Тюменской СГ-6 с глубиной, 2,3,4 - кривые гидратообразования для газа с плотностью 0.565, 0.569 и метана [1]



Выделение коллекторов газогидратов в разрезе Тюменской СГ-6

Кроме того, для разреза скважины отмечается очень слабая дифференциация показаний радиоактивного каротажа, что связано с проведением замеров ГК и НГК уже при наличии обсадной колонны.

Тем не менее, по материалам метода самопроизвольной поляризации (ПС), кавернометрии и электрометрии (градиент-зонд (КС) и потенциал-зонд (ПЗ)) в интервале развития многолетнемерзлых пород достаточно четко выделяется 3 зоны с отрицательной аномалией ПС, имеющие высокое электрическое сопротивление и обладающие повышенным кавернообразованием (рис. В).

В интервале 300–400 м по первому замеру термокаротажа отмечается положительная аномалия температуры, которая является типичной для газовых залежей. Интересно, что на втором замере термокаротажа, где температуры в целом ниже на 2–7° С по сравнению с первым замером, эта аномалия уже практически не проявилась.

Судя по имеющимся геофизическим характеристикам, эти 3 зоны, по-видимому, и являются скоплениями газовых гидратов в терригенных пластах-коллекторах. Над выделенными зонами по данным шлама и каротажа залегают глинистые пласты, которые вполне могут являться для газогидратов флюидоупорами. Ниже глубины 510 м по материалам ГИС зоны возможных скоплений газогидратов в разрезе Тюменской СГ-6 не обнаружены.

Учитывая, что в мировой практике уже начаты работы по промышленному освоению месторождений газогидратов необходимо включить изучение этих объектов в программу обязательных исследований глубоких скважин, которые бурятся в криологических областях, что позволит существенно стимулировать решение проблемы газогидратов, как нового источника углеводородного сырья и существенно увеличить прирост ресурсной базы северных районов страны.

Литература

1. *Агалаков С. Е.* Газовые гидраты в туронских отложениях на севере Западной Сибири // *Геология нефти и газа.* 1997. № 3. С.16–21.
2. *Агалаков С. Е., Курчиков А. Р., Бабурин А. Н.* Геолого-геофизические предпосылки существования газогидратов в туронских отложениях Восточно-Мессояхского месторождения // *Геология и геофизика.* 2001. Т. 42. № 11–12. С. 1785–1791.
3. *Баренбаум А. А.* Акваторные газогидраты: происхождение и время аккумуляции // *Новые идеи в геологии и геохимии нефти и газа. Нефтегазовые системы осадочных бассейнов.* М.: ГЕОС, 2005. С. 62–64.
4. *Геология и геохимия нефти и газа / О. К. Баженова, Ю. К. Бурлин, Б. А. Соколов, В. Е. Хаин.* М.: МГУ, 2000. 384 с.

5. *Истомин В. А., Якушев В. С.* Газовые гидраты в природных условиях. М.: Недра, 1992. 236 с.
6. *Макагон Ю. Ф., Омельченко Р. Ю.* Мессояха – газогидратная залежь, роль и значение // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2012. № 3. С. 5–19.
7. *Соловьев В. А.* Природные газовые гидраты как потенциальное полезное ископаемое // Российский химический журнал. 2003. № 3. С. 59–69.
8. *Трофимук А. А., Макагон Ю. Ф., Толкачев М. Ф.* О роли газогидратов в процессе аккумуляции углеводородов и формировании их залежей // Геология и геофизика. 1983. № 6. С. 3–15.
9. *Collet T. S, Kvenvolden K. A.* Exploration for gas hydrates // Геологический журнал. 1990. № 1. С. 8–14.
10. <http://oilru.com/news//551263>.

З. М. Слепак

Казанский федеральный университет, ИГ и НГТ, г. Казань

**ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ
СОХРАНИВШИХСЯ ОСТАТКОВ СОБОРА ВО ИМЯ ИКОНЫ
КАЗАНСКОЙ БОЖИЕЙ МАТЕРИ И ЦЕРКВЕЙ
НА ТЕРРИТОРИИ КАЗАНСКОГО
БОГОРОДИЦКОГО МОНАСТЫРЯ**

Z. M. Slepak

Kazan Federal University, IG&NGT, Kazan

**GEOPHYSICAL PROSPECTING FOR THE LOCATION OF THE
PRESERVED REMNANTS OF THE CATHEDRAL OF KAZAN'S
HOLY VIRGIN ICON AND CHURCH BUILDINGS ON
THE PREMISES OF THE KAZAN BOGORODITSKIY NUNNERY**

Геофизические методы исследований широко применяются при решении геологических задач, в инженерной геологии и археологии. Выявление объектов археологии является чрезвычайно сложной задачей, поскольку создаваемые ими слабые изменения физических полей находятся в пределах точностей измерений применяемых геофизических приборов. В современных городах из-за наличия строений, наземных и подземных коммуникаций, движущегося транспорта и других объектов результаты геофизических работ характеризуются

значительными погрешностями и требуют применения специфических ме-

тодик измерений и интерпретации получаемых данных. В статье рассматриваются результаты электромагнитного зондирования становлением поля аппаратурным комплексом «Импульс-авто М-1/0-20», по результатам которого осуществлялось трассирование подошвы антропогенного слоя, проводилось археологическое датирование выявляемых в его пределах напластований, выявлялись ослабленные участки пород, зоны разрывных нарушений, утечки подземных водных коммуникаций [1].

Высокая результативность разработанной автором методологии решения задач археологии была продемонстрирована на территории Казанского кремля и практически примыкающего к ней месторасположения бывшего Казанского Богородицкого монастыря. Новые геофизические технологии впервые позволили определять местонахождение утраченных древних строений в условиях городской застройки, изучать строение антропогенного слоя практически с земной поверхности и решать другие задачи [1–5].

Разработанные технологии геофизических исследований для прогнозирования объектов археологии Казанского Кремля были применены при обследовании территории бывшего Казанского Богородицкого монастыря, находящейся у восточного склона кремлевского холма. Проведение геофизического прогнозирования оказалось здесь возможным лишь вдоль отдельных профилей между сохранившимися некоторыми строениями монастыря, современными зданиями, дворовыми постройками, а также на некоторых открытых участках и проездах, перекрытых асфальтом. Результаты измерений вдоль профилей представлялись в виде вертикальных разрезов параметра суммарной электрической проводимости $S(H)$, отождествляемых с геолого-геофизическими профилями, что позволяло изучать особенности строения антропогенного слоя и выявлять сохранившиеся остатки древних строений. Основными задачами проведенных здесь исследований являлось выявление месторасположения Собора Казанской иконы Божией Матери («холодного храма»), церковей Рождества Пресвятой Богородицы, Живоначальной Троицы, во имя Сретения Господня и Юго-восточной башни, которые были разрушены в 1930-е годы.

Единственным участком, где были проведены геофизические измерения в площадном варианте, оказалась перекрытая асфальтом центральная часть Казанской табачной фабрики. По архивным данным на этом месте находился ранее разрушенный Собор иконы Казанской Божией Матери (рис. 1). Электромагнитное зондирование было проведено в девяноста пунктах геофизических измерений по сети $2,5 \times 2,5$ м. Вертикальные линии в пунктах зондирования показывают проникно-

вание электромагнитных сигналов на различные глубины. Минимальные глубины прохождения сигнала характеризуют наиболее близко расположенные к земной поверхности сохранившиеся остатки прогнозируемого строения (рис. 2).



Рис. 1. Собор во имя иконы Казанской Божией Матери

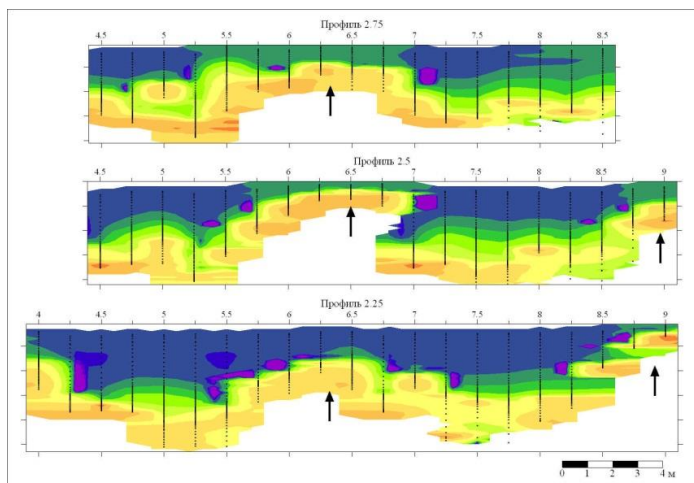


Рис. 2. Вертикальные разрезы параметра суммарной электрической проводимости $S(H)$ вдоль профилей 2.25, 2.50 и 2.75 над прогнозируемой восточной частью Собора

В пикетах 6.25, 6.50 и 6.75 профилями 2.25 и 2.75, а также в пикетах 6.25, 6.50 и 6.75 профиля 2.50 (рис. 2) наблюдается резкое уменьшение глубин проникновения сигнала (обозначены стрелками). Эти данные позволили предположить возможное наличие под земной поверхностью сохранившихся остатков каменного строения дугообразной формы, относящихся к восточной части Собора. При последующих археологических раскопках было выявлено месторасположение восточной апсиды Собора, подтвердившее результаты геофизического прогнозирования (рис. 3).



Рис. 3. Сохранившиеся остатки апсиды Собора, выявленные при раскопках

Использование полученных данных и архивных чертежей позволило установить месторасположение всего строения и колокольни, восстановление которых проводится в настоящее время. Их завершение планируется в 2019 году.

Полученные результаты позволили прийти к заключению, что проведение геофизических измерений на открытых площадках, даже перекрытых асфальтом, повышают возможности детального изучения антропогенного слоя методом электромагнитного зондирования. Показательным примером также являются результаты изучения подошвы антропогенного слоя на участке Билярского городища, где отобразились следы древнего города и находящиеся вдоль них хозяйственные ямы у бывших строений [2].

На вертикальном разрезе параметра суммарной электрической проводимости $S(H)$ вдоль профиля, проходящего между сохранивши-

мися монастырскими постройками (рис. 4), четко выделяется участок уменьшения глубины проникновения электромагнитного сигнала (обозначен стрелками), что свидетельствует о существовании сохранившихся остатков церкви Рождества пресвятой Богородицы.

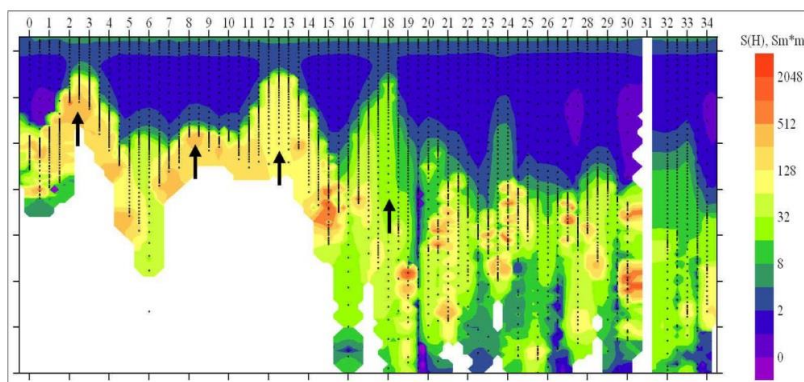


Рис. 4. Вертикальный разрез параметра суммарной электрической проводимости $S(H)$ вдоль профиля над прогнозируемым местом расположения церкви Рождества Пресвятой Богородицы

Вдоль ряда профилей геофизических измерений между другими строениями также осуществлено прогнозирование сохранившихся остатков упомянутых ранее церквей, юго-восточной башни монастыря, а также отдельных участков монастырских стен. Выданы рекомендации для начала заложения археологических раскопок на участках минимальных глубин проникновения электромагнитного сигнала, что позволит при их проведении ограничить объемы земляных работ [2].

Следует особенно отметить возможность археологического датирования в виде выделения отдельных напластований в антропогенном слое по результатам геофизических измерений, поскольку при раскопках датирование осуществляется лишь фрагментарно [1, 2].

Подтверждение результатов геофизического прогнозирования археологическими раскопками является чрезвычайно важным. Совместное проведение геофизических и археологических исследований позволяет оперативно корректировать направление археологических раскопок, уменьшает негативные воздействия на геологическую среду, значительно сокращает объемы земляных работ и материальные затраты.

При решении археологических задач геофизическими методами, по глубокому убеждению автора, является не комплексирование различных методов, а выбор метода, эффективно работающего в исследуемом регионе, опробованного на известных объектах и оценка достоверности получаемых результатов. Таким методом оказался метод электромагнитного зондирования становлением поля аппаратным комплексом «Импульс-авто М-1/0-20», созданный Г. Тригубовичем в Сибирском НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИ-ГГиМС) РАН.

Таким образом, приведенные в статье результаты решения археологических задач основаны на применении разработанных автором новых геофизических технологий. Они свидетельствуют о возможностях геофизики при решении конкретных задач археологии на открытых площадках вдоль профилей и между отдельными строениями в условиях города, а также позволяют детально изучать особенности древних городищ и поселений. Применённые технологии расширяют возможности геофизических исследований, направленных на решение археологических задач, сохранение строений и сооружений. Они рекомендуются автором для широкого применения на урбанизированных территориях.

Литература

1. Слепак З. М. Геофизика для города. М.: Изд-во «ГЕРС», 2007. 239 с.
2. Слепак З. М. Разведочная геофизика в археологии. Казань: Изд-во Казанского ун-та, 2010. 224 с.
3. Слепак З. М. Геофизические исследования для выявления сохранившихся остатков Собора Казанской иконы Божией Матери и церквей на территории Казанского Богородицкого монастыря // Сборник избранных статей по итогам работы Международной научно-практической конференции «Чудотворный Казанский образ Богородицы в судьбах России и мировой цивилизации». Казань, Центр инновационных технологий, 2016. С. 139–44.
4. Хафизов Д. И. Чудотворная икона Казанской Божией матери. Роль религиозной толерантности в Улусе Джучи и Казанском царстве в ее обретении // Древности Московской земли. Проблемы современной археологии. М., 2001. С. 80–83.
5. Slepak Z. M. Electromagnetic sounding and high-precision gravimeter survey define ancient stone building remains in the territory of Kazan Kremlin (Kazan, Republic of Tatarstan, Russia) // Archeological prospection, 1999. Vol. 6. PP. 147–160.

Е. В. Соснина¹, П. Н. Гуляев¹, А. И. Губина^{1,2}

¹ ООО «ПИТЦ «Геофизика, Пермь

² Пермский государственный национальный
исследовательский университет, Пермь

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ НЕТРАДИЦИОННЫХ КОЛЛЕКТОРОВ: КОМПЛЕКС ГИС ДЛЯ ДОМАНИКОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ (D_{3dm})

E. V. Sosnina¹, P. N. Gulyaev¹, A. I. Gubina^{1,2}

¹ PITS Geofizika Ltd., Perm

² Perm State University, Perm

RESULTS OF INVESTIGATIONS OF NONCONVENTIONAL RESERVOIRS: WELL LOGGING FOR DOMANIC DEPOSITS (D_{3dm})

Вопрос поиска и разработки месторождений нефти и газа с нетрадиционными типами коллекторов был и остается актуальным. Одним из объектов нетрадиционных трудно извлекаемых запасов в Волго-Уральском регионе являются карбонатные породы, обогащенные органическим веществом (ОВ), известные как доманикиты или доманикоиды [2]. Для повышения достоверности поиска и оценки резервуаров данного возраста необходимо совершенствовать комплекс промыслово-геофизических методов с учетом специфических особенностей этих пород [1, 3], а также изучать петрофизические связи с коллекторскими свойствами.

Рассмотрим примеры исследований в интервале доманиковых отложений на территории Пермского Прикамья стандартным комплексом с анализом керна и дополнительными методами.

Скв. 2** Андреевского месторождения эксплуатационная, диаметр 216 мм, тип раствора инвертно-эмульсионный (ИЭБР). По результатам геолого-технологических исследований (ГТИ) и отбора керна (2261–2282 м) выделены интервалы битуминозных пород, интервалы с остатками фауны и выпотами нефти (рис. 1). Карбонатность увеличивается в интервале с глубиной от 53,5 до 96,7 %. Открытая пористость известняков от 0,62 до 2,16 %. Проницаемость параллельная от 0,01 до 1,38 мД (единичные интервалы до 10,8 мД). Объемная плотность от 2,05 г/см³ в глинистых разностях до 2,56 г/см³ в крепких известняках.

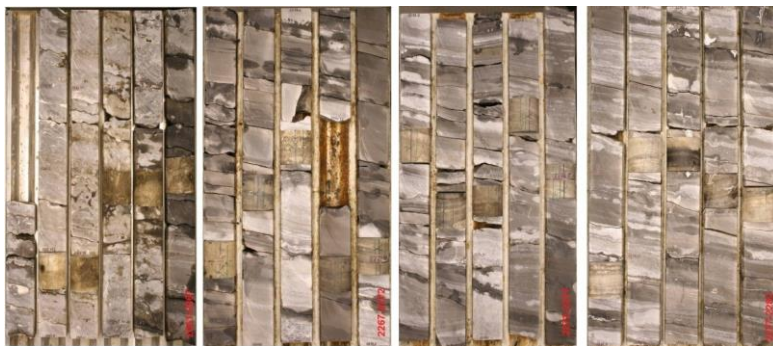


Рис. 1. Керн по скв. 2** Андреевской, 2261,0–2282,0 м

На рис. 2 представлены результаты исследований комплексом ГИС. Интервал D3dm характеризуется высокими показаниями ГК и пониженными значениями НК. Показания АК (интервальное время DTP) коррелируются с НК. $K_n \sim 30\%$ по зависимости для известняков,

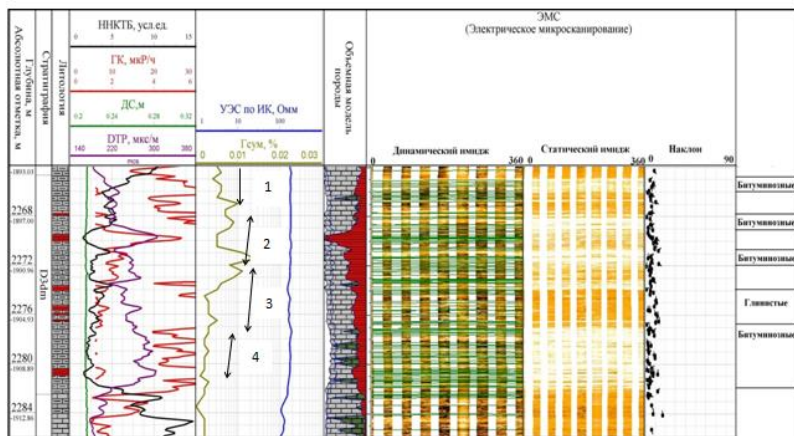


Рис. 2. Данные ГИС и ЭМС по скв. 2** Андреевской

без учета поправки за глинистость (т. к. высокие показания ГК обусловлены в основном битуминозностью). По показаниям многозондового индукционного каротажа (МИК) удельное электрическое сопротивление (УЭС) в ограничении до 190 Ом·м, кривая не дифференцирована, значения проводимостей по пяти зондам очень низкие, установ-

лена битуминозность по керну. По кавернометрии (ДС) диаметр скважины номинальный. По соседним скважинам Андреевской площади наблюдаются аналогичные результаты по ГИС. Также были проведены испытания пластов (ИПТ) в скв. 2**, в интервале 2240,0–2292,0м получен приток, на выходе фильтрат бурового раствора дебитом 0,02 м³/сут., что указывает на низкую проницаемость пород.

По данным дополнительно проведенного электрического микросканирования скважин (ЭМС) (КарСар МС-110 ООО «КарСар», г. Саратов) трещин не выявлено. Выделяются пласты очень высокого сопротивления (светлым – битуминозные) и пропластки более низкого сопротивления (темным – глинам).

Для дополнения информации рекомендуется включать в комплекс метод многочастотной диэлектрической интроскопии (MFDI) для уточнения УЭС при работах на растворах типа ИЭР, а также сканирующий гамма-каротаж (СГК) для уточнения по урану битуминозности пород.

На рис. 3, А представлены результаты нормализации кривых ГИС гамма-каротажа и бокового каротажа, бокового каротажа и акустического с целью выделения битуминозных интервалов по скв. 3** Хатымовской площади. На рис. 3, Б битуминозный интервал выделен по данным СГК (по урану) по скв. 3**(2) Хатымовской.

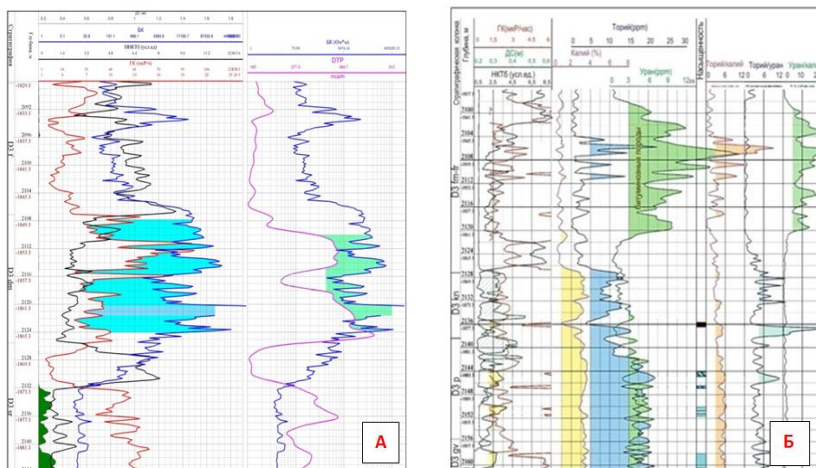


Рис. 3. Результаты нормализации кривых по Хатымовской площади:
А – нормализация кривых ГИС (ГК-БК, БК-АК); Б – данные СГК

На рис. 4 представлен геолого-геофизический разрез Быркинского месторождения. Наблюдаются высокие показания ГК, по всем скважинам снижение показаний ННК, значительные увеличения показаний АК (ДТР) и снижение энергий. Диаметр скважины номинальный. Интервалы коллекторов выделяются резкими увеличениями показаний БК в скважинах, пробуренных на растворах типа ББР. Индукционный каротаж (ИК) выполнен не во всех скважинах в связи с ограничениями по условиям работы метода в высокоомных разрезах (более 300 Ом·м), кривые слабо дифференцированы.

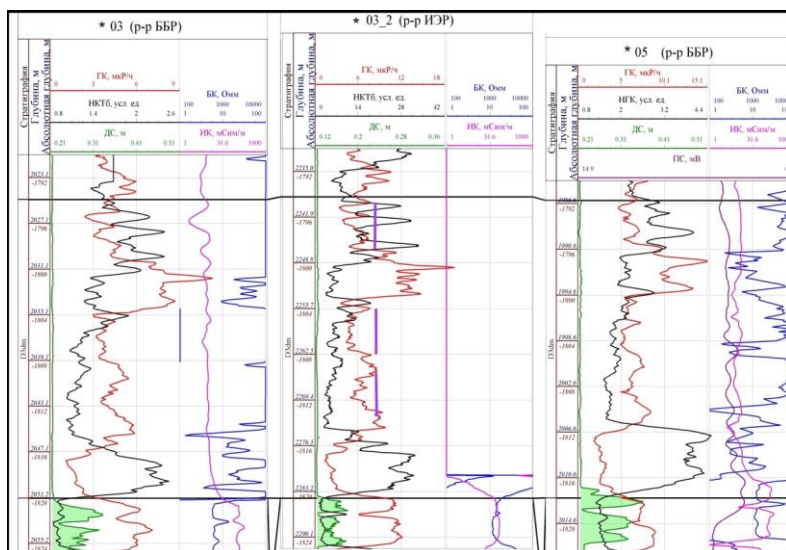


Рис. 4. Геолого-геофизический разрез по линии скважин Быркинского месторождения

В скв. *03_2 были проведены дополнительно методы литолого-плотностного каротажа (ЛПК), MFDI, ЭМС (рис. 5). По данным ЛПК получен литологический состав, содержание SiO_2 составляет 12–17 % (до 25–30 %), отмечаются 3 интервала повышения открытой пористости (рис. 3). На статическом имидже ЭМС (COI, Weatherford) выделяются участки высокого сопротивления (светлые), связанные с битуминозностью пород.

При исследовании методом MFDI использовалась поточечная запись (шаг 0,5 м). Измерения проводились аппаратурой ДИМЧ-2L в диапазоне частот 2–50 МГц с шагом 2 МГц. Три интервала (рис. 3),

отмеченные как пласты с возможным углеводородо-насыщением по MFDI, битуминозные по ЭМС и по ЛПК повышением открытой пористости, были выделены по стандартному комплексу ГИС.

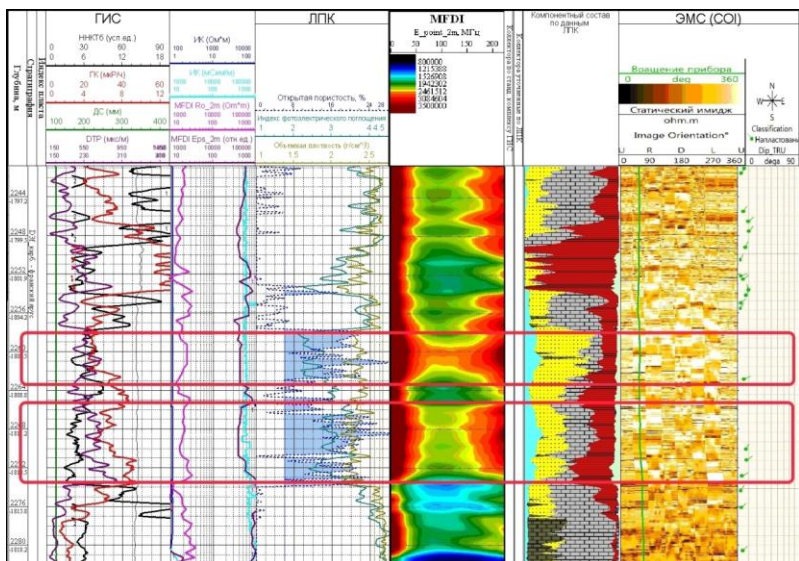


Рис. 5. Результаты исследований стандартными методами ГИС, MFDI, ЛПК, ЭМС по скв. *03_2 Быркинского месторождения

Опыт проведения интерпретации данных MFDI в этих породах отсутствует, поэтому выводы о перспективности тех или иных интервалов должны перепроверяться по мере накопления петрофизической информации по аналогичным объектам. Для достоверности исследований *необходимы методы СГК, ЯМК, ВАК-Д и данные керна*.

По результатам рассмотренных исследований, с учетом особенностей отложений D3dm, рекомендуется включить в комплекс ГИС для исследования доманиковых отложений следующие методы:

- **стандартный комплекс ГИС и ГТИ** (с учетом бурения на ИЭБР/ББР);
- комплекс радиоактивных методов **СГК** (Компакт ГС) + **ЛПК** (КарСар ЛК73): определение/уточнение минерального состава, ФЕС горных пород, уточнение пористости;

- комплекс электрических и электромагнитных методов **МFDI** (ДИМЧ-2L), **МИК** (КарСар 5ИК73), **5БК** (КарСар 5БК73): исследование высокоомных разрезв;
- акустические методы **ВАК-Д** (АВАК-11, КарСар 8АД73) – определение акустической анизотропии, выявления зон трещиноватости, ФМС, анализ хрупкости пород;
- комплекс сканирующих методов **САС** (САС-90) + **ЭМС** (КарСар МС-110) – развертка стенки скважины, оценка трещиноватости;
- ядерно-магнитные методы **ЯМК** – оценка эффективной пористости (наличие вязкой нефти);
- **отбор керна, испытания.**

Комплексирование методов, имеющих различные физические основы (электрических, акустических, радиоактивных методов), позволяет повысить точность результатов. Для реализации данного комплекса методов ГИС предлагается использование *аппаратуры преимущественно отечественного производства.*

В настоящее время с учетом налоговых льгот, предоставляемых государством, добыча нефти из доманиковых отложений может быть вполне рентабельной [4]. По оценке ВНИГНИ (2011 г.) технологически извлекаемые ресурсы нефти доманиковых отложений Волго-Уральской и Тимано-Печорской нефтегазоносных провинций составляют около 898 млн т. На Пермский край приходится около 15 % ресурсов нефти D_{3dm} Волго-Уральской нефтегазоносной провинции.

По результатам единичных исследований в D_{3dm}, которые были проведены, сложно говорить об эффективности применения стандартных методик и дополнительного комплекса. Но опыт соседних регионов (Республики Татарстан, Удмуртия), зарубежные исследования, а также возможности методов позволяют делать выводы о перспективах работ в доманиковых отложениях Пермского Прикамья. ***В связи со слабой изученностью доманиковой толщи, комплекс промыслово-геофизических исследований и исследований керна должен дать максимально полный объем информации о литологических, геохимических, фильтрационно-емкостных, петрофизических свойствах пород.***

Литература

1. Зайдельсон М. С., Суровиков Е. Я., Казьмин Л. Л., Вайнбаум С. Я., Семенова Е. Г. Особенности генерации, миграции и аккумуляции УВ доманиковых формаций // Геология нефти и газа, 1990. № 06.
2. Привалов О. Р., Бурикова Т. В., Лутфурахманова А. Р. Анализ комплекса ГИС для нетрадиционных коллекторов Волго-Уральской провинции

(на примере доманиковых отложений) // Материалы IX Российско-Китайского научного симпозиума «Новые техника и технологии ГИС в нефтегазовой промышленности», Санкт-Петербург. 19–23 сентября 2016 г.

3. *Ступакова А. В., Фадеева Н. П., Калмыков Г. А., Богомолов А. Х., Кирюхина Т. А., Коробова Н. И., Шарданова и др.* Поисковые критерии нефти и газа в доманиковых отложениях Волго-Уральского бассейна // Георесурсы, 2015. № 2 (61).

4. *Хисамов Р. С., Базаревская В. Г., Тарасова Т. И., Бадуртдинова Н. А., Гибадуллина О. Г.* Перспективы нефтеносности доманиковых отложений Волго-Уральской провинции // Нефтяное хозяйство», 2017. № 6. С. 10–14.

В. В. Стогний, Г. А. Стогний

Кубанский государственный университет, г. Краснодар

ГРАВИТАЦИОННЫЕ МАКСИМУМЫ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО КАВКАЗА И КРЫМА КАК МАРКЕРЫ ГРАНИЦЫ ВОСТОЧНО-ЧЕРНОМОРСКОЙ ПЛИТЫ

V. V. Stogny, G. A. Stogny

Kuban State University, Krasnodar

GRAVITY MAXIMUMS OF THE NORTH-WESTERN CAUCASUS AND CRIMEA AS BORDER MARKS OF THE EAST-BLACK SEA PLATE

В структуре поля силы тяжести материковой территории суши, окаймляющей Чёрное море, отмечаются цепочки локальных интенсивных гравитационных максимумов амплитудой до 60 мГал, на севере – вдоль границы северо-западного шельфа Чёрного моря, на территории Горного Крыма, Северо-Западного Кавказа, а на юге вдоль береговой линии Балканид, Западных и Центральных Понтид [1, 2, 10]. На природу данных гравитационных максимумов имеется несколько точек зрения. В. Б. Бурьянов и В. Д. Соловьёв [2] гравитационные максимумы северного и западного обрамления Черноморской впадины объясняют интрузивными телами, внедрёнными по периферии Чёрного моря. Е. П. Баранова с соавторами [1] с учетом того, что данные интенсивные аномалии в плане ограничены изобатой 200 м, частично связывают их образование с краевым эффектом.

В. А. Ентин с соавторами [7] предполагают, что природа Крымской гравитационной аномалии амплитудой более 60 мГал определя-

ется главным образом базит-ультрабазитовым интрузивом (диапиром) с плотностью $2,90 \text{ г/см}^3$, расположенным на глубине 3–30 км. Ниже этого интрузива до границы Мохововичича (50–52 км) находится коромантийная смесь. Формирование базит-ультрабазитового интрузива происходило в олигоцен-квартере за счёт выжимания в верхнюю часть земной коры коромантийной смеси в результате реверсного перемещения Черноморской плиты к северу, при этом внедрение диапира вызвало подъём Крымских гор.

В. С. Гобаренко с соавторами [4] Крымский гравитационный максимум объясняют наличием в земной коре Горного Крыма высокоплотной пластины Восточно-Черноморской микроплиты, сформированной в процессе внедрения последней в кору Скифской плиты. Механизм взаимодействия Восточно-Черноморской микроплиты и Скифской плиты с образованием экстремии Восточно-Черноморской микроплиты в земной коре Горного Крыма предложен В. В. Гончаром [5].

В данной работе рассмотрена структура поля силы тяжести Крымско-Кавказского сегмента Причерноморья России (рисунок) с целью анализа локальных максимумов, окаймляющих с суши Чёрное море. В региональном плане гравитационное поле в соответствии с предложенной схемой районирования поля силы тяжести [10] представлено флангами трёх аномальных областей: Черноморской, Скифской и Каспийско-Черноморской (Кавказской). Черноморская аномальная область в низкочастотной составляющей – это крупный ($300 \times 600 \text{ км}$) гравитационный максимум амплитудой до 200 мГал. В плане она соответствует Восточно-Черноморской впадине, Горному Крыму и Северо-Западному сегменту Большого Кавказа.

Скифская аномальная область в тектоническом отношении соответствует Скифской плите и предгорному Индоло-Кубанскому прогибу, проявляющемуся Индолокубанским минимумом амплитудой более 25 мГал, а Каспийско-Черноморская аномальная область низких значений поля силы тяжести – Центральному, Восточному и Юго-Восточному сегментам Большого Кавказа, Терско-Каспийскому предгорному прогибу и системе Закавказских срединных массивов и предгорных впадин. Каспийско-Черноморская аномальная область в низкочастотной составляющей представлена региональным гравитационный минимум амплитудой более 100 мГал.

Северная и северо-восточная гравитационные ступени Черноморской аномальной области, отвечающие в плане Горному Крыму, Керченско-Таманскому прогибу и южному крылу Северо-Западного сегмента мегаантиклинория Большого Кавказа, осложнена Крымским, Новороссийским, Сочинским и Гагринским локальными максимумами

(рисунок). Амплитуда Крымского и Новороссийского максимумов превышает 50 мГал, а Сочинского и Гагринского до 15 мГал.

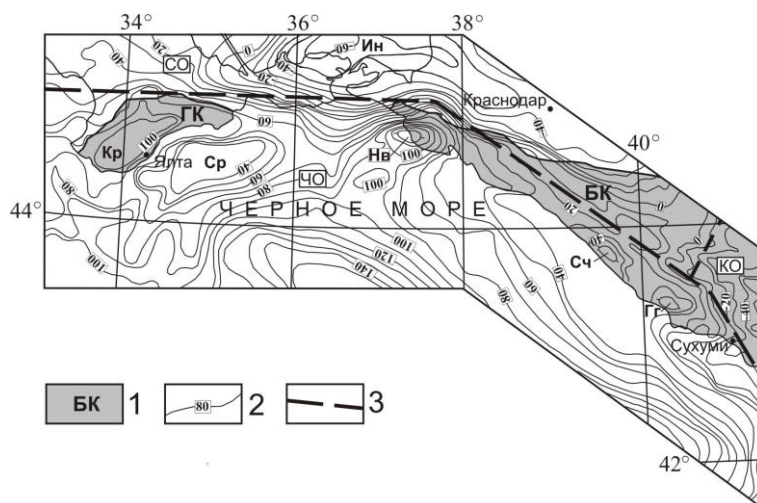


Схема гравитационного поля Крымско-Кавказского региона (по материалам [6]) и его районирования:

1 – складчатые сооружения Горного Крыма (ГК) и Большого Кавказа (БК); 2 – изолинии поля силы тяжести. Гравитационные максимумы: Кр – Крымский, Нв – Новороссийский, Сч – Сочинский, Гг – Гагринский; минимумы: Ин – Индолокубанский, Ср – Сорокинский; 3 – граница аномальных гравитационных областей по [10]: ЧО – Черноморская, СО – Скифская, КО – Каспийско-Черноморская

Черноморская, Скифская и Каспийско-Черноморская аномальные гравитационные области отождествляются с геоблоками земной коры, соответственно Восточно-Черноморским, Азово-Каспийским и Каспийско-Черноморским. Северная и северо-восточная гравитационные ступени Черноморской аномальной области в рамках предложенной схемы районирования гравитационного поля (рис. 1) отвечают границе Восточно-Черноморского геоблока с Азово-Каспийским. Имеется несколько вариантов положения северной границы Восточно-Черноморского геоблока (микроплиты, плиты). Так, по А. Н. Вардапетяну [3] граница Черноморской микроплиты с Евразийской плитой соответствует южному ограничению последней. В. Г. Казьмин с соавторами [8] за северную границу Восточно-Черноморской микроплиты

принимают надвиги флоранда горно-складчатого сооружения Большого Кавказа.

В нашей интерпретации северная граница Восточно-Черноморского геоблока проходит севернее Горного Крыма, далее вдоль южного борта Индоло-Кубанского предгорного прогиба и южного крыла Северо-Западного сегмента Большого Кавказа. По данным [11] консолидированная земная кора Черноморской впадины может представлять собой тонкую континентальную кору, образованную в результате очень сильного растяжения при рифтогенезе, который не привёл к существенным изменениям подстилающей мантии. В. Я. Пьянков [9] предполагает, что Черноморская впадина формировалась в одинаковом поле напряжений с южной окраиной Восточно-Европейской платформы и Кавказа, так как наблюдается совпадение азимутов систем направления гравитационных аномалий Черноморской впадины, Украинского щита и Донецкого бассейна, а также азимутов систем направления гравитационных аномалий Черноморской впадины и альпийской складчатости и трещиноватости Кавказа. В рамках предложенной тектонической схемы строения земной коры Причерноморского региона Крымский, Новороссийский, Сочинский и Гагринский локальные гравитационные максимумы объясняются блоками высокоплотных пород Восточно-Черноморского геоблока Черноморской впадины.

Работа выполнена по проекту РФФИ № 16-45-230343.

Литература

1. Баранова Е. П., Егорова Т. П., Омельченко В. Д. Переинтерпретация сейсмических материалов ГСЗ и гравитационное моделирование по профилям 25, 28 и 29 в Чёрном и Азовском морях // Геофизический журнал. 2008. Т. 30. № 5. С. 124–144.
2. Бурьянов В. Б., Соловьёв В. Д. Исследование гравитационных максимумов северного и западного обрамления Черноморской впадины // Геофизические параметры литосферы южного сектора альпийского орогена. Киев: Наукова думка. 1996. С. 111–119.
3. Вардапетян А. Н. Позднекайнозойская тектоника плит Черноморско-Каспийского региона // Океанология. 1979. Т. XIX. № 6. С. 1066–1075.
4. Гобаренко В. С., Муровская А. В., Егорова Т. П., Шеремет Е. Е. Современные коллизионные процессы на северной окраине Чёрного моря // Геотектоника. 2016. № 4. С. 68–87.
5. Гончар В. В. К обоснованию механизма латеральной экструзии земной коры Горного Крыма // Геофизический журнал. 2015. Т. 37. № 4. С. 145–150.
6. Гравиметрическая карта СССР. Масштаб 1:2 500 000 / Гл. редакторы П. П. Степанов, М. А. Якушевич. М. ВНИИ «Геофизика». 1990.

7. Ентин В. А., Гинтов О. Б., Гуськов С. И. Ещё раз о природе Крымской гравитационной аномалии // Геофизический журнал. 2010. Т. 32. № 6. С. 119–134.

8. Казьмин В. Г., Лобковский Л. И., Пустовитенко Б. Г. Современная кинематика микроплит в Черноморско-Южно-Каспийском регионе // Океанология. 2004. Т. 44. № 4. С. 600–610.

9. Пьянков В. Я. Линеаменты геофизических аномалий Российского сектора Черноморской впадины – результат разрядки ротационно-обусловленных напряжений // Сборник научных трудов Национальной горной академии Украины. Днепропетровск: РИК НГА. 2002. Т. 4. № 13. С. 36–40.

10. Стогний Г. А., Стогний В. В. Тектонические условия сейсмичности Северо-Западного сегмента и южного склона Центрального сегмента Большого Кавказа // Глубинное строение, минерагения, современная геодинамика и сейсмичность Восточно-Европейской платформы и сопредельных регионов. Воронеж: Научная книга, 2016. С. 383–387.

11. Яновская Т. Б., Гобаренко В. С., Егорова Т. П. Строение подкоровой литосферы Черноморского бассейна по сейсмологическим данным // Физика Земли. 2016. № 1. С. 15–30.

А. А. Тайницкий, А. В. Кичигин
Горный институт УрО РАН, г. Пермь

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ МЕТОДОМ МИНИМИЗАЦИИ ЭМПИРИЧЕСКОГО РИСКА

A. A. Tainickiy, A. V. Kichigin
Mining Institute UB RAS, Perm

INTERPRETATION OF ELECTRICAL SURVEY DATA BY THE METHOD OF MINIMIZING THE EMPIRICAL RISK

В статье рассматривается относительно новый подход к решению обратной задачи, основанный на построении функции плотности вероятностей на структурированном множестве (удовлетворяющем априорной информации, либо представлениям о разрезе) допустимых вариантов решения обратной задачи и выборе наилучшего решения по минимуму математического ожидания его погрешности. Данный метод получил название – минимизации эмпирического риска (МЭР). Изначально метод был разработан для количественной интерпретации данных гравиразведки и магниторазведки [1–3], впоследствии был адаптирован для решения одномерной обратной задачи ВЭЗ. Реализо-

ванный алгоритм подбирал вектор значений сопротивлений при фиксированных значениях мощности слоев [4]. В данной статье рассматривается дальнейшее развитие данного подхода, при котором реализован одновременный подбор сопротивления и мощности слоя. Подробное описание используемого в методе математического аппарата приведено в работах [1–3].

Решение обратной задачи ВЭЗ заключается в нахождении вектора параметров $Q = \{\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_N, h_1, h_2, \dots, h_{N-1}\}$ геоэлектрического разреза по известному распределению параметров геофизического поля. При отыскании решения с небольшим числом неизвестных (порядка 4–6) метод МЭР может быть успешно реализован перебором вариантов в заданном диапазоне значений с равномерным шагом. При интерпретации данных ВЭЗ даже для простого четырехслойного разреза количество искомых величин равно семи $\{\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4, h_1, h_2, h_3\}$, что требует существенно больших вычислительных затрат, не говоря уже о более реальных 5–6 слойных моделях. Таким образом, алгоритм перебора параметров по равномерной сетке для данной задачи явно не подходит. Поэтому для оптимизации вычислительного процесса целесообразно использовать более эффективный дискретный аналог, суть которого заключается в генерации случайных векторов параметров разреза, принадлежащих области допустимых значений $\{\rho_i^{min} < \rho_i < \rho_i^{max}, h_i^{min} < h_i < h_i^{max}\}$, процедурами типа Монте-Карло [4]. Для уменьшения количества возможных комбинаций в заданном коридоре значений параметров можно использовать дополнительный критерий, отсекающий варианты заведомо «далекие» от искомого решения. В качестве такого критерия может выступать суммарная продольная проводимость (суммарное поперечное сопротивление) или отклонение теоретической от экспериментальной кривой (невязка). Практическое применение вышеперечисленных критериев показало, что наиболее эффективным является относительное среднеквадратичное отклонение (СКО), так как обеспечивает близость теоретического и экспериментального полей, в то время как одинаковым суммарным параметрам могут соответствовать совершенно разные кривые ВЭЗ.

В табл. 1 приведены геоэлектрические параметры разреза (колонки 1 и 4), которые взяты в качестве модельного примера. В колонках 2, 3, 5, 6 приведены граничные значения интервалов, в пределах которых осуществляется поиск решения. Для простоты вычислений границы интервалов рассчитаны из условия, что минимальные значения составляют 30 % от истинных, а максимальные – 130 %. Границы интервала заведомо взяты ассиметрично относительно истинных вели-

чин, чтобы не создавать ложное впечатление, что полученные результаты являются «среднеарифметическим» от граничных значений.

Таблица 1

Исходные данные

№ слоя	ρ	ρ^{min}	ρ^{max}	h	h^{min}	h^{max}
	1	2	3	4	5	6
1	157	47,1	204,1	3	0,9	3,9
2	14,6	4,38	18,98	4	1,2	5,2
3	115	34,5	149,5	85	25,5	110,5
4	68,4	20,52	88,92	116	34,8	150,8
5	142	42,6	184,6	—	—	—

Для данного примера рассчитано 500 вариантов решения обратной задачи, для каждого варианта генерировалось 10^5 случайных комбинаций вектора параметров разреза. При этом, если СКО теоретической кривой, рассчитанной по случайно сгенерированным параметрам разреза, превышает заданное пороговое значение, то попытка не засчитывается и генерируется новый случайный вектор параметров разреза.

Для количественной оценки качества полученных результатов использованы несколько параметров:

1. Относительное среднеквадратичное отклонение рассчитанного и экспериментального (модельного) поля:

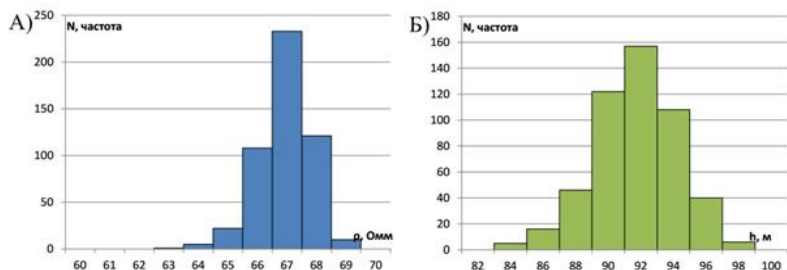
$$F = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\rho_i^{\mathcal{Q}} - \rho_i^P}{\rho_i^P} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \cdot 100; \quad 1)$$

2. Относительное отклонение полученных параметров разреза от истинных, где q – параметр разреза, сопротивление или мощность:

$$Q = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{q_i^* - q_i^{MOD}}{q_i^{MOD}} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \cdot 100; \quad 2)$$

3. Прогнозируемая точность решения обратной задачи ОЗ.

На рисунке приведены гистограммы для третьего слоя, на которых отражено распределение подобранных параметров разреза для рассчитанных 500 вариантов решения ОЗ. Гистограммы характеризуются компактным унимодальным распределением, что условно указывает на устойчивость метода при выборе оптимального решения среди большого количества эквивалентных вариантов.



Гистограммы распределения сопротивления (А) и мощности (Б) для четвертого слоя

В табл. 2 приведены обобщенные результаты решения обратной задачи. Колонки 1 и 3 отражают истинные параметры разреза, а в колонках 2 и 4 приведены средние значения по 500 вариантам решения. Из таблицы видно, что подобранные значения достаточно неплохо соответствуют исходным данным. Наиболее далекие от истинных значений параметры – это мощность 4 слоя и сопротивление пятого слоя. Средние значения параметров оценки точности решения составили: СКО – 7,7 %, относительное отклонение – 11 %, прогнозируемая точность – 25 %.

Таблица 2

Результаты решения обратной задачи

№ слоя	ρ	$\rho_{\text{ср}}$	h	$h_{\text{ср}}$
	1	2	3	4
1	157	145,8	3	2,9
2	14,6	13,4	4	3,3
3	115	114,9	85	75,1
4	68,4	67,4	116	92,7
5	142	128,4	—	—

Таким образом, метод минимизации эмпирического риска позволяет достаточно достоверно восстанавливать параметры многослойного разреза при одновременном поиске сопротивлений слоев и их мощностей в рамках заданной модели. Кроме того, алгоритм может быть модифицирован для работы не только с отдельной кривой зондирования, но и с серией кривых (профилем наблюдений) [4].

Литература

1. Балк П. И., Долгаль А. С., Балк Т. В., Христенко Л. А. Согласование конкурирующих вариантов интерпретации гравитационных аномалий методом минимизации эмпирического риска // Геоинформатика. 2015. № 4. С. 24–35.
2. Балк П. И., Долгаль А. С., Мичурин А. В. Смешанные вероятностно-детерминистские методы решения линейных обратных задач гравиметрии и магнитометрии // Геофизика. 2011. № 2. С. 20–29.
3. Балк П. И., Долгаль А. С., Мичурин А. В. Смешанный вероятностно-детерминистский подход к интерпретации данных гравиразведки, магниторазведки и электроразведки // Доклады Академии наук. Т. 438. № 4. 2011. С. 532–537.
4. Балк П. И., Долгаль А. С., Мичурин А. В., Тайницкий А. А., Христенко Л. А. Подавление знакопеременных помех при инверсии данных вертикального электрического зондирования // Вестник Пермского университета. Геология. 2016. Вып. 2 (31). С. 55–63.

А. Т. Урдабаев

ТОО «НПЦ "Казгеофизика"», г. Алматы, Казахстан

КОМПЛЕКСНОЕ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЛУБИННЫХ РУДНО-МАГМАТИЧЕСКИХ СТРУКТУР РУДНОГО АЛТАЯ С ЦЕЛЬЮ ОПТИМИЗАЦИИ ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛИМЕТАЛЛОВ

A. T. Urdabayev

LLP «SPC "Kazgeophysica"», Almaty, Kazakhstan

INTEGRATED GEOPHYSICAL MODELING OF DEEP ORE-MAGMATIC STRUCTURES OF THE RUDNY ALTAY FOR OPTIMIZATION OF POLYMETALLIC DEPOSITS PROSPECTING

В последние десятилетия в Рудно-Алтайской металлогенической провинции резко сократились объемы всех видов геофизических работ. Крайне мал также объем научных исследований, выполняемых

в регионе. В итоге добывающая горнорудная отрасль, находящаяся в частных руках, столкнулась с резким сокращением своей минерально-сырьевой базы.

Очевидно одно, что потенциал Рудного Алтая далеко не исчерпан и следует ожидать открытия новых крупных месторождений полиметаллов, золота, редких металлов при правильной постановке и проведении геологоразведочных работ (ГРП) с привлечением оптимально широкого комплекса геофизики.

Крайне малый объем региональных геофизических исследований, выполненных во времена бывшего Союза, и полное их отсутствие в течение последних десятилетий обусловили множество гипотез и представлений о природе и глубинном строении Рудного Алтая. Большинство этих гипотез выстраивается практически на умозрительном уровне без количественного трехмерного геолого-геофизического моделирования среды, тем более без анализа согласованности ее основных геофизических параметров.

Лишь в конце 1980-х и начале 1990-х годов совместными усилиями СРГЭ (г. Москва) и АэроГФЭ ПГО «Казгеофизика» (Казахстан) были выполнены комплексные глубинные геофизические исследования на геотраверсе «Алейский» (рис. 1), пересекавшем на протяжении 260 км территорию Казахстана и России в северо-западной части Рудного Алтая. Глубинный геолого-геофизический разрез Алейского профиля (рис. 2), построенный на структурно-скоростной основе ГСЗ-МОВЗ и геоэлектрического разреза ГМТЗ-МВЗ (Любецкий В. Н., Урдабаев А. Т., Каримов К. М., 1993), впервые позволил обосновать характер геодинамического сопряжения герцинских и каледонских структур Рудного Алтая по Иртышской зоне смятия.

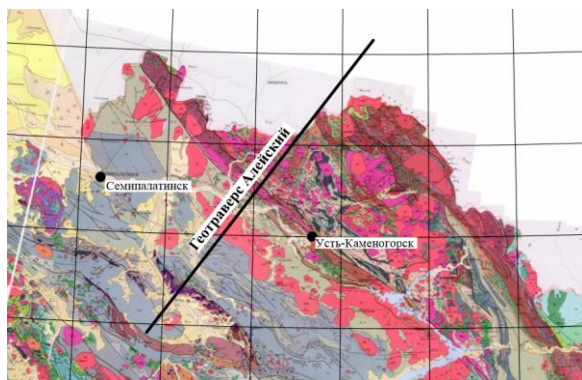


Рис. 1. Схема расположения геотраверса Алейский

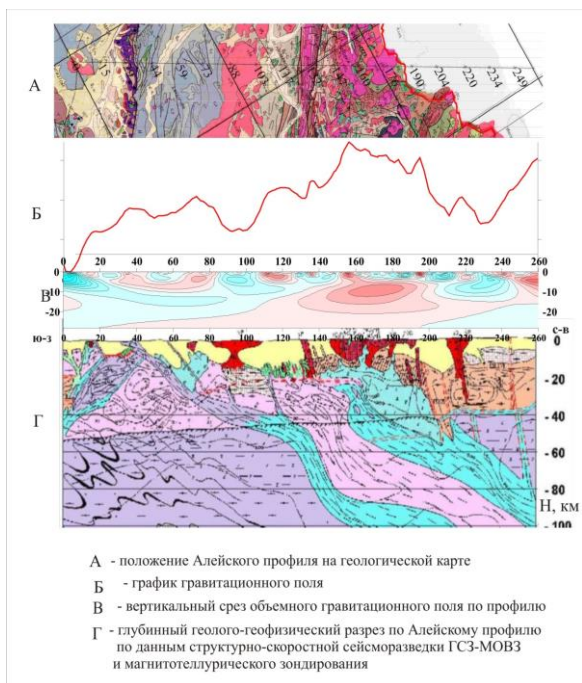


Рис. 2. Глубинный геолого-геофизический разрез земной коры по результатам комплексного моделирования данных ГСЗ-МОВЗ, МТЗ и гравиметрии (геотраверс Алейский, Рудный Алтай)

Очевидно, что по единственному профилю трудно составить и, тем более, обосновать геодинамическую модель региона в целом. Несмотря на это, нужно воспользоваться, по крайней мере, современными возможностями выделения аномалий на основе объемного (пространственного) моделирования геопотенциальных полей, глубинная привязка которых должна осуществляться априори с использованием глубинных зондирований, пусть даже и единичных на первом этапе исследований.

При этом существенно важным становится геологическая идея интерпретации результатов трехмерного распределения геопотенциальных полей, нацеливающая на конечный результат – выяснение позиции близповерхностного полиметаллического оруденения по отношению к глубинным геофизическим аномалиям, характеризующим структуру земной коры.

На примере колчеданно-полиметаллических месторождений Рудно-Алтайской металлогенической провинции академиком Абдрах-

мановым К. А. [1] была предложена порфи́ро-вулканическая короманти́нная рифтогенно-о́краинно-континентальная модель рудообразования. Важным элементом этой модели является короманти́нное взаимодействие, которое обеспечивалось погружением континентальной коры в мантийную очаговую зону в виде валообразного диапира, контактирования основной магмы силикатическим веществом, образование вторичного порфи́рового магматического расплава в парагенезе с рудной флюидно-сульфидной системой. Порфи́ровый расплав поднимался вверх к поверхности вдоль коровых разломов, по которым происходило погружение континентальных блоков в мантийную очаговую область. Порфи́ровый вулканизм сопровождался подъемом и внедрением флюидно-рудных растворов, ответственных за формирование колчеданно-полиметаллических месторождений.

Глубинные коровые разломы, а также интрузии ультракислых порфи́ров, как главные факторы полиметаллического рудообразования, хорошо фиксируются в гравитационном поле и контролируются тонкой структурой последнего. Стандартные подходы с целью выделения полезной составляющей гравитационного поля до недавнего времени не были успешными, поскольку целенаправленным комплексным количественным анализом геофизических данных с учетом современных геотектонических концепций казахстанские геофизики практически не занимались.

В настоящее время имеется возможность использования современной цифровой базы гравиметрии, магнитометрии, глубинной сейсмографии (по В. И. Шацкову), магнитотеллурики (МТЗ), а также передовой геофлюидодинамической теории формирования месторождений по П. Ф. Иванкину и Абдрахманову К. А. с целью выявления и обоснования новых перспективных площадей, особенно на перекрытых территориях. Оптимальная комплексность исследований (особенно геофизических, поскольку геологические методы давно уже себя исчерпали в смысле разведочной глубинности исследований) должна, в конечном итоге, привести к открытию крупных месторождений с концентрированным содержанием полиметаллов.

При комплексной интерпретации в гравитационном, магнитном, тепловых полях, структурно-скоростных и геоэлектрических разрезах находят отражение основные элементы геодинамики, контролирующее распределение основных типов месторождений. Например, одним из методов изучения разрывной тектоники является новая методика анизотропных преобразований полей. Она позволяет обрабатывать цифровые данные с выделением протяженных зон максимумов, минимумов, либо градиентов геопотенциальных и тепловых полей. При

этом аномалии от таких зон уверенно выделяются даже на фоне помех, соизмеримых по амплитуде с самой аномалией. Обработка данных гравитационных, магнитных и тепловых полей с применением этой методики позволяет получать важную информацию о рудоконтролирующих элементах структур.

Детальная апробация методики расчета объемного распределения гравитационного поля в условиях Рудного Алтая выполнена в отдельных рудных полях (рис. 3). Предварительно выявлена приуроченность рудолокализаций к переходной части от минимумов поля к максимумам, или иначе к контактам интрузий, скорее всего, ультракислого состава (порфиров?).

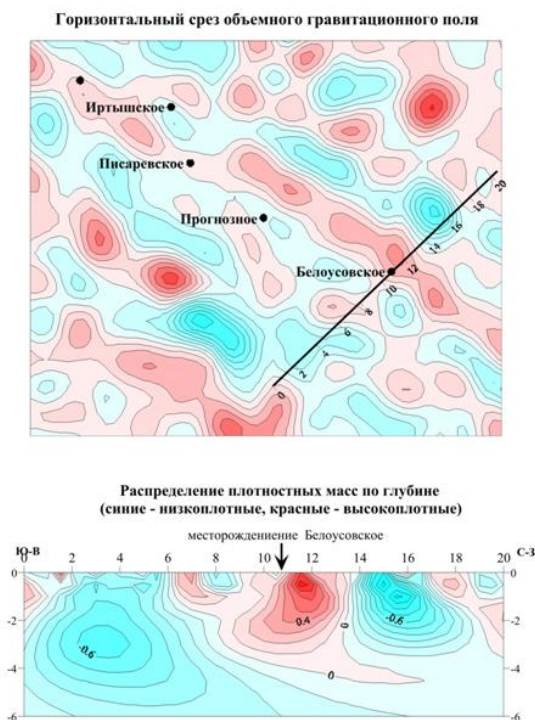


Рис. 3. Объемное гравитационное поле Белоусовского рудного поля

Глубинная геодинамическая модель региона, составленная на основе согласованных объемных геофизических полей, должна быть тщательно увязана с уже имеющимися материалами близповерхност-

ной геологии, поскольку на большей, открытой его части, геологический разрез изучен и опоискован детально. На этой стадии работ усилия геологов-съемщиков, геофизиков и геохимиков должны быть системно координированы. Было бы логично при этом объединить научно-производственный потенциал сопредельных государств (Казахстана, России и Китая), поскольку обсуждаемая технология ГРР неразрывно связана с целесообразностью построения единой геодинамической модели для всего Большого Алтая.

И, наконец, на втором, поисково-оценочном этапе, учитывая сложнопереесеченную местность и высокоомные геоэлектрические условия Рудного Алтая, а также современные достижения в области аппаратурно-технических и программно-математических средств, рекомендуется включить в комплекс геофизических работ электроразведку методами аудимагнитотеллурического зондирования (АМТЗ) в диапазоне частот 0,05–5 кГц и точечное зондирование методом вызванной поляризации в варианте нормированной дифференциальной поляризуемости (ТЗ-ВП-ДП).

Метод ТЗ-ВП-ДП является инновационным и опробован на многочисленных месторождениях и рудопроявлениях полиметаллических, железо-марганцевых и марганцевых руд в Атасуйском рудном районе (рис. 4). Основная задача – разбраковка рудных и, зачастую,

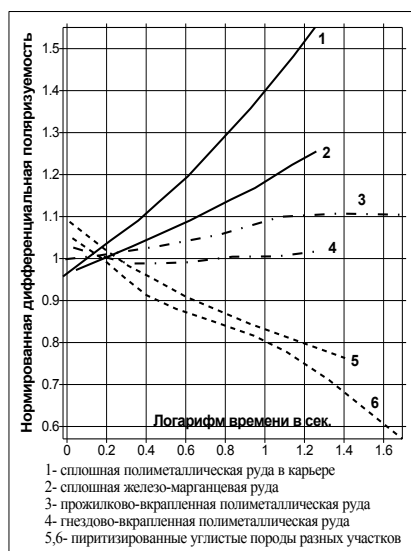


Рис. 4. Типичные графики дифференциальной поляризуемости в Атасуйском рудном районе

более интенсивных нерудных аномалий, связанных с пиритизированными углисто-кремнисто-глинистыми породами девон-карбона. Результаты разбраковки практически однозначны: искомые концентрированные рудные объекты распознаются однозначно на фоне интенсивных аномалий-помех ВП от зон пиритизаций, углистых пород, пресной воды и т.п.

В качестве дополнительного эффективного параметра локального прогноза полиметаллических месторождений следует опробовать тепловое поле детальных наземных и аэросъемок.

Выводы

Проблема изучения глубинного строения Рудного Алтая (и других металлогенических провинций) с целью прогноза и поисков месторождений полиметаллического сырья должна решаться на основе комплексной трехмерной количественной интерпретации геофизических материалов с привлечением известной близкповерхностной геологии и принципиального совершенствования на этой основе тектонической модели региона с выделением участков, перспективных на обнаружение крупных месторождений с концентрированным содержанием полиметаллов.

Геофизические работы на территории Рудного Алтая (и других металлогенических провинций) необходимо провести в два этапа:

1. На первом этапе целесообразно создание сети геотраверсов типа Алейского профиля с целью построения глубинной геодинамической модели Рудного Алтая на основе данных глубинных сейсмо- и магнитотеллурических зондирований, гравитационной, магнитной и тепловой томографии и определения позиции известных рудных полей и месторождений по отношению к глубинным структурам земной коры. Главным результатом первого этапа является геолого-геофизическое обоснование выбора площадей для постановки поисково-оценочных работ;

2. В комплекс работ второго, поисково-оценочного этапа рекомендуется включить следующие геофизические методы:

- аудимагнитотеллурическое зондирование (АМТЗ) в диапазоне частот 0,05–5 кГц;

- точечное зондирование методом вызванной поляризации в варианте нормированной дифференциальной поляризуемости (ТЗ-ВП-ДП);

- высокоточную гравиметрическую, магнитную и тепловую томографию.

Литература

1. *Абдрахманов К. А.* Связь крупных и уникальных месторождений с металлогеническими эпохами особого типа магматизма, геодинамики и рудогенеза // *Науки о Земле в Казахстане*. Алматы, 2012. С. 65–73.
2. *Бекжанов Г. Р.* Основные этапы изучения Алтая. Итоги и задачи. // *Большой Алтай – уникальная редкометалльно-золото-полиметаллическая провинция Центральной Азии*. Алматы, 2012. С. 11–17.
3. *Урдабаев А. Т.* Современные возможности поисков месторождений полиметаллов комплексом геофизических методов // *Материалы Международной конференции «Большой Алтай – уникальная редкометалльно-золото-полиметаллическая провинция Центральной Азии»*. Алматы-Усть-Каменогорск, 2010. С. 172–174.
4. *Urdabayev A. T., Atuov R. K.* State-of-the-art capabilities in mining the polymetallic deposits using complex of geophysical methods // *Materials of the 34th International Geological Congress*. Brisbane, Australia, 2012.

А. А. Филимончиков

Пермский государственный национальный
исследовательский университет, г. Пермь

ЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В СЛОЖНЫХ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

A. A. Filimonchikov

Perm State University, Perm

ELECTRICAL EXPLORATION IN DIFFICULT GEOENGINEERING CONDITIONS

На всех стадиях строительства, эксплуатации, ликвидации зданий и сооружений необходимым является проведение инженерно-геологических изысканий, в состав которых, согласно нормативным документам, входят геофизические исследования. Особое значение геофизические методы имеют, когда требуется получение оперативной информации об изменении свойств и строения геологического разреза в сложных инженерно-геологических условиях. Поэтому ведущее положение при оценке инженерно-геологических условий продолжают занимать методы электрометрии постоянного тока.

В статье приводятся методики электроразведочных исследований для оценки сложных инженерно-геологических условий на участках переходов сооружений через водные преграды, при оценке пер-

© Филимончиков А. А., 2017

спективности месторождений грунтовых строительных материалов и определении величины заглубленной части фундаментов зданий и сооружений. Актуальность обусловлена необходимостью оперативного решения наиболее часто встречающихся в рамках современной производственной деятельности специфических задач, когда возможности прямых методов исследований ограничены.

При исследовании водных переходов перед геофизиками ставятся следующие задачи: выявление особенностей строения геологического разреза с последующей постановкой буровых работ; уточнение свойств и прослеживание литологических границ в межскважинном пространстве; изучение морфологии дна; локация продуктопровода в пространстве; определение характеристик, необходимых для проектирования электрохимической защиты.

В ходе моделирования и опытно методических работ установлено, что представленные задачи могут успешно решаться по методике с применением вертикального электрического зондирования (ВЭЗ), при проведении наблюдений со дна и с поверхности водоемов. Доказано, что при малоглубинных изысканиях применение донных наблюдений повышает разрешающую способность исследований и дает преимущество при выполнении работ в зимний период времени (рис. 1, а, б). Показана эффективность применения 3D инверсии при постановке буровых работ и необходимость использования аппарата 1D интерпретации при расчленении тонкослоистого разреза донных отложений на стадии истолкования с учетом результатов бурения (рис. 1, в, г).

Ключевым моментом представленной методики электроразведочных исследований является ее стадийность:

- проведение наблюдений со дна и с поверхности водоема;
- экспресс интерпретация с применением аппарата 3D инверсии;
- постановка буровых работ;
- построение окончательной геоэлектрической модели среды в системе 1D интерпретации[1].

При решении задач оценки перспективности месторождений грунтовых строительных материалов требуется районирование территории, определение петрофизических характеристик отложений, распространение их по площади и подсчет объемов встреченных грунтов. Задача достаточно оперативно решается с применением метода ВЭЗ и методики лабораторного определения удельных электрических сопротивлений (УЭС) образцов дисперсных грунтов.

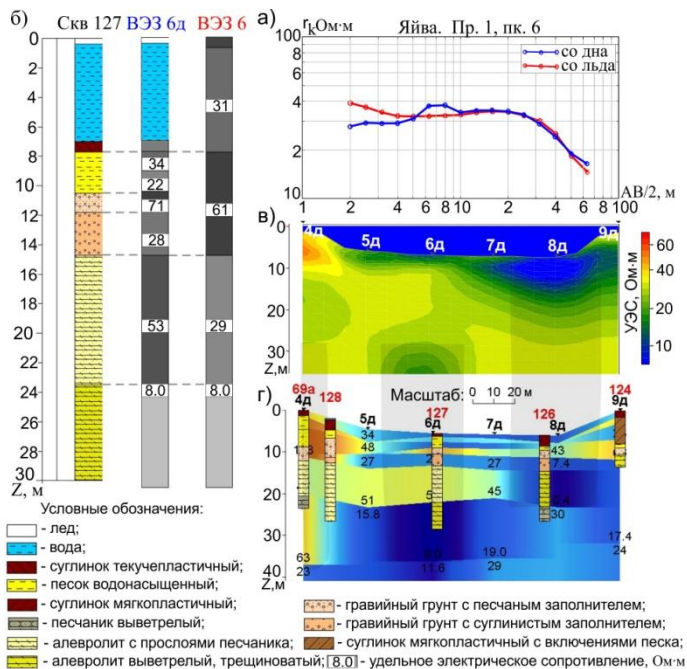


Рис. 1. Результаты электроразведочных исследований на участке водного перехода через реку Яйву: а – кривые кажущихся сопротивлений, б – количественная интерпретация параметрических ВЭЗ, в – геоэлектрическая модель среды по итогам 3D, и г – 1D инверсии

Экспресс методика определения УЭС заключается в использовании микроустановки Шлюмберже, размеры которой выбраны исходя из наиболее часто встречающихся размеров проб грунтов. В ходе математического и физического моделирования установлена погрешность определения УЭС в зависимости от геометрических размеров образцов грунтов, изучено влияние анизотропии на результаты измерений (рис. 2, а, б). Показана эффективность использования методики в полевых и лабораторных условиях, и возможность определения УЭС образцов ненарушенной структуры (парафинированных монолитов) и рядовых проб.

При оценке перспективности месторождений грунтовых строительных материалов также рекомендуется соблюдение стадийности исследований по следующей методике:

- проведение полевых электроразведочных наблюдений;

- постановка буровых работ;
- определение УЭС образцов грунтов и их петрофизических характеристик с учетом лабораторных исследований (рис. 2, в);
- построение окончательной геоэлектрической модели среды, распространение выявленных зависимостей по площади, подсчет объемов грунтов и оценка запасов (рис. 2, г) [2].

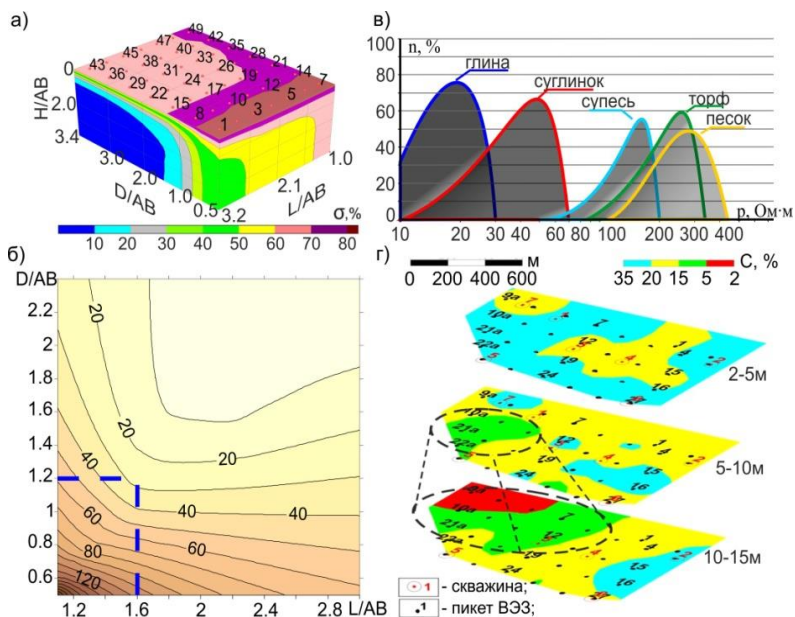


Рис. 2. Оценка перспективности грунтовых строительных материалов (на примере участка Протозановского нефтяного месторождения): а – погрешность определения УЭС от размеров образца по результатам математического, б – физического моделирования, в – распределение УЭС дисперсных грунтов Протозановского месторождения, г – карты процентного содержания глинистого материала одного из участков

Методика определения величины заглубленной части фундаментов зданий и сооружений заключается в использовании электрического каротажа в параллельно пробуренной скважине и позволяет выполнять измерения без проведения вскрытия.

В ходе математического, физического моделирования и опытно-методических работ определен вид установки и оптимальные размеры зонда, необходимое расстояние от фундамента до выработки и интер-

прегационные критерии в условиях однородных и двухслойных сред (рис. 3). Определено, что полезный сигнал при измерении трехэлектродными установками представлен двумя максимумами различной амплитуды. Максимум с большей амплитудой прием в качестве основного, с меньшей – назовем дополнительным. Величина аномального эффекта зависит от различных факторов и составляет порядка 100 % для основного максимума при удалении скважины на расстояние длины зонда. Величина второго (дополнительного) максимума несколько меньше.

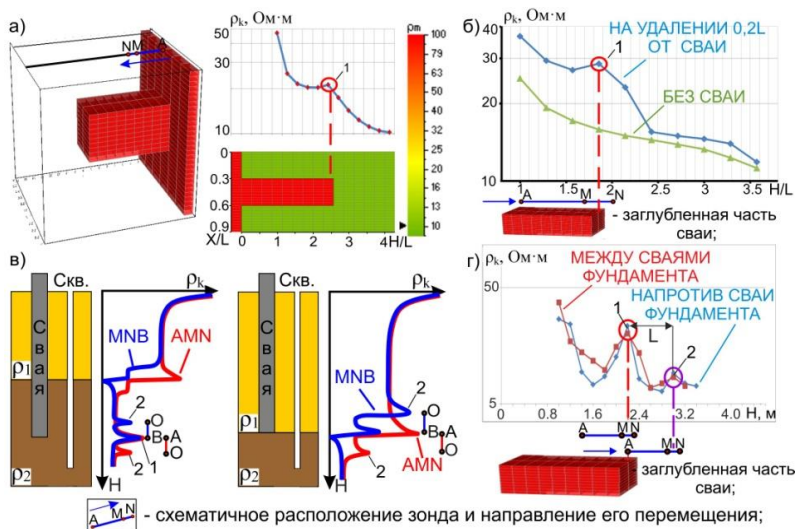


Рис. 3. Определение величины заглубленной части сваи по результатам: а – математического моделирования, б – физического моделирования в однородной и в – двухслойной среде, г – опытно-методических работ; 1 – основной максимум, 2 – дополнительный максимум, L – длина зонда

Установлено, что в простых геологических условиях (в средах, близких по строению к однородным) рассматриваемый метод дает однозначные результаты, величина заглубленной части фундамента определяется по положению основного максимума. В слоистых контрастных средах наиболее оптимальной и информативной методикой скважинных наблюдений методом сопротивлений является комбинированное электропрофилирование встречными установками AMN и MNB. В качестве критериев интерпретации следует использовать экс-

тремумы графиков профилирования, обладающие соответствующей величиной аномального эффекта [3, 4].

Рассмотренные методики электроразведочных исследований успешно опробованы и подтверждены результатами опытно-методических, производственных работ и технической документацией. С их помощью исследованы водные переходы инженерных сооружений через реки Яйву, Колву, Ухту, Печору; оценена перспективность грунтов семи нефтяных месторождений Западной Сибири (Протозановского, Тальцийского, Северо-Тамаргинского, Косухинского, Северо-Тямкинского, им. Малыка, Западно-Эпасского); определены величины заглубленной части фундаментов инженерных сооружений одной из промышленных площадок ООО «ЛУКОЙЛ-Пермнефтеоргсинтез».

Литература

1. Татаркин А. В., Филимончиков А. А. Возможности 3D-инверсии данных электрических зондирований в условиях акваторий // Геофизика. 2014. № 5. С. 21–25.
2. Филимончиков А. А., Татаркин А. В., Гилева М. И. Оценка перспективности месторождений грунтовых строительных материалов методами электротометрии // Записки Горного института. 2015. Т. 212. С. 130–134.
3. Татаркин А. В., Голубев К. В., Филимончиков А. А. Определение методами электротометрии характеристик фундаментов при реконструкции и строительстве зданий и сооружений // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2013. № 5. С. 30–32.
4. Филимончиков А. А. Физическое моделирование электрических полей для определения глубины залегания свайного фундамента в двухслойной среде // Геофизика. 2016. № 5. С. 19–22.

ПРИМЕНЕНИЕ ОПТОВОЛОКОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СКВАЖИННОЙ ГЕОФИЗИКЕ

D. G. Khalilov
Kogalymneftegeofizika, Kogalym

APPLICATION OF THE OPTICAL FIBER TECHNOLOGIES IN BOREHOLE GEOPHYSICS

Оптические волокна нашли своё применение, как в быту, так и во многих производственных отраслях. Научные закономерности, применимые к данному объекту, сформировавшиеся преимущественно из эмпирических методов его изучения, позволяют внедрять и совершенствовать методы множества научных областей. Один факт того, что оптоволоконно одновременно позволяет регистрировать и передавать информацию, явно показывает его преимущество перед стандартными регистрирующими системами. Список задач решаемых с помощью оптоволоконна, в частности в нефтяной отрасли, захватывает такие направления как: контроль за разработкой нефтяных и газовых скважин, эксплуатация скважин, мониторинг прострелочно-взрывных работ, выявление опасного состояния на участках производственных объектов и т.п. Основу интерпретации физических процессов составляет термометрия [1]. В случае с оптоволоконном выделяется целостная картина скважинной среды. Регистрируются скрытые эффекты, которые не всегда проявляются при исследованиях стандартными геофизическими приборами (к таковым относят дополнительные аномалии при компрессировании).

Принцип работы оптоволоконна основан на регистрации обратного излучения, проходящего через него, и его частотных компонент (рис. 1). Физические воздействия на оптоволоконно вызывают вибрации в молекулярной решётке, меняя характеристики сигнала обратного отражения.

Как и для любого физического метода, важной характеристикой для оптоволоконной термометрии является разрешающая способность. При проведении исследований в скважинах: длина профиля до 3500–4000 м, важна детальность регистрации. Стандартный шаг дискретизации для кабельных промыслово-геофизических исследований (ПГИ) составляет 0,1 м. Особенность оптоволоконна состоит в том, что значе-

Входное излучение с частотой (ν_0)

Рэлеевское рассеяние с частотой (ν_0)

Бриллюэновское рассеяние с частотой ($\nu_0 \pm \alpha$)

Рамановское рассеяние с частотой ($\nu_0 - \beta$)

Рамановское рассеяние с частотой ($\nu_0 + \beta$)

$\alpha = n \times 10 \text{ ГГц}$
 $\beta = n \times 10 \text{ ТГц}$

Интенсивность

Частота оптического излучения

На качественном уровне требование, выдвигаемое к разрешающей способности, состоит в возможности различить (выделить) два близкорасположенных аномалиеобразующих объекта.

212

Предельные условия работы оптоволоконна во многом определяют диапазон направлений, в которых оно может успешно использоваться. Отрицательные факторы (деформация тела, влияние излишнего ионизирующего излучения) способны необратимо и моментально сделать датчик нефункциональным. Но куда более важны долгосрочные факторы: температура и давление. На рис. 3 представлены диаграммы изменения уровня при работе насоса [4].

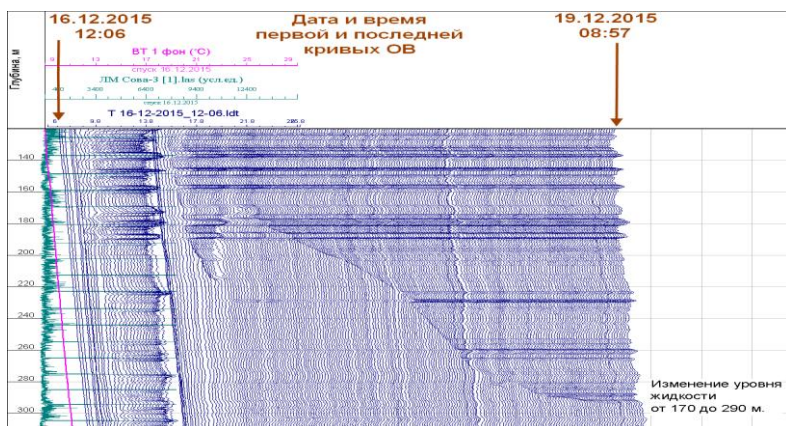


Рис. 3. Данные скважинной термометрии

Испытания, проведенные ООО «Пермгеокабель» с оптоволоконном, согласно которым материал должен был выдержать температурное воздействие в 800 °C в течение 5 часов, показали хорошие результаты. Оптоволоконно функционировало в течение 4 часов, показывая адекватные данные на периферии, не подверженной огневому воздействию, до разрушения (рис. 4).

В качестве одной из неосвоенных возможностей оптоволоконна существует вариант его использования в качестве целостного датчика термокондуктивного дебитомера. Лабораторный вариант оптоволоконного термодебитомера компании ООО «Пермгеокабель» представляет собой катушку, смотку двойного кабеля, первая линия которого заполнена токопроводящим элементом, предназначенным для разогрева среды, а вторая – оптоволоконным датчиком, для регистрации температуры. Витки катушки огибают цилиндрическое тело, сохраняя длину каждой окружности в среднем в 300 мм, при паспортной разрешающей способности оптоволоконной станции в 125 мм.

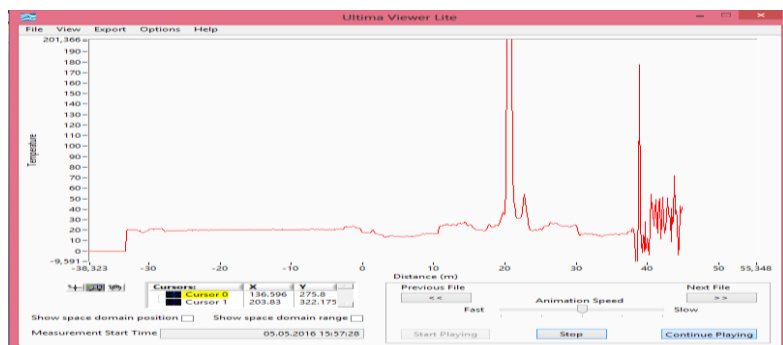


Рис. 4. Регистрация огневых испытаний оптоволокна

На графике (рис. 5) при временно-глубинной регистрации процесса охлаждения одной половины установки вентилятором заметна частотная аномалия (красная кривая), подтверждающая глубинный (пространственный) диапазон работы ОВ-станции. При развороте установки на 180° произойдёт смена фаз амплитуд аномалий температуры (синяя кривая).

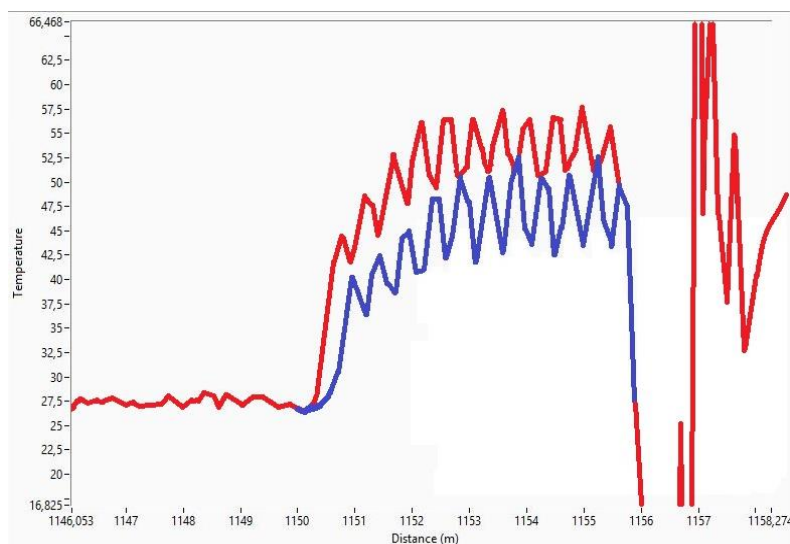


Рис. 5. Термограммы термоанемометра

Оптоволокно также может использоваться в качестве распределённого датчика шумомера. Исследования в данном направлении ведутся компаниями Silixa и Геооптикс. Не остаётся без внимания и возможность работы с оптоволоконными датчиками путём регистрации излучения на решётках Брэгга. Применяемые успешно в медицинских и социально-бытовых целях оптоволоконные технологии также продолжают совершенствоваться.

Оптоволоконные технологии на данном этапе развития, имея широкий диапазон применения во всех областях науки, продолжают оставаться неизученными, оставаясь в разряде экспериментальных. Накопленные эмпирическим путём данные способствуют формированию закономерностей для научных дисциплин, связанных с оптоволокном и установлению теоретических подходов к решению различного рода задач.

Литература

1. *Дмитриев А. Л.* Оптические системы передачи информации: Учебное пособие. СПб: СПбГУИТМО, 2007. 96 с.
2. <https://silixa.com>.

Г. А. Цветков^{1,2}, А. В. Шумилов^{2,3}, П. Р. Ширяев¹, Шао Цайжуй⁴

¹ Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, г. Пермь

² Пермский государственный национальный
исследовательский университет, г. Пермь

³ ПАО «Пермнефтегеофизика», г. Пермь

⁴ Китайский нефтяной университет (Восточный Китай), г. Циндао

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КАРОТАЖНЫХ ПРИБОРОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПЛАСТА В ПРОЦЕССЕ БУРЕНИЯ СКВАЖИН (LWD)

G. A. Tsvetkov^{1,2}, A. V. Shumilov^{2,3}, P. R. Shiryaev¹, Shao Cairui⁴

¹ Perm National Research Polytechnic University, Perm

² Perm State University, Perm

³ Permneftegeofizika, Perm

⁴ China University of Petroleum (East China), Qingdao

DEVELOPMENT OF THE LOGGING WHILE DRILLING (LWD) TOOLS FOR DOWNHOLE FORMATION RESISTIVITY MEASUREMENTS

При горизонтально-направленном бурении важным параметром, определяемым в процессе бурения, является относительный угол наклона θ (угол в вертикальной плоскости между осью буровой колонны и границей формации). Распространенным способом является каротаж во время бурения (до начала бурения проводятся геофизические изыскания, каротаж во время бурения лишь дополняет и уточняет ранее полученную информацию). Определение мощности и характера залегания пласта в режиме реального времени является ключевым моментом обновления стратиграфической модели.

Ранее считалось, что определение трех параметров горизонтального сопротивления пласта, вертикального сопротивления и относительного угла наклона (между осью скважины и нормальной плоскостью формации) – невозможно. В настоящее время существуют приборы позволяющие определять эти три параметра одновременно [1], основными элементами которых являются передающие и принимающие антенны. Однако приборы, которые не могут одновременно определять вертикальное сопротивление и относительный угол наклона, также основаны на использовании антенн, передающих и принимающих сигнал. Отличие нового прибора состоит в том, что прини-

мающие и передающие антенны расположены на непараллельных плоскостях, в результате чего исчезает функциональная связь между вертикальным сопротивлением и относительным углом наклона.

Влияние установки антенн по углу на точность каротажного прибора

Ошибка в установлении угла приведет к ошибке в измерении амплитуды принимаемого сигнала, которая вызовет ошибку в определении сопротивления пласта. Основная проблема, стоящая перед разработчиками, состоит в необходимости обеспечения качественных измерений в различных породах. Определение вертикальной и горизонтальной проводимостей пласта, а также относительного угла наклона производится с высокой частотой во все время бурения скважины.

В работе представлен новый способ, позволяющий одновременное определение относительного угла наклона, вертикальной и горизонтальной электрических проводимостей. Для этого используются приемо-передающие антенны (рис. 1), установленные на непараллельных плоскостях. Непосредственное измерение модуля напряжения на приемной антенне не позволяет определить угол θ , для определения нужна фильтрация. Вследствие постоянных колебаний бурильной колонны, возникающих в процессе бурения, угол θ постоянно изменяется, что позволяет применить для его определения скользящее сглаживание напряжения на приемной антенне. Из-за отличия реального угла между приемной и передающей антенной от расчетного возникает ошибка определения угла θ . При погрешности установки антенн в $0,1^\circ$ ошибка определения θ имеет вид, показанный на рис. 2.

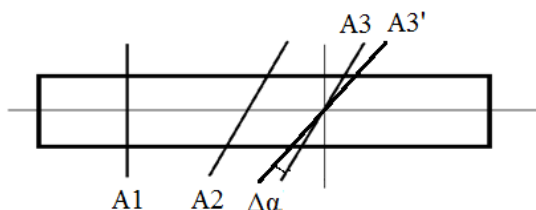


Рис. 1. Схема расположения антенн

Соотнося величины напряжений, содержащих истинную информацию и ошибочную, можно сделать вывод, что рассогласование антенн на $0,1^\circ$ приводит к появлению погрешности определения угла θ

примерно в 1 %. Последствия неправильного определения навигационных параметров описаны в работах [2, 4].

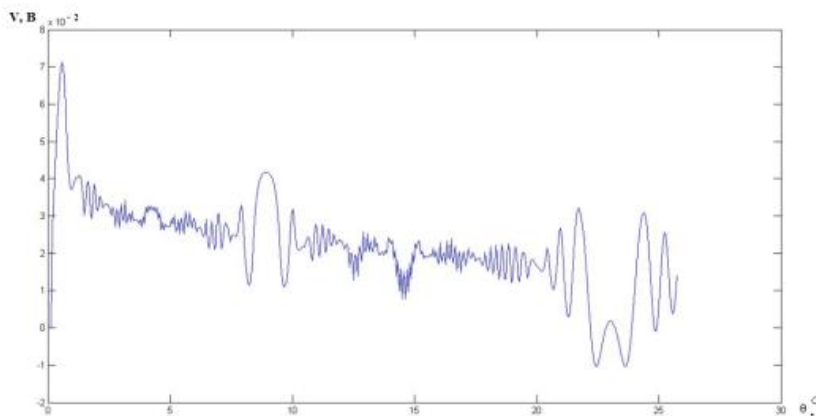


Рис. 2. Ошибка определения угла θ

При построении систем навигации, подобных описанной, следует учитывать рассогласование антенн и компенсировать его. Реакция каротажного прибора на изменение электрического сопротивления в разных литолого-стратиграфических условиях достаточно изучена методом прямого моделирования и используется для определения границ пласта [5].

Рассмотрены существующие каротажные приборы, использующие три пары приемо-передающих антенн для определения вертикальной и горизонтальной проводимостей пласта и угла, измеряемого в вертикальной плоскости, между продольной осью бурильной колонны и пластом (относительного угла наклона). Особенностью приборов, определяющих три описанных параметра, является разворот одной пары приемо-передающих антенн относительно других антенн на некоторый определенный угол. Обнаружено, что погрешность разворота антенн, их азимутальное рассогласование относительно друг друга не измеряется и не компенсируется.

Модернизация существующего каротажного прибора и разработка технологии повышения точности геонавигации

В приведенной модели [1] не учитывается, что угол разворота антенн определен с ошибкой $\Delta\alpha$. На рис. 1. показано: положение антенны АЗ, в котором она должна находиться, АЗ' – положение антенны, в котором находится с учетом $\Delta\alpha$ – угла рассогласования между

этими положениями (угловое рассогласование установочных площадок под антенны).

Особенностью рассматриваемого прибора является то, что одна или две приемо-передающие антенны развернуты относительно оси бурильной колонны на некоторый угол α , благодаря этому система уравнений позволяет определить вертикальную и горизонтальную электрическую проводимость пород и относительный угол наклона.

В приведенной модели не учитывается, что угол разворота антенн определен с ошибкой $\Delta\alpha$. С помощью метода варьирования малого параметра получим модель ошибки напряжения на приемной антенне. Разработана математическая модель погрешности в определении относительного угла наклона в зависимости от значения погрешности разворота антенн. Погрешность угла разворота антенн равна 0,001 рад или 0,0573°.

На рис. 3 по оси абсцисс отложен относительный угол наклона (рад), а по оси ординат – погрешность (В). Из графика видно, что вносимая погрешность имеет нелинейный характер и зависит от угла наклона (относительный угол наклона на графике отмечен в радианах). На графике можно выделить два монотонных участка (на них значение погрешности линейно возрастает), на которые наложены высокочастотные колебания. Случайная составляющая имеет разную амплитуду при разных относительных углах наклона, а сама погрешность при различных углах наклона имеет разный знак.

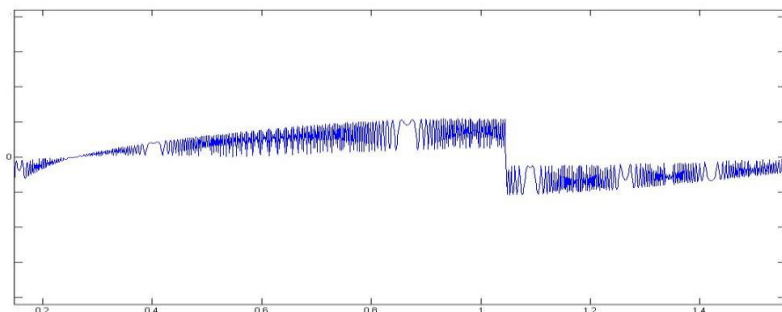


Рис. 3. Вид вносимой погрешности

Неучтенная погрешность в угле разворота антенн может приводить при бурении к снижению качества проводки, увеличению риска поломки оборудования, аварии из-за того, что каротажный прибор бу-

дет неправильно определять относительный угол наклона, знание которого необходимо в процессе геонавигации для движения по пласту-коллектору и для движения сквозь пласты формации. Для компенсации описанной погрешности нужно перед началом использования каротажного прибора провести точное измерение угла разворота антенн, калибровку прибора и сравнить полученное значение с тем, которое заложено в алгоритмах работы прибора. В алгоритмы, описанные в работе [1], нужно вводить поправку, соответствующую погрешности угла разворота антенн. Определение (оценку) погрешности разворота антенн можно проводить с помощью метода, изложенного в работах [3, 4].

Проведенное моделирование [2] показало, что погрешность носит нелинейный характер и зависит не только от погрешности разворота антенн, но и от истинного значения относительного угла наклона. Чтобы погрешность разворота антенн не вносилась в общую погрешность каротажного прибора, нужно измерять действительный угол разворота антенн, пространственные угловые отклонения, углы азимутального рассогласования. Определение вертикальной и горизонтальной проводимостей пласта, а также относительного угла наклона производится с высокой частотой во все время бурения скважины. На протяжении всего времени бурения ошибка разворота антенн снижает точность измеряемых параметров. Погрешности в определении этих параметров могут привести к уходу от запланированной траектории, что потребует дополнительных расходов для возвращения на заданную траекторию, а в некоторых случаях погрешности измерительных приборов приводят к авариям.

Заключение

На основании проведенных исследований выявлены закономерности, позволяющие обоснованно подходить к проектированию каротажных приборов, обеспечивающих качественное измерение горизонтального сопротивления пласта, вертикального сопротивления и относительного угла наклона (между осью скважины и нормальной плоскостью формации). Для уменьшения погрешности каротажного прибора необходимо определить разницу между действительным углом разворота антенн и тем значением, которое используется в алгоритме нахождения проводимостей формации и относительного угла наклона. Разница между этими углами после введения ее в алгоритм компенсирует описанную погрешность, что позволит повысить точность каротажа.

Литература

1. Патент US 7948238 B2. Elektromagnetik wave resistivity tool having tilted anicuna for determining properties of earth formations, 2011.
2. Патент RU 2495374 C1. Устройство для измерения пространственных угловых отклонений // Цветков Г. А., Утробин Г. Ф., Федорова Е. А. 2012.
3. *Цветков Г. А., Ширяев П. Р.* Повышение точности бурения наклонно-горизонтальных скважин путем совершенствования каротажных приборов // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. Пермь, ПГНИУ, 2015. С. 260–265.
4. *Цветков Г. А., Хижняк Г. П., Шумилов А. В., Черных И. А.* Оценка точностных характеристик параметров контроля угловых отклонений установочных площадок начальной ориентации тилтметров при проведении гидро-разрыва пласта // Нефтяное хозяйство, 2014. С. 114–117.
5. Управление риском в бурении / У. Алдрид и др. «Нефтегазовое обозрение». М., 2001. С. 2–4; Вестник ПНИПУ «Геология. Нефтегазовое и горное дело», 2014. Вып. 13. С. 26–37

А. С. Чухлов

ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ», г. Пермь

ВОЗМОЖНОСТИ СОВРЕМЕННОГО ОТЕЧЕСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ РЕШЕНИИ ГЕОЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ»

A. S. Chukhlov

LUKOIL-PERM, Perm

THE OPPORTUNITIES OF MODERN DOMESTIC COMPLEX OF GEOPHYSICAL METHODS FOR SOLVING GEOLOGICAL AND TECHNOLOGICAL PROBLEMS IN THE FIELDS OF «LUKOIL-PERM»

Необходимость разработки залежей углеводородов, приуроченных к сложным типам коллекторов, в общем балансе запасов углеводородов продолжает постоянно возрастать. Для нефтяных месторождений Пермского края характерен разрез с коллекторами со сложной структурой пустотного пространства. Возникла потребность в геофизических методах, способных выделять коллекторы в низкопористой части разреза, выделять дополнительные пропластки для увеличения

продуктивности скважин и включения в разработку коллекторов со сложной структурой порового пространства.

В современных условиях импортозамещения высокая роль отводится возможностям отечественных сервисных геофизических предприятий проявить свои возможности для записи и интерпретации расширенного комплекса ГИС. ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ» поддерживает заинтересованность подрядных геофизических организаций в освоении новейших методов ГИС, реализованных в аппаратуре производства РФ.

Для решения задачи по определению коллекторов в низкопористой части разреза, выделению дополнительных пропластков для увеличения продуктивности скважин и включения в разработку коллекторов со сложной структурой порового пространства по опытно-промышленным работам предлагалось использовать методы высокочастотного акустического сканирования (аппаратура САС-90 производства ОАО НПФ «Геофизика», г. Уфа) и электрического микросканирования (аппаратура КарСар МС-110 ООО «КарСар», г. Саратов).

Ниже рассмотрим эффективность и целесообразность использования каждого из методов.

Скважинное электрическое микросканирование

Скважинный электрический микросканер КарСар МС-130 (ЭМС) предназначен для исследования скважин и получения изображения развертки стенки скважины методом электрических сопротивлений с целью определения наклона пластов, расположения трещин, структуры осадочных пород (тектоника), исследования тонкослоистых структур (стратиграфия).

Изображения ЭМС представляют визуальную картину, отображающую изменение удельного электрического сопротивления (УЭС) пластов вблизи стенки скважины в зависимости от ее пористости, литологического состава и структуры пластов, наличия трещин и каверн. Более светлый тон изображения соответствует более высокому УЭС, темный – низкому УЭС породы.

За 2016 г. было проведено 6 исследований аппаратурой КарСар МС-130. В 2017 г. исследования были согласованы со специалистами ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ» и за первое полугодие было проведено 18 исследований.

По результатам обработки и интерпретации данных ЭМС, по имиджам и контрасту сопротивлений были выделены границы пластов, трещин, определены углы наклона и азимуты падения. По каждому стратиграфическому объекту строятся гистограммы и диаграммы

Шмидта (рис. 1). Из диаграммы можно сделать вывод о преобладании азимутов падения пластов на исследуемом интервале.

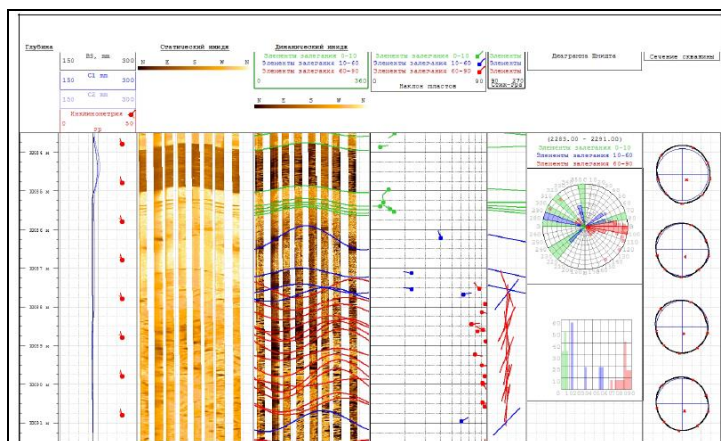


Рис. 1. Пример определения наклона пластов и выделения трещин по данным ЭМС

Во всех исследуемых методом ЭМС скважинах – по элементам до 10° определен структурный азимут наклона пластов, $10-60^\circ$ – наклонные слои и наклонные трещины, $60-90^\circ$ – субвертикальные трещины (рис. 2).

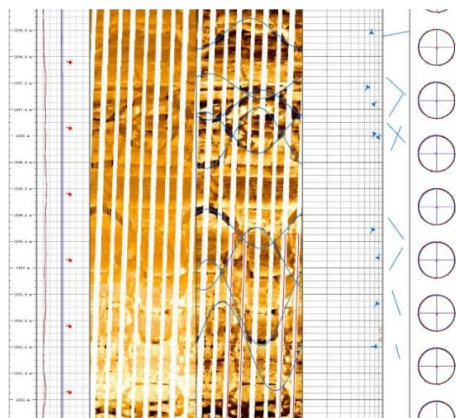


Рис. 2. Пример выделения трещин по данным ЭМС в скважине Забродовского месторождения

Исследования по оценке трещиноватости в 2016 г. выполнены, преимущественно, на территории Башкирского свода. В отложениях среднего карбона вертикальная открытая трещиноватость не установлена. В турнейских отложениях выделены единичные субвертикальные трещины. В фаменских и франских отложениях субвертикальная трещиноватость более значительна. Субвертикальные трещины, преимущественно, идентифицированы как залеченные или частично залеченные. Определены возможные единичные проводящие трещины по данным ГИС в скважине Левинского месторождения.

Проведено сопоставление данных ЭМС с данными керна. Так, по фильтрационно-ёмкостным свойствам интервалы развития субвертикальных трещин в скважинах Левинского и Енапаевского месторождений в интервале разреза с пористостью до 3 % характеризуются незначительной проницаемостью 1–6 мД, то есть ряд трещин может быть открытым для фильтрации флюидов, но связанность в систему проводящих трещин маловероятна.

Определённый структурный наклон пластов по данным ЭМС согласуется со структурными картами месторождений, эти данные рекомендуется использовать для уточнения геологической модели месторождений.

Скважинное акустическое сканирование

Скважинный акустический сканер САС-90 предназначен для исследования скважин и получения графического изображения развертки стенки скважины, заполненной промывочной жидкостью. Изображения сканера представляют визуальную акустическую картину, отображающую отражательную способность стенки скважины в зависимости от ее текстурных особенностей и акустических свойств пород.

Данные высокочастотного акустического сканирования стенки скважины обрабатываются и интерпретируются с целью определения интервалов вывалов и определения их ориентации, выявления кавернозных, трещинно-кавернозных зон, отдельных трещин. Кроме того, данные САС использованы для уточнения границ пластов-коллекторов и их структуры порового пространства, а также для определения направления стресса горных пород (рис. 3).

За время применения метода САС в ПАО «Пермнефтегеофизика» было проведено около 30 исследований при проведении каротажей в открытом стволе скважин. В части скважин производился отбор керна в исследованных аппаратурой САС-90 интервалах, что позволило

провести анализ сходимости результатов, полученных по ГИС с образцами керна (рис. 4).

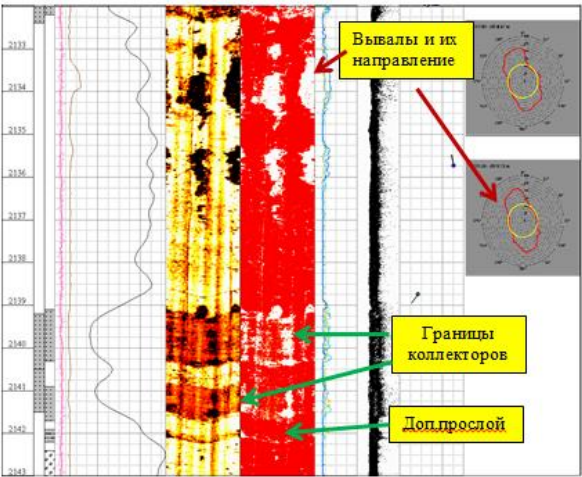


Рис. 3. Пример предоставления расчетных характеристик (амплитудного и временного параметров) по данным САС, выделение желобов и определение их направления, расчет профиля стенок скважины, уточнение границ коллекторов и выделение дополнительных прослоев

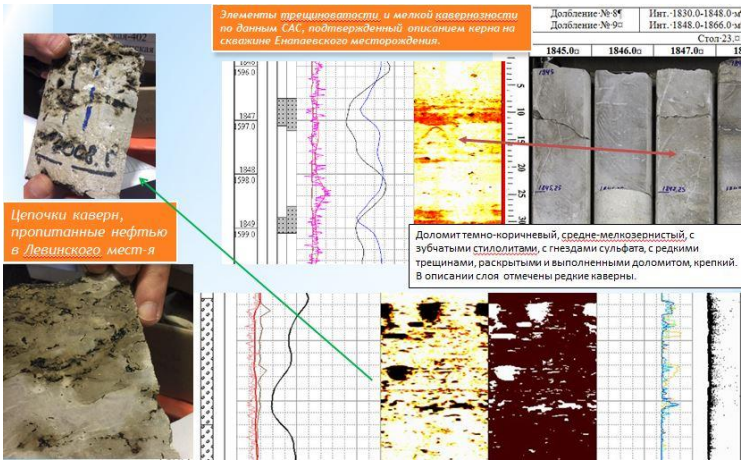


Рис. 4. Примеры выделения интервалов трещиноватости и кавернозности

по данным САС, подтвержденные данными керна в скважинах Енапаевского и Левинского месторождения

Метод САС, как дополнительный метод по оценке трещиноватости и определения структуры порового пространства, зарекомендовал себя положительно, тип порового пространства на 92–96 % подтверждается данными керна. Подтверждаемость данными керна фильтрационных свойств: карбонатных прослоев с каверново-поровым типом коллектора в интервале разреза с пористостью более 4,2 % составляет 84 %, с поровым типом коллектора составляет 91,7 %, в терригенной части разреза подтверждаемость выше – 97,7 %, что обусловлено более однородным литологическим составом пород. Подтверждаемость данными керна выделенных элементов трещиноватости в интервале разреза с пористостью до 4,5 % составляет 100 %. Отмечено, что по данным САС распознаются не все трещины. Так, в интервале разреза с пористостью более 4,5 % отмечается факт пропуска элементов трещиноватости, вероятно возможностей метода недостаточно и необходимо проводить исследования в комплексе с методом ЭМС.

Отмечается хорошая подтверждаемость данными керна фильтрационных свойств дополнительных тонких (до 10 см) прослоев, выделенных по данным САС и не видимых по стандартным методам ГИС. Из 30 дополнительных прослоев, охарактеризованных данными керна по фильтрационно-емкостным свойствам, коллекторами являются 28 прослоев (93,3 %).

Для более эффективного использования полученных данных САС необходимо учитывать рекомендации по вовлечению в разработку низкопористых интервалов с развитой трещиноватостью и дополнительных прослоев, что приведет к увеличению продуктивности скважин на месторождениях ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ». Для определения таких перспективных интервалов необходимо включать метод САС в стандартный комплекс ГИС.

Одним из дополнительных и важных возможностей методов САС и ЭМС стала возможность определения направления стресса горных пород, которое перпендикулярно направлению вывалов. Определение направления максимального текущего горизонтального напряжения актуально для оценки возможной проводимости вертикальных трещин и анализа экранирующих способностей разрывных нарушений на структурах. Данные по оценке горизонтального напряжения могут быть использованы при планировании ГРП. Определены два основных направления развития максимального горизонтального тектонического напряжения на территории Пермского Приуралья: СВ-ЮЗ, средний азимут 51° (ВР) и ЮВ-СЗ, средний азимут 123° (ВР). Выявленные направления стресса согласуются и с направлениями ослабленных зон

кристаллического фундамента на общепринятой схеме тектонического районирования фундамента Пермского Приуралья.

Возможность расширения комплекса геофизических методов при бурении эксплуатационных скважин стала возможна технически и экономически в связи с невысокими дополнительными затратами, которые несёт ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ» при проведении работ. Появилась возможность получения дополнительной информации, позволяющей значительно повысить точность и эффективность записанного комплекса исследований.

Заключение по расширенному комплексу ГИС включает:

- корректную объёмную литологическую модель пород;
- более точный расчёт количественных параметров;
- ориентированное направление вывалов;
- направление максимального тектонического напряжения;
- структурный наклон пластов;
- направление элементов залегания;
- точное определение структуры порового пространства;
- выявленные интервалы трещиноватости и кавернозности;
- оценку типа трещин (проводящая, залеченная, частично-проводящая);
- определения активности гидродинамического режима водной среды и текстуры пород;
- выделенные тонкие дополнительные проницаемые пропластки.

Преимущества применения методов скважинного акустического и электрического сканеров позволяют повысить геологическую эффективность и точность ГИС. Появляется возможность увеличения продуктивности скважин за счет включения в разработку коллекторов со сложной структурой порового пространства и включения в разработку тонких проницаемых прослоев. Появилась возможность уточнения геологической модели месторождений и определения максимального тектонического напряжения горных пород. Внедрение аппаратуры отечественных производителей позволило серьезно подойти к вопросу импортозамещающих технологий.

Е. М. Шеремет¹, Т. К. Бурахович², И. Ю. Николаев¹

¹ Институт геохимии, минералогии и рудообразования
им. М. П. Семененка НАН Украины, г. Киев

² Институт геофизики им. С. И. Субботина НАН Украины, г. Киев

ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ ПОИСКАХ УГЛЕВОДОРОДОВ В УКРАИНЕ

E. M. Sheremet¹, T. K. Burakhovych², I. Yu. Nikolaev¹

¹ Semenenko Institute of geochemistry, mineralogy and ore formation,
NAS of Ukraine, Kiev

² Subbotin Institute of Geophysics, NAS of Ukraine, Kiev

GEOELECTRICAL PROSPECTING FOR HYDROCARBONS EXPLORATION IN UKRAINE

В основу настоящего сообщения положены материалы исследований на поиски углеводородного сырья в различных регионах Украины с 2002 по 2013 гг. [1], выполнявшиеся УкрНИМИ и ИГНАН Украины, в рамках проекта «Георифт» – «Создание геолого-геофизических моделей литосферы и прогноз нефтегазоносности для центральных и северных регионов Украины. Экспериментальные работы методом магнитотеллурического и аудителлурического зондирования (МТЗ и АМТЗ) вдоль линии Полтава-Чернигов».

Для поисков нефти и газа впервые применена, наряду с методом магнитотеллурического зондирования (МТЗ), методика аудитмагнитотеллурического зондирования (АМТЗ). В основу метода АМТЗ, решающая способность которого по глубине составляет 0,5–5,0 км, были положены наблюдения за эпигенетическими преобразованиями пород над нефтяной залежью. Процессы выщелачивания гидрослюд, монтмориллонита, полевых шпатов и кальцита приводят к увеличению электрического сопротивления (ρ) пород в 5–10 раз. Анализ данных электроразведочных работ показал, что повышенное ρ приурочено к скоплениям углеводородов. Технология поисков нефти и газа методом АМТЗ применительно к геологическому разрезу Днепровско-Донецкой впадины (ДДВ) на Мехедовско-Голотовщинской площади проверялась геохимическими исследованиями. Результаты поисков нефти и газа показали, что технология поисков методом АМТЗ вполне применима, как для известных газо-нефтяных месторождений (Мехедовско-Голотовщинское, Юльевское, Гашиновская площадь), так и для перспективных площадей в Северной части ДДВ (Деркульской стук-

туре). Во всех случаях выявлены высокоомные аномалии над нефтяными залежами на глубинах 1–3 км. Наиболее вероятно, что эти аномалии отображают процесс преобразования пород за счет флюидов, исходящих от газоконденсатных залежей, находящихся на глубинах 4–5 км, которые также фиксируются в виде высокоомных аномалий.

Деркульская структура. Длительное погружение мощной толщи осадочных отложений с хорошими коллекторскими свойствами и наличие достаточно мощных глинистых покрывшек способствовали генерации углеводородов и скоплению их на благоприятных для этого участках.

Выполненные геоэлектрические исследования в Деркульской структуре позволили выявить две протяженные (блоки шириной 650–900 м) высокоомные аномалии на фоне низкоомных ρ однотипных по составу пород на глубинах 0,2–1,0 км. Они расположены над структурными ловушками, выявленными по данным профильных сейсмических наблюдений методом общей глубинной точки (МОГТ). Структурные ловушки приурочены к границам раздела высокоомной и низкоомной толщ пород. Низкоомная часть геологического разреза сложена обводненной алевролит-аргиллитовой толщей, практически неперспективной на залежи углеводородного сырья. Следовательно, рассматриваемые структурные ловушки являются ложными. Корни высокоомных геоэлектрических аномалий над ними прослежены на глубину свыше 1,8–2,25 км в виде узких (30–50 м), вертикальных каналов высоких ρ пород. Наиболее вероятно, что эти аномалии отображают процесс преобразования пород за счет флюидов, исходящих от газоконденсатных залежей, находящихся на глубине более 1,8 км ($\rho = 30\text{--}75 \text{ Ом}\cdot\text{м}$). В этом варианте глубину скважин следует увеличить до 1,8–2,25 км.

На Мехедовско-Голотовщинском газоконденсатном месторождении по данным электрокаротажа скважин построена обобщенная блочная модель, показавшая, что сама газоконденсатная залежь отражается на глубине 4,9–6,5 км блоком с $\rho = 50 \text{ Ом}\cdot\text{м}$, а на флангах – 30 Ом·м. Выше по разрезу на глубине 2,0–2,2 км диффузионному ореолу углеводородов отвечает блок с $\rho = 100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$, окруженный с двух сторон блоками в 15–20 Ом·м. Верхняя часть разреза (область эпигенетических преобразований пород) отображена в виде блока с $\rho = 150 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ на глубине 0,2–0,5 км, окруженного с двух сторон блоками с $\rho = 50 \text{ Ом}\cdot\text{м}$.

Конечным результатом исследований методом АМТЗ является серия разрезов, построенных по данным полевых наблюдений, которые свидетельствуют, что зоны эпигенетических преобразований по-

род над нефтяной залежью на глубинах 0,5–1,0 км и 0,7–1,0 км образуют области с интенсивностью $\rho = 100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ на фоне 10–50 Ом·м.

Геохимические исследования показали, что глубинные газоконденсатные тела на уровне дневной поверхности четко обозначились аномалиями свободных подпочвенных газов, сорбированных газов и литогеохимическими аномалиями в ферромарганцевых соединениях. Заметно также, что атмосферические и литохимические аномалии фиксируют как внешний контур залежи, так и ее центральную часть.

На Юльевском нефтегазоконденсатном месторождении обобщенный геоэлектрический разрез по данным каротажа скважин выявил два ореола пород, измененных под воздействием вертикальной миграции флюидов. Первый ореол охватывает интервал разреза 0,2–1,0 км и характеризуется электрическим сопротивлением 30–50 Ом·м на фоне 20–30 Ом·м. Второй ореол находится непосредственно над нефтяной залежью на глубине 2,5–3,2 км (5–15 Ом·м на фоне 1–5 Ом·м). Сама нефтяная залежь характеризуется ρ от 100 до 240 Ом·м на фоне 30–50 Ом·м. Геоэлектрические разрезы, построенные по данным АМТЗ вдоль профилей до глубины 1 км проявили два ореола эпигенетических преобразований пород над нефтяной залежью в виде аномальных областей с $\rho = 40\text{--}100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ на фоне 10–30 Ом·м.

На Гашиновской площади Северного борта ДДВ результаты исследований методом АМТЗ, построенных на основании данных исследований на семи профилях, показали, что с глубиной увеличивается площадь высокоомных аномалий (свыше 200 Ом·м при фоне 10–50 Ом·м), которые, скорее всего, обусловлены эпигенетическими изменениями пород над нефтяной залежью. На глубине 1000 м форма и размеры аномалии резко изменяются от горизонта к горизонту при выдержанности формы и размеров аномальной зоны над промышленной залежью углеводородов на южном фланге участка. В центральной части зоны ρ увеличивается от 100 до 500 Ом·м при фоне 10–50 Ом·м.

Результаты геоэлектрических исследований методами МТЗ и МВП **Брагинско-Лоевского выступа и Черниговского блока**, выполненные для изучения глубинного строения литосферы северной части ДДВ вдоль профиля ГСЗ «Георифт-2013», свидетельствуют о наличии нескольких аномалий электропроводности, соответствующих как глубинным объектам, например, восточному окончанию Припятской аномалии электропроводности, так и неглубоким объектам в верхней части фундамента (3–5 км), вытянутым вдоль оси Черниговского блока, и около 8 км на его южном борту.

Залежи нефти и газа здесь связывают с палеозойским осадочным чехлом и докембрийским фундаментом. Черниговский блок ДДВ

не рассматривается как перспективный на нефтегазоносность район, но в пределах него выделены две перспективные на нефтегаз площади – Талалаевская и Ниновская. Их недра характеризуются пересечением активизированных разломов различной ориентации, а также аномальной мощностью коромантийной смеси и разуплотненных областей на поверхности фундамента и на глубине 20–30 км.

В Центральной части ДДВ геоэлектрические исследования по профилю «Георифт» Полтава-Чернигов показали, что высокоомные аномалии, отождествляемые с нефтегазовыми залежами, зафиксированы на первой перспективной площади на глубинах от 1–2 до 6 км; на второй: одна – на глубине от 2 до 3 км, вторая – от 0,5 до 6,0 км; на третьей: одна отмечена на глубине от 1 до 6 км, вторая – на глубине от 4 до 6 км.

В районе исследований МТЗ на глубине 10–35 км выделяется низкоомная аномалия под нефтяными месторождениями и цепочкой соляных куполов. По аналогии с известными в литературе подобными аномалиями ее природа объясняется как результат «углеводородного дыхания Земли», благодаря чему органические остатки первично-осадочных толщ фундамента, в ходе их превращения в графит, могли быть поставщиками жидких и газообразных углеводородов в осадочные толщи, залегающие выше. Результаты этого процесса проявились в том, что положение корневого проводника графитовой природы, залегающего в кристаллическом фундаменте, совпадает со скоплениями нефти в перекрывающем осадочном чехле.

Геоэлектрические исследования в Северной Добрудже и Преддобружском прогибе [1]

Геоэлектрические исследования методами АМТЗ и МТЗ в северной Добрудже по профилям «Килия» (87 км) и «Измаил» (47 км) обнаружили в фанерозойских осадочных отложениях ряд низкоомных аномалий. Наиболее интересной из них является низкоомная аномалия на глубине 20 км, выявленная на профиле «Килия».

На 2,5D-модели в виде низкоомного блока (10–50 Ом·м) четко выделяется участок Молдавской плиты, сложенный отложениями нижней подсвиты конгазской свиты верхней юры. На глубинной квазитрехмерной геоэлектрической модели нормальный разрез характеризуется наличием горизонта высокой электропроводности в интервале глубин 70–170 км ($S = 6\,000$ См). Были рассчитаны и проанализированы МТ-поля для моделей неоднородного распределения поверхностных осадочных образований при двух вариантах глубинной электропроводности мантии региона. Параметры векторов индукции свидетельствуют о субширотном простирании осадочных толщ в Преддоб-

руджском прогибе. Распределение вертикальных проводников с поверхности соответствует разломным зонам. Конфигурация изолиний индукционных параметров и их значения свидетельствуют о том, что наиболее мощные аномалии электропроводности могут быть приурочены к Измаил-Кагульскому, Чадыр-Лунгскому и Северо-Саратскому разломам.

Показано, что для малых периодов МТ-поля мантийная электропроводность не оказывает существенного влияния, и наблюдаемые МВ-поля формируются неоднородным распределением электропроводности внутри земной коры, включая осадочный слой.

По данным МТЗ было определено, что глубина залегания аномальных тел в среднем составляет 15 км. На глубине около 15 км в районе Добруджи находится аномалия электропроводности в 5 000 См.

Модели, построенные по результатам АМТЗ и МТЗ в Северной Добрудже и Преддобруджском прогибе, позволяют оконтурить площади, перспективные на залежи углеводородов, большинство которых находится в Преддобруджском прогибе и характеризуется мощностью фанерозойских отложений до 6–10 км. Мощность юрских отложений на выделенных перспективных участках Молдавской плиты – до 2,0–2,5 км.

Значительный интерес представляет коровая глубинная низкомная аномалия на глубине 20 км на профиле «Килия». Здесь наблюдается пониженная мощность коры гранитного типа (30–40 км), рядом расположен астенолит. Здесь же находится региональный минимум силы тяжести и области локального повышения теплового потока. Здесь в течение венда-мезозоя периодически проявлялась активизация. Глубинная коровая аномалия может быть вызвана, скорее всего, обводненностью зоны повышенной трещиноватости, обусловленной крупными тектоническими процессами. Тектонические процессы сопровождаются подъемом геоизотерм, а более высокая температура благотворно влияет на формирование углеводородов. Участок над коровой аномалией может представлять интерес с точки зрения поисков углеводородных залежей.

Крым

Тарханкутский полуостров

Профили АМТЗ планировались с учетом расположения максимального количества известных газоконденсатных месторождений и вкрест простираения геологических структур. Всего было пройдено 11 профилей. Для оценки палеогеновых и меловых отложений на нефтегазоносность достаточно исследований методом АМТЗ в диапазонах

до 4 000 и 600 Гц. Для построения глубинного геоэлектрического разреза выполнялось АМТЗ в диапазоне до 30 Гц.

На основе 1D-инверсии материалов АМТЗ по профилям были построены геоэлектрические разрезы до глубины 1, 5 и 25 км, убедительно показавшие, что все известные месторождения газа и нефти проявляются в виде высокоомных аномалий.

Все месторождения, пересеченные геоэлектрическими профилями, локализованы в тектонических блоках, ограниченных разломами. На геоэлектрических разрезах видно, что проявления углеводородов связаны с высокоомными аномалиями (300–5 000 Ом·м), которые также, как и перспективная аномалия, расположены на глубине до 1 км на фоне низкоомного (10–300 Ом·м) геоэлектрического разреза, интерпретируемого как глинистая палеогеновая толща. Высокоомные аномалии не продолжают на глубину и локализованы на уровне газоконденсатных месторождений, вскрытых скважинами.

Высокоомные аномалии, не связанные с нефтегазовыми месторождениями, перспективны на выявление новых месторождений нефтегазоконденсатного сырья.

Рассмотренный материал однозначно свидетельствует о приуроченности газоконденсатных месторождений, выделенных по данным геоэлектрического зондирования в виде высокоомных аномалий, к изолированным тектоническим блокам, связанным с глубинными разломами.

По мнению авторов работ [2, 3], образование нефти и газа в Причерноморско-Крымской провинции связано с процессами, протекающими в верхней мантии Земли, откуда они мигрировали в осадочную толщу и ее фундамент по зонам крупных разломов в третично-четвертичное время.

Согласно [4] Тарханкутский полуостров является частью одноименной геоэлектрической аномалии электропроводности. Наиболее вероятным двухмерным геоэлектрическим разрезом недр района Тарханкута является вариант с двумя проводящими слоями с глубиной кровли 14 и 60 км. Суммарная продольная проводимость этих объектов – 2 000 См.

Предполагается тепловая природа Тарханкутской аномалии. Прямыми измерениями получен аномально высокий для Крымской геосинклинали тепловой поток (свыше 70 мВт/м), а также построена модель источника тепловой аномалии, где основные геометрические параметры весьма схожи с параметрами геоэлектрических моделей [4].

Сведения о изотопном соотношении $^3\text{He}/^4\text{He}$ свидетельствуют об аномальности этого параметра. Предполагается, что пути проник-

новения мантийного гелия возникли в результате молодой активизации [5]. Вдоль V профиля ГСЗ, пересекающего Тарханкутский полуостров, на глубине 80 км зарегистрировано аномальное снижение скорости продольных волн [6].

В связи с этим, вероятным представляется абиогенное происхождение газоконденсатных месторождений Тарханкутского полуострова. А это значит, что они могут быть приурочены к любой структурно-тектонической ловушке, не будучи привязанными к определенному стратиграфическому горизонту.

Керченский полуостров

Регион является перспективным на наличие углеводородов. В Причерноморском нефтегазоносном регионе разведано более 60 месторождений нефти и газа. Крупнейшими являются Джанкойское, Глебовское, Штормовое, Казантипское. Считаются перспективными по газу и нефти глубинные участки земной коры и подводные недра Черного моря.

В процессе региональных геоэлектрических исследований методом АМТЗ на профилях «Керченский» и «Горностаевский» был выявлен ряд высокоомных аномалий.

В восточной части Крыма на периодах 150 и 2000 с выделяется Керченская зона проводимости на глубинах 2 и 5 км с суммарной продольной проводимостью 2 500 и 5 000 См соответственно. Эта зона совпадает с грязевыми вулканами Керченско-Таманского региона, возможно контролируемые тектоническими нарушениями, корневая система которых находится на глубине 5–7 км.

Геоэлектрическая модель Крымского региона дает представление о связи электросопротивления с породами. Хорошие проводники на поверхности Земли – осадки, морская вода – располагаются на относительно слабопроводящих породах консолидированной земной коры и верхней мантии, содержащих неоднородные коровые и мантийные хорошо проводящие слои.

Основным результатом качественной интерпретации данных геоэлектрических исследований является обнаружение областей высокой электропроводности как в земной коре, так и в верхней мантии Крыма, разные по проводимости, глубине залегания, конфигурации, отражающие различные геологические структуры. Субвертикальные проводящие зоны часто совпадают с разломными структурами разного порядка, большинство таких объектов приурочено к шовным зонам между различными тектоническими элементами, такими как, ВЕП и СП, СП и Горный Крым, Северокерченская и Южнокерченская зоны.

Это может свидетельствовать о высокой проницаемости для глубоких флюидов шовных зон в процессе их образования.

Литература

1. Шеремет Е. М., Бурахович Т. К., Николаев И. Ю., Дудик А. М., Дудик С. А., Кушнир А. Н., Ширков Б. И., Сетая Л. Д., Агаркова Н. Г. Геоэлектрические и геохимические исследования при прогнозировании углеводородов в Украине // Киев: ЦП «Компринт», 2016. 314 с.
2. Порфирьев В. Б. Геологические критерии поисковых объектов на нефть и газ на территории Украины / В. Б. Порфирьев, В. П. Клочко, В. А. Краюшкин и др. // Киев: Наук. думка, 1977. 152 с.
3. Порфирьев В. Б. Строение и нефтегазоносность северной части Черного моря и сопредельных территорий / В. Б. Порфирьев, В. Б. Соллогуб, А. В. Чекунов и др. // Киев: Наукова думка, 1978. 160 с.
4. Бурахович Т. К. О природе Тарханкутской аномалии / Т. К. Бурахович, И. М. Варенцов, В. В. Гордиенко и др. // Геофиз. журн. 1987. Т. 9. № 5. С. 50–58.
5. Гордиенко В. В. Современная активизация и изотопия гелия территории Украины // Киев: Знания, 2001. 101 с.
6. Соллогуб В. Б. Литосфера Центральной и Восточной Европы. Восточно-Европейская платформа // Киев: Наукова Думка, 1989. 188 с.

М. Н. Юдин, Д. С. Даев, А. Д. Каринский

Российский государственный геологоразведочный университет,
г. Москва

О ЧИСЛЕННОМ РЕШЕНИИ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ЗАДАЧ ГЕОЭЛЕКТРИКИ В НЕОГРАНИЧЕННЫХ ОБЛАСТЯХ

M. N. Yudin, D. S. Daev, A. D. Karinskiy

Russian State Geological Prospecting University, Moscow

ON THE NUMERICAL SOLUTION OF THE UNSTEADY PROBLEMS OF GEOELECTRICS IN UNLIMITED REGIONS

При численном решении прямых задач геоэлектрики в неограниченных областях (например, по методу конечных разностей (МКР) или методу конечных элементов (МКЭ)) возникает потребность замены открытой (бесконечной) области Ω ее ограниченным аналогом $\tilde{\Omega} \subset \Omega$. Эта процедура приводит к неоднозначности кон-

струирования $\tilde{\Omega}$ и требует задания дополнительных условий на ее внешней границе $\partial\tilde{\Omega}$. Это сложно сделать, так как величины полей на $\partial\tilde{\Omega}$ будут известны только после решения задачи в области Ω . Мы предлагаем два пути решения этой проблемы:

- построение численных алгоритмов решений задач в неограниченной области [2, 3],
- другим подходом к решению задач геоэлектрики в неограниченных областях является альтернирующий метод Шварца [3].

Построение численных алгоритмов решения задач в неограниченной области

А. Стационарные задачи

Вариационные подходы к формулировке задач геоэлектрики и алгоритмы их численного решения рассмотрены в большом числе публикаций [3]. Следует отметить пионерские работы Ю. П. Суворова и, прежде всего, статью [2], посвященную обоснованию применения метода Ритца к решению трехмерной задачи ВЭЗ в пространстве.

Сосредоточим внимание на методе конечных элементов (МКЭ), базирующемся на вариационной формулировке одномерных задач на полупрямой и их решении по методу Ритца. МКЭ основан на приближении непрерывной функции линейной комбинацией кусочно-непрерывных функций. Каждая из этих функций отлична от нуля на конечном интервале (элементе), а вне элемента равна нулю. Как видим, технология МКЭ предполагает получение решения в области конечных размеров.

Пусть N – количество шагов h_m неравномерной сетки ω по пространственной переменной z . Приближенное решение ищут в виде линейной комбинации базисных функций $\varphi_m(z)$

$$\tilde{u}_N^h(z) = \sum_{m=0}^N a_m \varphi_m(z) \quad (1)$$

полной системы $\{\varphi_m(z)\}$ ($m = 1, \dots, N$) с неопределенными коэффициентами a_m .

При решении задачи на полубесконечном интервале (z_0, ∞) потребуем, чтобы элементы базиса $\varphi_m(z)$ на каждом частичном интервале (z_{m-1}, z_m) , включая интервал (z_N, ∞) , удовлетворяли дифференциальному уравнению задачи с некоторыми усредненными постоянными коэффициентами. Например, в задаче МТЗ на конечном интервале с постоянным волновым числе k_m электрическое и магнитное поле удовлетворяют уравнению $u''(z) - k_m^2 u(z) = 0$. Его частными решениями яв-

ляются функции $\exp(k_m z)$ и $\exp(-k_m z)$ или их линейно независимые аналоги

$$\hat{q}_{1,m}(\bar{z}) := sh[k_m(h_m - \bar{z})] / sh(k_m h_m), \hat{q}_{2,m}(\bar{z}) := sh(k_m \bar{z}) / sh(k_m h_m). \quad (2)$$

Отметим, что $\hat{q}_{1,m}(0) = \hat{q}_{2,m}(h_m) = 1$, $\hat{q}_{1,m}(h_m) = \hat{q}_{2,m}(0) = 0$,

$\bar{z} = z - z_{m-1}$ $\hat{q}_{1,N}(z) = \exp(k_N(z - z_N))$. На основе функций $\hat{q}_{\alpha,m}(z)$, $\alpha = 1, 2$ каждому узлу сетки z_m поставим элементы базиса $\varphi_m(z)$, графики которых изображены на рис. 1. Функция $\varphi_N(z)$ используется для аппроксимации на конечном интервале (z_{N-1}, z_N) , а $\varphi_{N\infty}(z)$ – на полубесконечном интервале (z_{N-1}, ∞) . Пунктиром изображена часть графика функции $\varphi_{N\infty}(z)$, соответствующая интервалу $z > z_N$.

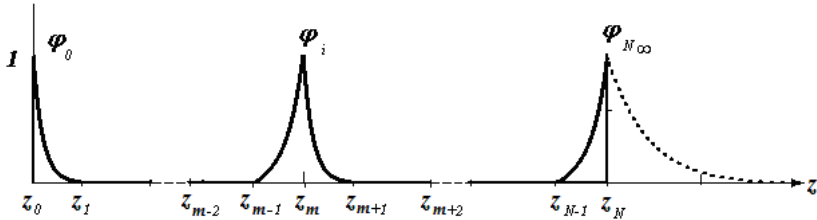


Рис. 1. Кусочно-экспоненциальные базисные функции

В кусочно-постоянной полубесконечной модели среды с помощью этих функций можно получить численное решение задачи МТЗ, совпадающее с ее классическим аналитическим решением [3].

Б. Нестационарные задачи

Решая нестационарные задачи посредством МКЭ, как правило, выбирают функции базиса, зависящие только от пространственных переменных. Мы будем использовать систему базисных функций $\{\psi_m(z, t)\}_{m=0}^N$, зависящих как от пространственной переменной, так и от времени². Не упуская из вида предостережение авторов книги [1], на примере решения одномерной нестационарной задачи МТЗ исследуем возможность использования системы базисных функций, зависящих как от пространственной переменной z , так и от времени t . Они будут являться пространственно-временными аналогами элементов базиса $\varphi_m(z)$. Обозначим символом $\rightarrow$ соответствие между изображениями

² По мнению Г. Стренга и Дж. Фикса [1], этот подход не даст особого успеха.

(зависящими от частоты) и оригиналами. Пусть $\varphi_m(z) \rightarrow \psi_m(z, t)$.

Функция $\psi_m(z, t)$ почти всюду удовлетворяет уравнениям теплопроводности и очевидным дополнительным условиям. Пусть $u_N^h(z, t)$ – интерполяция решения нестационарной задачи $u(z, t)$, построенная по аналогии с формулой (1) и содержащая переменные коэффициенты $v_m(t)$

$$u_N^h(z, t) = \sum_{m=0}^N v_m(t) \psi_m(z, t). \quad (2)$$

Т. к. графики ψ_m конформны φ_m (рис.1), $\psi_m(z_m, t)=1$, то $v_m(t) = u_N^h(z_m, t)$.

Нестационарная задача МТЗ в полупространстве. Найти функцию, удовлетворяющую дифференциальному уравнению

$$(p(z)u_z(z, t))_z = \lambda(z)u_t(z, t) \quad (3)$$

и известным дополнительным условиям, включающим условие на бесконечности. Вариационная задача, соответствующая этой дифференциальной задаче, состоит в отыскании функции, доставляющую минимум интегралу

$$I(u) = \int_0^\infty [p(z)u_z^2 + 2\lambda(z)uu_t] dz \quad (4)$$

и удовлетворяющей некоторым дополнительным условиям задачи (3).

Вычисления, выполненные в согласии с алгоритмом метода Рунге, приводят к задаче Коши относительно вектора коэффициентов $v^h(t) = (v_1(t), v_2(t), \dots, v_{N-1}(t), v_N(t))^T$ следующего вида:

$$A(t)dv^h(t)/dt = D(t)v^h(t) + f(t); v^h(0) = 0. \quad (5)$$

Здесь $A(t)$ и $D(t)$ – симметричные трехдиагональные матрицы коэффициентов размера $N \times N$, вектор $f(t) \in R^N$ имеет одну отличную от нуля компоненту, величина которой пропорциональна v_0 .

Пример. Однородное полупространство

Аналитическое решение. Как известно, решение нестационарной задачи (3) при $p = 1/\mu_0$, $\lambda = \sigma_1$ дает формула $u(z, t) = u^0 \operatorname{erfc}(z\sqrt{\mu_0\sigma_1}/2\sqrt{t})$.

Численное решение. Модель среды: двухслойная среда с параметрами $\sigma_1 = \sigma_2 = 1 \text{ ом} \cdot \text{м}^{-1}$, $h_1 = 1000 \text{ м}$, $h_2 = \infty$. Сравнение решений – на рис. 2.

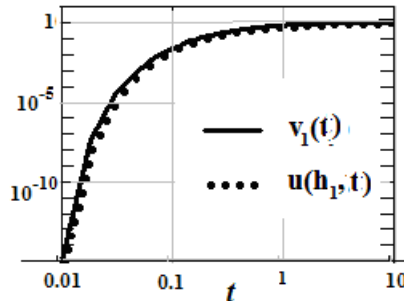


Рис. 2. Сравнение величин коэффициентов $v_1(t)$ и $u(h_1, t)$

В модели имеется одна граница $z = h_1$, поэтому матрицы A , D и векторы в формуле (5) – скаляры, $v_0 = u^0$, а $v^h(t) = v_1(t)$. Запишем задачу (5) и ее решение

$$v_1'(t) = -p(t)v_1(t) + \varphi(t); v_1(0) = 0,$$

$$v_1(t) = v_0 e^{-\int_0^t p(\tau) d\tau} \int_0^t e^{\int_0^\tau p(\eta) d\eta} \varphi(\tau) d\tau.$$

По (2) найдем экстремаль задачи (4)

$$u_1^h(z, t) = u^0 \psi_0(z, t) + v_1(t) \psi_1(z, t).$$

Вычислительные эксперименты говорят о том, что пространственно-временные базисные функции являются полезным инструментом для решения нестационарных задач по методу Ритца в открытых областях. При решении задач большей размерности точность расчетов будет зависеть от удачного построения базисных функций, эффективности алгоритмов вычисления интегралов и скорости решения задачи (5).

Литература

1. Стренг Г., Фикс Дж. Теория метода конечных элементов. М.: Мир, 1977. 351 с.
2. Суворов Ю. П. О применении метода Ритца к решению прямых задач электроразведки // Изв. ВУЗов. Сер. «Геология и разведка». 1969. № 12.
3. Юдин М. Н. Математическое обеспечение численного решения прямых задач электромагнитных зондирований неоднородных сред. Дисс. на соиск. уч. ст. д. ф.-м. н. М.: МГРИ, 1985. 350 с.

В. И. Костицын
Пермский государственный национальный
исследовательский университет, Пермь

**ПРОФЕССОРУ БОРИСУ АЛЕКСЕЕВИЧУ
СПАССКОМУ – 80 ЛЕТ!**

V. I. Kostitsyn
Perm State University, Perm

**80TH ANNIVERSARY OF PROFESSOR BORIS ALEKSEEVICH
SPASSKIY!**



Б. А. Спасский родился 10 августа 1937 г. в г. Горьком (Нижний Новгород). До осени 1948 г. жил в гг. Рига, Нижний Новгород, Москва, Куйбышев, Брянск. Испытал бомбежки, голод и другие сложности военного времени. После окончания Великой Отечественной Войны в 1946–1948 гг. его семья жила в г. Бухаресте (Румыния). С 1948 г. живет в г. Перми, где в 1955 г. окончил школу

№ 21 и поступил на геологический факультет Пермского университета на отделение «Геология нефти». В 1958 г. был переведен на специальность «Геофизика». В 1961 г. окончил геологический факультет Пермского государственного университета по специальности «Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых» с присвоением квалификации «Инженер-геолог-геофизик». После окончания университета работал в конторе (тресте) «Пермнефте-геофизика» оператором в полевых сейсморазведочных партиях.

Поступил в аспирантуру кафедры геофизики ПГУ 1 декабря 1963 г. С этого времени работает в Пермском университете: мл. научный сотрудник, ассистент, доцент, профессор кафедры геофизики (с 1994 г.). Одновременно являлся заместителем декана по учебной работе геологического факультета ПГУ с 1974 по 1977 год, заместителем заведующего кафедрой геофизики с 1995 по 1998 год.

В 1968 г. защитил диссертацию по теме «Исследование динамических характеристик отраженных волн в условиях Пермской облас-

ти» на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук, научный руководитель – профессор А. К. Урупов. В 1992 г. защитил докторскую диссертацию по теме «Изучение и учет верхней части разреза в сейсморазведке» (г. Екатеринбург, Уральский горный институт).

В 1970 г. был командирован в г. Москву, где окончил 10-месячные курсы французского языка, в 1971–1973 гг. преподавал на французском языке геофизические методы на кафедре геофизики в Национальном институте нефти Алжирской НДР (г. Бумердес) выступал с докладами в научных геофизических конференциях с участием французских и американских специалистов. По возвращению в СССР некоторое время являлся переводчиком научных статей по сейсморазведке на французском языке (безвозмездно) в Центральной геофизической экспедиции.

Основное научное направление – изучение скоростных моделей верхней части разрезов для нужд нефтяной сейсморазведки и решения инженерно-геологических задач. Данные исследования найдут применение на практике при создании комплекса программ, позволяющих упростить весь цикл процесса анализа сейсмических данных. В настоящее время им опубликовано более 200 работ. Среди них монографии [1, 2], учебные пособия, опубликованные в России [3–6] и Алжире на французском языке [7, 8].

Принимал активное участие в научно-исследовательских работах по договорам с предприятиями «Пермнефтегеофизика», «НОВИК», «ЛУКОЙЛ-Пермь». Был рецензентом в проведении экспертиз проектно-сметной документации объектов, связанных с использованием и охраной недр. В качестве эксперта Государственной комиссии принимал участие в определении запасов нефти по ряду месторождений, участвовал в рецензировании отчетов о результатах геофизических исследований производственных и научно-исследовательских организаций. Был супервайзером по обработке и интерпретации данных сейсморазведки.

Всегда занимался общественной работой, был членом парткома университета в течение 10 лет, многие годы являлся председателем методической комиссии геологического факультета и методического совета Пермского университета. Принимал активное участие в спортивных мероприятиях по волейболу, спортивной гимнастике и акробатике, хоккею, футболу, слалому. Занимал третье место по бадминтону в соревнованиях на первенство г. Перми.

Имеет награды: «Заслуженный работник высшей школы Российской Федерации», медали «Ветеран труда», имени В. В. Федынского.

го, имени А. К. Маловичко, имени С. Г. Комарова, Почетная грамота Правительства Пермского края, Почетные грамоты Пермского университета (многократно). Включен в энциклопедический сборник «Геофизики России» (2001, 2005), справочное издание «Профессора Пермского университета. 1916–2016».



Дорогой Борис Алексеевич! Студенты, сотрудники, преподаватели кафедры геофизики, геологического факультета Пермского университета и Пермского отделения ЕАГО поздравляют Вас с прекрасным юбилеем и желают дальнейших успехов в научной и педагогической деятельности, доброго здоровья и активного долголетия!

Монографии и учебные пособия

1. Спасский Б. А. Учет верхней части разреза в сейсморазведке. Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 1990. 184 с.
2. Спасский Б. А., Митюнина И. Ю. Использование первых волн в сейсморазведке методом отраженных волн для изучения верхней части разреза. М.: Геоинформмарк, 1992. 46 с.
3. Спасский Б. А. Цифровая сейсморазведочная аппаратура: Учебное пособие. Пермь: Перм. ун-т, 1978. 55 с.
4. Спасский Б. А. Основы цифровой обработки данных сейсморазведки: Учебное пособие. Пермь: Перм. ун-т, 1986. 96 с.

5. *Спасский Б. А., Герасимова И. Ю.* Сеймоостратиграфия: Учебно-методическое пособие. Пермь: Перм. ун-т, 2007. 267 с.
6. *Спасский Б. А., Герасимова И. Ю.* Теоретические основы обработки геофизических данных: Учебное пособие. Пермь: Перм. ун-т, 2011. 190 с.
7. *Spassky B.* Theorie de lelasticite. Boumerdes, Alger, Institut National des Hydrocarbuves, 1972. 39 p.
8. *Emchanov L., Korchikov Y., Spassky B.* Prospection sismique. Appareillage, equipement. INH. Boumerdes, Alger, 1974. 187 p.

Научное издание

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА РАЗВЕДОЧНОЙ И ПРОМЫСЛОВОЙ ГЕОФИЗИКИ

Материалы Международной научно-практической
конференции, посвященной 85-летию Первой Всесоюзной
геофизической конференции

Издается в авторской редакции

Компьютерная верстка: *Н. М. Ржевитина*

Дизайн обложки: *И. В. Сибикина*

Подписано в печать 25.10.2017. Формат 60×84/16
Усл. печ. л. 14,01. Тираж 100 экз. Заказ 159

Издательский центр
Пермского государственного
национального исследовательского университета.
614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15

Типография ПГНИУ.
614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15