

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
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

Сборник
научных трудов

Выпуск 1(6)



Пермь 2018

УДК 550.83
ББК 26.3242
Т32

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

Теория и практика разведочной и промысловой
Т32 геофизики: сборник научных трудов / гл. ред.
В. И. Костицын; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь,
2018. – 337 с.

ISBN 978-5-7944-3191-9

ISBN 978-5-7944-3192-6 (вып. 1(6))

Сборник научных трудов подготовлен по материалам международной научной-практической конференции «Теория и практика разведочной и промысловой геофизики», посвящен 95-летию выдающегося геофизика, основателя Пермской научной сейсмической школы Адама Константиновича Урупова и 20-летию Пермского инженерно-технического центра «Геофизика». Представлен широкий спектр исследований в области современной сейсморазведки, гравиразведки, магниторазведки, электроразведки, петрофизики и геофизических 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**; д-р физ.-мат. наук **А. С. Долгаль**;
PhD, доц. **О. Н. Ковин**; д-р геол.-мин. наук, проф. **Б. А. Спасский**
канд. тех. наук, доц. **А. В. Шумилов**

Рецензенты: д-р тех. наук, проф., лауреат премии Правительства РФ
В. Н. Конешов (Институт физики Земли РАН);
д-р геол.-мин. наук, проф. **З. М. Слепак** (Казанский (Приволжский)
федеральный университет)

ISBN 978-5-7944-3191-9

© ПГНИУ, 2018

ISBN 978-5-7944-3192-6 (вып. 1(6))

На лицевой стороне обложки: Урупов Адам Константинович
и Балдин Анатолий Валентинович

На обратной стороне обложки: коллектив ПИТЦ «Геофизика»
и юбиляры кафедры геофизики ПГНИУ

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**

Collection
of scientific papers

Issue 1(6)



Perm 2018

UDC 550.83
LBC 26.3242

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

Theory and practice of exploration and petroleum geophysics: collection of scientific papers / Ed. V. I. Kostitsyn; Perm State University. – Perm, 2018. – 337 p.

ISBN 978-5-7944-3191-9

ISBN 978-5-7944-3192-6 (issue 1(6))

The collection of scientific papers includes the materials of the International Scientific and Practical Conference «Theory and practice of exploration and petroleum geophysics» devoted to the 95th anniversary of the distinguished geophysicist and founder of the Perm scientific seismic school Adam Konstantinovich Urupov, and 20th anniversary of the Perm Engineering Technical Center «Geophysics». The papers encompass the broad range of study in the field of seismic, gravity, magnetics, electrometry, petrophysics, and downhole logging survey.

UDC 550.83
LBC 26.3242

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

Editorial Board: Dr. Techn. Sci., Prof. **V. A. Gershanok**; Dr. Phys.-math. Sci. **A. S. Dolgal**; PhD, Docent **O. N. Kovin**; Dr. Geol.-Min. Sci., Prof. **B. A. Spasskiy**
Cand Techn. Sci., Docent **A. V. Shumilov**

Reviewers: Dr. Tech. Sci., RF Government Prizewinner **Koneshov V. N.**
(Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences)
Dr. Geol.-Min. Sci., Prof. **Slepak Z. M.** (Kazan University)

ISBN 978-5-7944-3191-9
ISBN 978-5-7944-3192-6 (issue 1(6))

© Perm State University, 2018

Cover front image: Pictures of Adam Konstantinovich Urupov
and Anatoliy Valentinovich Baldin

Cover back image: Staff of PITC Geophysics and the PSU Building
and Persons of Department of Geophysics PSU whose jubilee was celebrated

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Костицын В. И. Основатель Пермской научной сейсмической школы А. К. Урупов и его последователи.....	13
Губина А. И., Чухустов А. Д., Рыбка В. Ф. Пермский инженерно-технический центр «Геофизика»: к 20-летию создания предприятия	25
Абуев Р. Б., Тайманова К. Г., Ахметжанова Г. А. Определение фильтрационно-емкостных свойств грубообломочных терригенных коллекторов по данным геофизических исследований скважин.....	36
Байкенжина А. Ж., Исагалиева А. К., Исаев В. И. Картирование сейсморазведкой 3D выбросоопасных зон (Карагандинский угольный бассейн).....	42
Бахтерев В. В. О характере изменения диэлектрических потерь некоторых образцов брусита в процессе дегидратации.....	47
Белозеров И. П., Губайдуллин М. Г. Использование данных геофизических исследований скважин при создании цифровой модели керна терригенных коллекторов.....	52
Бобров В. Ю., Бабкин А. И., Ярославцев А. Г. Результаты практического опробования образцов сейсморегистрирующей аппаратуры для малоглубинных исследований.....	56
Боровский М. Я., Богатов В. И., Сурков А. Д., Ламбев Д. Л. Эколого-геофизические исследования территории памятника природы Нолькин камень заказника «Горное Заделье» Республики Марий Эл.....	61
Бурахович Т. К., Ильенко В. А., Кушнир А. Н. Проявления сейсмичности в области Кировоградской аномалии электропроводности.....	68
Бурдин Д. Л., Горбунцева Н. В., Денисов А. М., Савич А. Д. Комплексный подход к определению причин обводнения горизонтальных скважин на объектах ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ».....	73
Бурмистров А. Д. От исследований Л. А. Попугаевой по минералам-спутникам к геофизическим методам поисков коренных месторождений алмазов.....	79
Бычков С. Г., Новикова П. Н. Кольцевые аномалии магнитного поля на северо-западе Пермского края.....	84

Ворошилов В. А. Автоматизация расчета геометрии нерегулярных систем наблюдения для данных сейсморазведки..	89
Геник И. В. Статистические характеристики геофизических полей, используемые при интерпретации региональных работ на нефть и газ.....	94
Гершанок В. А., Чадаев М. С. О роли дисциплины «Ядерная геофизика» в подготовке студентов геофизиков.....	99
Глотов А. А., Неганов В. М., Лаптев А. П. Выполнение азимутального анализа амплитуд широкоазимутальных сейсмических данных.....	105
Глушков Д. В. Направления развития профильных исследований керна для повышения информативности результатов интерпретации геофизических исследований скважин.....	113
Горбачёва А. П., Сальникова О. Л. Детальное изучение нефтегазовых скважин с использованием данных спектрометрического гамма-каротажа.....	121
Горожанцев С. В., Лисунов Е. В. О результатах совместных сейсмических и гравиметрических наблюдений в Приморском крае в 2016–2017 годах.....	128
Губина А. И., Гуляев П. Н., Истратов В. А. Оценка текущей насыщенности пластов-коллекторов по данным многочастотной электрической интроскопии околоскважинного пространства (MFDI) в различных скважинных условиях.....	135
Губина А. И., Расторгуев М. Н. Применение нейронной сети в интерпретации газового каротажа.....	141
Губина А. И., Яцук А. Д. Анализ применения долговременного акустического воздействия на Шумовском месторождении и перспективы развития этого метода на месторождениях ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ».....	148
Денисов А. М., Савич А. Д., Халилов Д. Г. Особенности исследований скважин, оборудованных хвостовиками для проведения многостадийного гидроразрыва пласта.....	155
Долгаль А. С. Критерии оптимальности в обратной задаче гравиразведки (на примере монтажного метода).....	161
Зубриков А. А., Колесников В. П. Контроль целостности пленочного покрытия очистных сооружений промстоков методами электрометрии.....	166
Казанцев В. А., Костицын В. И., Шихов С. А. Аналитическое продолжение аномалий на основе эквивалентной замены сложного гравитационного поля.....	171

Каринский А. Д., Даев Д. С., Юдин М. Н. Математическое моделирование влияния локальных проводящих объектов на результаты каротажа сопротивления.....	177
Каринский А. Д., Даев Д. С. Дипольные зонды каротажа сопротивления в некоторых моделях анизотропной среды.....	183
Ковин О. Н. Использование миграции для повышения качества интерпретации георадарных данных: на примере калийных рудников.....	191
Кулакова Н. В. О подсчете запасов углеводородов с учетом трещинной проницаемости по геофизическим исследованиям скважин.....	194
Лапшина Ю. В. Повышение эффективности разработки месторождений ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ» при использовании результатов геофизических исследований скважин.....	199
Левашов С. П., Якимчук Н. А., Корчагин И. Н., Дрогицкая Г. М. О возможности использования геоэлектрических методов для поисков рудных объектов с урановой минерализацией.....	204
Луппов В. И., Некрасов А. С. Оценка текущей нефтенасыщенности по комплексу геофизических исследований скважин на месторождениях Пермского Прикамья.....	209
Митюнина И. Ю. Особенности технологии 3D моделирования в горно-геологических информационных системах.....	217
Огородова И. В., Горожанцев А. В. Применение программы ArcGIS для создания комплексной физико-геологической модели надсолевой толщи разреза Соликамской депрессии.....	220
Паршаков Е. И., Тайницкий А. А., Кичигин А. В. Использование аппарата теории оценок при интерпретации данных вертикальных электрических зондирований.....	225
Переpletкин И. А. Выявление областей нефтегазонасыщения в нетрадиционных коллекторах при проведении трехкомпонентной сейсморазведки в Западной Сибири.....	230
Плешков Л. Д. Изучение геологического строения карбонатных пород по данным ГИС с применением цепей Маркова.....	234
Попов В. М., Наговицин А. В., Демидов Р. В., Зерова А. С. Построение прогнозной сводной структурной карты кровли верхнепротерозойских отложений восточной части Ижма-Печорской синеклизы по данным геофизических исследований.	241

Сальникова О. Л., Савич А. Д., Серкина А. В., Чухлов А. С. Использование новых технологий и методов для повышения эффективности ГИС.....	246
Саяпина А. А., Багаева С. С., Горожанцев С. В. О методико- технологических особенностях выполнения сейсмологических наблюдений в Северной Осетии.....	252
Севостьянов Н. А. О расчете потенциала в локальных телах при декомпозиционном решении 3D-задачи ВЭЗ.....	259
Селетков И. А. Технологии прогноза эффективных толщин продуктивных отложений на основе данных сейморазведки 3D	264
Силаев В. А. Системы наблюдений с глубинным источником колебаний в сейморазведке.....	268
Спасский Б. А. Верхняя часть разреза и возможности ее изучения в сейморазведке МОВ ОГТ.....	274
Старков И. В., Цветков Г. А. К вопросу применения нейронных сетей в системе управления процессом бурения скважин.....	279
Тайницкий А. А., Кичигин А. В. Решение обратной задачи ВЭЗ в условиях интенсивных знакопеременных помех.....	286
Торгашов Е. В., Верхоланцев А. В. Наземная и подводная электроразведка методом электротомографии для исследования прочности пород с целью строительства подземного тоннеля....	290
Халилов Д. Г. Потенциал волоконно-оптических технологий... Христенко Л. А., Степанов Ю. И. Использование аппарата теории оценок при интерпретации данных электропрофилирования.....	295
Шеремет Е. М., Бурахович Т. К., Николаев И. Ю., Сетая Л. Д. Поиски эндогенных полезных ископаемых на Украинском щите геоэлектрическими методами.....	307
Юдин М. Н., Даев Д. С., Каринский А. Д., Севостьянов Н. А. Алгоритм Шварца. Расчет Фурье-спектра аномального потенциала в слоистой среде, содержащей локальные тела.....	312
Овчинникова Е. А., Черных И. А., Шулаков Д. Ю., Шумилов А. В. Применение микросейсмического мониторинга для контроля гидроразрыва пласта на Быркинском месторождении.....	318
Се М., Потапов А. П., Сальникова О. Л., Шумилов А. В. Применение магнитоимпульсной дефектоскопии для контроля технического состояния эксплуатационной колонны.....	324
Костицын В. И., составитель. Юбилеяры кафедры геофизики Пермского университета.....	329

TABLE OF CONTENTS

	Page
Kostitsyn V. I. The founder of the Perm scientific seismic school – Adam Urupov and his followers.....	13
Gubina A. I., Chuhustov A. D., Rubka V. F. Perm engineering technical center «Geophysics»: to the 20th creation anniversary.....	25
Abuyev R. B., Taimanova K. G., Akhmetzhanova G. A. Flow capacity determination of the clastic terrigenous reservoirs using wireline logging data.....	36
Baikenzhina A. Zh., Isagalieva A. K., Isaev V. I. Usage of 3-D seismic for rockburst hazard zones mapping (Qaragandy coal basin).	42
Bakhterev V. V. About character of the dielectric losses alteration for some samples of brucite during the dehydration.....	47
Belozеров I. P., Gubaidullin M. G. Application of well logging data for digital core modeling in case of terrigenous reservoirs.....	52
Bobrov V. Y., Babkin A. I., Yaroslavtsev A. G. Results of practical sampling of seismic recording equipment for shallow investigations.....	56
Borovskiy M. Ya., Bogatov V. I., Surkov A. D., Lambev D. L. Ecological-geophysical study of the territory of the nature monument Nelkin stone of «Gornoe Zadelye» reserve, the Mari El Republic.....	61
Burakhovich T. K., Ilyenko V. A., Kushnir A. N. Seismicity manifestation in the region of the kirovograd electrical conductivity anomaly.....	68
Burdin D. L., Gorbuntsova N. V., Denisov A. M., Savich A. D. Integration approach to identification of water flooding origin in the horizontal wells operated by LUKOIL-PERM LLC.....	73
Burmistrov A. D. From the accessory minerals research of I. A. Popugaeva to the geophysical methods of primary diamonds prospecting.....	79
Bychkov S. G., Novikova P. N. Circular anomalies of the magnetic field in the north-west of the Perm region.....	84
Voroshilov V. A. Automation of geometry calculation for irregular seismic acquisition geometry.....	89
Genik I. V. The statistical characteristics of geophysical fields used in the interpretation of regional study on oil and gas.....	94
Gershanok V. A., Chadayev M. S. On the importance of nuclear geophysics course in education process for geophysics students.....	99

Glotov A. A., Neganov V. M., Laptev A. P. Realization of the azimuthal analysis of amplitudes of wide-azimuth 3D seismic data.....	105
Glushkov D. V. Directions of whole core study advancement to improve the informativity of the interpretation results of well logging.....	113
Gorbacheva A. P., Salnikova O. L. A detailed study of oil and gas wells using gamma-ray spectral logging data.....	121
Gorozhantsev S. V., Lisunov E. V. About results of integrated seismic and gravimetric observations in Primorsky krai in 2016–17..	128
Gubina A. I., Gulyaev P. N., Istratov V. A. Assessment of the current reservoir saturation according multifrequency electrical near-wellbore imaging (MFDI) data in different borehole conditions.....	135
Gubina A. I., Rastorguev M. N. Application of the neural network for the gas logging data interpretation.....	141
Gubina A. I., Yazuk A. D. Analysis of the application of long-term acoustic stimulation at the Shumovsky field and perspectives of themethod development at the fields of LLC LUKOIL-PERM.....	148
Denisov A. M., Savich A. D., Khalilov D. G. Peculiarities of logging the wells equipped with casing liners for the multistage fracturing.....	155
Dolgal A. S. Criteria of optimisation with inversion of the gravitational field (on the example of the montage method).....	161
Zubrikov A. A., Kolesnikov V. P. Integrity monitoring of an industrial waste water treatment plants pond liner by electrometry methods.....	166
Kazantsev V. A., Kostitsyn V. I., Shikhov S. A. Analytic anomalies continuation based on equivalent replacement of a complex gravity field.....	171
Karinskiy A. D., Daev D. S., Yudin M. N. Mathematical modeling of the influence of local conducting features on the results of the resistivity logging.....	177
Karinskiy A. D., Daev D. S. Dipole probes of resistivity logging in some models of anisotropic medum.....	183
Kovin O. N. Using migration to improve the georadar data interpretation: potash mine case study.....	191
Kulakova N. V. Calculation of hydrocarbons reserves based on the fracture permeability defined using well logging data.....	194

Lapshina Yu. V. Increase of efficiency of the LLC LUKOIL-PERM fields development using the results of well geophysical research.....	199
Levashov S. P., Yakymchuk N. A., Korchagin I. N., Drogitskaya G. M. About the feasibility of geoelectric methods for ore occurrences with uranium mineralization prospecting.....	204
Luppov V. I., Nekrasov A. S. Evaluation of current oil-saturation using complex of geophysical wells study of deposits of the Perm region.....	209
Mityunina I. Yu. Special aspects of 3D modeling in the mining-geological information systems.....	217
Ogorodova I. V., Gorozhantsev A. V. Application of ArcGIS package for creation of integrated physical-geological model of solikamsk depression suprasalt formation.....	220
Parshakov E. I., Taynitskiy A. A., Kichigin A. V. Use of the theory of assessments for interpretation of the vertical electrical soundings data.....	225
Perepletkin I. A. Identification of the unconventional oil-bearing reservoirs using three-component seismic technology. Western Siberia.....	230
Pleshkov L. D. Markov chain analysis for better understanding of carbonate sequences based on well-logging data.....	234
Popov V. M., Nagovitsin A. V., Demidov R. V., Zerova A. S. Creation the forecast intergrated structural map of upper proterozoic in the east of Izhma-Pechora syncline using geophysical data.....	241
Salnikova O. L., Savich A. D., Serkina A. V., Chukhlov A. S. Improving the effectiveness of well logging through the use of new technologies and methods.....	246
Sayapina A. A., Bagaeva S. S., Gorozhantsev S. V. About methodological and technological features of seismological observations in North Ossetia.....	252
Sevostyanov N. A. About the calculation of potential in local bodies for the decompositional solution of the 3D VES task.....	252
Seletkov I. A. Technologies for prediction of effective productive beds thickness using 3D seismic data.....	264
Silaev V. A. Seismic acquisition systems with the deep (borehole) source.....	268
Spassky B. A. Near surface geology and possibilities of its study in seismic reflection.....	274
Starkov I. V., Zvetkov G. A. On the application of neural networks in the system of the drilling process management.....	279

Taynitskiy A. A., Kichigin A. V. The solution of the VES inverse problem under the conditions of intensive alternate noise.....	286
Torgashov E. V., Verkholtantsev A. V. Land and underwater ert survey for mapping integrity of rock with the purpose of an underground tunnel construction.....	290
Khalilov D. G. The optic fiber technologies potential.....	295
Khristenko L. A., Stepanov Yu. I. Use of estimation theory for interpretation of the electrical profiling data.....	302
Sheremet E. M., Burakhovych T. K., Nikolaev I. Yu., Setaya L. D. Endogenous mineral resources prospecting at the Ukrainian shield by geoelectric methods.....	307
Yudin M. N., Daev D. S., Karinskiy A. D., Sevostyanov N. A. The Schwartz algorithm. Calculation the anomalous potential Fourier-spectr in a layered medium containing local bodies.....	312
Ovchinnikova E. A., Chernykh I. A., Shulakov D. Yu., Shumilov A. V. The use of microseismic monitoring for hydraulic fracturing control at the Byrkinskoe field.....	318
Xie M., Potapov A. P., Salnikova O. L., Shumilov A. V. Application of magnetic impulse defectoscopy for monitoring the technical condition of production casing	324
Kostitsyn V. I., compiler. Persons of Department of Geophysics of the Perm State University celebrating their jubilee.....	329

УДК 55 (092)+550.83

В. И. Костицын

Пермский государственный национальный
исследовательский университет.

614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15; e-mail: kostitsyn@psu.ru

ОСНОВАТЕЛЬ ПЕРМСКОЙ НАУЧНОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ШКОЛЫ А. К. УРУПОВ И ЕГО ПОСЛЕДОВАТЕЛИ

Аннотация. В 2018 г. научно-практическая конференция «Теория и практика разведочной и промысловой геофизики» посвящена 95-летию Адама Константиновича Урупова (26.01.1923–15.10.2008), основателя научной сейсмической школы в Пермском крае и Пермском университете, одного из создателей российской школы сейсморазведчиков-нефтяников, доктора геолого-минералогических наук, профессора, заслуженного деятеля науки Российской Федерации, заслуженного геолога РСФСР, заслуженного работника Минтопэнерго, ветерана Великой Отечественной войны (1941–1945).

Ключевые слова: Урупов Адам Константинович, основатель пермской научной сейсмической школы, ветеран Великой Отечественной войны.

V. I. Kostitsyn

Perm State University. 15 Bukireva St, Perm 614990, Russia;
e-mail: kostitsyn@psu.ru

THE FOUNDER OF THE PERM SCIENTIFIC SEISMIC SCHOOL – ADAM URUPOV AND HIS FOLLOWERS

Abstract. In 2018, the scientific and practical conference «Theory and practice of exploration and field geophysics» is dedicated to the 95th anniversary of Adam Konstantinovich Urupov (01.26.1923–10.15.2008). He is the founder of the Scientific Seismic School in Perm krai and Perm State University, and one of the founders of the Russian school of the petroleum exploration seismologists, Doctor of geological and mineralogical sciences, professor, Honored Scientist of the Russian Federation, Honored Geologist of the RSFSR, Honored Worker of the Ministry of Energy, and Veteran of the World War II (1941–1945).

Keywords: Adam Konstantinovich Urupov, founder of Perm Scientific Seismic School, veteran of the World War II.



А. К. Урупов родился 26 января 1923 г. в дер. Шаевка Могилёвской области Белоруссии. Его отец Константин Петрович и мать Дарья Фоминична Уруповы.



Константин Петрович



Дарья Фоминична

В сентябре 1940 г. он поступил на геологоразведочный факультет Московского нефтяного института, но Великая Отечественная война прервала его учёбу. Он срочно вернулся с геологической практи-



А. К. Урупов – командир роты 231 мото-инженерного батальона, 1943 г.

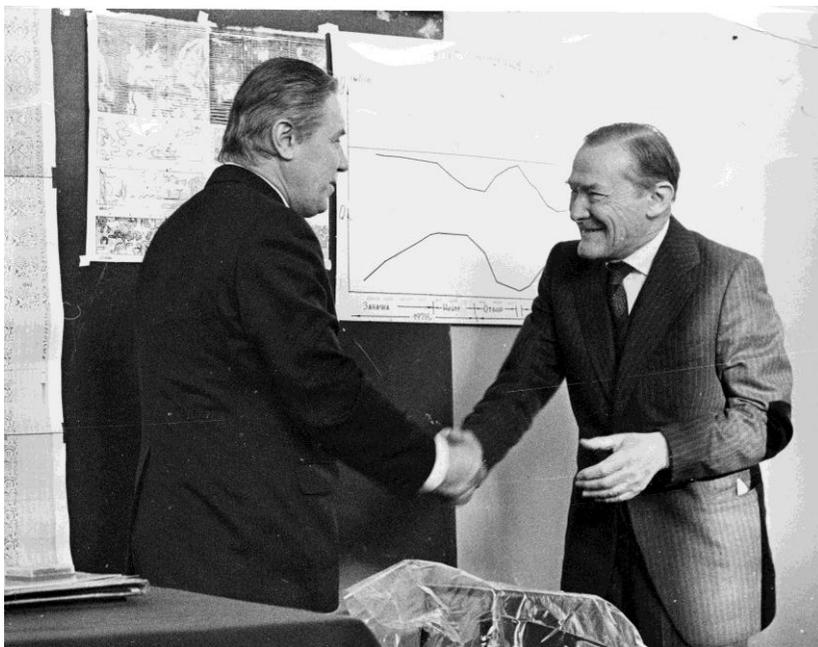
ки и с июля 1941 г. по сентябрь 1942 г. обучался в Московском военно-инженерном училище и Центральных курсах Красной Армии. В сентябре 1942 г. был призван в ряды Советской Армии, служил командиром взвода, командиром роты 231 мото-инженерного батальона 2-го Прибалтийского и Брянского фронтов до сентября 1944 г.

Был тяжело ранен и находился на лечении в эвакогоспиталях Ленинграда и Улан-Удэ с сентября 1944 г. по август 1945 г. В сентябре 1945 г. он возвратился на 2-й курс Московского нефтяного института и окончил его в 1950 г., получив специальность «Горный инженер-геофизик».



А. К. Урупов – студент геологоразведочного факультета Московского нефтяного института, 1945–1950 гг.

В 1950–1953 гг. А. К. Урупов – аспирант кафедры полевой геофизики Московского нефтяного института. Его научным руководителем являлся профессор **Л. А. Рябинкин** – один из основателей советской и российской сейсморазведки, создатель метода регулируемого направленного приема (РНП).



А. К. Урупов и Л. А. Рябинкин

После защиты кандидатской диссертации А. К. Урупов был переведен в ноябре 1954 г. из Московского нефтяного института на кафедру геофизики Пермского государственного университета (ПГУ) по приглашению заведующего кафедрой **Александра Кирилловича Маловичко**, где работал до апреля 1966 г. в должностях старшего преподавателя, доцента, профессора. В 1961–1962 гг. был деканом геологического факультета ПГУ. Преподавательскую работу на кафедре геофизики успешно сочетал с научной и производственной деятельностью в тематических партиях треста «Пермнефтегеофизика», по совместительству являясь начальником сейсморазведочной и тематических партий (1954–1966 гг.).

Именно в это время раскрылся его талант не только как ученого, но и человека, умеющего заинтересовывать и привлекать студентов и молодых коллег к научной работе. Он умел четко ставить перед молодыми людьми научные задачи, намечать пути их решения и тем самым открывать перед ними возможность самостоятельной работы и получения научного результата. Эту способность он сохранил до последних дней своей жизни.



Д. Г. Филин, А. К. Маловичко, А. К. Урупов, 1955 г.

Адам Константинович вырастил в Перми творческую группу исследователей и фактически стал основателем пермской научной сейсмической школы. Спектр научных интересов Адама Константиновича, его учеников и коллег был достаточно широк, однако, основным привлекавшим его внимание направлением было изучение скоростной характеристики среды, обуславливающей геологическую эффективность сейсморазведки.

Оставаясь под влиянием метода РНП, но не имея возможности его использовать, Адам Константинович (совместно с **В. И. Кивокурцевым**) предложил способ представления информации о кинематике волн на сейсмограммах в виде параметрических диаграмм (аналога суммомент РНП), с последующим использованием их для определения эффективных и пластовых скоростей и элементов залегания отражающих границ. Им, независимо от американского ученого К. Дикса, была решена задача определения пластовых скоростей по среднеквадратичным скоростям. Полученное выражение, известное у нас как формула Урупова – Дикса, до сих пор не потеряло актуальности и широко используется в мировой сейсмической практике.

Он впервые в стране (вместе со своим первым аспирантом **Ю. А. Бяковым** и **А. А. Шиловой**) получил синтетические сейсмограммы на основе данных ГИС и показал возможность их использования для установления природы и стратификации отражений, выбора оптимальных фильтраций и выявления зон выклинивания.



Слева направо: М. Н. Юдин, Н. И. Дергачев, В. И. Кивокурцев,
Н. Г. Шкабарня, А. К. Маловичко, С. И. Лапин, А. К. Урупов,
М. С. Чадаев, З. Н. Каменщикова, 1966 г.

Совместно с аспирантом **Б. А. Спасским** и специалистами треста «Пермнефтегеофизика» им выполнены в 1964–1968 гг. комплексные работы по изучению динамики отраженных волн в условиях Прикамья, оценке искажающего влияния амплитудных нелинейных регуляторов на форму записи и спектральный состав, на амплитуды и времена прихода отраженных волн. При этом выявлены новые возможности использования динамических характеристик отраженных волн, связанных с регуляторами усиления.



А. К. Урупов, В. М. Новоселицкий, Б. А. Спасский

Важным направлением исследований А. К. Урупова и его учеников (**В. А. Силаев, И. М. Скумбин, С. И. Лапин, Л. П. Неволин, В. П. Лисин, Э. Б. Трушников**) являлось совершенствование методики моделирования волновых полей, исследование сейсмической анизотропии, изучение скоростей на основе сейсмокаротажа и вертикально-го сейсмического профилирования глубоких и разведочных скважин.

Ю. А. Бяков первым из аспирантов кафедры геофизики защитил кандидатскую диссертацию на тему «Поиски зон выклинивания и фациального замещения слоев методом отраженных волн» (1966 г.). С 1970 г. деятельность Юрия Алексеевича связана с морской геофизикой, в 1970–1982 г. – заместитель директора по науке во ВНИИМОРГЕО (г. Рига, Латвия), в 1983–2005 гг. работал в Научно-исследовательском и проектном институте геофизических методов разведки океана (НИПИОкеангеофизика, г. Геленджик) в должностях заведующего отделом сейсморазведки, заместителя директора и директора института.

Ученик А. К. Урупова **Неволин Л. П.** защитил кандидатскую диссертацию «Применение физического моделирования при интерпретации данных сейсморазведки в условиях Пермского Приуралья» под руководством профессора А. К. Маловичко (1973 г.).

Лисин В. П. занимался изучением локальных неоднородностей разреза с целью повышения достоверности сейсморазведки при поисках нефтегазоносных структур, кандидатскую диссертацию защитил во Всесоюзном научно-исследовательском институте морской геологии и геофизики (г. Рига) в 1979 г. (научные руководители А. К. Урупов и Ю. А. Бяков).

Скумбин И. М. осуществлял научное руководство важнейшей госбюджетной темой (совместно с ВЦ ПГУ) по проблемам математического моделирования в сейсморазведке с 1971 по 1983 гг., кандидатскую диссертацию защитил в МГУ (1979 г.). Его научные разработки внедрены в научных и производственных организациях не только Пермского края, но и в других регионах.

Созданный Адамом Константиновичем творческий коллектив на кафедре геофизики ПГУ стал базой для дальнейшего развития пермской научной сейсмической школы, с которой он в дальнейшем поддерживал тесные научные и дружеские связи. Примером этого являются его совместные научные работы с **Алексеем Александровичем Маловичко** по исследованию кинематики отраженных волн в неоднородных средах и защита аспирантом **Э. Б. Трушниковым** (выпускником кафедры геофизики ПГУ) кандидатской диссертации по теме «Исследование закономерностей распространения упругих волн и разработка методики интерпретации сейсмических данных в условиях

упорядоченной неоднородности геологических сред на основе физического моделирования» (1992 г.).

Монографические издания **Адама Константиновича Урупова** начинаются с известной монографии «Изучение скоростей в сейсморазведке» (1966 г.), обобщившей результаты научной деятельности его пермского периода и ставшей основой докторской диссертации, защищенной в Москве (МИНХ и ГП им. Губкина, 1966 г.). Работа нашла достойное место в учебном процессе при чтении курса «Сейсморазведка». В ней изложены все основные аспекты изучения сейсмических скоростей: от теоретических исследований до получения конкретных формул для различных геологических разрезов и рекомендаций по их применению. По материалам монографии были написаны студентами многие курсовые и дипломные работы. Она служила источником написания кандидатских и докторских диссертаций, важным дополнением к учебной литературе.

Последующие монографии пермской сейсмической школы изданы уже учениками А. К. Урупова, так как с конца 1960-х годов он возглавлял сейсмические работы в Германии, был заместителем директора по науке ВНИИГеофизика, а затем перешел работать на преподавательскую работу в Московский институт нефти и газа имени И. М. Губкина (ныне Российский университет нефти и газа имени И.М. Губкина).

В 1978 г. **Б. А. Спасский** – ученик А. К. Урупова – издает учебное пособие «Цифровая сейсморазведочная аппаратура», а в 1986 г. – «Основы цифровой обработки данных сейсморазведки». В пособиях подробно описаны внедряющаяся в практику работ цифровая аппаратура и процесс обработки полученных на ней данных. В 1990 г. выходит в свет монография «Учет верхней части разреза в сейсморазведке». В ней он акцентирует внимание на необходимости тщательного изучения верхней части разреза для учета ее искажающего воздействия при интерпретации сейсмического материала. Монография стала существенным дополнением к учебным изданиям и широко используется в учебном процессе по настоящее время.

Профессор **Б. А. Спасский** в соавторстве с доцентом **И. Ю. Митюниной** в 1992 г. публикуют монографию «Использование первых волн в сейсморазведке методом отраженных волн для изучения верхней части разреза». В ней авторы обращают внимание на важность информации, содержащейся в первых волнах и необходимость ее использования при интерпретации.

В 2007 г. **И. Ю. Митюнина** издает учебно-методическое пособие «Компьютерные технологии в геофизике». В нем дана краткая ха-

рактика современных средств вычислительной техники и автоматизированных систем обработки геофизических данных, изложены основы геоинформационных технологий и их применение при решении широкого спектра геолого-геофизических задач. В 2012 г. она издает учебно-методическое пособие «Геоинформационные системы в геологии», в котором представляет лабораторные работы в среде полнофункциональной геоинформационной системы ArcGIS 9.3 (ESRI, США).

Профессор **Б. А. Спасский** в соавторстве с доцентом **И. Ю. Герасимовой** в 2007 г. издают учебно-методическое пособие «Сейсмостратиграфия». В пособии рассмотрены новые технологии количественной интерпретации сейсмических данных, позволяющие определять физические свойства горных пород: плотность, пористость, глинистость, проницаемость, необходимые для решения задач нефтегазовой геологии, приведены особенности современной кинематической и динамической интерпретации данных сейсморазведки отраженными волнами. Изложены общие идеи прогнозирования геологического разреза, показана необходимость использования параметров волновых полей для уточнения геолого-геофизических моделей нефтяных месторождений и прогноза содержания в породах углеводородов.

В 2011 г. **Б. А. Спасский** и **И. Ю. Герасимова** издают учебное пособие «Теоретические основы обработки геофизических данных», в котором изложены основы цифровой обработки полевой информации. На основе спектральных представлений в пособии дано математическое описание непрерывных и дискретных сигналов и систем обработки во временной, частотной и Z -областях, рассмотрены типы применяемых фильтров при использовании детерминистического и статистического подходов к обработке.

Ученик А. К. Урупова – профессор **Р. П. Савелов** в 1982 г. публикует учебное пособие «Метод общей глубинной точки в сейсморазведке», в котором изложены основные вопросы применения метода: приведены выводы уравнений годографов полезных волн и волн-помех, рассмотрены факторы, влияющие на эффективность метода, приведены сведения об обработке данных.

Обобщение опыта применения сейсморазведки методом общей глубинной точки **Р. П. Савелов** изложил в своей монографии «Вопросы теории и практики применения сейсморазведки МОГТ». В ней изложены теоретические основы метода общей глубинной точки, даны выводы основных уравнений, рассмотрены различные виды систем наблюдений, приведены сведения об обработке полевых данных, примеры применения метода в различных сейсмогеологических условиях.

Основные положения монографии изучаются студентами в курсе «Сейсморазведка», с ее использованием пишутся курсовые и дипломные работы. Р.П. Савелов занимался также использованием геофизических методов в решении экологических задач. В 1999 г. он издал учебное пособие «Введение в экологическую геофизику».

Шесть учебных пособий профессоров **Б. А. Спасского** и **Р. П. Савелова** издано на французском языке в 1972–1979 гг., когда они вели преподавательскую работу в одном из университетов Алжира.

В 1980 г. представитель пермской сейсмической школы – доцент **С. И. Лапин** публикует монографию «Сейсмическая разведка анизотропных сред», ч. 1, а в 1983 г. – ч. 2, в которой убедительно показывает роль анизотропии в распространении упругих колебаний в реальных средах и необходимость ее учета.

В 1990 г. выходит в свет монография будущего члена-корреспондента РАН **А. А. Маловичко** (сына А.К. Маловичко) «Кинематическая интерпретация данных цифровой сейсморазведки в условиях вертикально-неоднородных сред». В ней изложены методы цифровой обработки, применяемые в практике сейсморазведки методом общей глубинной точки для изучения скоростного разреза осадочных бассейнов.

Большой круг теоретических и практических вопросов применения сейсмического метода в скважинах затронул профессор **В. А. Силаев** в своей монографии «Скважинная сейсморазведка» (2002 г.), которую переиздал в электронном виде (2018 г.). В ней рассмотрены физические и методические основы скважинной сейсморазведки по методу глубинного сейсмического торпедирования для оперативного уточнения разбуриваемых участков нефтяных месторождений. Доказана геологическая эффективность этого направления сейсморазведки при изучении нефтеперспективных площадей.

Представитель пермской сейсмической школы – профессор **И. А. Санфиоров** в 1996 г. по материалам своей докторской диссертации издал монографию «Рудничные задачи сейсморазведки МОГТ». На основе анализа особенностей регионального сейсмогеологического строения рудного месторождения пластового типа автор закладывает основу прогноза потенциально неустойчивых участков шахтного поля.

Возбуждение сейсмических колебаний обычно проводится взрывными источниками. Их использование на практике сопряжено с определенными трудностями. Для изучения специфики применения взрывных работ доцент **С. В. Горожанцев** в 2007 г. издал учебно-методическое пособие «Взрывные работы в сейсморазведке». Пособие содержит сведения о взрывчатых веществах, теории и действию взры-

ва, в нем рассматриваются средства инициирования, правила ведения взрывных работ, излагаются правила складирования, транспортировки взрывчатых материалов и техники безопасности.

Необходимость прогнозирования землетрясений, выяснения сейсмичности регионов потребовала изучения геодинамических процессов, происходящих в недрах Земли. В 2007 г. профессор **Т. С. Блинова** издала учебно-методическое пособие «Геодинамика и сейсмичность».

Доцент **Р. А. Дягилев** и кандидат физико-математических наук **Д. А. Маловичко** (внук профессора А. К. Маловичко) опубликовали учебно-методическое пособие «Микросейсмическое районирование».

В двух последних пособиях рассмотрены основы развития геодинамических процессов в различных геосферах Земли и их влияние на сейсмичность. Рассмотрены теоретические и методические аспекты инженерной сейсмологии, сейсмическая обстановка на Западном Урале, выделены геодинамически неустойчивые зоны, рассмотрены причины возникновения землетрясений в различных регионах земного шара. Раскрыты вопросы оценки степени опасности сейсмических воздействий, включая природную и техногенную составляющие.

В связи с переходом страны к экономике рыночного типа, подготовка геофизиков в современных условиях невозможна без изучения основ финансового менеджмента, предпринимательской деятельности. Не оставаясь в стороне от этих вопросов, преподаватели кафедры геофизики издали по ним учебную литературу.

Профессор **В. А. Силаев**, являясь не только преподавателем кафедры, но одновременно и генеральным директором нефтедобывающего предприятия «РОСТЭК», в 2007 г. издал учебно-методическое пособие «Менеджмент в геофизике и недропользовании». В нем он привел теоретические понятия финансового менеджмента и на основании собственного опыта показал особенности менеджмента при геофизических работах и в нефтедобывающих предприятиях. Особое внимание уделено анализу финансово-хозяйственной деятельности малых предприятий, занимающихся недропользованием.

Другим изданием из этой области является учебно-методическое пособие ученика А. К. Урупова – доцента **Э. Б. Трушников** «Основы предпринимательства в геофизике». В пособии изложены основы комплекса знаний, необходимых для ведения предпринимательской деятельности, в том числе в геофизике.

В настоящее время последователями пермской сейсмической школы А. К. Урупова являются доктор геолого-минералогических наук В. М. Неганов, кандидаты наук А. П. Лаптев, Д. А. Маловичко,

И. И. Семерикова, А. И. Бабкин, С. В. Белов, А. М. Пригара, А. Г. Ярославцев, К. Б. Фатькин, А. Ю. Бяков, А. В. Чугаев, Л. Р. Маловичко, И. В. Огородова, Д. Ю. Шулаков и другие.

Адам Константинович Урупов постоянно поддерживал тесные связи с кафедрой геофизики Пермского университета. Последнее его письмо из Москвы на кафедру было связано с изданием главного его научного труда: *«Посылаю на кафедру геофизики сей тяжелый (по весу) труд «Основы трехмерной сейсморазведки», благодарю за рецензию, а также за совместную работу, результаты которой частично нами отражены в данной книге. Сожалею, что не располагаю возможностью в знак благодарности вручить эту книгу индивидуально каждому из Вас. 21.09.2005.»*

Большая семья Адама Константиновича очень тепло и с гордостью вспоминают своего замечательного отца, мужа и дедушку.



Семья А. К. Урупова. Первый ряд (слева направо): Даша (внучка), Ярослав (внук), Антон (внук со своей девушкой), Артем (внук), Николай (внук), Адам Константинович, Вика (внучка), Галина Николаевна (вторая жена), Галина (дочь). Второй ряд (слева направо): Елена (дочь), Сергей (муж дочери Галины), Ярослав (сын), Татьяна (жена сына Ярослава). Москва, 2001 г.

Коллеги и бывшие выпускники Российского государственного университета нефти и газа имени И.М. Губкина и Пермского государственного национального исследовательского университета помнят Адама Константиновича не только как выдающегося ученого, замечательного педагога, но и как любителя поэзии, автора стихов, интересного собеседника и прекрасного исполнителя песен.

УДК 550.832.92

А. И. Губина^{1,2}, А. Д. Чухустов², В. Ф. Рыбка²

¹ Пермский государственный национальный исследовательский университет. 614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15;
e-mail: gubinaai@pitc.pnsh.ru,

² ООО «ПИТЦ Геофизика». 614000, Россия, г. Пермь,
ул. Петропавловская, 16а, офис 408; e-mail: pitc@pitc.ru

ПЕРМСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР «ГЕОФИЗИКА»: К 20-ЛЕТИЮ СОЗДАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ

Аннотация. Рассмотрена история создания компании. Приведен краткий обзор оборудования и технологий, которые в совокупности делают компанию одной из ведущих в Пермском крае.

Ключевые слова: геофизика, перфорация, акустический каротаж.

A. I. Gubina^{1,2}, A. D. Chukhustov², V. F. Rybka²

¹ Perm State University, 15 Bukireva Str., Perm 614990, Russia;
E-mail: gubinaai@pitc.pnsh.ru,

² PITC Geophysics Ltd., 16a Petropavlovskaya Str., Office 408,
Perm 614000, Russia; E-mail: pitc@pitc.ru,

PERM ENGINEERING TECHNICAL CENTER «GEOPHISICS»: TO THE 20th CREATION ANNIVERSARY

Abstract. The history of the company creation and a brief overview of the equipment and technologies that make the company one of the leading in the Perm region are presented.

Key words: geophysics, perforation, perforation, acoustic logging.

ООО «ПИТЦ «Геофизика» является одним из немногих предприятий нефтегазового сервиса, которому за последние годы удалось не только сохранить, но и значительно приумножить свой интеллектуальный и производственно-технический потенциал.

Предприятие было создано в декабре 1998 г. За 20 лет своего существования Пермский инженерно-технический центр «Геофизика» превратился в крупную, динамично развивающуюся компанию с мощной ресурсной базой и штатом работников свыше 700 человек. Вхождение в июне 2007 г. в группу сервисных компаний ООО «Нефтьсервисхолдинг» позволило максимально расширить спектр оказываемых

геофизических услуг и диверсифицировать бизнес в Ближнее зарубежье: Республики Казахстан и Узбекистан. Именно там предприятие открыло свои филиалы в 2008–2009 г.

Одной из ключевых территорий присутствия с 2008 г. стал и регион Восточной Сибири, где предприятие уже в течение 10 лет ведет сейсморазведочные работы. В 2012 г. там было создано обособленное подразделение, начаты работы по геофизическим исследованиям скважин. Инновационная составляющая – ключевое направление в деятельности ПИТЦ «Геофизика». Среди инноваций, используемых специалистами, такие, как оптико-волоконные технологии для исследования скважин, современные технологии вторичного вскрытия с одновременным воздействием на пласт, кумулятивная перфорация, долговременное акустическое воздействие, структурная наклонметрия электрическими сканирующими методами и др. В 2015 г. предприятие стало единственным в России, оказывающим услуги ГИС на основе диэлектрического каротажа, освоив метод многочастотной диэлектрической интроскопии. Во многом, благодаря использованию новейших технологий, предприятие сумело за последнее десятилетие в 4 раза увеличить свою капитализацию, соответственно нарастив и объемы выполняемых работ. Один из главных приоритетов ПИТЦ «Геофизика» – использование новейшего отечественного геофизического оборудования, по ряду параметров превосходящее западные аналоги. Достаточно сказать, что во многом благодаря ПИТЦ «Геофизика», а именно, внедрению на предприятии новейших перфораторов и кумулятивных зарядов к ним, нефтяные компании Пермского края до сегодняшнего дня считаются лидерами по вторичному вскрытию нефтяных пластов современными перфорационными системами.

С первых лет своего существования на предприятии активно развивалась научно – исследовательская деятельность, направленная на повышение эффективности геофизических исследований скважин, осуществлялось тесное сотрудничество с ведущими научными центрами и разработчиками геофизической аппаратуры. За истекший период в коллективе были защищены 4 диссертации: А. И. Губина – доктор геолого-минералогических наук (2008), И. Н. Жуланов – доктор технических наук (2008), А. В. Балдин – кандидат технических наук (2009), М. А. Городилов – доктор экономических наук (2011) (фото 1). Опубликовано более 70 статей в научных геологических журналах (авторы – А. В. Балдин, В. Н. Бабуров, А. И. Губина, И. Н. Жуланов, Ю. В. Уточкин, Е. С. Найданова, П. Н. Гуляев, В. Ф. Рыбка и др.), получено 10 патентов на изобретения (авторы: А. В. Балдин, И. Н. Жуланов, П. Н. Гуляев, Е. В. Савин). Под авторством главного геолога

предприятия А. И. Губиной было издано пять учебных пособий и две монографии по интерпретации геофизических методов для подготовки молодых специалистов и переподготовки кадров. Молодые специалисты ООО «ПИТЦ «Геофизика» – постоянные участники и победители ежегодных конкурсов научных разработок компаний «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ» и ООО «Нефтьсервисхолдинг». В 2013 г. на предприятии стартовал собственный корпоративный конкурс на лучшее новаторское предложение на приз имени А. В. Балдина – первого директора, лауреата Государственной премии в области науки и техники, кандидата технических наук (скоропостижно скончался в 2012 г.).



Фото 1. Доктора наук предприятия А. И. Губина, М. А. Городилов и И. Н. Жуланов с первым директором, кандидатом технических наук А. В. Балдиным (второй слева)

Кадровая и социальная политика – это два неразрывно связанных направления, которые в ООО «ПИТЦ «Геофизика» эффективно дополняют друг друга. Здесь трудится дружный, сплоченный коллектив единомышленников. Интеллектуальные турниры, юбилейные и спортивные праздники, благотворительные акции в помощь больным детям, шефская помощь юным геологам из Дворца краевого детского

творчества – неотъемлемая часть жизни предприятия. Кропотливая работа с молодыми кадрами из Пермского государственного национального исследовательского университета, доброжелательная атмосфера, инновационный подход к решению производственных задач – это лишь малая толика того, на чем зиждется авторитет компании. Сегодня можно уверенно сказать, что стаж работы в ООО «ПИТЦ «Геофизика» является лучшей визитной карточкой специалиста и гарантией его высокой квалификации.

ПИТЦ «Геофизика»: хроника событий, 1998–2018 гг.

21 декабря 1998 года

– Регистрация предприятия ЗАО «Пермский инженерно-технический центр «Геофизика». Директор А. В. Балдин, численность – 10 сотрудников, 1 перфораторная партия (фото 2).



Фото 2. Они были первыми (слева направо): А. В. Балдин, К. С. Уточкин, С. С. Хотулев, Н. И. Новоселов

1999 год

– Приступила к работе **первая комплексная партия**. Начало разработки и внедрения новых видов взрывчатых материалов и уст-

ройств, геофизической аппаратуры и оборудования. К концу года штат сотрудников составил 26 человек.

2000 год

– Приступила к работе **первая партия ГТИ**. На базе 7 партий ГТИ и 4-х пластоиспытательных создана экспедиция прямых методов (**ЭПМ**). Все партии оснащены цифровыми станциями. Заработала собственная служба интерпретации данных ИПТ, ГТИ и ПГИ. Организуется Чернушинский филиал ЗАО «ПИТЦ «Геофизика». Штат – 71 человек.

2001 год

– Создание центра информационных технологий (**ЦИТ**). Предприятие полностью перешло на цифровую регистрирующую и скважинную аппаратуру. Внедрены в производство каротажные станции «КарСар», позволяющие подключать широкий спектр приборов. Приобретена аппаратура импульсного нейтрон – нейтронного каротажа. Начинается внедрение аппаратуры акустического каротажа МАК-2 и программного обеспечения «ГИС-АКЦ» для обработки данных акустики. Первые опыты по внедрению технологии «Перфоген» для одновременного вскрытия и термогазодинамического воздействия на вскрываемый пласт, разработанной совместно с ОАО «ВНИПИВзрыв-геофизика». Начало строительства собственной производственной базы в поселке Полазна. Численность сотрудников составила 159 человек.

2002 год

– Создана экспедиция комплексных партий (**ЭКП**) на базе 7-и комплексных и 1-й перфораторной партий (фото 3). В составе ЭПМ появляется **служба мониторинга за строительством скважин**. ГТИ переориентируются на решение задач контроля за строительством эксплуатационных скважин. Внедрены спутниковые средства передачи информации. Приобретение собственного метрологического комплекса. Комплексные партии оснащаются оборудованием, предназначенным для проведения работ по технологии предварительного спуска геофизических приборов под глубинный насос. Формирование экспедиции по ремонту аппаратуры и оборудования (**ЭРАиО**).

2003 год

– Происходит дальнейшее развитие акустических методов: глубинное зондирование околоскважинного пространства, акустическое воздействие на пласт, акустическая шумометрия, контроль цементирования на отраженных волнах, межскважинное просвечивание. Освоена эжекторная технология с использованием струйного насоса. Ведутся работы по разработке и внедрению новейших методов интенсифика-

ции добычи нефти: введение активных жидкостей с помощью взрывных технологий, воздействие медленно горящими пороховыми генераторами, виброакустическое воздействие.



Фото 3. Визит президента компании «ЛУКОЙЛ» В.Ю. Алекперова и губернатора Пермского края О. А. Чиркунова на месторождение в партию ЭКП

2004 год

– Идет освоение новых методов контроля технического состояния скважины, выявления сложнопостроенных зон и зон перетоков газа. Впервые на полигоне Пихтовского нефтяного месторождения проведены площадные комплексные акустическо-радиоволновые межскважинные исследования. Приобретены первые метрологические установки, произведена первая разметка кабеля. Начинает работу **отдел площадного анализа и отдел новых технологий**. На территории производственной базы в пгт. Полазна построены аппаратный цех, цех перемотки кабеля, лаборатория.

2005-2006 годы

– Созданы **бухгалтерия, планово-экономический отдел, диспетчерская служба**. Происходит пик внедрения в производство новых технологий для исследований скважин. Идет наращивание парка скважинной аппаратуры, освоены сканирующие методы, акустический

дипольный каротаж, волновая акустическая дефектоскопия, спектральный гамма каротаж, спектрометрический нейтронный гамма каротаж по хлору. Создаются комплексы акустических методов контроля качества работ по ЦГПП, ГРП и контроля качества цементирования при 2-х колонной конструкции скважин. В дополнение к стандартным комплексам добавляются спектральные (радиоактивные, акустические) и сканирующие (электрические, акустические) методы. На территории производственной базы построено хранилище радиоактивных веществ.

2007 год

– Предприятие на правах дочернего общества входит в структуру группы сервисных компаний «Нефтьсервисхолдинг». Создаются: **служба радиационной безопасности, отдел промышленной безопасности, управление по работе с персоналом, служба МТС и АХО.**

2008 год

– Организован Средне-Азиатский филиал в Республике Казахстан (САФ). Приобретена телеметрическая система Sondex, предназначенная для навигации бурения ствола скважины и записи каротажа в процессе строительства скважины. Создана первая полевая **сейсморазведочная партия** для выполнения работ в Западной Сибири. Созданы и начали функционировать системы менеджмента качества (СМК) и промышленной безопасности и охраны труда (СМ ПБ и ОТ). Начало перехода на новое поколение каротажных регистраторов Кар-Сар-500.

2009 год

– Создан производственно-технический отдел (**ПТО**). Введено в строй новое административно-хозяйственное здание ПИТЦ «Геофизика» в пгт. Полазна (фото 4). Происходит активное вхождение на международный рынок, реализация крупных проектов на территории Казахстана и Узбекистана (фото 5). Зарегистрировано дочернее общество – ТОО «Геофизическая компания «Каспий». В Ташкенте создано постоянное учреждение в Республике Узбекистан. Получен международный сертификат в области охраны труда и промышленной безопасности OHSAS 18001:2007. Из состава ЦИТ выделилась **геологическая группа.**

2010 год

– Проведены исследования ГТИ на Аракаевской параметрической скважине (Екатеринбург) с проектной глубиной 5500 метров. Для координации зарубежных проектов создано управление инвестиционно-финансового проектирования и анализа. Внедрена система качества работы полевых партий. Перевод ЦИТ на новую систему оплаты труда

в зависимости от объема и качества работ. Выход первого номера корпоративной газеты «СПИТЦИАЛЬНАЯ газета».



Фото 4. Административно-бытовой корпус на производственной базе в пос. Полазна, построен в 2009 г.



Фото 5. Начало работ в Республике Узбекистан. Кандымская группа месторождений

2011 год

– Состоялась первая конференция по качеству. На предприятии прошел аудит интегрированной системы менеджмента на соответствие трем международным стандартам: ИСО 9001:2008, OHSAS 18001:2007 и ISO 14001:2004. Совместно с НПП «ВНИИГИС» начата реализация крупного проекта по оптимизации комплекса ГИРС по оценке нефтенасыщенности и трещиноватости горных пород. Начало внедрения исследований по контролю за разработкой с использованием оптоволоконного кабеля. Впервые начата технология ГИС сборками геофизических приборов. Значительно увеличился объем работ. Внедрена круглосуточная обработка и интерпретация материала. Перевод ЦИТ на новую систему оплаты труда. Впервые опробована новая технология исследования горизонтальных скважин с помощью прибора «Кар-Сар Горизонт». Внедрена спутниковая система мониторинга автотранспорта. В Пермском офисе торжественно открыт стенд спортивной славы предприятия.

2012 год

– Открытие обособленного подразделения в Томской области. Начаты работы по геофизическим исследованиям. Директор А. В. Балдин удостоен звания лауреата Государственной премии в области науки и техники. Предприятие представило свою деятельность на специализированной международной выставке-конгрессе «Нефть. Газ. Геология» в г. Томске, удостоившись диплома в номинации «Лидер в отрасли». Подписан контракт с компанией «ERIELL Corporation» на проведение ГТИ в Республике Узбекистан. До 2012 г. ПИТЦ «Геофизика» – единственное в Прикамье предприятие, работающее по первичным исследованиям в процессе бурения скважин.

2013 год

– Продолжены опытно-промышленные работы (ОПР) новыми методами по программам ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ». Начало внедрения нового направления – структурная наклонометрия электрическими сканирующими методами (ЭМС). Первые опытные работы на КПС аппаратурой радиоволнового профилирования (ОРВП). Учреждена корпоративная награда – статуэтка «ПИТЦа счастья» за непроизводственные достижения. Учрежден ежегодный конкурс на лучшее новаторское предложение на приз имени А.В.Балдина – первого директора предприятия. Предприятие торжественно отметило 15 лет со дня своего создания.

2014 год

– ООО «ПИТЦ «Геофизика» по итогам за 2013 год признано одним из лучших в своем виде деятельности по результатам объектив-

ного автоматизированного ранжирования, проведенного в рамках национального бизнес-рейтинга «Лидер России 2013». На базе Тунгольского лицензионного участка (Томская область) создана сейсмопартия № 3 (фото 6). ПИТЦ «Геофизика» прошел процедуру аккредитации ОАО НК «Роснефть». ПИТЦ «Геофизика» стал одним из первых предприятий в России, начавший опытные работы по освоению и внедрению в производство многочастотной диэлектрической интроскопии (MFDI).



Фото 6. Томская область. Начало сейсморазведочных работ

Началось активное внедрение в производство таких перспективных направлений и методов, как оптоволоконные технологии мониторинга работы скважины, долговременное акустическое и термоакустическое воздействие, технологии эжекторных насосов. ПИТЦ «Геофизика» стал участником проекта по погашению замораживающих и контрольных колонок перфорацией с последующей цементацией под давлением на Балахонцевском и Палашерском участке Верхнекамского месторождения калийных и магниевых солей. Проект был реализован совместно с немецкой компанией «THYSSEN SCHACHTBAU». Получено первое свидетельство о регистрации в Российской системе калибровки.

2015 год

– 1 января в работу производственно-технической службы запущена система мониторинга транспорта «Омникomm-Сервис», предоставляющей полную информацию о наблюдаемом объекте. Силами специально обученных сотрудников экспедиции комплексных партий началось использование современной автономной геофизической системы «Горизонталь», позволяющей исследовать открытый ствол горизонтальных скважин. Предприятие презентовало свои услуги для компании ОАО «Томскнефть – ВНК» (Томская область), продемонстрировав все имеющиеся в арсенале ПИТЦ «Геофизика» геологические и технологические решения. Получена новая лицензия на эксплуатацию радиоактивных источников излучения. Получена лицензия УФСБ России по Пермскому краю на проведение работ, связанных с использованием сведений, составляющих государственную тайну. Создано режимно-секретное подразделение (РСП) для обеспечения защиты государственной тайны при проведении сейсморазведочных работ на территории РФ. В пермском офисе предприятия открылась корпоративная картинная галерея.

2016 год

– Выигран крупный тендер ООО «Роснефть – Уватнефтегаз» в ХМАО сразу на два полевых сезона 2016–2018 гг. Впервые прошли технический аудит ООО «Газпромнефть» с выездом в полевую партию. Запущен в работу новый технологический автономный комплекс по исследованию бурящихся скважин «АППОРТ». К 100-летию ПГНИУ (первого на Урале университета) изданы три учебных пособия при участии сотрудников ООО «ПИТЦ «Геофизика». Предприятие выпустило свой сборник рассказов «Расскажи о своем герое», посвященный 70-летию Победы. В сборник вошли 15 очерков сотрудников, рассказавших о своих родных – ветеранах Великой Отечественной войны.

2017 год

– Создано новое подразделение – **отдел сопровождения прострелочно-взрывных работ**. Разработана и утверждена новая организационная структура предприятия. Более 70 детей сотрудников стали участниками ежегодно проводимой в коллективе новогодней акции «Дед Мороз и Снегурочка – в гости к детям». Состоялся юбилейный V конкурс на лучшее новаторское предложение на приз имени А. В. Балдина.

2018 год

– Выручка предприятия за последние 10 лет (с 2008 г.) выросла в 3,5 раза. Численность коллектива на 1 января 2018 года составила

772 человека. Издана книга «ПИТЦ «Геофизика»: История в лицах», посвященная юбилею предприятия. Предприятию исполнилось 20 лет со дня создания.

УДК 553.98, 551.761

Р. Б. Абуев¹, К. Г. Тайманова², Г. А. Ахметжанова³

¹ ТОО НИИ «Каспиймунайгаз». 060012, Казахстан, г. Атырау, ул. Жарбосынова 89а; e-mail: abuyev.r@llpcmg.kz

² ТОО «Timal Consulting Group». 050059, Казахстан, г. Алматы, проспект Аль-Фараби, 7, блок 5А, офис 188

³ Казахский национальный исследовательский технический университет. 050013, Казахстан, г. Алматы, ул. Сатпаева, 22а

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЛЬТРАЦИОННО-ЕМКОСТНЫХ СВОЙСТВ ГРУБООБЛОМОЧНЫХ ТЕРРИГЕННЫХ КОЛЛЕКТОРОВ ПО ДАННЫМ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН

***Аннотация.** Рассмотрена методика определения пористости терригенных коллекторов, представленных грубообломочными породами. Изложенный подход к вычислению объема пустотного пространства изучаемых пород позволяет исключить занижение пористости и сокращение эффективной толщины коллектора.*

***Ключевые слова:** геофизические исследования скважин, гравелиты, терригенные породы, коллектора, коэффициент пористости.*

R. B. Abuyev¹, K. G. Taimanova², G. A. Akhmetzhanova³

¹ Caspimunaigas LLP. 89a Zharbosynov Str, Atyrau 060012, Kazakhstan; e-mail: abuyev.r@llpcmg.kz

² Timal Consulting Group LLP. 7 Al-Farabi Str., Block 5A, Office 188, Almaty 050059, Kazakhstan,

³ Kazakh National Research Technical University. 22a Satpayev Str., Almaty 050013, Kazakhstan.

FLOW CAPACITY DETERMINATION OF THE CLASTIC TERRIGENIC RESERVOIRS USING WIRELINE LOGGING DATA

***Abstract.** This article provides the porosity determination method that is appropriate for terrigenous reservoirs composed of coarse-grained rocks.*

The obtained results demonstrate that the proposed method should prevent porosity and net reservoir thickness underestimation.

Key words: *wireline logging, gravelites, conglomerates, clastic sediments, reservoir, porosity.*

К числу наиболее перспективных районов Южно-Торгайской впадины относится Арыскупский прогиб, в пределах которого открыт целый ряд месторождений. Одним из объектов эксплуатации месторождений Кызылкия, Арыскуп, Арысское, Акшабулак, Нуралы, является продуктивная толща меловых отложений. Зачастую в толще мелового нефтегазового комплекса прослеживаются продуктивные пласты, представленные гравелитами и конгломератами, определение коэффициента пористости (K_{II}) которых по данным геофизических исследований (ГИС) неоднозначно. Как правило, такие породы полимиктовые, состоят из многоцветных кварцевых зерен, гранул и обломков кремния; часто в качестве матрицы выступают обломки терригенных пород – песчаник и алевролит, реже встречаются включения аргиллита. Согласно описанию шлама, угловатые и полуокатанные зерна диаметром от 2 до 8 мм сцементированы песчано-глинистым, реже карбонатным материалом. По результатам анализов керна, коллектора, представленные конгломератами и гравелитами, обладают пористостью от 11 до 21 %.

Рассматривая данные стандартных исследований по определению гранулометрического состава породы на керне с месторождений этого региона, можно отметить, что параметры скелета близки к величинам, характерным для карбонатных пород [1–4].

Это отражается и на геофизической характеристике грубообломочных пород. Так, по сравнению с песчаниками вышележащих отложений, по материалам ГИС гравелитовые и конгломератовые участки выделяются повышенным сопротивлением, пониженным значениям акустического каротажа (АК), увеличенным значениям плотностного каротажа (ГТК-II). Эта особенность грубообломочных пород особенно хорошо отражается при определении литологической принадлежности пластов по ГИС с использованием соответствующих графиков-сопоставлений (рис. 1). Как видно на нижеприведенных палетках, среди песчаников, слагающих изучаемый разрез, отчетливо выделяется облако точек (выделено красным кружком на рисунке), находящихся ближе к линии известняков. Именно такая характеристика присуща конгломератам и гравелитам, широко распространенным в исследуемых меловых отложениях [5, 6].

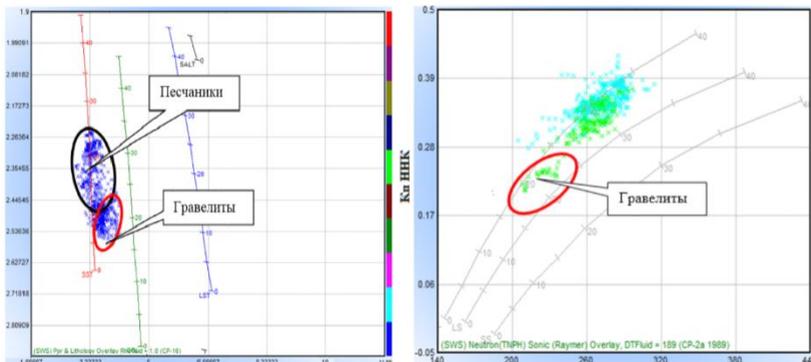


Рис. 1. Литологическая характеристика пород по комплексу методов фотоэлектрического – ГГК-П и по АК-НК

В случае использования стандартной методики интерпретации материалов ГИС для терригенных отложений (когда предполагается, что разрез слагают песчаники и глина), происходит занижение фильтрационно-емкостных свойств грубообломочной породы, из-за чего она считается плотной и зачастую наблюдается уменьшение эффективной толщины коллектора.

Учитывая полученные результаты, одним из решений данной проблемы в зонах развития гравелитов и конгломератов является применение матричных параметров близких к карбонатным породам ($\sigma_{ск}$ – матрица породы 2,69–2,71 г/см³, $\Delta T_{ск}$ – значение интервального времени в породе 155–160 мкс/м). При этом, как отмечалось выше, используемые параметры согласуются с результатами лабораторных исследований керна (рис. 2, матричное значение плотности грубообломочных пород – 2,71 г/см³).

Исследуя разрезы подобных месторождений Кызылординской области, было выполнено сопоставление результатов, когда в первом случае были использованы стандартные параметры матрицы для терригенных коллекторов ($\sigma_{ск}$ – 2,65 г/см³), во втором же случае была применена вышеописанная методика для грубообломочных терригенных пород. После расчета пористости по плотностному каротажу было проведено сравнение с пористостью, полученной на образцах керна. Так, в массиве пород, представленном гравелитами/конгломератами и песчаниками, наблюдалось улучшение сопоставимости результатов (табл.).

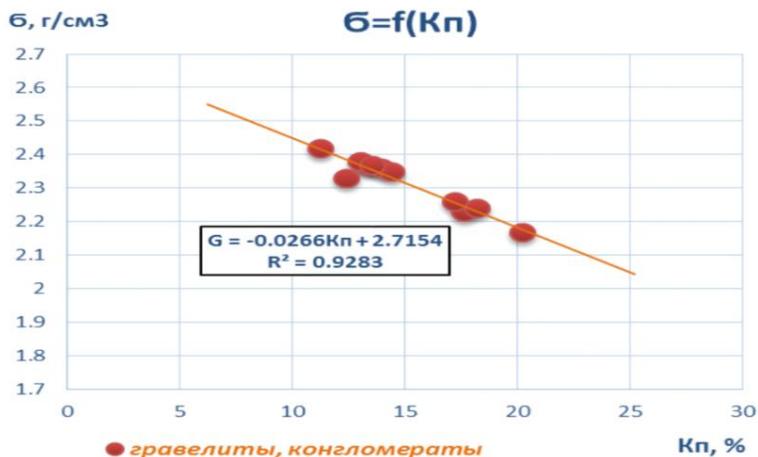


Рис. 2. Определение плотности скелета для терригенных пород, представленных гравелитами и конгломератами

Таблица

Средние значения пористости пластов по данным керна и ГИС

Месторождение – № скважины	$K_{П_кern}$	$K_{П_ГИС}$ при $\sigma_{ск} = 2,65 \text{ г/см}^3$	$K_{П_ГИС}$ при $\sigma_{ск} = 2,71 \text{ г/см}^3$
Акшабулак – 344	11,54	7,75	10,58
Кызылкия – 28	22,71	18,88	22,4

На рис. 3, 4 показано поточечное сопоставление коэффициентов пористости с пористостью по керновым данным разными способами. Как видно из приведенных рисунков, гораздо лучшая сходимость наблюдается при матричном значении $2,71 \text{ г/см}^3$ (рис. 4).

Геофизическая характеристика пород в достаточной степени зависит от их литологических особенностей, в частности структурных признаков. Описанная методика оценки емкостного пространства пластов, состоящих из грубообломочного материала, позволяет исключить занижение их пористости, величина которой также способна повлиять и на эффективную толщину коллектора. Данный подход к оценке пустотного пространства грубообломочных пород может быть успешно применен на месторождениях, в разрезе которых присутствуют гравелиты и конгломераты.

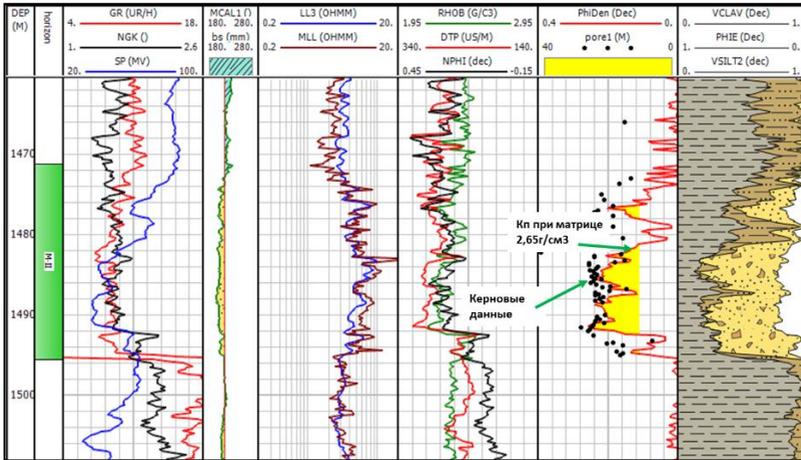


Рис. 3. Пример сопоставления пористости по керну с ГИС при матричном значении $2,65 \text{ г/см}^3$ для месторождения Кызылкия

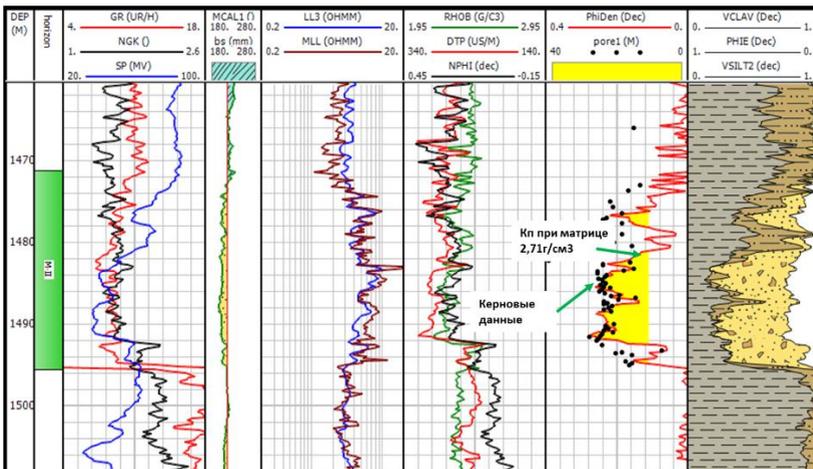


Рис. 4. Пример сопоставления пористости по керну с ГИС при матричном значении $2,71 \text{ г/см}^3$ для месторождения Кызылкия

ЛИТЕРАТУРА

1. Итенберг С. С., Дахильгов Т. Д. Геофизические исследования в скважинах. М.: Недра, 1982. 351 с.
2. Итенберг С. С., Шнурман Г. А. Интерпретация результатов каротажа сложных коллекторов. М.: Недра, 1984. 256 с.

3. Прошляков Б. К., Кузнецов В. Г. Литология. М.: Недра, 1991. 444 с.

4. Методические рекомендации по подсчету геологических запасов нефти и газа объемным методом. Под ред. Петерсилье В. И., Москва-Тверь, ВНИГНИ, НПЦ «Тверьгеофизика», 2003. 259 с.

5. Подсчет запасов нефти и растворенного газа Юго-Восточного участка месторождения Кызылкия Кызылординской области Республики Казахстан по состоянию на 01.12.2010. г. Атырау, ТОО НИИ «Каспиймунайгаз».

6. Пересчет запасов нефти, растворенного газа и попутных компонентов месторождения Акшабулак Центральный Кызылординской области Республики Казахстан по состоянию изученности на 02.01.2010. г. Атырау, ТОО НИИ «Каспиймунайгаз».

REFERENCES

1. Itenberg S. S., Dakhkilgov T. D. Geofizicheskie issledovaniya skvazhin [Geophysical well logging]. Moscow. Nedra, 1982. 351 p. (In Russian).

2. Itenberg S. S., Schmurman G. A. Interpretatsiya rezultatov karotazha slozhnykh kollektorov [Well logging data interpretation of complex reservoirs]. Moscow. Nedra, 1984. 256 p. (In Russian).

3. Proshlyakov B. K., Kuznetsov V. G. Litologiya [Lithology]. Moscow. Nedra, 1991. 444 p. (In Russian).

4. Metodicheskie rekomendatsii po podschetu geologicheskikh zapasov nefi i gaza obyomnym metodom [Methodical recommendations for estimation of oil and gas reserves using volumetric method]. Ed: Petersilye V. I. Moscow-Tver, VNIГNI, NPC «Tvergeofizika», 2003. 259 p. (In Russian).

5. Podschet zapasov nefi i rastvorennoгo gaza Yugo-Vostochnoгo uchastka mestorozhdeniya Kyzylkiya Kyzylordinskoгo oblasti respubliky Kazakhstan po sostoyaniyu na 01.12.2010 [Estimation of oil and gas reserves of South-Eastern part of Kyzylkiya field, Kyzylorda region of the Republic of Kazakhstan as per 01.12.2010]. Atyrau, SRI «Kaspimunaigas. LLP. (In Russian).

6. Pereschet zapasov nefi, rastvoryonnoгo gaza I poputnykh komponentov mestorozhdeniya Akshabulak Tsentralnyy Kyzylordinskoгo oblasti respubliky Kazakhstan po sostoyaniyu izuchennosti na 02.01.2010 [Re-estimation of oil, gas and associated components of Akshabulak Central field of Kyzylorda region of the Republic of Kazakhstan as per 02.01.2010]. Atyrau, SRI «Kaspimunaigas. LLP. (In Russian).

УДК 550.834.05

А. Ж. Байкенжина¹, А. К. Исагалиева², В. И. Исаев¹

¹ Национальный исследовательский Томский политехнический университет. 644050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, д. 30;
e-mail: abaikenzhina@yandex.ru; isaevvi@tpu.ru

² Казахский национальный исследовательский технический университет. 050013, Казахстан, г. Алматы, ул. Сатпаева 22;
e-mail: a_isagalieva@mail.ru

КАРТИРОВАНИЕ СЕЙСМОРАЗВЕДКОЙ 3D ВЫБРОСООПАСНЫХ ЗОН (КАРАГАНДИНСКИЙ УГОЛЬНЫЙ БАССЕЙН)

Аннотация. Впервые проведены сейсморазведочные работы, позволяющие обнаруживать тектонические нарушения, как индикаторы выбросоопасных зон. Откартированы отражающие горизонты, контролирующее строение угольных пластов тентекской и долинской свит шахты «Тентекская», выделены проявления разрывной тектоники.

Ключевые слова: тентекская свита, угольный пласт, выбросоопасность, тектоника, сейсморазведка.

A. Zh. Baikenzhina¹, A. K. Isagalieva², V. I. Isaev¹

¹ Tomsk Polytechnic University. 30 Lenin Ave., Tomsk 644050, Russia;
e-mail: abaikenzhina@yandex.ru; isaevvi@tpu.ru

² Kazakh National Research Technical University, 22 Satpaeva Str., Almaty 050013, Kazakhstan; e-mail: a_isagalieva@mail.ru

USAGE OF 3-D SEISMIC FOR ROCKBURST HAZARD ZONES MAPPING (QARAGANDY COAL BASIN)

Abstract. First seismic exploration survey was carried out allowing making possible detection of the tectonic disturbances as indicators of the rockburst hazard zones. The seismic reflection horizons that control the structure of the coal seams of the Tentek and Dolinsk Suites of the Tentekskaya Coal Mine were mapped, and fault tectonic features were identified.

Key words: Tentek formation, coal seam, rockburst hazard, tectonics, seismic exploration.

Постановка задачи

Анализируя случаи выбросов угля и газа, произошедших на карагандинских шахтах за период с 1959 по 2009 гг., опубликованных в [2], следует отметить, что более 43 % выбросов произошли при приближении выработок к разрывным нарушениям типа взбросов и сбросов, 35 % выбросов – в зонах мелких тектонических нарушений и 20 % выбросов – в зонах изменения мощности пласта, при наличии интенсивно перемятой пачки угля, или резкого изменения мощности пласта. При этом, среднее количество газа на один выброс составляет 50,5 тыс. м³. Таким образом, определяющее влияние на формирование факторов выбросоопасности оказывает разрывная тектоника разной степени амплитудности.

В настоящее время главной задачей становится уточнение структурно-тектонического строения действующих шахтных полей и их глубоких горизонтов, а также вновь закладываемых шахт. По опыту проведения горных работ на всех шахтах угольного бассейна, детальным разведочным бурением выявляется только около 50 % тектонических нарушений с амплитудами смещения 5–15 м.

Применение шахтной геофизики имеет ограничения. Целесообразно применять разведку массива *с поверхности* [3]. Поэтому, по договору с АО «АрселорМиттал Темиртау», впервые в Карагандинском угольном бассейне проведена сейсморазведка МОГТ-3D на южном крыле поля шахты «Тентекская».

Основная цель исследований – выявление и картирование методом МОГТ-3D тектонических нарушений, как потенциально выбросоопасных зон подземной разработки Карагандинского угольного бассейна, на примере поля шахты «Тентекская».

Характеристика поля шахты Тентекская

Площадь поля шахты «Тентекская» расположена в донной части Тентекской мульды. Угольные пласты имеют пологоволнистое залегание и преимущественно под углами 5–10° наклонены к центру структуры.

Среди разведанных разрывных нарушений преобладают взбросы протяжённостью до 1,5–2 км и амплитудами 15–50 м. Преобладающие углы падения нарушений 50–70°. Швы разрывов обычно сопровождаются зонами дробления пород. Мощности нарушенных зон, как правило, невелики (до 15–20 м).

На участке поля шахты «Тентекская» объектом исследования являются целевые угольные пласты тентекской и долинской свит каменноугольного возраста. По количеству происшедших внезапных

выбросов, а также по количеству выброшенного угля и газа пласт d_6 долинской свиты является наиболее выбросоопасным в бассейне. Пласт d_6 является по мощности, выдержанности и по качеству лучшим пластом средней подсвиты. Мощность пласта колеблется от 5 до 7 метров, угол падения пласта – от 7 до 24° .

Сейсморазведка МОГТ-3Д

Проект 3Д по площади 4 км^2 южной части поля шахты «Тентекская» был разработан заблаговременно геофизиками по планированию АО «АЭС», согласно контрактным требованиям, с использованием пакета программного обеспечения MESA Expert (v.11.02) и полевой базы данных FieldGeoDatabase. На этапе проектирования были определены: необходимая кратность съемки, размеры бина, допустимые удаления ПВ–ПП.

Источником возбуждения сейсмических волн, для получения достаточного по энергии и широкому спектру максимально высокочастотного сигнала, был выбран взрыв в скважинах глубиной 12–15 м, 5 детонаторов ЭДС-1. Глубина бурения по площади изменялась в зависимости от сейсмогеологических условий и выбиралась после анализа данных МСК.

Выявление и картирование зон разломов

Выделение разломов проводилось по разрывам осей синфазности на вертикальных временных разрезах и горизонтальных срезах (слайсах). Критерием правильности выделения разломов служило согласованная интерпретация в разных сечениях куба сейсмической информации.

На рис. 1 показано прослеживание сейсморазведкой угленосных отложений, установленных по результатам бурения скважин. С помощью данных сейсморазведки выявлено поведение угольных горизонтов, их разрывные нарушения, которые плохо фиксируются по скважинным данным бурения, но хорошо видны на глубинных разрезах.

В процессе интерпретации не удалось выделить протяженных разломов. В волновом поле обнаружены разноориентированные разломы, ограниченные по вертикали и простиранию. Их амплитуда на временных разрезах составляет 4–6 миллисекунд, что соответствует первым метрам в реальном разрезе, редко более 20 миллисекунд. Но чаще они выделяются только как участки пониженной интенсивности отраженной волны (это, скорее всего, мелкие разломы с амплитудой менее 3 м, по данным сейсморазведки их измерить невозможно, но в волновом поле они видны). Комплекс проведенных работ позволил

выявить и проследить на площади шахтного поля разрывные нарушения с амплитудой от 5 м и более, которые являются одним из основных факторов выбросоопасности при проведении горных работ.

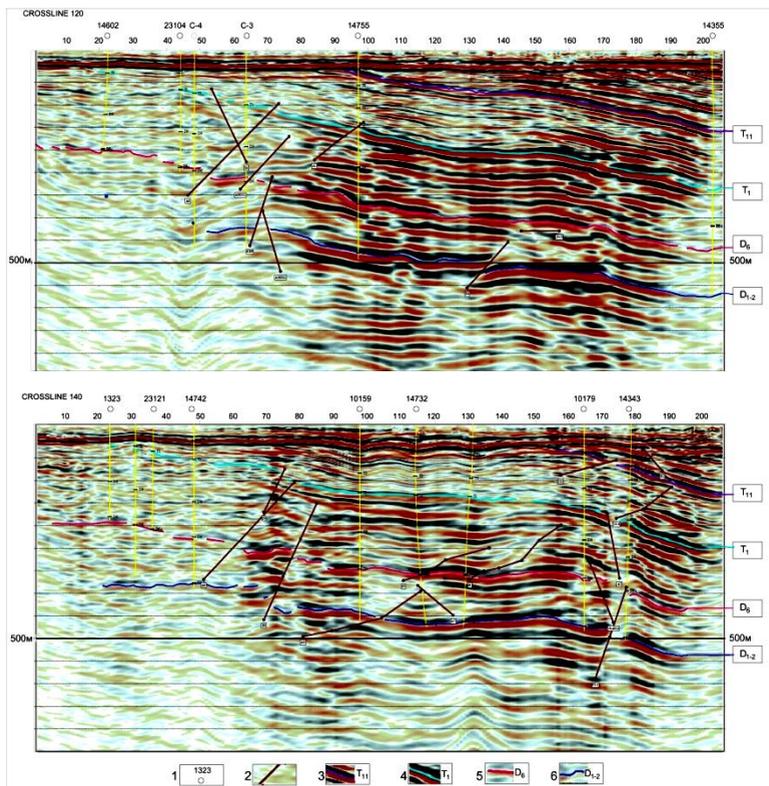


Рис. 1. Глубинные разрезы МОГТ профилей 120 и 140: 1 – скважина и ее номер; 2 – тектонические нарушения, установленные по данным сейсморазведки; 3 – отражающий горизонт, соответствующий пласту T₁₁; 4 – отражающий горизонт, соответствующий угольному пласту T₁; 5 – отражающий горизонт, соответствующий угольному пласту D₆, 6 – отражающий горизонт, соответствующий угольному пласту D₁₋₂.

Подтверждение выявленных разрывных нарушений

Проходка газодренажного конвейерного штрека 232–д₆–1–Ю подтвердила выявленные сейсморазведкой тектонические нарушения пласта д₆, ранее не выявленные по данным детальной геологической разведки шахтного поля. Так в северной части штрека вскрыто непо-

средственно тектоническое нарушение, а в средней части штрека тектоническое нарушение зафиксировано утонением угольного пласта.

В целом, положения встреченных при проходке тектонических нарушений в плане совпадают с данными сейсморазведки в районе скважин №№ 10159, 14748 и 14546, амплитуды нарушений от 5 м и более.

Заключение

Опыт использования высокоразрешающей сейсморазведки на поле шахты «Гентекская» показывает возможность определять и уточнять параметры нарушенности угольных пластов и вмещающих пород, как фактора, определяющего выбросоопасность.

Нужно отметить, что при дальнейших исследованиях, при более скрупулезной обработке и анализе материалов сейсморазведки, можно получить данные о таких деформациях как пережимы, утонения и раздувы угольных пластов, являющихся индикаторами специфических выбросоопасных зон [1].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Исаев В. И., Байкенжина А. Ж.* Геологические факторы выбросоопасности угольных пластов Карагандинского бассейна и возможности их геолого–геофизического прогноза // Вестник РАЕН (ЗСО), 2017. Выпуск 20. С. 52–56.
2. *Каталог внезапных выбросов угля и газа (Карагандинский угольный бассейн) / Бiryukov Ю. М., Ходжаев Р. Р., Фоминых Е. И., Карев Н. А.* Калининград: Изд–во КГТУ, 2009. 163 с.
3. *Фоменко Н. Е., Коваленко А. С.* Современное состояние методов наземной геофизики при проведении геологоразведочных работ на твердые полезные ископаемые // Разведка и охрана недр, 2015. № 1. С. 33–39.

REFERENCES

1. *Isaev V. I., Baykenzhina A. Zh.* Geologicheskie faktory vybrosopasnosti ugolnykh plastov Karagandinskogo basseyna i vozmozhnosti ikh geologo–geofizicheskogo prognoza [Geological factors of the coal seams rockburst hazard within the Qaragandy Basin and the potential of their geological and geophysical forecasting]. Vestnik RAEN (ZSO), 2017. No. 20. Pp. 52–56. (In Russian).
2. *Biryukov Yu. M., Khodzhayev R. R., Fominykh Ye. I., Karev N. A.* Katalog vnezapnykh vybrosov uglya i gaza (Karagandinskiy ugolnyy basseyn) [Catalog of sudden coal and gas outbursts (Qaraganda Coal Basin)]. Kaliningrad, KG TU, 2009. 163 p. (In Russian).
3. *Fomenko N. Ye., Kovalenko A. S.* Sovremennoye sostoyaniye metodov nazemnoy geofiziki pri provedenii geologorazvedochnykh rabot na tverdye poleznyye iskopayemye [Present-day state of the surface geophysics methods while carrying out geological prospecting for the hard fossil fuels]. Razvedka i okhrana neдр, 2015. № 1. Pp. 33–39. (In Russian).

**О ХАРАКТЕРЕ ИЗМЕНЕНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ
НЕКОТОРЫХ ОБРАЗЦОВ БРУСИТА В ПРОЦЕССЕ
ДЕГИДРАТАЦИИ**

Аннотация. Исследованы образцы брусита из Кульдурского месторождения. По температурным зависимостям тангенса угла диэлектрических потерь впервые выявлена аномальная область в интервале температур 100–170 °С, связанная с фазовым переходом. Согласно опубликованным данным, в интервале 60–200 °С часть брусита переходит в гидроксид магния $MgO \cdot (1-x)H_2O$.

Ключевые слова: диэлектрические потери, высокая температура, кристаллизационная и поровая вода, фазовый переход, брусит.

V. V. Bakhterev

Institute of Geophysics named after Yu. P. Bulashevich, UB RAS.
100 Amundsena Str., Yekaterinburg 620016, Russia; e-mail: UGV@bk.ru

**ABOUT CHARACTER OF THE DIELECTRIC LOSSES
ALTERATION FOR SOME SAMPLES OF BRUCITE DURING
THE DEHYDRATION**

Abstract. Brucite samples from the Kuldur deposit were studied. An anomalous region in the temperature range 100–170 °C associated with the phase transition was revealed first time using the temperature dependences of the dielectric loss tangent. According to published data, in the range of 60–200 °C, part of the brucite transforms into magnesium hydroxide $MgO \cdot (1-x)H_2O$.

Key words: dielectric losses, high temperature, crystallization and pore water, phase transition, brucite.

В природе имеются уникальные запасы магнезиального сырья в виде бруситов [1], отличающихся от других видов магнезиального сырья максимальным содержанием оксида магния (до 69%) и значительно меньшей энергоемкостью, так как температура разложения брусита по реакции $Mg(OH)_2 \rightarrow MgO + H_2O$ порядка 450–500 °С. Хотя изуче-

нию эффекта термического разложения брусита посвящено огромное количество работ, сущность механизма этого процесса раскрыта далеко не полностью. Все исследователи считают, что в области 80–120 °С происходит удаление адсорбционной влаги. Однако только П.П. Федоров с соавторами [2] заявляют об этом с осторожностью («вероятно адсорбционной влаги»).

С. В. Лановецкий с соавторами [3] считают, что «в начальный момент времени гидроксид магния содержит довольно много физически связанной влаги и имеет состав, который можно выразить формулой $Mg(OH)_2 \cdot xH_2O$. Символом xH_2O обозначена физически связанная влага в образце. Она удаляется при нагревании в интервале температур от 25 до 167 °С. Процесс потери физической влаги характеризуется минимумом на кривой ДСК при температуре 114 °С. Процесс удаления влаги из образца требует поглощения теплоты, что выражается эндотермическим эффектом. Процесс удаления физической влаги заканчивается при температуре 167 °С, и дальнейшее повышение температуры до 261 °С не приводит к изменению массы образца. Начиная с температуры 261 °С, кривая ТГ вновь уходит вниз, таким образом, начинается процесс разложения непосредственно гидроксида магния на MgO и H_2O . На кривой ДСК этому процессу соответствует два минимума при температуре 316 °С и температуре 638 °С. А сам процесс дегидратации протекает в два этапа: $Mg(OH)_2 \rightarrow MgO_{0,5}(OH) + 0,5H_2O$ (при температуре 261–345 °С), $MgO_{0,5}(OH) \rightarrow MgO + 0,5H_2O$ (при температуре 460–800 °С)» (с. 24).

Цель настоящей работы: исследовать температурные зависимости тангенса угла диэлектрических потерь образцов бруситов и оценить возможность выделения по ним фазового перехода при термическом разложении брусита.

Изучены полосчатые образцы бруситовой породы Кульдурского месторождения (Хабаровский край). Исследованные образцы различны по минеральному составу, количеству и содержанию примесей, цвету. «Различие в цвете связано не с вхождением инородного вещества, а с неодинаковыми структурно-морфологическими характеристиками относительно темных и белых слоев: темные слои являются структурно совершенными, менее пористыми, в них выявляются более крупные (по толщине) микрокристаллы» [4, с. 22]. Исследовано шесть образцов: по три образца каждого цвета. В каждой тройке образцов получены аналогичные результаты по всем измеряемым параметрам. Поэтому дальше будем говорить о двух образцах: образец Б1 – светлый, Б2 – темный.

Методика определения электропроводности образцов горных пород и электрических параметров при высоких температурах описана ранее [5]. Образцы для исследований вырезали из темных и белых слоев породы в форме кубика с ребром 0,02 м. Измерения выполнены в открытой системе при атмосферном давлении двухэлектродной установкой через каждые 10 градусов в интервале температур 20–800 °С. Скорость нагрева 0,066 град/с. Температуру в системе определяли платино-платинородиевой термопарой в 0,01 м от образца. В качестве измерительного прибора использован «Измеритель L, C, R цифровой» Е7-8.

Для исследованных образцов получены температурные зависимости тангенса угла диэлектрических потерь в интервале 20–800 °С при двух прокаливаниях; для образца Б1 – при трех. Результаты приведены на рисунке.

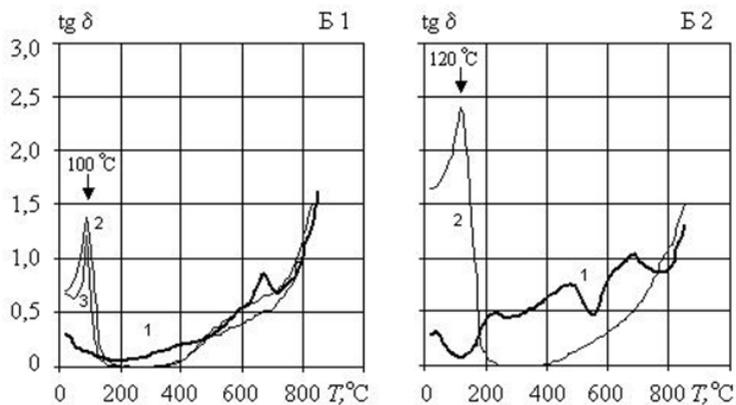


Рис. Температурные зависимости тангенса угла диэлектрических потерь образцов брусита Б1 и Б2 при первом (кривые 1), втором (2) и третьем (3) прокаливании

В температурном ходе тангенса угла диэлектрических потерь исследованных образцов бруситов при втором, а для Б1 и третьем прокаливании выделены максимумы в интервале температур 100–120 °С. Эти максимумы обусловлены фазовыми переходами. Уже в процессе первого прокаливании образцов до 800 °С, тем более второго прокаливании, поровая влага, если она там была, полностью удаляется.

На температурных зависимостях тангенса угла диэлектрических потерь образца Б1 максимумы зафиксированы при температурах 100 °С, а образца Б2 – 120 °С. Вероятно, это связано с тем, что для возбуж-

дения фазового перехода необходима различная энергия (температура нагрева) в зависимости от структуры вещества. Так как образец Б2 имеет более совершенную структуру, сложен более крупными микрокристаллами, менее пористый по сравнению с образцом Б1, процесс фазового перехода происходит в нем при более высокой температуре. При этом интенсивность максимумов, вероятно, связана с количеством гидроксида магния в породе. Эти факты установлены впервые.

Обоснованием такого утверждения может служить следующее.

Первое. При исследовании температурной зависимости диэлектрических потерь образцов серпентинитов и хромитовых руд в работе [5] выделены два максимума в области температур 100–150 и 600–730 °С. Максимум в области температур 100–150 °С обусловлен присутствием поровой влаги, которая с повышением температуры удаляется, и при повторном нагреве аномалия отсутствует. Второй максимум в области температур 600–730 °С для серпентинитов связан с присутствием кристаллизационной воды, которая удаляется, и при повторном нагреве максимум отсутствует. Максимум в хромитах имеет иную причину, чем в серпентинитах. В массивной хромитовой руде, нацело состоящей из хромшпинелида, нет ни кристаллизационной, ни иной воды при этих температурах. Здесь появление максимума в температурном ходе связано с изменением структуры вещества при нагревании. Известно [6], что при нагревании закись железа, входящая в состав хромшпинелидов, переходит в оксид железа, который входит в кристаллическую решетку хромшпинелида, вследствие чего нарушается ее строение. Установлено, что на поверхности зерен кемпирсайского хромшпинелида, нагретого до 530 °С, появляются анизотропные участки, а при температуре 600–650 °С в таких участках уже различимы (под микроскопом) мельчайшие игольчатые образования, представленные гематитом. При повторном нагревании образца величина этого максимума усиливается.

Второе. Уникальные исследования эволюции фазового состава при термическом разложении гидроксида магния продемонстрированы в работе [7]. С. В. Габелков с соавторами впервые установили, «что термообработка при температурах 60–200 °С приводит к термическому разложению части брусита (вероятно, поверхностных слоев частиц) и образованию аморфного гидроксида магния с предполагаемой формулой $MgO \cdot (1-x)H_2O$ » [7, с. 75].

ЛИТЕРАТУРА

1. Перепелицын В. А., Борискова Т. И., Штерн Э. К., Галкин Ю. М. Минеральный состав и микроструктура брусита Кульдурского месторождения // Огнеупоры, 1988. № 3. С. 19–25.

2. Федоров П. П., Ткаченко Е. А., Кузнецов С. В., Воронов В. В., Лаврищев С. В. Получение наночастиц MgO // Неорганические материалы, 2007. Т. 43. № 5. С. 574–576.

3. Лановецкий С. В., Зыков Д. И., Пойлов В. З. Влияние температурного режима и поверхностно-активных веществ на процесс формирования частиц MgO // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология, 2011. № 12. С. 21–28.

4. Колодяжная Е. В. Минералогия и генезис брусита (по данным комплекса физических методов) Автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. геол.-мин. наук / Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, М. 1993. 23 с.

5. Бахтерев В. В. Особенности высокотемпературной электропроводности хромитовых руд и вмещающих их гипербазитов // Геология и геофизика, 2005. Т. 46. № 8. С. 796–805.

6. Карякин Л. И., Пятиков П. Д. Изменение хромшпинелидов при нагревании // Докл. АН СССР, 1955. Vol. 102. № 3. С. 601–603.

7. Габелков С. В., Тарасов Р. В., Полтавцев Н. С. Эволюция фазового состава при термическом разложении гидроксидов магния // Вопросы атомной науки и техники, 2011. № 2. Серия: Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение (97). С. 72–76.

REFERENCES

1. Perepelitsyn, V. A., Borisova T. I., Shtern, E. K., Galkin Yu. M. Mineralnyy sostav i mikrostruktura brusita Kuldurskogo mestorozhdeniya [The mineral composition and microstructure of brucite of the Kuldurs deposits]. Ogneupory, 1988. No. 3. Pp. 19–25. (In Russian).

2. Fedorov P. P., Tkachenko E. A., Kuznetsov S. V., Voronov V. V., Lavrishchev S. V. Poluchenie nanochastots MgO [Production of MgO nanoparticles]. Neorganicheskie materialy, 2007. Vol. 43. No. 5. Pp. 574–576. (In Russian).

3. Lanovetskiy S. V., Zykov I. D., Poylov V. Z. Vliyanie temperaturnogo rezhima i poverkhnostno-aktivnykh veshchestv na potstess formirovaniya chastits MgO [Influence of temperature and surfactants on the process of formation of MgO particles]. Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo universiteta. Khimicheskaya tekhnologiya i biotekhnologiya. 2011. No. 12. Pp. 21–28. (In Russian).

4. Kolodyazhnaya E. V. Mineralogiya i genesis brusita (po dannym kompleksa fizicheskikh metodov) [Mineralogy and genesis of the brucite (according to complex physical methods)]. Diss. kand. geol.-miner. nauk. Institute geologii rudnykh mestorozhdeniy, petrografii, mineralogii i geokhimii. RAS. Moskva. 1993. 23 p. (In Russian).

5. Bakhterev V. V. Osobennosti vysokotemperaturnoy elektroprovodnosti khromitovykh rud i vmeshchayushchikh ikh giperbazitov [Features of high-temperature electrical conductivity of chromite ores and containing their hyperbasites]. Geologiya i geofizika. 2005. Vol. 46. No. 8. Pp. 796–805. (In Russian).

6. Karyakin L. I. and Pyatikop P. D. Izmenenie khromshpinelidov pri nagrevanii [Transformation of chrome spinel under heat]. Dokl. AN SSSR. 1955. Vol. 102. No. 3. Pp. 601–603. (In Russian).

7. Gabelkov S. V., Tarasov R. V., Poltavtsev N. S. Evolyutsiya fazovogo sostava pri termicheskom razlozhenii gidroksida magniya [Evolution of phase composition due to thermal decomposition of magnesium hydroxide]. Voprosy atomnoy nauki i tekhniki. 2011. No. 2. Pp. 72–76. (In Russian).

УДК [004.94:550.8](045)

И. П. Белозеров, М. Г. Губайдуллин

Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова. 163002, Россия, г. Архангельск, наб. Северной Двины, д.17; e-mail: i.belozеров@narfu.ru; m.gubaidulin@narfu.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН ПРИ СОЗДАНИИ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ КЕРНА ТЕРРИГЕННЫХ КОЛЛЕКТОРОВ

Аннотация. Цифровой керн представляет собой многоцелевой инструмент для решения множества задач в области геологоразведки и добычи углеводородов на различных стадиях. При цифровом моделировании керна для прогнозирования проницаемости по нефти могут быть использованы результаты определения пористости по данным ГИС на основе установленного в работе уравнения зависимости.

Ключевые слова: геофизические исследования скважин, цифровая модель керна, установление зависимостей, терригенные коллекторы.

I. P. Belozеров, M. G. Gubaydullin

Northern (Arctic) Federal University named after M. V. Lomonosov. 17 Severnaya Dvina Emb., Arkhangelsk 163002, Russia; e-mail: i.belozеров@narfu.ru; m.gubaidulin@narfu.ru

APPLICATION OF WELL LOGGING DATA FOR DIGITAL CORE MODELING IN CASE OF TERRIGENOUS RESERVOIRS

Abstract. «Digital Core» is a multi-purpose tool for solving problems in the field of geological exploration and production of hydrocarbons at various

stages. The presented in this paper equation of relationship between porosity and logging data allows predicting the permeability for oil using the digital core modeling.

Key words: *well logging, digital core model, dependency determination, terrigenous reservoirs.*

Создание цифровой модели ядра обусловлено недостатком ядерного материала с исследуемых скважин, а также необходимостью снижения затрат нефтегазовых компаний на проведение ядерных исследований [2]. Результаты геофизических исследований скважин являются одними из основных источников, которые могут служить для получения характеристик пласта в случае отсутствия ядерного материала. При цифровом моделировании ядра область применения результатов геофизических исследований скважин очень обширна. Одной из важных характеристик терригенных коллекторов нефти, которая может быть спрогнозирована по результатам геофизических исследований скважин, является проницаемость породы по флюиду.

Большинство методик прогнозирования проницаемости по данным ГИС основываются на эмпирических корреляционных связях типа «ядро-ГИС» [1, 3 и др.].

Для проведения вычислительных экспериментов при создании цифровой модели ядра и установления зависимостей проницаемости по ядру от пористости по ГИС был проведен анализ геофизических данных по 5 скважинам месторождений нефти Тимано-Печорской провинции, приуроченных к терригенным коллекторам.

В исследуемых скважинах пористость определялась по данным различных геофизических методов. Первоначально, для анализа использовались результаты определения пористости по данным нейтронного, акустического и гамма-гамма каротажей. Было установлено, что значения пористости, полученные по каротажным данным в исследуемых скважинах, сопоставимы. Определения проводились с поправками на глинистость с учетом литологии коллектора. В дальнейшем, для проведения анализа были выбраны коэффициенты пористости, полученные по данным нейтронного каротажа. Такой выбор обусловлен тем, что при установлении зависимостей проницаемости по ядру от пористости по ГИС, результаты нейтронного каротажа показали наиболее высокую сходимость. Интервалы отбора выбирались с учетом выноса ядра.

Затем по тем же скважинам был проведен анализ результатов определения основных фильтрационно-емкостных свойств пласта на ядерном материале. Для этого использовались результаты определе-

ния коэффициентов пористости в атмосферных и пластовых условиях, а также результаты определения проницаемости по флюиду в пластовых условиях. В качестве флюида при определении проницаемости в пластовых условиях использовался неполярный керосин.

Далее проводилось сопоставление результатов определения проницаемости по нефти в пластовых условиях, полученных на керновом материале, с результатами определения пористости по данным нейтронного каротажа. После этого проводился корреляционный анализ связей «кern-ГИС».

Для построения полноценных зависимостей проницаемости по флюиду от пористости по ГИС были установлены дополнительные связи. Для 3-х скважин, в которых количество значений проницаемости оказалось недостаточным для установления уверенных связей, были построены графики зависимостей проницаемости по нефти от проницаемости по газу. Это позволило получить дополнительные сведения для дальнейшего построения нужных корреляционных связей проницаемости по нефти от пористости по ГИС.

После сопоставления коэффициентов проницаемости по нефти и коэффициентов проницаемости по газу были рассчитаны коэффициенты проницаемости. Далее для терригенных коллекторов исследуемых скважин была установлена зависимость проницаемости по нефти от пористости по ГИС в следующем виде:

$$\lg K_{\text{пр}}(\text{нефт}) = A \cdot K_{\text{п}}(\text{ГИС}) - B,$$

где $K_{\text{пр}}(\text{нефт})$ – коэффициент проницаемости по нефти, 10^{-3} мкм²; $K_{\text{п}}(\text{ГИС})$ – коэффициент пористости по ГИС, %.

По результатам проведенного анализа коэффициенты A и B в установленном уравнении зависимости варьируются в пределах от 0,140 до 0,608 для A и от 0,883 до 5,326 для B . Коэффициент корреляции изменяется в пределах от 0,569 до 0,674.

Сопоставление коэффициентов пористости по ГИС с коэффициентами проницаемости по нефти на керновом материале, а также вычисленные проницаемости показывают, что показатели имеют хорошую сходимость. Средний коэффициент корреляции по всем скважинам составил 0,609.

Путем наложения результатов по всем исследуемым скважинам была установлена итоговая корреляционная зависимость проницаемости по нефти от пористости по ГИС для терригенных отложений

$$\lg K_{\text{пр}}(\text{нефт}) = 0,2555 \cdot K_{\text{п}}(\text{ГИС}) - 1,585,$$

где $K_{пр}(\text{нефт})$ – коэффициент проницаемости по нефти, 10^{-3} мкм²;
 $K_{п}(\text{ГИС})$ – коэффициент пористости по ГИС, %.

Следует отметить, что данная корреляционная зависимость, полученная по 5 скважинам, не делает её полностью представительной, однако имеет методическую ценность. Полученные результаты хорошо вписываются в структуру цифровой модели ядра. Они могут быть использованы для прогнозирования проницаемости по нефти при наличии результатов определения пористости по ГИС, особенно в условиях нехватки или полного отсутствия реального ядерного материала для исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Arns C. H.* Digital Core Laboratory: Reservoir core analysis from 3D images // 6th North America RockMechanical Symposium, 2004.
2. *Губайдуллин М. Г.* Цифровой ядро: взгляд на будущее // Теория и практика разведочной и промысловой геофизики. Пермь, ПГНИУ, 2017. С. 87–92.
3. *Хмелевской В. К., Костицын В. И.* Основы геофизических методов: учебник для вузов. Пермь, Перм. ун-т., 2010. 400 с.

REFERENCES

1. *Arns C. H.* Digital Core Laboratory: Reservoir core analysis from 3D images // 6th North America RockMechanical Symposium, 2004.
2. *Gubaidullin M. G.* Tsifrovoy kern: vzglyad na budushchee [Digital core: future aspect]. In: *Teoriya i praktika razvedochnoy i promyslovyoy geofiziki*. Perm, Perm State University, 2017. Pp. 87–92. (In Russian).
3. *Khmelevskoy V. K., Kostitsyn V. I.* Osnovy geofizicheskikh metodov [Fundamentals of geophysical methods]. Perm, PSU, 2010. 400 p. (In Russian).

УДК 550.834

В. Ю. Бобров¹, А. И. Бабкин^{1,2}, А. Г. Ярославцев¹

¹ Горный институт УрО РАН. 614007, Россия, г. Пермь, ул. Сибирская, 78а; e-mail: bvy1692@gmail.com, aib@mi-perm.ru, asa_gis@mi-perm.ru

² Пермский государственный национальный исследовательский университет. 614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ОПРОБОВАНИЯ ОБРАЗЦОВ СЕЙСМОРЕГИСТРИРУЮЩЕЙ АППАРАТУРЫ ДЛЯ МАЛОГЛУБИННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Аннотация. Качество результирующих сейсмозведочных материалов напрямую зависит от выбора аппаратной части полевой регистрирующей системы. Поэтому, при внедрении в производство тех или иных компонентов, требуется проведение опытных работ для оценки их информативных возможностей.

Ключевые слова: сейсмозведка, сейсмический мониторинг, регистрирующая аппаратура, источники упругих колебаний.

V. Y. Bobrov¹, A. I. Babkin^{1,2}, A. G. Yaroslavtsev¹

¹ Mining Institute UB RAS. 78a Sibirskaya Str., Perm 614007, Russia;

² Perm State University. 15 Bukireva Str., Perm 614990, Russia;
e-mail: bvy1692@gmail.com, aib@mi-perm.ru, asa_gis@mi-perm.ru

RESULTS OF PRACTICAL SAMPLING OF SEISMIC RECORD- ING EQUIPMENT FOR SHALLOW INVESTIGATIONS

Abstract. The quality of the resulting seismic data depends on the choice of the hardware of the field recording system directly. That's why it is necessary to conduct experimental work to assess their informative capabilities, in case when implementing certain components are in production.

Key words: seismic survey, seismic monitoring, recording equipment, sources of elastic vibrations.

В опытно методической партии ГИ УрО РАН имеется две современных цифровых телеметрических системы сбора данных: «IS-128» и «Summit X ONE». В распоряжении имеются одиночные датчики американского производства GS-ONE, характеризующиеся повышенной чувствительностью, низкими искажениями и высоким качест-

вом сигнала [1], а также, датчики китайского производства Sunfull PS-10R.

Телеметрическая система сбора сейсморазведочных данных «IS-128» российского производства предназначена для 2D и 3D наблюдений. Ее технические характеристики обеспечивают широкодиапазонную регистрацию (до 5 кГц). Данная регистрирующая аппаратура состоит из удаленных 16-ти канальных модулей «IM 2416 SESMO DAS» со встроенным аккумулятором для питания. Сопряжение модулей совершается с помощью двужильного интерфейсного кабеля. Управление полевыми модулями, синхронизация регистрации с источниками упругих колебаний и запись сейсморазведочных данных производится персональным компьютером через интерфейсный модуль. Максимальное количество каналов 256 (16 модулей) [2].

Аппаратура хорошо зарекомендовала себя при изучении геологического строения до глубин 1 км, инженерно-геофизических исследований верхней части разреза (ВЧР) методами отраженных и преломленных волн, сейсмических исследований скважин. В частности, при мониторинге потенциально опасных участков Верхнекамского месторождения калийных солей (ВКМКС).

«Summit X ONE», немецкого производства, представляет собой современную регистрирующую аппаратуру, позволяющую производить сейсмические 2D/3D наблюдения с высоким разрешением. Данная система состоит интерфейсных модулей (Data Collector) с двумя приемными кабелями в каждом, обеспечивающие подключение отдельных цифровых юнитов с геофонами. Один приемный кабель длиной 330 м поддерживает подключение до 50 юнитов. Максимальное количество каналов более 3000 [3].

Отличительной особенностью данной аппаратуры является возможность подключения цифровых юнитов в любом месте на линии кабеля, обеспечивая максимальную гибкость при развертывании профильных линий.

При полевом эксперименте реализованы полевые испытания двух регистрирующих комплексов «IS-128» и «Summit X One». Параметры систем наблюдений идентичны (табл.).

Таблица

Параметры системы наблюдения

Шаг ПП	8
Шаг ПВ	8
Общее число активных каналов	79
Длина записи	1500 дискрет (750 мкс)
Шаг квантования	1/2 мс (500 мкс)
Усиление	Normal (64 Дб)

Эксплуатировалось три типа источника упругих колебаний с разным числом накоплений:

1. Импульсный источник упругих колебаний (сейсморужье) – 2 накопления;
2. Ручная кувалда – 9 накоплений;
3. Механизированный молот (AWD-33) – 5 накоплений.

Количество накоплений для каждого источника на одном пункте возбуждения является компромиссным решением достаточности энергии регистрируемых отраженных сигналов при минимальных временных затратах [4].

Использовались одиночные геофоны GS-ONE. Регистрация сигналов на двух станциях производилась одновременно.

Первичные сейсмические материалы (рис. 1) показывают сравнимое качество регистрируемого материала. Наблюдается некоторое различие в динамике записи, связанное с разным калибровочным уровнем поканального усиления для разных станций.

При одинаковых параметрах регистрации на системе «Summit X One» промежуток времени между возбуждениями составил не менее 5 секунд (реально 6–7), в то время как на системе «IS-128» этот промежуток составляет 1 секунду.

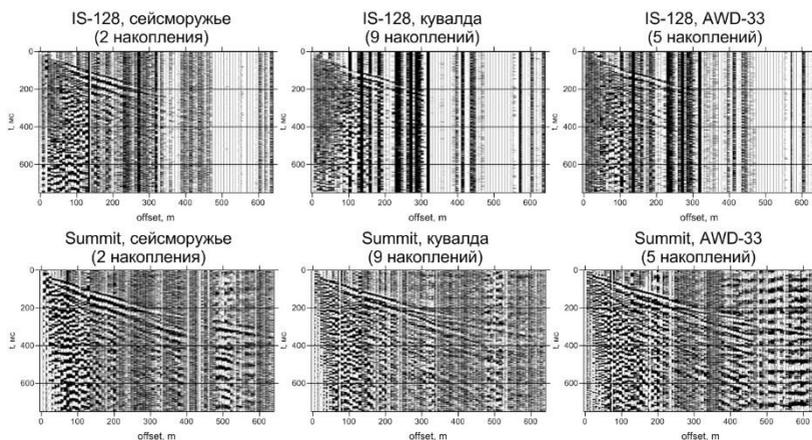


Рис. 1. Сейсмограммы, полученные одновременной регистрацией сигналов на двух станциях (без обработки)

С целью более детальной оценки качества регистрируемого сигнала от разных типов источников выполнена одинаковая предварительная цифровая обработка для всех сейсмограмм (рис. 2):

1. Центрирование трасс в скользящем окне;
2. Автоматическая регулировка усиления;
3. Нуль-фазовая полосовая фильтрация.

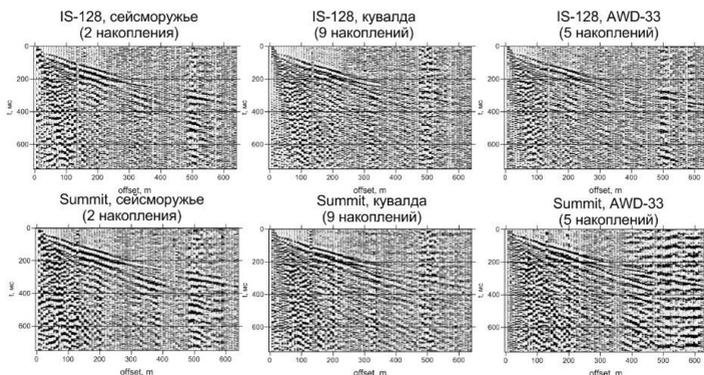


Рис. 2. Сейсмограммы, полученные одновременной регистрацией сигналов на двух станциях (с обработкой)

На первый взгляд качество записи на обработанных сейсмограммах, полученных двумя разными регистрирующими системами, практически одинаково. Некоторые различия в динамике и уровне помех на дальних каналах обусловлено также разным изначальным усилением.

Расчитаны спектральные характеристики полевых сейсмограмм, прошедших первичную обработку (рис. 3).

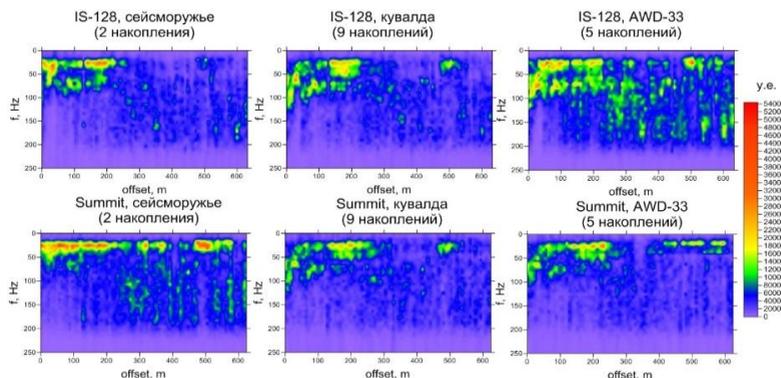


Рис. 3. Амплитудные спектры (после предварительной обработки)

Ширина амплитудного спектра находится в пределах 10–200 Гц. Наиболее выраженный максимум наблюдается в районе 20–50 Гц. Обращает на себя внимание некоторое расширение высоких значений амплитудного спектра в области частот выше 50 Гц для ударно-механического источника, что предположительно связано с внешними негативными условиями. Анализируя динамическую составляющую сигнала, наиболее эффективным источником упругих колебаний можно выделить сейсморужье.

По результатам исследований, для работ на территории ВКМКС, можно рекомендовать использование двух цифровых телеметрических систем сбора данных: «IS-128» и «Summit X ONE». Однако, учитывая время сбора данных, а также экономический фактор, система «Summit X ONE» немецкого производства может быть замещена системой «IS-128».

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://geospace-ufa.ru/catalog/geofony/gS-one.html>.
2. Многоканальный сейсмоакустический регистратор «IS-128» / Руководство по эксплуатации. ООО «НПП Интромаг». Пермь, 2006.
3. <https://www.summit-system.de/products/summit-x-one.html>.
4. Бобров В. Ю. Сравнительный анализ источников упругих колебаний для инженерных сейсморазведочных работ // XIX Уральская молодежная научная школа по геофизике. Сборник науч. материалов. Екатеринбург: ИГФ УрО РАН, 2018. С. 27–29.

REFERENCES

1. Geospace technologies Eurasia. GS-One. URL: <http://geospace-ufa.ru/catalog/geofony/gS-one.html>. (Accessed 12.09.2018)
2. Mnogokanalnyy seysmoakusticheskiy registrator «IS-128» [Multi-channel seismic acoustic recorder IS-128]. Rukovodstvo po ekspluatatsii. NPP Intromag. Perm, 2006. (In Russian).
3. DMT. SUMMIT SYSTEM. URL: <https://www.summit-system.de/products/summit-x-one.html>. (Accessed 25.08.2018)
4. *Bobrov V. Y. Sravnitelnyy analiz istochnikov uprugikh kolebaniy dlya inzhenernykh seysmorazvedochnykh rabot* [Comparative analysis of elastic waves sources for engineering seismic survey]. In: XIX Uralskaya molodezhnaya nauchnaya shkola po geofizike. Ekaterinburg, IGF UrO RAN, 2018. Pp. 27–29. (In Russian).

УДК 624.131.543 (058) (470.41)

М. Я. Боровский¹, В. И. Богатов¹, А. Д. Сурков², Д. Л. Ламбев²

¹ ООО «Геофизсервис», 420029, Россия, г. Казань, ул. Журналистов, 7-69; e-mail: lilabor@mail.ru

² НПО «РЕПЕР», 420085, Россия, г. Казань, Беломорская, 69 а; e-mail: lambev@mail.ru

ЭКОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ ПАМЯТНИКА ПРИРОДЫ НОЛЬКИН КАМЕНЬ ЗАКАЗНИКА «ГОРНОЕ ЗАДЕЛЬЕ» РЕСПУБЛИКИ МАРИЙ ЭЛ

Аннотация. Представлены результаты оценки эколого-геологических условий территории памятника культурно-исторического значения на основе комплексной интерпретации геофизических материалов ранее проведенных работ. Отмечена сложная геодинамическая обстановка в районе памятника природы Нолькин камень.

Ключевые слова: экология, объект историко-культурного наследия, инженерно-геологические условия, гравirazведка, аэромагнитная съемка, космическая и геоморфологическая съемки, зона тектонической трещиноватости.

М. Ya. Borovskiy¹, V. I. Bogatov¹, A. D. Surkov², D. L. Lambev²

¹ Geofizservis Ltd, 7-69 Journalists Str., Kazan 420029, Russia; e-mail: lilabor@mail.ru

² NPO Reper, 69a Belomorskaya Str., Kazan 420085, Russia; e-mail: lambev@mail.ru

ECOLOGICAL-GEOPHYSICAL STUDY OF THE TERRITORY OF THE NATURE MONUMENT NELKIN STONE OF «GORNOE ZADELYE» RESERVE, THE MARI EL REPUBLIC

Abstract. The results of the assessment of ecological and geological conditions of the territory of the monument of cultural and historical value based on a comprehensive interpretation of geophysical materials of previous study are presented. The complex geodynamic situation in the area of the natural monument Nelkin Stone is noted.

Key words: ecology, object of historical and cultural heritage, engineering-geological conditions, gravity prospecting, aerial survey, space and geomorphological survey, tectonic fracturing zone.

Государственный природный заказник «Горное Заделье» расположен в верхнем течении реки Нольки. На его территории в урочище «Нолькин камень» находятся старинные подземные каменоломни, в которых много лет назад местные жители добывали жерновой камень. Ходы некоторых из них вгрызаются в толщу каменной горы на расстояние до 200 метров. Отдельные штольни неплохо сохранились, но, в основном, каменные коридоры достаточно узкие и извилистые, своды не закреплены. Некоторые пещеры опасны для человека из-за возможного обрушения. Посещение штолен категорически запрещено. Однако, причудливые подземные переходы, наличие сталактитов и сталагмитов привлекают исследователей, спелеологов и туристов.

Вытекает необходимость слежения за особенностями активных геологических процессов, установления их природы и своевременного принятия мер по устранению связанных с ними возможных негативных последствий. При этом важная роль, по глубокому убеждению профессора З. М. Слепака [10, 11, 12], принадлежит геофизическим измерениям, выполняемым с земной поверхности и не оказывающим каких-либо воздействий на состояние геологической среды.

Изучение объектов историко-культурного наследия (древние города, захоронения, штольни-каменоломни и др.) предусматривает исследования инженерно-геологических условий, к которым относятся [10–12] особенности залегания пород: тектоническая нарушенность, границы палеодолин в плане и по глубине, степень обводненности объекта, положение уровня грунтовых вод, направление скорости движения подземного потока. Принимается во внимание, что при больших объемах земляных работ, нарушается устоявшееся состояние геологической среды, становится возможным проседание пород и провалы. Долговременность объектов человеческой деятельности зависит не только от прочностных свойств горных пород, но и от негативного влияния активных геологических процессов в последующий период. К таким процессам, в первую очередь, относятся изменения гидрогеологического режима подземных вод и современные тектонические движения.

Как правило, при оценке инженерно-геологических условий используются [10, 11, 12] высокоточные геофизические съемки. Результаты анализа поверхностных условий участка расположения объекта «Нолькин камень» свидетельствуют [8] о сложности проведения целенаправленных геофизических наблюдений: залесённость, наличие овражной сети, значительная крутизна склонов. Такое положение обуславливает, для оценки выяснения геодинамической (прежде всего

тектонической) обстановки, необходимость привлечения региональных геофизических работ, выполненных на площади в прошлые годы.

При эколого-геологическом истолковании использованы [8] материалы детальных аэромагнитных съемок (Орлов В. В., 1996), региональных гравиметрических работ, дешифрирования космических снимков (Орлов В. В., 1996) и геоморфологические данные.

Как отмечено [8–12] при оценке инженерно-геологических (эколого-геологических) условий объектов культурно-исторического наследия большую роль играют зоны развития тектонических нарушений (разломы, зоны повышенной тектонической трещиноватости). Критерии выявления разрывных нарушений по геофизическим данным (магниторазведка, гравиразведка) общеизвестны [1–7].

Кратко рассмотрим результаты эколого-геологической интерпретации материалов региональных геофизических съемок.

Гравиразведка. На карте аномального поля силы тяжести выделяются две достаточно интенсивные градиентные зоны. Первая имеет субмеридиональное направление – центральная часть рассматриваемой площади. Вторая зона обладает субширотной ориентировкой и располагается в северной части участка. В зоне пересечения этих элементов гравитационного поля и находится объект исследования.

Аэромагниторазведка. На плане аномального магнитного поля достаточно ясно вырисовываются аномалии субмеридионального простирания, менее выразительно просматриваются элементы субширотного направления. Для определения структурного каркаса разломной тектоники использована карта локальных аномалий магнитного поля. Картируются разломы субширотной и субмеридиональной ориентировки, пересекающиеся в центральной части площади. Первый выделяется по резкой смене простирания изодинам, для второго характерно наличие положительной локальной аномалии. Объект исследования, так же, как и по гравиметрическим данным расположен в зоне пересечения выявленных тектонических нарушений.

Оценка влияния активных геологических процессов (современные тектонические движения) на объекты человеческой деятельности предполагают использование данных аэрокосмогеологических и геоморфологических исследований.

Космическая съемка. Новейшие колебательные движения относят [9] к четвертичному периоду и концу неогена. Колебательные движения происходят в исторический период и в настоящее время. Новейшие и современные тектонические движения называют неотектоническими, которые, как правило, учитывают при проектировании

горных выработок, строительстве и реконструкции зданий и сооружений.

По результатам дешифрирования космических снимков выделяется (Орлов В.В.) тектоническое нарушение, активизирующееся, вероятно, в неотектоническое время. Данный структурный элемент имеет субмеридиональное простирание и отражается в виде линеамента. Изучаемый объект расположен в непосредственной близости от выявленной тектонической дислокации.

Геоморфологическая съемка. Рельеф – один из основных факторов [9], влияющих на выбор площадки под строительство, на производство работ подземного цикла, на устойчивость сооружений в период эксплуатации.

В результате тектонических процессов, денудаций и аккумуляций формируется определенный облик земной поверхности, отражающейся в рельефе. Рельеф – совокупность всех форм земной поверхности - возвышений, равнин и углублений. Эти неровности весьма динамичны, находятся в состоянии непрерывных изменений и превращений.

Результаты геоморфологических исследований базируются на изучении изменения рельефа дневной поверхности. В центре площади выделяется поднятие, имеющее субмеридиональное простирание. С запада это поднятие обрамляется оврагами, а с востока линейным склоном. В северо-восточном направлении трассируются несколько линеamentов, выраженных в рельефе местности в виде оврагов и резкой сменой простирания горизонталей. В северо-восточной части участка отмечается линейное осложнение дневной поверхности в виде «структурного носа», отходящего от возвышенности на расстояние порядка 2,5 км под углом близким к 90°.

Горные выработки «Нолькин камень» расположены на склоне возвышенности. Это основной фактор, вызывающий процессы перемещения по склону (под действием силы тяжести) обломков пород, целых их массивов, водонасыщенных масс обломков, пластично-вязких масс грунтов, масс снега и др. Породы, слагающие склоны очень часто находятся [9] в неустойчивом состоянии. По данным геоморфологических исследований место положения объекта контролируется узлом пересечения наиболее ярко выраженных линеamentов.

Результаты интерпретации комплексных геофизических аэрокосмогеологических и геоморфологических данных представлены на рис. 1. Объект историко-культурного наследия «Нолькин камень» (штольни-каменоломни) находится на участке активного развития геодинамических процессов.

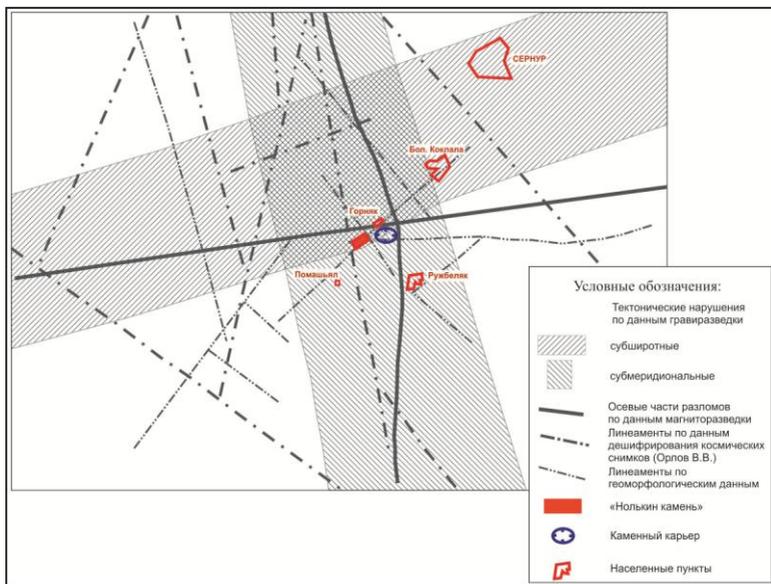


Рис. 1. Схема результатов комплексной интерпретации геолого-геофизических данных

Существенным фактором негативного влияния на геологическую среду, вероятно, способствующим активному разрушающему воздействию природной устойчивости массива горных пород, служит инженерно-геологическая деятельность. В непосредственной близости (0,7–0,8 км) от горных выработок «Нолькин камень» расположены каменоломни (действующий карьер), где при добыче полезных ископаемых периодически осуществляются взрывные работы.

Полученные данные учтены при проектировании природоохранных мероприятий для минимизации и предотвращения опасных последствий антропогенного вмешательства в природную окружающую среду на территории памятника природы Нолькин камень заказника «Горное Заделье» Республики Марий Эл.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Боровский М. Я.* Концепция геофизического обеспечения эколого-геологических задач // Инженерно-геологическое обеспечение недропользования и охраны окружающей среды: Материалы международной науч.-практич. конф. Изд-во Пермского университета. Пермь, 1997. С. 162–164.

2. *Боровский М. Я., Газеев Н. Г., Нургалеев Д. К.* Геоэкология недр Республики Татарстан: геофизические аспекты. Изд-во «Экоцентр», 1996. 316 с.

3. *Боровский М. Я., Кузнецов Г. Е., Хасанов Д. И.* Геофизические поиски минерального строительного сырья. Казань: Изд-во «Плутон», 2003. 176 с.
4. *Боровский М. Я., Богатов В. И.* Высокоточная гравиразведка при сопровожении процессов гидроразрыва продуктивного пласта // Теория и практика разведочной и промысловой геофизики. Пермь, ПГНИУ, 2017. С. 42–47.
5. *Боровский М. Я., Богатов В. И., Борисов А. С., Фахрутдинов Е. Г.* Высокоточная гравиразведка в природоохранных целях // Теория и практика разведочной и промысловой геофизики. Пермь, ПГНИУ, 2013. С. 60–66.
6. *Боровский М. Я., Шакуро С. В., Фахрутдинов Е. Г.* Возможности разведочной геофизики при решении геоэкологических задач // Развитие геофизических методов с позиций Первой Всесоюзной геофизической конференции (1932 г). Пермь, ПГНИУ, 2012. С. 31–34.
7. *Боровский М. Я., Богатов В. И., Шакуро С. В., Борисов А. С., Фахрутдинов Е. Г.* Геофизические исследования инженерно-геологических условий строительной площадки под очистные сооружения завода по обработке сырья месторождений водорастворимых полезных ископаемых // Теория и практика разведочной и промысловой геофизики. Пермь, ПГНИУ, 2016. С. 66–72.
8. *Боровский М. Я., Сурков А. Д., Ламбев Д. Л., Филимонов В. Н., Богатов В. И., и др.* Геофизическое обследование территории памятника природы Нолькин камень заказника «Горное Заделье» Республики Марий Эл // Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей: материалы 45-й сессии Международного семинара им. Д.Г. Успенского, Казань, 22–26 января 2018 года. Казань: Изд-во Казан. гос. ун-та, 2018. С. 89–90.
9. *Коробкин В. И., Передельский Л. В.* Инженерная геология и охрана природной среды: Учебник для вузов. Ростов н/Д: Изд-во Рост ун-та, 1993. 352 с.
10. *Слепак З. М.* Разведочная геофизика в археологии (на примере объектов археологии Казанского ханства и Волжской Булгарии). Казань: Изд-во Казан. гос. ун-та, 2010. 223 с.
11. *Слепак З. М.* Геофизика для города. Тверь: Издательство ГЕРС. 2007. 240 с.
12. *Слепак З. М.* Геофизический мониторинг при сохранении памятников архитектуры на примере Казанского кремля. Казань: Изд-во Казан. гос. ун-та, 1999. 176 с.

REFERENCES

1. *Borovskiy M. Ya.* Kontseptsiya geofizicheskogo obespecheniya ekologo-geologicheskikh zadach [The concept of a geophysical solution of the environmental-geological problems]. In: *Inzhenerno-geologicheskoe obespechenie nedropolzovaniya i okhrany okruzhayushchey sredy*. Mat. intern. conf. Perm State University, Perm. 1997. Pp. 162–164. (In Russian).
2. *Borovskiy M. Ya., Gazeev N. D., Nurgaliev D. K.* Geoekologiya nedr respubliky Tatarstan: geofizicheskie aspekty [Geocology of the subsoil of the Tatarstan Republic: geophysical aspects]. Ekotsentr Publ., 1996. 316 p. (In Russian).

3. *Borovskiy M. Ya., Kuznetsov G. E., Khasanov D. I.* Geofizicheskie poiski mineralnogo stroitelnogo syrya [Geophysical exploration of mineral raw materials for construction]. Kazan. Pluton, 2003. 176 p. (In Russian).

4. *Borovskiy M. Ya., Bogatov V. I.* Vysokotochnaya gravirazvedka pri soprovozhdenii protsessov gidrorazryva produktivnogo plasta [High-precision gravity survey for observation of the hydraulic fracturing of the productive formation]. In: *Teoriya i praktika razvedochnoy i promyslovyoy geofiziki*. Perm State Univ., Perm, 2017. Pp. 42–47. (In Russian).

5. *Borovskiy M. Ya., Bogatov V. I., Borisov A. S., Fakhruddinov E. G.* Vysokotochnaya gravirazvedka v pripodoohrannykh tselyakh [High-Precision gravity survey for environmental purposes]. In: *Teoriya i praktika razvedochnoy i promyslovyoy geofiziki*. Perm State Univ., Perm, 2013. Pp. 60–66.

6. *Borovsky M. Ya., Shakuro S. V., Fakhruddinov E. G.* Vozmozhnosti razvedochnoy geofiziki pri reshenii geoekologicheskikh zadach [Feasibility of exploration geophysics for solving geoecological problems]. *Razvitie geofizicheskikh metodov s pozitsiy Pervoy Vsesoyuznoy geofizicheskoy konferentsii (1932)*. Perm, PSU, 2012. Pp. 31–34. (In Russian).

7. *Borovskiy M. Ya., Bogatov V. I., Shakuro S. V., Borisov A. S., Fakhruddinov E. G.* Geofizicheskoe issledovaniya inzhenerno-geologicheskikh usloviy stroitelnoy ploshchadi pod ochestnye sooruzheniya zavoda po obrabotke syrya mestorozhdeniy vodorastvorimykh poleznykh iskopaemykh [Geophysical studies of engineering-geological conditions of the construction site for treatment facilities of the plant for processing of raw materials of water-soluble mineral deposits]. In: *Teoriya i praktika razvedochnoy i promyslovyoy geofiziki*. Perm, Perm State Univ., 2016. Pp. 66–72. (In Russian).

8. *Borovskiy M. Ya., Surkov A. D., Lambev D. L., Filimonov V. N., Bogatov V. I., etc.* Geofizicheskoe obsledovanie territorii pamyatnika prirody Nolkin kamen zakaznika Gornoe Zadelye Respubliki Mariy El [Geophysical survey of the territory of the nature monument Nelkin Stone of Gornoe Zadelye reserve of the Mari El Republic]. In: *Voprosy teorii i praktiki geologicheskoy interpretatsii geofizicheskikh poley*. Kazan, 22–26 January 2018. Kazan. Kazan State University, 2018. Pp. 89–90. (In Russian)

9. *Korobkin V. I., Peredelskiy L. V.* Inzhenernaya geologiya i okhrana prirodnoy sredy [Engineering Geology and environmental protection]. Rostov n/D. Rostov University press, 1993. 352 p. (In Russian).

10. *Slepak Z. M.* Razvedochnaya geofizika v arkhologii (na primere obektov arkhologii Kazanskogo khanstva i Volzhskoy Bulgarii) [Exploration geophysics in archeology (example of archeological objects of the Kazan Khanate and Volga Bulgaria)]. Kazan, Kazan State University, 2010. 223 p. (In Russian).

11. *Slepak Z. M.* Geofizika dlya goroda [Geophysics for the city]. Tver. Gers, 2007. 240 p. (In Russian).

12. *Slepak Z. M.* Geofizicheskiy monitoring pri sokhranении pamyatnikov arkhitektury na primere Kazanskogo kremlya [Geophysical monitoring for preserving the architectural monuments, example of the Kazan Kremlin]. Kazan. Kazan State University, 1999. 176 p. (In Russian).

УДК 550.372, 373:550.34

Т. К. Бурахович, В. А. Ильенко, А. Н. Кушнир

Институт геофизики им. С. И. Субботина НАН Украины
03680, Украина, г. Киев, пр. Палладина, 32; e-mail: burahovich@ukr.net

ПРОЯВЛЕНИЯ СЕЙСМИЧНОСТИ В ОБЛАСТИ КИРОВОГРАДСКОЙ АНОМАЛИИ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ

***Аннотация.** Показано, что в условиях древней платформы Кировоградская аномалия электропроводности связана с проявлением сейсмической активности. К причинам, которые способствуют освобождению накопившейся сейсмической энергии, можно отнести наличие графита и флюидов различного происхождения.*

***Ключевые слова:** тектоническое землетрясение, Кировоградская аномалия электропроводности, Криворожско-Кременчугский глубинный разлом.*

Т. К. Burakhovich, V. A. Pyenko, A. N. Kushnir

The Institute of Geophysics named after S. I. Subbotin, NAS of Ukraine,
32 Akademika Palladina Ave., Kiev 03680, Ukraine;
e-mail: burahovich@ukr.net

SEISMICITY MANIFESTATION IN THE REGION OF THE KIROVOGRAD ELECTRICAL CONDUCTIVITY ANOMALY

***Abstract.** It is shown that in the conditions of the ancient platform the regional Kirovograd anomaly of electrical conductivity is associated with the manifestation of seismic activity. It is possible to attribute the presence of graphite and fluids of various origins to the reasons contributing to the release of accumulated seismic energy.*

***Key words:** tectonic earthquake, Kirovograd anomaly of electrical conductivity, Krivoy Rog-Kremenchug deep fault.*

Центральная часть Украинского щита (УЩ) и его северный склон с Днепрово-Донецкой впадиной (ДДВ) характеризуются в земной коре Кировоградской аномалией электропроводности (КАЭ), с которой связан в последнее десятилетие значительный рост количества сейсмических событий [1, 2]. Схема эпицентров землетрясений по данным www.isc.ac.uk за период с 2008 по 2012 гг. с $M = 2-4$ приведена в работе [2, с. 234]. При этом имеющиеся очаги достаточно хорошо коррелируют с пространственным расположением проводника.

В пределах платформенной части Украины сейсмические события происходят крайне редко, но это не означает, что они не происходят вообще. Стабильные структуры УЩ и ДДВ характеризуются проявлением локальных землетрясений с большим разбросом M от 2,0–5,3. Так, на территории УЩ в 2011 и 2013 гг. произошли землетрясения ($M = 3,9$ и 4,5) вблизи г. Кривой Рог Днепропетровской области. Эксперты подсчитали (из сообщения д-ра геол. наук, зав. кафедрой геофизики НГУ М. М. Довбнича), что за последние 10 лет в Кривом Рогу произошло, по меньшей мере, 11 подземных толчков с M от 2,5 до 4,6, глубина которых составляет от 5 до 15 км, а 29.07.2017 г. «потрусило» с $M = 4,3$. На записях подавляющего большинства станций присутствуют четко выраженные вступления P и S волн, что свидетельствует о тектоническом характере, который обусловлен активизацией Саксаганского разлома в пределах Криворожской структуры, а не с мощным техногенным взрывом. По наименьшим невязкам глубина эпицентра оценивается в 3,0–3,5 км. Подземные толчки силой в 3,2 балла ощущались и в ночь на 19.02.2018 г. в Покровском, Терновском и Саксаганском районах Кривого Рога (эпицентр находился на глубине пять километров), причиной которых предположительно являлись естественные тектонические процессы.

По мнению геологов, масштабная добыча железной руды и неконтролируемое размещение *хвостохранилищ* в районе Кривого Рога может привести к значительным техногенным катастрофам, в частности, землетрясениям. Однако объяснить данные события только техногенной природой трудно и даже в пределах платформенной части Украины существуют геодинамически активные зоны [3, 4].

Эпицентр Криворожских землетрясений как в феврале 2018 г., так и у зарегистрированных ранее, находится на восточной окраине Ингулецко-Криворожской шовной зоны (ИКШЗ). Согласно исследованиям ГСЗ известно, что этот район – сложно построенная тектоническая зона, в которой отмечено резкое увеличение мощности земной коры (от 38 до 53 км) и ступенеобразное погружение всех отражающих сейсмических горизонтов. К тому же в районе Криворожско-Кременчугского глубинного разлома (КК) зафиксировано увеличение расслоенности коры и верхней мантии. За последние десятилетия произошли изменения в знаке и скорости современных вертикальных движений земной коры от + (6–7) до – (3–4) мм/год, а также зафиксированы значения теплового потока превышающие их средний уровень, характерный для УЩ [3].

В геоэлектрическом отношении район находится в пределах региональной КАЭ [1, 2]. Она представляет собой структуру в нижней части земной коры в интервале глубин 25–30 км, вытянутую с юга на

север – северо-восток, которая расположена между КК и Западно-Ингулецким зонами разломов. Для большинства платформенных землетрясений характерна приуроченность к зонам разломов активизированных в неоген-четвертичное время [4]. Одним из них является КК, с которым связана региональная КАЭ. На юге она меняет направление на субширотное и проявляется в Ингульском и Среднеприднепровском мегаблоках, а на севере от УЩ аномалия прослеживается под осадками ДДВ и далее на Воронежском массиве.

Десятками станций глобальной сейсмической сети (Украины, Румынии, России и др.) в 2015 г. было зафиксировано землетрясение с хорошо выраженными фазами вступлений Р и S волн и определены его параметры: 1) время возникновения – 05 ч 56 мин по Гринвичу; 2) положение – возле с. Васильевка, Лебединского района Сумской области, географические координаты: 50,64° N, 34,13° E; 3) глубина – 10 км; 4) М – 4,6; 5) природа – верхнекоровое, тектонического происхождения, что подтверждается величиной глубины очага, которая отсекает техногенные причины или триггерные эффекты. Землетрясение произошло в узле пересечения крупных тектонических нарушений, которые связаны с существенными изменениями в строении земной коры в области сочленения северо-восточного борта ДДВ с южным склоном Воронежского массива. Кроме того, предполагается, что добыча сланцевого газа и нефти может значительно увеличить сейсмичность ДДВ.

Для изучения глубинного строения северного и южного бортов ДДВ в районе ее пересечения с КАЭ были проведены новые экспериментальные синхронные наблюдения низкочастотными электромагнитными методами в широком диапазоне периодов.

Частотные зависимости передаточных операторов МТ/МВ методов, полученные для северного борта Белгородско-Сумского мегаблока ДДВ, соответствуют проводнику в мантии на глубине около 50–150 км.

Качественный анализ комплексных типперов на южном борту ДДВ вдоль профиля Несено – Иржавец – Абрамовка отражает присутствие: 1) на $T < 1000$ с поверхностного проводника, вытянутого с северо-запада на юго-восток, который объясняется большой электропроводностью осадочной толщи ДДВ; 2) на $T > 1000$ с (между пунктами, что расположены по разные стороны от ИКШЗ) неоднородность на глубинных горизонтах, которая соответствует КАЭ. Первичная интерпретация кривых магнитотеллурического зондирования в этой части профиля свидетельствует о наличии явно выраженной аномалии электропроводности с верхней кромкой на глубинах 20–30 км. Здесь же по геолого-геофизическим данным обнаружены наличие коромантийной смеси мощностью 2–5 км, раздробленность и разуплотнение в кристалли-

ческом фундаменте и консолидированной коре на глубинах 20–30 км, что обусловлено крупным узлом пересечения зон разломов различной ориентации в пространстве.

По данным сейсмотомографии неоднородное распределение Р волн [5], а именно, их уменьшение в интервале глубин от 50 до 150 км характерно для объекта изометрической формы с центром 50°N и 33°E. Проведенные ранее расчеты электропроводности в верхней мантии региональной КАЭ в этом районе предположили существование в астеносфере проводника с $\rho = 20 \text{ Ом}\cdot\text{м}$.

Одной из структур УЩ, с которой связано пространственное расположение графитоносных областей в породах фундамента [6], является КК. В работе [1] сформулированы представления о флюидно-графитовой природе КАЭ.

Одним из механизмов, объясняющих повышенную электропроводность, являются графиты и флюиды трещинно-порового пространства. Наличие флюида может ослаблять горные породы, а наличие графита в свою очередь может выступать в качестве смазывающего материала на поверхности твердых фаз. Есть точка зрения, что области повышенной сейсмичности коррелируют с зонами распространения графитизированных образований [7]. Расслоенность коры может объясняться ее дифференциальной реакцией на тектонические силы напряжения, которые проявляются в виде землетрясений с очагами на глубинах 8 - 35 км. «В областях геотермальной активности максимум поглощения и сейсмической активности попадает в интервал глубин 12–20 км. Этот эффект связан с повышенной трещиноватостью и наличием вод» [8].

Таким образом, под действием естественных тектонических напряжений и нарастающей антропогенной нагрузки в качестве одного из спусковых механизмов может выступать понижение порога прочности геологической среды в связи с присутствием графитизированных массивов горных пород и флюидов различного происхождения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кушнир А. Н., Кулик С. Н., Бурахович Т. К. Сейсмичность платформенных регионов Украины в областях аномалий электропроводности // Физика Земли, 2013. № 3. С. 1–10.

2. Кушнир А. Н., Бурахович Т. К., Ширков Б. И. Аномалии электропроводности сейсмоактивных регионов юга Восточно-Европейской платформы на территории Украины // Глубинное строение, минерогения, современная геодинамика и сейсмичность Восточно-Европейской платформы и сопредельных регионов. Воронеж: Научная книга, 2016. С. 231–235. http://www.science.vsu.ru/files/conf_691_2.pdf.

3. *Гордиенко В. В.* Глубинные процессы и сейсмичность // Геофиз. журн., 2014. Т. 36. № 1. С. 19–42.
4. *Сафронов О. Н.* Геодинамически активные зоны и перспективы уточнения сейсмического районирования территории Украины // Геодинаміка, 2012. № 1 (12). С. 152–157.
5. *Гейко В. С., Цветкова Т. А., Шумлянская Л. А.* Трехмерная скоростная модель верхней мантии Сарматии (юго-запад) // Геофиз. журн., 2005. Т. 27. № 6. С. 927–939.
6. *Яценко В. Г.* Закономерности пространственного расположения проявлений графита на УЩ // Аспекты металлогении Украины. Сб. науч. тр. ГНЦ радиогеохим. окруж. среды НАН и МЧС Украины, 1998. С. 254–270.
7. *Glover Paul W. J., Adam A.* Correlation between crustal high conductivity zones and seismic activity and the role of carbon during shear deformation // *Journal of Geophysical Research*. 2008. 113. doi: 10.1029/2008JB005804.
8. *Николаевский В. Н.* Геомеханика и геофлюидодинамика. М.: Недра, 1996. 448 с.

REFERENCES

1. *Kushnir A. N., Kulik S. N., Burakhovich T. K.* Seismichnost platformnykh regionov Ukrainy v oblastiakh anomalii elektroprovodnosti [Seismicity of Ukrainian platform regions in the areas of electrical conductivity anomalies]. *Fizika Zemli*, 2013. № 3. Pp. 1–10. (In Russian).
2. *Kushnir A. N., Burakhovich T. K., Shirkov B. I.* Anomalii elektroprovodnosti seismoaktivnykh regionov yuga Vostochno-Evropeyskoy platformy na territorii Ukrainy [Anomalies of electrical conductivity of seismically active regions of the south of the East European platform in Ukraine]. In: *Glubinnoe stroenie, minerageniya, sovremennaya geodinamika i seismichnost Vostochno-Evropeyskoy platformy i sopredelnykh regionov*. Voronezh. Nauchnaya kniga, 2016. Pp. 231–235. URL: http://www.science.vsu.ru/files/conf_691_2.pdf (Accessed 12.08.2018) (In Russian).
3. *Gordienko V. V.* Glubinnye protsessy i seismichnost [Deep processes and seismicity]. *Geofiz. Zhurnal*, 2014. P. 36. № 1. Pp. 19–42. (In Russian).
4. *Safronov O. N.* Geodinamicheski aktivnye zony i perspektivy utochneniya seismicheskogo rayonirovaniya territorii Ukrainy [Geodynamically active zones and prospects for the verification of seismic zoning of the Ukraine territory]. *Geodinamika*, 2012. № 1 (12). Pp. 152–157. (In Russian).
5. *Geiko V. S., Tsvetkova T. A., Shumlyanskaya L. A.* Tryokhmernaya skorostnaya model verkhney mantii Sarmatii (yugo-zapad) [Three-dimensional velocity model of the upper mantle of Sarmatia (south-west)]. *Geofiz. Zhurnal*, 2005. Т. 27. № 6. Pp. 927–939. (In Russian).
6. *Yatsenko V. G.* Zakonomernosti prostranstvennogo raspolozheniya proyavleniy grafita na USHch [Regularities of the spatial distribution of graphite occurrences on the USh]. In: *Aspekty metallogenii Ukrainy*. NAS and the Ministry of Emergencies of Ukraine. 1998. Pp. 254–270. (In Russian).

7. Glover Paul W. J., Adam A. Correlation between crustal high conductivity zones and seismic activity and the role of carbon during shear deformation. *Journal of Geophysical Research*. 2008. 113. doi: 10.1029/2008JB005804.

8. Nikolayevsky V. N. Geomechanics and geofluidodynamics. M. Nedra, 1996. 448 p. (In Russian).

УДК 550.832

Д. Л. Бурдин¹, Н. В. Горбунцова¹, А. М. Денисов¹, А. Д. Савич^{1,2}

¹ ПАО «Пермнефтегеофизика». 614090, Россия, г. Пермь,
ул. Лодыгина, 34; e-mail: burdin.dm@mail.ru,
gorbuncova@pngf.ru, adenisov@bk.ru

² Пермский государственный национальный
исследовательский университет. 614990, Россия, г. Пермь,
ул. Букирева, 15; e-mail: savich@pngf.com

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПРИЧИН ОБВОДНЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СКВАЖИН НА ОБЪЕКТАХ ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ»

***Аннотация.** Преждевременное обводнение пластов и скважин приводит к существенному снижению текущей добычи нефти и конечной нефтеотдачи, к большим экономическим потерям, связанным с подъемом на поверхность, транспортированием, подготовкой и обратной закачкой в пласт больших объемов воды, с необходимостью ускоренного ввода в разработку новых месторождений.*

***Ключевые слова:** геофизические исследования, горизонтальные скважины, обводнение, профиль притока.*

D. L. Burdin¹, N. V. Gorbuntsova¹, A. M. Denisov¹, A. D. Savich^{1,2}

¹ Permneftegeofizika. 34 Lodygina Str., Perm 614090, Russia;
e-mail: burdin.dm@mail.ru, gorbuncova@pngf.ru, adenisov@bk.ru

² Perm State University. 15 Bukireva Str., Perm 614990, Russia;
e-mail: savich@pngf.com

INTEGRATION APPROACH TO IDENTIFICATION OF WATER FLOODING ORIGIN IN THE HORIZONTAL WELLS OPERATED BY LUKOIL-PERM LLC

***Abstract.** Premature flooding of reservoirs and wells leads to considerable decrease in current oil production and ultimate oil recovery, high economic*

losses associated with lifting, transportation, treatment and reinjection of large volumes of water, and need of faster commencement of new fields.

Keywords: *survey, horizontal wells, water flooding, flow profile.*

Введение

В 1922 г. на Первом всероссийском съезде нефтяников И. М. Губкин предупреждал, что месторождениям Баку, в то время богатейшим в мире, грозит гибель. Он отмечал, что «...вопрос об обводнении промысловых площадей есть вопрос не только узкоспециальный, вопрос практического характера, но он имеет некоторую политическую окраску...». К сожалению, нынешнее состояние нефтегазового дела в России таково, что проблема обводнения месторождений остается, по-прежнему, актуальной.

В данной работе для определения причин обводнения скважин после их заканчивания представлены результаты анализа нефтепромысловой и геолого геофизической информации и даны рекомендации по подбору комплекса методов геофизических исследований скважин (ГИС), представляющих необходимую информацию для поиска возможных путей решения проблемы.

Отметим, что наличие межпластовых перетоков флюидов недопустимо всегда, поскольку это приводит к нежелательным последствиям, часть из которых сводится к искажению дебитов скважин, а также характера насыщения и нарушению естественной минерализации пластовых вод по разрезу скважины, что затрудняет оценку характера насыщения [1]. В то же время существуют современные методы и технологии проведения ГИС, которые в должной мере не используются нефтяными компаниями.

На основе накопленного опыта, полученного авторами в ходе многочисленных исследований в горизонтальных скважинах в различных регионах, можно выделить ряд наиболее часто встречающихся причин, приводящих к обводнению нефтяных скважин.

Обводнение из-за трещиноватости коллектора

Значительное количество горизонтальных скважин (ГС) вскрывают карбонатные пласты и эксплуатируются открытым стволом. Довольно часто они обладают трещиноватостью и характеризуются высокой проницаемостью, что способствует первоочередному прорыву воды, имеющей большую «подвижность» в сравнении с нефтью. Предлагается проводить в горизонтальных скважинах дополнительные исследования по изучению коллекторов методами электрического, акустического сканирования и кросс дипольной акустики. Это позво-

лит осуществить подбор оптимального режима эксплуатации скважин, при котором исключается прорыв пластовой воды. На рис. 1 показано направление ствола ГС месторождения им. Сухарева в сторону максимальной трещиноватостью (склон структуры). На рис. 2 иллюстрируется, что факт отсутствия перечисленных выше исследований не позволил учесть трещиноватость, выбрать оптимальный режим эксплуатации и свести к минимальному уровень обводненности продукции в скважине (содержание воды до 71 %).

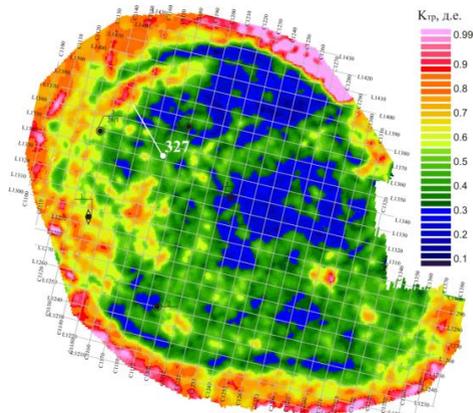


Рис. 1. Карта трещиноватости месторождения им. Сухарева и траектория горизонтального ствола

Обводнение из-за избыточной закачки воды

В призабойной зоне нагнетательных скважин всегда существует система трещин, раскрытость и протяженность которых определяется репрессией и прочностными характеристиками породы. Тампонирувание высокопроницаемых трещин вызывает движение воды по менее проницаемым и новым трещинам [2]. Это подтверждается анализом данных ГИС по поиску источников обводнения в третьем горизонтальном стволе одной из скважин Осинского месторождения, местоположение которого совпадает с абсолютными отметками интервалов закачки воды в соседние нагнетательные скважины. Рекомендуется проводить исследования, как нагнетательных скважин, так и добывающих, ограничение объема закачиваемой жидкости и проведение ремонтных работ в нагнетательной скважине: изолирование интервалов, совпадающих с отметками добывающих скважин и частичный перевод нагнетания на другие глубины.

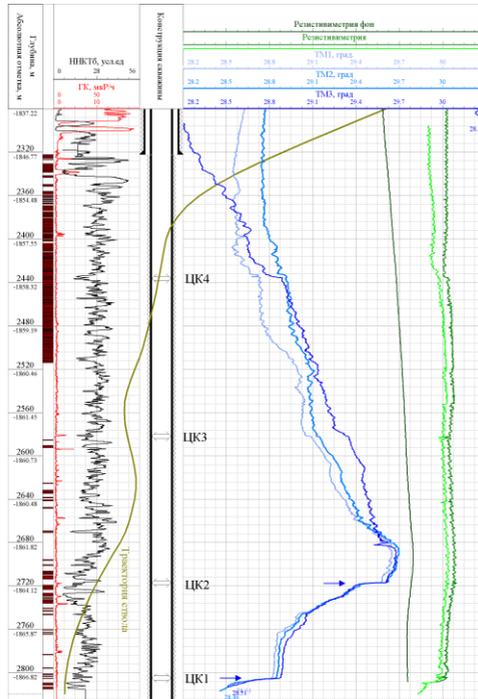


Рис. 2. Поиск источника обводнения в скважине

Подобная ситуация возникла в одной из скважин Павловского месторождения (рис. 3), где в интервале 1760–1800 м отсутствует перекрытие по ГИС. По плотности воды и по данным исследований профиля притока можно уверенно сказать, что пластовая вода поступает с забоя из выделенного по ГИС водонефтенасыщенного коллектора. Для качественной привязки данных телеметрии предлагается, после вскрытия 100–150 м продуктивного горизонта, проводить дополнительные исследования методами радиоактивного каротажа и инклинометрии в буровом инструменте без подъема телесистемы.

Обводнение из-за отсутствия информации о качестве крепи

Геофизические исследования по определению качества цементирования проводят, как правило, до разбуривания цементного стакана, что приводит к отсутствию информации о качестве цементирования в интервале башмака колонны и обводненности продукции при плохом качестве крепи.

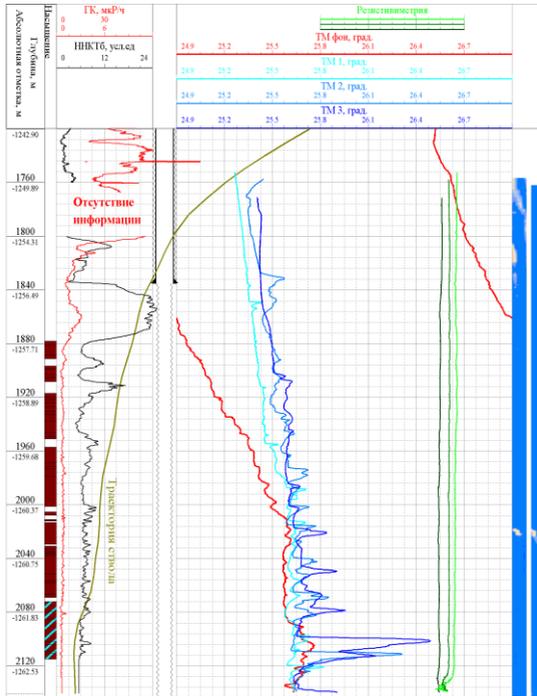


Рис.3. Каротажная диаграмма поиска источника обводнения

В скважине Павловского месторождения (рис. 4) при исследованиях контроля качества цементирования текущей забой скважины составлял 1742 м, при пробуренном забое 1756,8 м (неисследованная часть около 15 м). По данным ГИС отмечаются признаки заколонного перетока сверху из вышележащих водонасыщенных песчаников радевского горизонта под башмак эксплуатационной колонны. Обводнения можно было бы избежать при проведении работ по изучению качества цементирования и своевременному дополнительному тампонажу колонны.

В заключение следует отметить, что существуют некоторые оптимальные режимы, позволяющие обеспечить предельный безводный дебит скважины. Однако выбор такого режима напрямую связан с качеством и полнотой информации по геофизическим исследованиям. Экономия времени и средств на ГИС в процессе строительства скважин приводит к отсутствию информации и, как следствие, к значительным неоправданным затратам на стадии их эксплуатации.

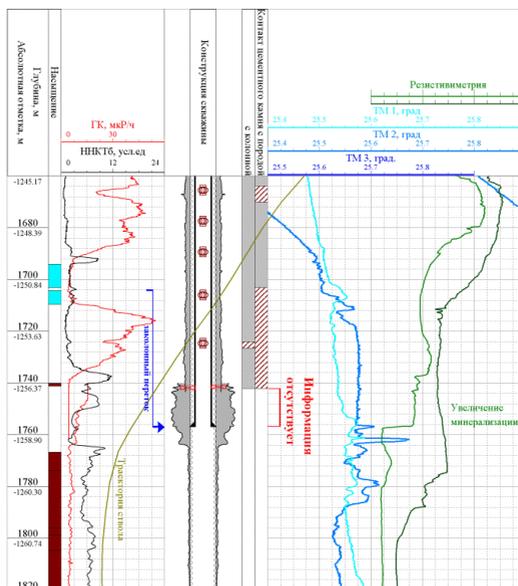


Рис. 4. Каротажная диаграмма определения профиля притока

ЛИТЕРАТУРА

1. Газизов А. Ш. Повышение эффективности разработки нефтяных месторождений на основе ограничения движения вод в пластах. М.: Недра-Бизнесцентр, 1999. 285 с.

2. Гарипов В. З., Козловский Е. А., Литвиненко В. С. Минерально-сырьевая база топливно-энергетического комплекса России (тезисный вариант). М.: МГРУ, 2003. 150 с.

3. Дубнинский Г. С. и др. Геолого-технологическое обоснование адресных методов увеличения нефтеотдачи и ограничения водопритока в залежах высоковязких нефтей // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. Уфа, 2013. № 2 (92). С. 5–15.

REFERENCES

1. Gazizov A. Sh. Povyshenie effektivnosti razrabotki neftyanykh mestorozhdeniy na osnove ogranicheniya dvizheniya vod v plastakh [Improving oil field development efficiency by water flow management]. M.: Nedra-Biznesstsentr, 1999. 285 p. (In Russian).

2. Garipov V. Z., Kozlovsky Ye. A., Litvinenko V. S. Mineralno-syryevaya baza toplivno-energeticheskogo kompleksa Rossii (tezisnyy variant) [Mineral resources base of the Russian energy sector (handout version)]. M.: MSGPU, 2003. 150 p. (In Russian).

3. Dubnitsky G. S. et al. Geologo-tehnologicheskoe obosnovanie adresnykh metodov uvelicheniya nefteotdachi i ogranicheniya vodopritoka v zalezkhakh vysokovyazkikh neftey [Geological and technological rationale of the targeted methods for enhancing the oil recovery and water flow suppression in high-viscosity oil reservoirs]. Problemy sbora, podgotovki i transporta nefi i nefteproduktov]. 2013. No. 2 (92). Pp. 5–15. (In Russian).

УДК 550.83

А. Д. Бурмистров

Пермский государственный национальный исследовательский университет. 614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15;
e-mail: took.burmistrov@gmail.com

**ОТ ИССЛЕДОВАНИЙ Л. А. ПОПУГАЕВОЙ
ПО МИНЕРАЛАМ-СПУТНИКАМ
К ГЕОФИЗИЧЕСКИМ МЕТОДАМ ПОИСКОВ КОРЕННЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ**

***Аннотация.** Приведен обзор применения геофизических методов для выделения алмазоносных структур на примере коренных месторождений алмазов республики Саха, Архангельской области, россыпных месторождений Пермского края.*

***Ключевые слова:** Л. А. Попугаева, коренные алмазы, кимберлиты, геофизические методы.*

A. D. Burmistrov

Perm State University. 15 Bukireva Str., Perm 614990, Russia;
e-mail: took.burmistrov@gmail.com

**FROM THE ACCESSORY MINERALS RESEARCH
OF L. A. POPUGAEVA TO THE GEOPHYSICAL METHODS
OF PRIMARY DIAMONDS PROSPECTING**

***Abstract.** Overview of the geophysical methods using to the location of diamondiferous structures on the example of primary diamond deposits of the Republic of Sakha, Arkhangelsk Region, and placer deposits of the Perm Region.*

***Keywords:** Popugaeva, primary diamonds, kimberlites, geophysical methods.*

Первое за пределами Южной Африки коренное месторождение алмазов – кимберлитовую трубку «Зарница» – открыла по прослеживанию пиропов на территории Якутии студентка Молотовского (Пермского) государственного университета (1941–1942 гг.), выпускница Ленинградского государственного университета (1950 г.) **Лариса Анатольевна Попугаева** (03.09.1923–19.09.1997) в 1954 г., что впоследствии положило начало промышленной добыче алмазов на территории СССР. В сентябре 2018 г. геологическая общественность России **отметила 95-летие со Дня рождения этой легендарной женщины** (рис. 1), которой присвоено звание «Первооткрыватель месторождения» за открытие двух алмазных трубок «Зарница» и «Удачная» [3].



Рис. 1. Попугаева Л. А.

В настоящее время наибольший объём добычи алмазов в Российской Федерации производится на месторождениях в республике Саха, где основные сырьевые запасы сосредоточены в коренных месторождениях в Якутской алмазонасной провинции: Далдыно-Алаkitский, Муно-Тюнгский, Средне-Мархинский, Приленский Анабарский и другие алмазонасные районы. Количество кимберлитовых трубок на территории Якутии превышает 200 единиц (80 % мировых месторождений алмазов) [1].

Помимо крупнейших по запасам месторождений Якутии в России также разрабатываются месторождения Пермского края и Архангельской области. Ранее доля общероссийской добычи алмазов Пермского края составляла 0,1 %, но по своим качественным характеристикам сырьё выгодно выделялось на фоне других мировых месторождений.

Архангельская алмазоносная провинция является второй после Якутии территорией России по разведанным запасам коренных месторождений. В 1980 г. по данным магнитной съёмки, подтверждённой бурением, была открыта кимберлитовая трубка «Поморская», давшая начало месторождению, названному именем М. В. Ломоносова. Также добыча алмазов на территории Архангельской области ведётся на месторождении имени В. П. Гриба.

Геофизические методы нашли широкое применение благодаря особенностям геологических условий залегания кимберлитовых трубок, что позволяет выделять характерные аномалии в геофизических полях.

Ведущими поисково-разведочными методами для кимберлитовых трубок являются аэромагниторазведка и наземная магнитная съёмка. В то же время локальными аномалиями на графиках магнитной съёмки могут соответствовать не только кимберлитовые трубки, но и многочисленные дайки пород основного состава, траппов и другие структуры. Поэтому для подтверждения полученных магнитных аномалий применяют гравиразведку, электрическое зондирование и электропрофилирование.

Важнейшим фактором поисков кимберлитовых трубок является картирование и выделение потенциальных структурных нарушений, сопровождающихся магматическими процессами. Структурные нарушения несут за собой физические, реологические и петрографические преобразования горных пород, что не может не иметь характерный отклик в геофизических полях вследствие повышенной трещиноватости, интенсивного дробления и изменения физических свойств пород (диэлектрической проницаемости, магнитной восприимчивости) и следствием этих изменений является обеспечение возможности распознавания подобных структур геофизическими методами. На картах кажущегося сопротивления они проявляются линейными и узлокализированными, относительно основных геологических структур, проводящими зонами (рис. 2).

Кимберлитовые тела характеризуются зонами повышенной электропроводности. Эти зоны по отношению к вмещающим породам имеют линейную закономерность, проявляющуюся на большом расстоянии. Опытным путём было показана возможность выделения кимберлитовых тел по наличию вертикальных проводников электрического тока на геоэлектрических разрезах [2]. Магнитная восприимчивость кимберлитов обусловлена наличием магнетита. Но аномалии также вызываются неоднородностью траппов и фундамента. Также существует корреляция между проявлением линейных зон повышенной про-

водимости и аномальных зон на картах магнитной съёмки. В случае отсутствия этой закономерности следует вывод об отсутствии на участке тел магматического происхождения. На примере карты ρ_k (рис. 3), в силу отсутствия линейных проводящих зон, можно сделать заключение об отсутствии корреляции с магнитными аномалиями.

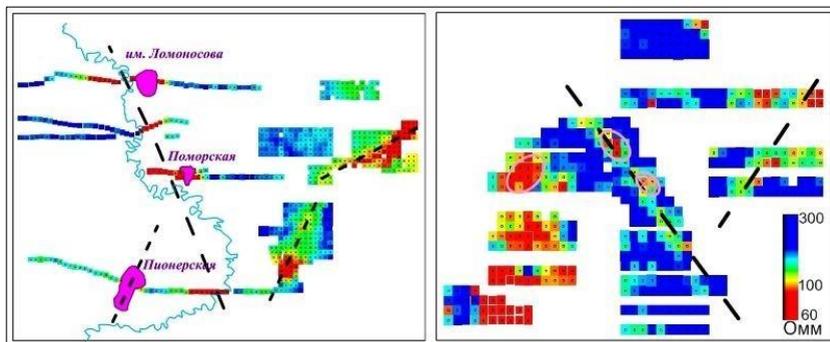


Рис. 2. Объединение нескольких участков пониженных значений ρ_k , слагающих линейную структуру, Архангельская алмазная провинция [2]

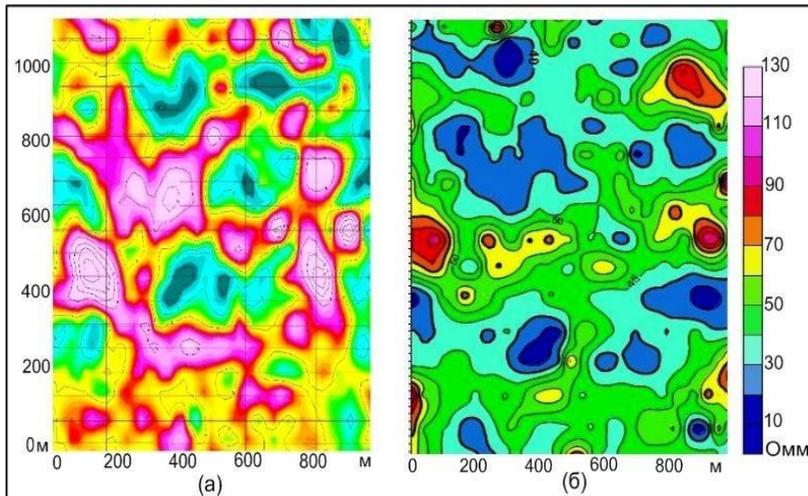


Рис. 3. Локальное магнитное поле (а) и площадное распределение ρ_k (б), Архангельская алмазная провинция [2]

Наряду с этим имеет место закономерность, проявляющаяся в обратной пропорциональности степени алмазонасности кимберлитовых пород и напряжённостью создаваемого ими магнитного поля. Многие алмазонасные тела или не фиксируются в магнитном поле, или их магнитные поля имеют незначительную интенсивность.

Бычков С. Г. и Новикова П. Н. в своей работе [1] установили кольцевые аномалии магнитного поля на северо-западе Пермского края, форма которых характерна для кимберлитовых трубок западной Якутии. Ими сделано предположение, что данные аномалии обусловлены интрузиями базит-гипербазитового состава с вкрапленностью ферромагнитных минералов.

Нарушение целостности структурных массивов и локальные повышения мощности рыхлых отложений в разломах позволяют применять гравитационную разведку, и сделать с её помощью подтверждение границ кимберлитовых полей [4]. Графики приращения силы тяжести над разломными структурами выглядят как отрицательные экстремумы.

Сейсморазведка используется для выделения кимберлитовых трубок [4], практически вся территория Мирнинского кимберлитового поля покрыта съёмкой сейсмическими методами. Проведённые опытные работы на известных телах показали, что трубки могут выделяться в слоистой среде вмещающих пород специфическими аномалиями.

Как было отмечено выше, методы разведочной геофизики зарекомендовали себя при изучении алмазонасных структур в силу особых условий их залегания, влияния магматических процессов, участвующих в формировании кимберлитовых трубок, физических свойств самих кимберлитов и вмещающих пород. Использование геофизических методов – применение магниторазведки в комплексе с методами электроразведки, подтверждение результатов гравиметрической съёмкой и выделение характерных аномалий на сейсмических разрезах – всё это важные инструменты для решения задач по поискам и разведке потенциально алмазонасных разломных структур.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бычков С. Г., Новикова П. Н.* Кольцевые аномалии магнитного поля на северо-западе Пермского края // Теория и практика разведочной и промысловой геофизики. ПГНИУ. Пермь, 2018. С. 84–89.
2. *Коротков Ю. В.* Поиск скрытых кимберлитовых тел с использованием импульсной индуктивной электроразведки в Архангельской алмазонасной провинции: автореф. дис. на соиск. учён. степ. канд. геол.-мин. наук (25.00.10). Архангельск. Институт экологических проблем Севера Архангельского научного центра Уральского отделения Российской академии наук, 2011. 26 с.

3. *Костицын В. И.* Лариса Попугаева – первооткрыватель алмазов в России. ПГНИУ, Пермь, 2016. 232 с.

4. Доклад от ГНПП «Аэрогеофизика» [Электронный ресурс] / конференция «PDAC 99». Торонто, Канада, 1999. Режим доступа: www.aerogeo.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=51:-pdac-99-&catid=19:2009-06-23-04-50-05&Itemid=20&lang=en, свободный.

REFERENCES

1. *Bichkov S. G., Novikova P. N.* Koltsevye anomalii magnitnogo polya na severo-zapade Permskogo kraja [Ring anomalies of the magnetic field in the north-west of the Perm region]. *In: Teoriya i praktika razvedochnoy i promyslovoy geofiziki.* Perm State Univ., Perm, 2018. Pp. 84–89. (In Russian).

2. *Korotkov U. V.* Poisk skrytykh kimberlitovykh tel s ispolzovaniem impulsnoy induktivnoy elektrorazvedki v Arkhangel'skoy alamazonosnoy provintsii [Prospecting of hidden kimberlite structures using pulsed inductive electrical survey in the Arkhangel'sk diamondiferous province]. Diss. cand.geol.-min.sci. Arkhangel'sk. Institute of Ecological Problems of the North, Arkhangel'sk Scientific Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2011. (In Russian).

3. *Kostitsyn V. I.* Larisa Popugaeva – pervootkryvatel' almazov v Rossii [Larisa Popugaeva – the diamond discoverer in Russia]. Perm State University. Perm, 2016. 232 p. (In Russian).

4. *Doklad GNPP Aerogeofizika* [Report of GNPP Aerogeofizika]. Conference «PDAC 99». Toronto, Canada, 1999. URL: www.aerogeo.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=51:-pdac-99-&catid=19:2009-06-23-04-50-05&Itemid=20&lang=en, free. (Accessed 09.10.2018).

УДК 550.8.015(470.53)

С. Г. Бычков, П. Н. Новикова

Горный институт УрО РАН. 614007, Россия, г. Пермь,
ул. Сибирская, д. 78а;

Пермский государственный национальный
исследовательский университет.

614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15; e-mail: bsg@mi-perm.ru,
polinagfz@gmail.com

КОЛЬЦЕВЫЕ АНОМАЛИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА СЕВЕРО-ЗАПАДЕ ПЕРМСКОГО КРАЯ

Аннотация. Описаны кольцевые аномалии магнитного поля на северо-западе Пермского края. Форма аномалий характерна для кимберлитовых трубок Западной Якутии. Сделано предположение, что данные

аномалии обусловлены интрузиями базит-гипербазитового состава с вкрапленностью ферромагнитных минералов.

Ключевые слова: *магниторазведка, кольцевые аномалии, кимберлитовые трубки.*

S. G. Bychkov, P. N. Novikova

Mining Institute UB RAS. 78a Sibirskaya Str., Perm 614007, Russia;

Perm State University. 15 Bukireva Str., Perm 614990, Russia;

e-mail: bsg@mi-perm.ru, polinagfz@gmail.com

CIRCULAR ANOMALIES OF THE MAGNETIC FIELD IN THE NORTH-WEST OF THE PERM REGION

Abstract. *Circular anomalies of the magnetic field in the north-west of the Perm region are described. The shape of the anomalies is characteristic for kimberlitic pipes of the Western Yakutia. It has been suggested that these anomalies are due to intrusions of basic hyperbasite composition with inclusions of ferromagnetic minerals.*

Keywords: *magnetic exploration, circular anomalies, kimberlitic pipes.*

При интерпретации геолого-геофизических материалов на северо-западе Пермского края по данным аэромагнитной съемки масштаба 1:50 000 выделен ряд кольцевых аномалий магнитного поля [1]. Диаметр положительных кольцевых аномалий 2–7 км, их амплитуда до 200 нТл (рис. 1).

Магнитное поле района исследований имеет характерную форму: на фоне линейных субширотных отрицательных аномалий отчетливо выделяются локальные положительные аномалии изометричной формы. Для большей наглядности одна из аномалий, расположенная в районе п. Жемчужный и Мыс-Лель, представлена на рис. 2, а в аксонометрической проекции. В данной проекции отчетливо видна центральная положительная аномалия, обрамленная кольцом относительно пониженных значений поля. В гравитационном поле, построенном по данным съемок масштаба 1:200 000, здесь выделяется положительная аномалия амплитудой до 10 мГал (рис. 2, б).

Такие аномалии магнитного поля характерны для кимберлитовых трубок Западной Якутии [2]. Учитывая, что в данном районе обнаружены алмазы [3], происхождение которых связывается с ранне-мезозойскими кимберлитами [5], возможно, что эти аномалии обусловлены трубками взрыва. Необходимо, однако, заметить, что средние размеры кимберлитовых трубок составляют 200–300 м [2], т.е. на порядок меньше размеров данных аномалий. Тем не менее, независимо

от природы этих аномалий, их форма привлекает внимание, и, несомненно, они заслуживают особого внимания.

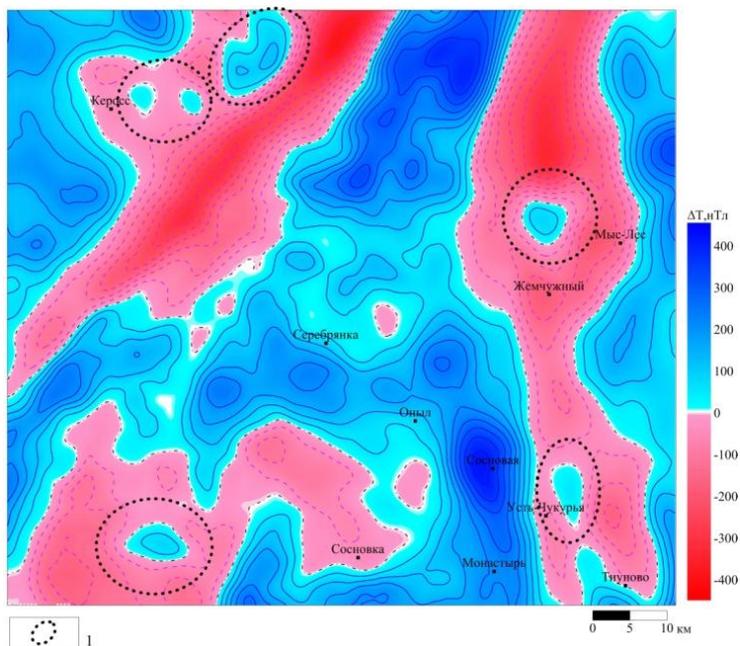


Рис. 1. Магнитное поле на северо-западе Пермского края: 1 – контуры кольцевых аномалий

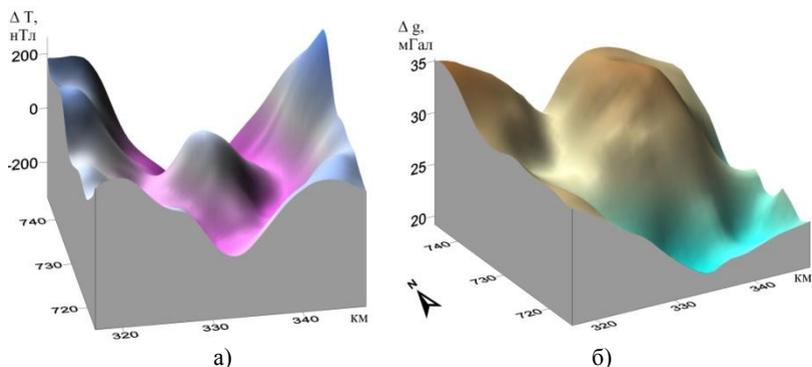


Рис. 2. Аксонометрические проекции магнитного (а) и гравитационного (б) полей

По данным геолого-геофизических исследований мощность осадочного чехла в данном районе составляет порядка 2–3 км, а рельеф поверхности архей-протерозойского фундамента по сейсмическим данным изменяется от 1,6 до 2,6 км с преимущественно восточным трендом погружения.

Для каждой аномалии решалась обратная задача монтажным методом по ряду секущих профилей [4]. Расположение «априорного» начального элемента и максимально допустимая ширина искомой конфигурации определялись исходя из характера аномальной кривой. Ограничения на вертикальную мощность источников поля не задавались. Невязка модельного и наблюдаемого полей сопоставима с точностью съемки.

Получены следующие количественные характеристики (рис. 3). Сами объекты, создающие данные аномалии, являются субвертикальными и в основном расположены в интервале глубин от 3 до 12 км. Средняя величина эффективной намагниченности составила $J_{эф} = 1,4$ А/м, средний угол намагничения $\alpha = 60^\circ$. По результатам моделирования верхняя кромка исследуемых объектов находится ниже поверхности кристаллического фундамента.

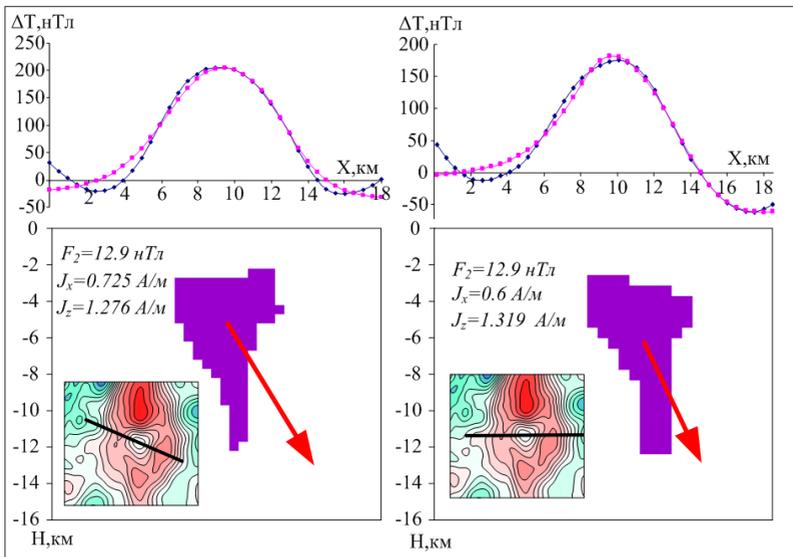


Рис. 3. Решение обратной задачи магниторазведки монтажным методом

Данные объекты можно ассоциировать с блоками фундамента, отличающимися по физическим свойствам от примыкающих, представляющих из себя крупные субвертикальные магнитовозмущающие блоки с горизонтальной мощностью порядка 5–7 км. Исходя из различия величины и направления вектора намагниченности можно предположить, что данные тела являются интрузиями базит-гипербазитового состава с вкрапленностью ферромагнитных минералов, образованные в разные геологические эпохи.

К сожалению, на данной территории отсутствуют детальные гравиметрические и магнитометрические съемки, поэтому невозможно выделить аномалии размерами менее 1 км, выполнить их детальную интерпретацию и сделать предположения о связи их с кимберлитовым (или лампроитовыми) трубками и возможными месторождениями коренных алмазов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бычков С. Г.* Геофизические феномены Пермского края // Вестник Пермского университета. Геология. Пермь, ПГУ, 2012. Вып. 3 (16). С. 60–67.
2. *Миков Б. Д.* Гравиразведка и магниторазведка при поисках объектов трубочной формы. М.: Недра, 1985. 92 с.
3. *Морозов Г. Г., Осовецкий Б. М., Накарякова И. Р.* и др. Алмазоносность отложений мезокайнозоя на территории платформенной части Пермского края // Вестник Пермского университета. Геология. Пермь, ПГУ, 2007. Вып. 4 (9). С. 49–59.
4. *Новикова П. Н.* Методы обработки и интерпретации данных магниторазведки и гравиразведки для сеточных моделей геологической среды: Дисс. канд. геол.-мин. наук. Пермь, 2013.
5. *Осовецкий Б. М.* К истории мезозойского осадконакопления на территории Вятско-Камской впадины в связи с проблемами алмазоносности // Геология и полезные ископаемые Западного Урала: Материалы рег. научн.-практ. конф. Пермь, ПГУ, 2008. С. 49–54.

REFERENCES

1. *Bychkov S. G.* Geofizicheskiye fenomeny Permskogo kraya [Geophysical Phenomena of the Perm Region]. Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya. 2012. 3 (16). Pp. 60–67. (In Russian)
2. *Mikov B. D.* Gravirazvedka i magnitorazvedka pri poiskakh obyektov trubochnoy formy [Gravity and magnetic survey for pipe-shaped objects prospecting]. M.: Nedra, 1985. 92 p. (In Russian).
3. *Morozov G. G., Osovetskiy B. M., Nakaryakova I. R. et al.* Almazonosnost otlozheniy mezokaynozoya na territorii promyshlennoy chasti Permskogo kraya [The diamondiferousness potential of the Meso-Cenozoic deposits in the platform part of the Perm Territory]. Vestnik Permskogo Universiteta. Geologiya. 2007. 4 (9). Pp. 49–59. (In Russian).

4. *Novikova P. N.* Metody obrabotki i interpretatsii dannykh magnitorazvedki i gravirazvedki dlya setochnykh modeley geologicheskoy sredy [Methods of processing and interpretation of magnetic and gravity data for grid models of the geological environment]. Diss. kand. geol.-min. nauk. Perm, 2013. (In Russian).

5. *Osovetskiy B. M.* K istorii mezozoyskogo osadkonakopleniya na territorii Vyatsko-Kamskoy vpadiny v svyazi s problemami almazonosnosti Zapadnogo Urala [On the history of Mesozoic sedimentation on the territory of the Vyatka-Kama depression in connection with the problems of diamondiferousness]. *In: Geologiya i poleznye iskopaemye Zapadnogo Urala.* Perm, PSU, 2008. Pp. 49–54. (In Russian).

УДК 550.834.52

В. А. Ворошилов

Пермский государственный национальный исследовательский университет. 614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15;
АО «ВНИИ Галургии». 614002, Россия, г. Пермь,
ул. Сибирская, д. 94; e-mail: vladislav.voroshilov@uralkali.com

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА ГЕОМЕТРИИ НЕРЕГУЛЯРНЫХ СИСТЕМ НАБЛЮДЕНИЯ ДЛЯ ДАННЫХ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ

Аннотация. Представлено обоснование для написания программы расчёта геометрии для смешанной системы наблюдений, используемой в сейсморазведке методом отраженных волн. Приведено описание программы, необходимые исходные данные и получаемые результаты.

Ключевые слова: сейсморазведка методом отраженных волн, методика общей глубинной точки, программа расчёта геометрии.

V. A. Voroshilov

Perm State University. 15 Bukireva Str., Perm 614990, Russia;
«VNI Galurgii» JCS. 94 Sibirskaya Str., Perm 614002, Russia;
e-mail: vladislav.voroshilov@uralkali.com

AUTOMATION OF GEOMETRY CALCULATION FOR IRREGULAR SEISMIC ACQUISITION GEOMETRY

Abstract. The article presents a rationale for writing a geometry calculation program for the mixed observation system. The description of the program, the necessary initial data, and obtained results are given.

Key words: reflection exploration, common depth point seismic, program of geometry calculation.

В настоящее время наибольшим распространением в сейсморазведке пользуется методика отраженных волн – общей глубинной точки (МОВ-ОГТ). При обработке данных МОВ-ОГТ требуется геометрия расстановки, т.е. взаимное расположение пунктов приема и пунктов возбуждения друг относительно друга. Смешанная система наблюдений (ССН) позволяет увеличить среднее значение кратности на профиле и длину годографа в сравнении с регулярными системами наблюдений (СН) (рис. 1). Суть такой СН: в начале профиля идет фланговая, раскрывающаяся до симметричной СН, затем производится коммутация части каналов и обработка такого же количества пунктов возбуждения с неподвижной приемной линией. Циклы коммутации каналов и обработки повторяются до конца профиля с последующим закрытием СН [1].

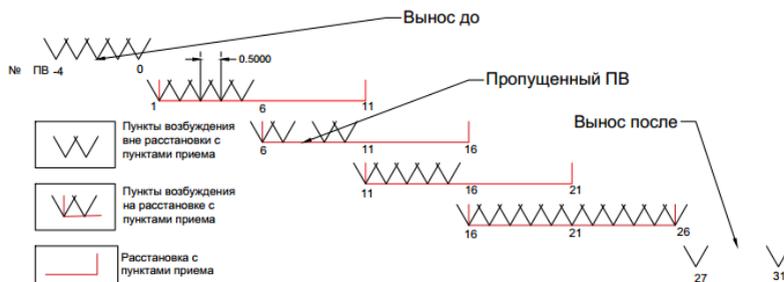


Рис. 1. Схематическое изображение ССН

В современных программных комплексах по обработке данных не предусмотрен расчёт геометрии по ССН. Так, в RadExPro возможен автоматизированный расчет геометрии только для регулярных систем МОВ-ОГТ и метода преломленных волн [2]. Существуют также программы, позволяющие выполнять присвоение произвольной геометрии, но при этом ее описание приходится выполнять вручную. Это приводит к большим затратам времени и ошибкам, исправление которых требует дополнительных усилий. В зависимости от конкретного программного обеспечения необходимо сформировать отдельное задание для каждой сейсмограммы или даже для каждой трассы.

Некоторые полевые модули позволяют присваивать геометрию непосредственно во время выполнения полевых работ, но при этом

увеличивается время производства наблюдений, а также увеличивается возможность ошибки. Предпочтительней производить присвоение геометрии на этапе камеральных работ, когда есть возможность найти и исправить ошибки.

Для облегчения ручного расчета геометрии для ССН было разработано приложение «Headers» для автоматизации данного процесса. Применение «Headers» сокращает время формирования геометрии для ССН до нескольких секунд. Выигрыш в производительности обусловлен тем, что формирование геометрии происходит для ансамбля сейсмограмм от переноса до переноса, а не для конкретной трассы или сейсмограммы. Для написания программы и создания графического интерфейса был использован язык программирования «FreePascal» и среда программирования Lazarus.

Для расчёта геометрии в программу вводятся следующие параметры (рис. 2):

The screenshot shows the 'Headers' application window with the following parameters and data:

- Кол-во каналов (A):** 11
- dX ПП (D):** 0,5
- dX ПВ (C):** 0,5
- Количество переносов (G):** 3
- № первого ПВ (B):** 1
- Вынос до (E):** 5
- Вынос после (F):** 5

№ переноса	№ ПВ после переноса	Кол-во перенесенных каналов
1	6	5
2	11	5
3	16	5

К Пропущенные ПВ:

8	
28	30

Buttons: **Расчет**, **Сохранить файл**

Рис. 2. Рабочее окно программы

А. Кол-во каналов – количество каналов в расстановке (положительное целое значение);

В. № первого ПВ – номер первого пункта возбуждения на профиле (положительное целое значение);

С. dX ПВ – расстояние между пунктами приема, м (положительное действительное значение);

Д. dX ПП – расстояние между пунктами возбуждения, м (положительное действительное значение);

Е. Вынос до – количество пунктов возбуждения до первого пункта приема (положительное целое значение);

Ф. Вынос после – количество пунктов возбуждения после последнего пункта приема (положительное целое значение);

Г. Количество переносов – количество переносов, сделанных во время измерений (неотрицательные целые значения);

Н. № Переноса – номер переноса по порядку;

И. № ПВ после переноса – номер первого пункта возбуждения на расстановке после переноса (положительное целое значение);

Ж. Кол-во перенесенных каналов – количество перенесенных каналов из начала расстановки в конец (положительное целое значение);

К. Пропущенные ПВ – номера пропущенных пунктов возбуждения, один или несколько подряд.

По нажатию кнопки «Расчет» происходит расчет геометрии для всего профиля и ее последующее копирование в буфер обмена. При нажатии кнопки «Сохранить файл» будет открыт диалог сохранения файла формата *.txt, в который записана геометрия с названиями соответствующих столбцов заголовков.

Поскольку доступ к результатам расчетов предоставляется через буфер обмена операционной системы и через текстовый файл, то программу можно использовать для работы в паре практически с любым сейсморазведочным программным обеспечением. Во внутренней системе программы заложена следующая последовательность заголовков столбцов таблицы:

1. Source – номер пункта возбуждения;
2. RecNo – номер пункта приема;
3. Sou_X – координата пункта возбуждения;
4. Rec_X – координата пункта приема;
5. CDP – номер общей глубинной точки;
6. CDP_X – координата общей глубинной точки;
7. Offset – удаление пункта приема от пункта возбуждения;

8. AOffset – модуль удаления пункта приема от пункта возбуждения;
9. TraceNo – номер сейсмоприемника в расстановке;
10. Chan – номер канала.

Данные в столбцах 1–8 необходимы для сортировки сейсмограмм и обработки по методу МОВ-ОГТ. Данные в столбце 9 с заголовком «TraceNo» могут быть использованы для инверсии и удаления бракованных трасс. Стоит отметить, что при переносе части каналов из начала в конец расстановки номера конкретных сейсмоприемников не изменяются. Данные в столбце 10 с заголовком «Chan» могут быть использованы для удаления трасс, близких к пункту возбуждения, в случае, если на них отмечается переполнение разрядности АЦП. В программе не реализован расчет геометрии при переменном количестве каналов, но это всегда можно сделать, запустив программу несколько раз и корректно «склеив» полученные данные.

Программа успешно показала себя при использовании на практике и справляется со всеми случаями, встречающимися при выполнении полевых работ. В случае необходимости происходит ее доработка и усовершенствование.

ЛИТЕРАТУРА

1. Инструкция по шахтной сейсморазведке (применительно к условиям Верхнекамского месторождения калийных солей). Пермь, 2014.
2. Руководство пользователя RadExPro 2017.2 (редакция от 23.10.2017), ООО «Деко-геофизика СК». Москва, 2017.

REFERENCES

1. Instruktsiya po shakhtnoy seysmorazvedke (primenitelno k usloviyam Verkhnekamskogo mestorozhdeniya kaliynykh soley) [The instruction of mine seismic exploration (according to conditions of the Verkhnekamskoye Salt Deposit)]. Perm, 2014. (In Russian).
2. Rukovodstvo polzovatelya RADExPro 2017.2 (redaktsiya ot 23.10.2017) [RadExPro 2017.2 user manual (revised 23.10.2017), DECO Geophysical Software Company]. Moscow, 2017. (In Russian).

УДК 553.98:550.831

И. В. Геник

Пермский государственный национальный исследовательский
университет. 614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15;
e-mail: IVGenik@rambler.ru

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ ИНТЕРПРЕТАЦИИ РЕГИОНАЛЬНЫХ РАБОТ НА НЕФТЬ И ГАЗ

***Аннотация.** Определение статистических характеристик по данным геофизических методов позволяет дать оценку исследуемой территории в целом, сравнивать различные площади и давать прогноз по выделению гравиметрических аномалий, отображающих вероятные нефтегазоперспективные структуры.*

***Ключевые слова:** гравиметрия, магнитометрия, геофизические методы, геология, осадочный чехол, нефть, газ, Пермский край, Россия, статистика, коэффициент корреляции, площадной анализ.*

I. V. Genik

Perm State University.15 Bukireva Str., Perm 614990, Russia;
e-mail: IVGenik@rambler.ru

THE STATISTICAL CHARACTERISTICS OF GEOPHYSICAL FIELDS USED IN THE INTERPRETATION OF REGIONAL STUDY ON OIL AND GAS

***Abstract.** Determination of statistical characteristics of geophysical data allows comprehensive estimate the area under study, to compare different areas, and to detect the gravimetric anomalies promising for oil and gas bearing structures.*

***Key words:** gravimetry, magnetometry, geophysical methods, geology, sedimentary cover, structure, oil, natural gas, Perm region, Russia, statistics, correlation coefficient, area analysis.*

Анализ результатов региональных работ на нефть и газ в Пермском крае и Кировской области, в которых применялась гравиметрия, связан с подробным рассмотрением данных, включая статистические характеристики геолого-геофизической информации, используемые при интерпретации [3].

Выполнялось рассмотрение данных по региональным работам [1–3], выполненным в Кировской области (две площади) и Пермском крае (14 площадей). Анализировался следующий набор характеристик: гравитационное поле (G), магнитное поле (M), рельеф земной поверхности (R), структурная карта ОГ П^К (кровля визейских терригенных отложений) (S), трансформанта гравитационного поля, характеризующая ОГ П^К (P).

Решались следующие задачи:

I) исследование взаимосвязи разброса значений несейсмических геофизических характеристик (ΔR , ΔM , ΔG , ΔP) с разбросом значений по сейсмике значений, для получения некоторой общей оценки по всем площадям в целом;

II) изучение возможности прогноза поведения структурной поверхности (S) для каждой площади на основании всего рассматриваемого набора геофизических характеристик (R , M , G , P) и их трансформант, (R^2 , M^2 , G^2 , P^2) или частей этих наборов;

III) исследование взаимосвязи исходной совокупности несейсмических геофизических данных (R , M , G) и трансформанты гравитационного поля (P) с

Для описания разброса значений какой-либо величины могут использоваться такие характеристики как размах, дисперсия, стандартное отклонение, коэффициент вариации. Выполненный анализ показал, что наиболее информативным является размах (разность максимального и минимального значений), поскольку непосредственно связан с описанием пределов изменения величин.

Анализ взаимосвязи данных выполнялся с помощью коэффициентов парной и множественной корреляции. Коэффициенты корреляции K описывают следующие типы силы связей: 0,1–0,3 – слабая связь, 0,3–0,5 – умеренная, 0,5–0,7 – заметная, 0,7–0,9 – высокая, 0,9–1,0 – очень высокая. Основное внимание уделялось связям с $K \geq 0,7$. Для характеристики связей использовался коэффициент детерминации R^2 – величина, показывающая долю дисперсии зависимой переменной, объясняемой рассматриваемой моделью зависимости. В случае линейной зависимости R^2 является квадратом множественного коэффициента корреляции между зависимой переменной и объясняющими переменными. При решении каждой из описанных выше задач вычислялись парные корреляции рассматриваемых величин, а также различные варианты множественной корреляции, сделанные в предположении о линейном характере связи.

В результате решения задачи I были получены следующие значения коэффициентов парной и множественной корреляции. Парные

коэффициенты корреляции были меньше 0,7, наибольшее значение для связи $\Delta S = f(\Delta P)$ было равно 0,646. В двух вариантах множественной корреляции $\Delta S = f(\Delta X_1, \Delta X_2)$ максимальное значение, равное 0,776, было получено для зависимости $\Delta S = f(\Delta R, \Delta P)$, другое значение с $K > 0,7$ было для $\Delta S = f(\Delta R, \Delta G)$. Наибольшее значение коэффициента множественной корреляции ($K = 0,8$) было получено для наиболее полной связи $\Delta S = f(\Delta G, \Delta P, \Delta R, \Delta T)$.

Для решения задачи II вычислялись коэффициенты парной и множественной корреляции непосредственно для геофизических величин (R, M, G, P). Результаты наиболее интересных взаимосвязей рассмотрены ниже.

1. Зависимость $S = f(R, M)$ – из 14 площадей только для Керчевской площади, расположенной на севере платформенной части Пермского края, сила связи оценена как высокая, в то время как для трех площадей связь была слабой ($K < 0,3$). Для квадратичной зависимости $S = f(R, M, R^2, M^2)$ высокие значения K были получены только для двух площадей (Юго-Камская [1] и Керчевская). Это значит, что с использованием только рельефа земной поверхности и магнитного поля практически невозможно спрогнозировать поведение ОГ П^К.

2. $S = f(G, P, G^2, P^2)$, т.е. описание сейсмических данных квадратичной зависимостью от гравитационного поля и его трансформанты, коэффициенты множественной корреляции для четырех площадей (Патраковской, Григорьевской, Керчевской и Юго-Камской) были высокими, а еще для пяти площадей заметными ($0,5 \leq K \leq 0,7$). Высокое значение коэффициента корреляции ($K = 0,845$) для Патраковской площади объясняется наличием надвигов, хорошо проявляющихся как в исходном гравитационном поле, так и в его трансформанте.

3. $S = f(M, R, G, P, M^2, R^2, G^2, P^2)$ – зависимости самого общего вида. Для восьми площадей получаются высокие значения K , а для остальных – заметные. Для четырех площадей (тех же, что и в предыдущем случае) коэффициенты корреляции были более 0,8, а коэффициенты детерминации превосходили 0,64. Таким образом, для этих четырех площадей модель сейсмической структурной поверхности на две трети описывается выбранным набором геофизических данных.

Отмечается следующая закономерность расположения площадей, для которых коэффициенты корреляции больше и меньше 0.7. Площади, для которых $K < 0,7$ лежат преимущественно в западной и северо-западной части Пермского края и в Кировской области, где глубины залегания кристаллического фундамента в среднем не превышают 3 км. Исключения из такой закономерности: Лимоновско-Вожгальская площадь (Кировская область), где $K = 0,707$ и Березов-

ская площадь (Пермский край, Юрюзано-Сылвинская депрессия), где $K = 0,626$, хотя глубина залегания фундамента более 4 км.

В ходе решения задачи III вычислялись коэффициенты парной и множественной корреляции с целью изучить насколько поведение трансформанты гравитационного поля, отображающей ОГ Π^K можно объяснить рельефом, магнитным полем и исходным гравитационным полем. Высокие значения коэффициентов множественной корреляции из всего набора площадей были получены для трех площадей при зависимости $P = f(M, R, M^2, R^2)$, для пяти площадей при $P = f(G, G^2)$ и для 10 площадей при рассмотрении полного набора данных $P = f(G, M, R, G^2, M^2, R^2)$. Для двух площадей были получены коэффициенты корреляции, большие 0,9: Юго-Камская (рис. 1) и Марковская (восточная часть Юрюзано-Сылвинской депрессии)

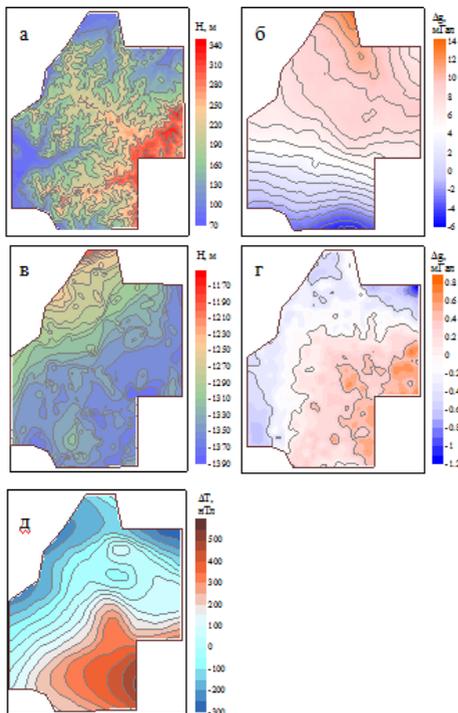


Рис. 1. Карты полей Юго-Камской площади: а – рельеф земной поверхности; б – гравитационное поле; в – ОГ Π^K ; г – трансформанта гравитационного поля д – магнитное поле

Таким образом, в работе вычислены коэффициенты корреляции и проанализированы различные наборы геофизических взаимосвязей. Результаты исследования имеют значение как для оценки информативности отдельных геофизических методов, так и в дальнейшем при выполнении детального анализа взаимосвязи характеристик структур и приподнятых участков, выделяемых сейсморазведкой с параметрами гравитационных аномалий, отображающих антиклинальные структуры в этом интервале глубин.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Геник И. В.* Геофизические исследования Юго-Камской площади // Стратегия и процессы освоения георесурсов. Сборник научных трудов. Вып. 12. Пермь, ГИ УрО РАН, 2014. С. 129–131
2. *Геник И. В.* Комплексные геолого-геофизические исследования Патраковской площади (север Пермского края) на стадии зонально-региональных работ на нефть и газ // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело», 2013. № 4. С. 57–86. URL: http://www.ogbus.ru/authors/Genik/Genik_2.pdf.
3. *Геник И. В.* Прогнозирование результатов региональных гравиметрических работ на нефть и газ с использованием статистических методов // Геофизика, 2017. № 5. С. 38–43.

REFERENCES

1. *Genik I. V.* Geofizicheskiye issledovaniya Yugo-Kamskoy ploshchadi [// [Geophysical exploration of the South-Kama area]. In: Strategiya i protsessy osvoyeniya georesursov. Sbornik nauchnykh trudov. Vypusk 12. Perm, MI UB RAS, 2013. Pp. 129–131. (In Russian).
2. *Genik I. V.* Kompleksnyye geologo-geofizicheskiye issledovaniya Patrakovskoy ploshchadi (sever Permskogo kraya) na stadii zonalno-regionalnykh rabot na neft i gaz [Complex geological-geophysical studies of the Patrakovskaya field (north of the Perm region) at the stage of zonal-regional exploration on oil and gas]. Neftegazovoe delo. 2013. № 4. Pp. 57–86. URL: http://www.ogbus.ru/authors/Genik/Genik_2.pdf (Accessed 20.08.2018). (In Russian).
3. *Genik I. V.* Prognozirovaniye rezultatov regionalnykh gravimetricheskikh rabot na neft i gaz s ispolzovaniyem statisticheskikh metodov [Forecasting the results of regional gravimetric study on oil and gas using statistical methods]. Geofizika, 2017. № 5. Pp. 38–43. (In Russian).

О РОЛИ ДИСЦИПЛИНЫ «ЯДЕРНАЯ ГЕОФИЗИКА» В ПОДГОТОВКЕ СТУДЕНТОВ ГЕОФИЗИКОВ

***Аннотация.** Характеризуются особенности ядерной геофизики в сравнении с другими геофизическими методами, которые должны отражаться в учебной литературе. Отмечен широкий спектр применения методов ядерной геофизики в различных сферах деятельности, что дает возможность выпускникам уверенно чувствовать себя на рынке труда.*

***Ключевые слова:** особенности ядерной геофизики, применение методов ядерной геофизики, требования к учебной литературе, тематика выпускных квалификационных работ студентов.*

V. A. Gershanok¹, M. S. Chadaev²

¹ Perm State University. 15 Bukireva Str., Perm 614990, Russia;
e-mail: gershanokB@psu.ru

² Mining Institute UB RAS. 78a Sibirskaya Str., Perm 614007, Russia

ON THE IMPORTANCE OF NUCLEAR GEOPHYSICS COURSE IN EDUCATION PROCESS FOR GEOPHYSICS STUDENTS

***Abstract.** In this paper, we noted the differences in peculiarities of nuclear geophysics relative to the other geophysical methods. These features should be delighted in the educational literature. A wide application range of nuclear geophysics methods in various fields of activity was demonstrated making possibility for graduates to feel confident in the labor market.*

***Keywords:** peculiarities of nuclear geophysics, use of nuclear geophysics methods, requirements for educational literature, subjects of theses and qualification works of students.*

Термин «Ядерная геофизика» обычно включают не только методы, основанные на изучении радиоактивных излучений, создаваемых искусственными источниками, но также методы изучения излу-

ний естественных радиоактивных элементов. Такие методы входят в группу радиометрических и иногда рассматриваются отдельно от ядерно-геофизических. Поскольку и те и другие методы основаны на одном физическом явлении, то целесообразно не отделять их друг от друга и рассматривать совместно в дисциплине с общим названием «Ядерная геофизика».

Неопределенность в терминологии создает неопределенность в учебных планах. Так, в учебном плане студентов магистров направления «Геология» дисциплина названа «Ядерная геофизика», в плане студентов бакалавров – «Ядерно-геофизические методы», специалистов специальности «Технология геологической разведки» – «Разведочная геофизика. Радиометрия и ядерная геофизика». Однако, несмотря на то, по какой программе не обучался бы студент геофизик, он должен изучать как ядерно-геофизические, так и радиометрические и геохимические методы, связанные с поисками радиоактивного сырья.

Расхождение в названиях дисциплин не означает различия в содержании курсов – структура дисциплин разных учебных планов должна оставаться неизменной. Перед рассмотрением сущности и применения отдельных радиометрических, геохимических и ядерно-геофизических методов во всех дисциплинах студенты вначале изучают свойства радиоактивных излучений, возможности их использования в геологии и других сферах деятельности, законы радиоактивного распада, затем способы измерения радиоактивности, особенности различных детекторов излучений и лишь затем рассматривают сами методы.

Многочисленные методы ядерной геофизики имеют ряд общих специфических особенностей, которые отличают их от других геофизических методов:

- методы дают информацию непосредственно о наличии химических элементов, вещественном составе, физических свойствах горных пород, руд и минералов в естественных условиях и не решают задач определения глубины залегания объектов поисков;

- позволяют вести количественные определения многих элементов периодической системы Д.И. Менделеева, что не свойственно другим геофизическим методам, а по экономичности и оперативности значительно превосходят методы химического анализа, часто не уступающая им по точности;

- методы применяются в каротажном варианте значительно шире других геофизических методов;

– применение методов позволяет уменьшить потерю полезных ископаемых при их разработке, производить более полное и комплексное извлечение их из недр;

– методы являются более экспрессными по сравнению с другими геофизическими методами.

Отдельно следует отметить, что методы ядерной геофизики применяются гораздо шире других геофизических методов для решения не только геологических задач. Они успешно применяются в различных сферах человеческой деятельности, напрямую не связанных с геологией. Достаточно назвать медицину и ее новое направление – «Ядерная медицина», металлургию, машиностроение, приборостроение, химическую и легкую промышленность, космическую и военную отрасли, биологию, сельское хозяйство, строительство, криминалистику для того, чтобы представить широту их использования. На этих методах базируется также радиационный контроль экологического состояния среды, контроль вещественного состава грузов в закрытой таре и решение многих других хозяйственных задач. В частности:

– в медицине широко используется рентгеновское просвечивание организма человека и радиационная терапия с применением «меченых атомов»;

– в пищевой промышленности – для санитарной обработки продуктов;

– в экологии – радиационный контроль местности и предметов, мониторинг радиационной обстановки, поиск источников ионизирующих излучений, решение задач экологической безопасности;

– при разработке и добыче твердых полезных ископаемых – экспрессный контроль и управление качеством минерального сырья, дистанционная оценка его запасов;

– в промышленности – контроль качества и толщины металлических изделий, литья, проката, труб, фольги, бумаги, ткани, кирпичных и бетонных сооружений, выявления пустот в твердых телах;

– при таможенном контроле и криминалистике – борьба с провозом контрабанды, отравляющих, взрывчатых, радиоактивных веществ, предметов культурного и исторического наследия, украшений.

Широкий спектр применения методов ядерной геофизики дает возможность выпускникам геофизикам увереннее чувствовать себя на рынке труда, успешно работать в различных отраслях промышленности, сельского хозяйства, экологических организациях и других сферах, в т.ч. бизнесе, сервисе и т.д.

Дисциплина способствует формированию у студентов общекультурных, общепрофессиональных и профессиональных компетен-

ций, предусмотренных требованиями федеральных и самостоятельно устанавливаемых образовательных стандартов высшего образования.

Названные компетенции связаны с пониманием роли радиоактивности в современной жизни человека, проблемой радиофобии у населения, так активно развиваемой неграмотной и неквалифицированной частью работников средств массовой информации. Хорошо известна развернувшаяся после аварий на Чернобыльской АЭС и Фукусима-1 кампания за повсеместное закрытие АЭС и требование отказа в целом от использования атомной энергетики. Почему же тогда не запрещать использовать электроэнергию? Сколько жизней унёс в мире технический прогресс!

Однако специалистам хорошо известно, что АЭС являются экологически гораздо более «чистыми», чем электростанции, работающие на органическом топливе. Они не производят выбросов в атмосферу отработанных отходов, в том числе радиоактивных, не потребляют кислород, не выделяют углекислый газ, не создают парниковый эффект, являются самым концентрированным источником энергии и имеют ряд других важных преимуществ. Неудивительно, что развитие атомной энергетики в мире происходит быстрее, чем развивается использование других источников получения электроэнергии. Создаются не только стационарные АЭС, но и передвижные станции, снимающие проблему снабжения электроэнергией значительно удаленных городов, поселков, экспедиций и т.д.

Усиливает радиофобию безответственное и безграмотное использование многочисленных единиц измерения радиоактивности. Ни в каком другом геофизическом методе нет столько групп единиц, как в ядерной геофизике: единицы количества, единицы активности радионуклида, единицы экспозиционной дозы гамма-излучения и ее мощности, поглощенной дозы излучения и ее мощности, эквивалентной дозы и ее мощности, ряда других единиц. Причем используются не только единицы системы СИ, но и внесистемные единицы. К тому же, широкий диапазон изменения величин приводит к необходимости использовать дольные единицы с приставками милли и микро. Все это создает значительные трудности при сравнении величин между собой и переводе единиц из одной системы в другую, подмену понятий, путаницу в выводах.

Широта палитры единиц измерения создает возможность спекуляции понятиями. Не зная сущности единиц, как можно сопоставлять между собой единицы *беккерель*, *кюри*, *рентген*, *грей*, *рад*, *зиверт*, *бэр* и др.? А между тем, мы часто видим, как эти единицы употребляются без всяких пояснений, ошибочно сопоставляются между собой и

чтобы окончательно запутать непосвященного человека, одна единица заменяется другой и становится неясным: что больше, а что меньше, что опасно, а что не опасно?

В преимуществах и недостатках использования ядерной энергетики выпускник геофизик должен хорошо разбираться.

Перечисленные особенности ядерной геофизики определяют особенности преподавания этой дисциплины студентам. Наряду с изучением сущности и назначения отдельных методов ядерной геофизики выпускник должен четко представлять сферы деятельности, где каждый метод может использоваться и каковы его возможности.

Последние учебники по ядерной геофизике издавались еще в 1980-х годах [4, 5] и к настоящему времени оказались устаревшими. В какой-то мере исправляет недостаток вышедшее в 2002 г. учебное пособие [1], но и оно не снимает современных проблем учебной литературы.

Вместе с тем, классики отечественной геофизики, в частности основатели пермской научной геофизической школы А. К. Маловичко, Б. К. Матвеев, А. К. Урупов придавали учебной литературе первоочередное значение [2]. Тенденция высшего образования в современных условиях привела к существенному уменьшению объема часов, отводимых на аудиторную работу с преподавателем за счет увеличения времени самостоятельной работы. Основным видом такой работы должна стать работа с учебниками, прошедшими экспертизу у рецензентов и допущенными методическими советами вузов к применению в учебном процессе. Это накладывает дополнительные требования на учебную литературу в отношении полноты и доступности его изложения.

Один из вариантов содержания полного курса «Ядерной геофизики» изложен в недавно вышедшем учебнике [3]. Учебник включает 3 части:

1. Физические и геологические основы радиометрии и ядерной геофизики.

Вначале дается историческая справка о развитии методов радиометрии и ядерной геофизики, роли ученых, развивающих отдельные методы, приведен перечень основных решаемых задач, затем описаны свойства излучений, законы радиоактивного распада, дана характеристика радиоактивных семейств, поясняется их роль в природной радиоактивности.

Для понимания геологических основ методов рассмотрена характеристика содержаний элементов в разных геосферах Земли и различных типах горных пород, вод и атмосфере. Отмечается роль радио-

активных элементов в тепловом балансе Земли и приводится сравнительная оценка энергии радиоактивных и других источников, в том числе возобновляемых, используемых человеком.

Особое внимание уделено описанию отдельных групп единиц измерения радиоактивности, как в системе СИ, так и внесистемных и их соотношению между собой. Здесь же приводится сопоставление природных и техногенных источников радиоактивности, отмечается их роль в радиационной нагрузке на население. Описаны крупные техногенные аварии, а также состояние и перспективы развития мировой атомной энергетики.

2. Измерение радиоактивных излучений.

Основное внимание в разделе уделено принципу работы отдельных детекторов радиоактивных излучений, основанных на явлениях ионизации и сцинтилляции, их достоинствам и недостаткам. Дан обзор современной радиометрической аппаратуры.

3. Применение методов радиометрии и ядерной геофизики в геологии.

Существует большое количество методов радиометрии и ядерной геофизики, поэтому вначале дана классификация основных методов и их краткая характеристика. Описание методов дано по группам: радиометрические, геохимические, ядерно-геофизические. Для теоретического обоснования постановки тех или иных видов гамма-съемок вначале приведен вывод формул для решения прямых задач радиометрии для источников разной формы, а затем рассматриваются сами методы: их сущность, назначение, решаемые задачи.

Отдельно выделен вопрос определения абсолютного возраста горных пород, для чего другие геофизические методы не применяются.

Теоретические основы методов ядерной геофизики являются базовыми знаниями при интерпретации радиоактивных методов исследования скважин: ГК, ГГК, ННК, ИННК, НГК и др.

Широкий диапазон применения методов ядерной геофизики на практике находит отражение в тематике выпускных квалификационных работ студентов. Помимо разведочных задач ряд работ связан с экологической тематикой, изучением радиационной обстановки территорий, содержанием радона в жилых и производственных помещениях, на улицах г. Перми. Перспективы применения ядерно-геофизических методов позволяют надеяться на дальнейшее расширение тематики выпускных работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Возженников Г. С., Бельшиев Ю. В.* Радиометрия и ядерная геофизика: учеб. пособие. Тверь: Изд-во «АИС», 2002. 260 с.

2. *Гершанок В. А.* Актуальность идей Б.К. Матвеева о роли учебной литературы при обучении студентов геофизиков // Теория и практика разведочной и промысловой геофизики. Пермь, ПГНИУ, 2016. С. 85–89.

3. *Гершанок В. А., Гершанок Л. А.* Разведочная геофизика. Радиометрия и ядерная геофизика: учебник. Пермь, ПГНИУ, 2018. 303 с.

4. *Ларионов В. В., Резванов Р. А.* Ядерная геофизика и радиометрическая разведка: учебник. М.: Недра, 1988. 325 с.

5. *Новиков Г. Ф.* Радиометрическая разведка: учебник. Л.: Недра, 1989. 407 с.

REFERENCES

1. *Vozzhennikov G.S., Belyshev U. V.* Radiometriya i yadernaya geofizika [Radiometry and nuclear geophysics]. Tver, «AIS», 2002. 260 p. (In Russian).

2. *Gershanok V. A.* Aktualnost idey B.K. Matveeva o roli uchebnoy literatury pri obuchenii studentov geofizikov [Actuality of Boris Matveyev's ideas about the role of educational literature for training the geophysics students]. In: Teoriya i praktika razvedochnoy i promyslovoy geofiziki. November 24–25. Perm, PSU, 2016. Pp. 85–89. (In Russian).

3. *Gershanok V. A., Gershanok L. A.* Razvedochnaya geofizika. Radiometriya i yadernaya geofizika [Exploration geophysics. Radiometry and nuclear geophysics]. Perm, PSU, 2018. 303 p. (In Russian).

4. *Larionov V. V., Rezvanov R. A.* Yadernaya geofizika i radiometricheskaya razvedka [Nuclear geophysics and radiometry exploration]. Moscow. Nedra, 1988. 325 p. (In Russian).

5. *Novikov G. F.* Radiometricheskaya razvedka [Radiometric exploration]. Leningrad. Nedra, 1989. 407 p. (In Russian).

УДК 550.8.055

А. А. Глотов^{1,2}, В. М. Неганов^{1,2}, А. П. Лаптев^{1,2}

¹ ПАО «Пермнефтегеофизика». 614090, Россия, г. Пермь, ул. Лодыгина, 34; e-mail: glotov@pngf.com

² Пермский государственный национальный исследовательский университет. 614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15

ВЫПОЛНЕНИЕ АЗИМУТАЛЬНОГО АНАЛИЗА АМПЛИТУД ШИРОКОАЗИМУТАЛЬНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Аннотация. Актуализированы вопросы проведения азимутального анализа амплитуд для широкоазимутальных данных 3D сейсморазведки. Рассмотрены преимущества данного подхода, которые отраже-

ны в практическом примере одной из площадей на территории Волго-Уральской нефтегазовой провинции.

Ключевые слова: 3D сейсморазведка, широкоазимутальная сейсморазведка, азимутальный анализ амплитуд.

A. A. Glotov^{1,2}, **V. M. Neganov**^{1,2}, **A. P. Laptev**^{1,2}

¹Permneftegeofizika. 34 Lodygina Str., Perm 614090, Russia;

E-mail: glotov@pngf.com

²Perm State University. 15 Bukireva Str., Perm 614990, Russia

REALIZATION OF THE AZIMUTHAL ANALYSIS OF AMPLITUDES OF WIDE-AZIMUTH 3D SEISMIC DATA

Annotation. *The issues of azimuthal amplitude analysis for wide-azimuth 3D seismic data are actualized. The advantages of this approach, which were reflected in a practical example of one of the areas located on the territory of the Volga-Ural oil and gas province, are considered.*

Key words: *3D seismic survey, wide-azimuth survey, azimuth analysis of amplitudes.*

Введение

В настоящее время поиски и разведка новых месторождений углеводородов и доразведка ведутся на базе широкого использования сейсмических методов разведки, главным образом в его пространственной модификации, – *методом общей глубинной точки (МОГТ-3D)*. Выдвигаются требования получения при помощи 3D сейсморазведки информации о литологической изменчивости геологического разреза, осуществление прогноза участков, перспективных на содержание углеводородов, выявление зон трещиноватости, проявляющихся в анизотропных характеристиках целевых толщ разрезов [1]. Для достижения таких целей разработаны специальные подходы, как в регистрации и обработке, так и в интерпретации сейсмических данных.

В данной статье рассмотрены вопросы проведения азимутального анализа амплитуд (AVOA) после широкоазимутальной обработки сейсмических данных на примере одной из площадей Пермского края.

Актуальность применения AVOA анализа

По набору сейсмических данных после временной миграции до суммирования в центральной части площади 3D выполнялся азимутальный анализ амплитуд (AVOA). Основным объектом AVOA исследований стал интервал палеозойских отложений ($\Delta T I^K$ -III), где в вол-

новой картине суммарных сейсмических кубов (на срезах ПЛ 1690÷1710) наблюдается anomальное поведение отражений.

Сомнения интерпретаторов вызвала достоверность малоразмерной структуры по отражающему горизонту III (рис. 1, а), который

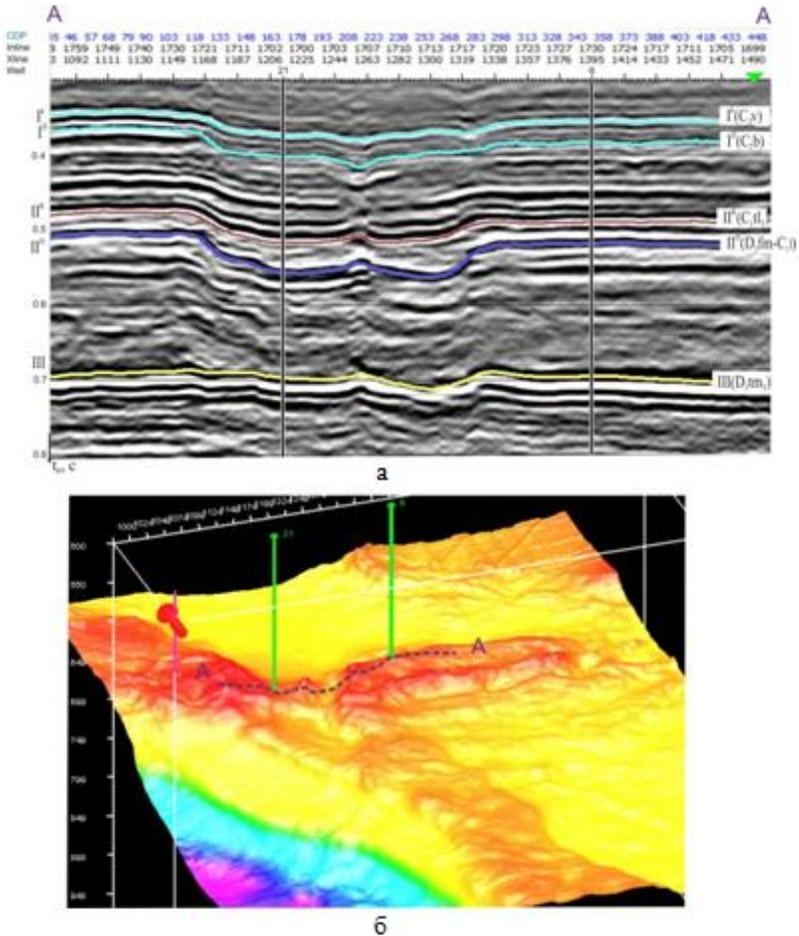


Рис. 1. Результаты временной миграции до суммирования в интервале палеозойских отложений:
 а – фрагмент среза мигрированного куба по направлению ПЛ 1698;
 б – аксонометрическая проекция поверхности горизонта III, прокоррелированного в кубе

сформировался после миграционных процедур под карстовой воронкой в башкирско-серпуховских отложениях (ниже горизонта $I^{\text{П}}$). Возникли опасения, что это «артефакт» миграции вызван, например, неточностью скоростной модели. Обращено внимание на данном проблемном участке в связи с его местоположением – спорный «антиклинальный объект» локализуется в пределах контура нефтеносности продуктивных пластов терригенного девона D_1, D_2 .

Анализ материалов обработки показал следующее. По результатам всех видов миграции: после и до суммирования, временной и глубинной, с использованием разных алгоритмов (миграции Кирхгофа и конечно-разностной миграции), со скоростными моделями, уточненными различными способами, наблюдается сходная волновая картина. После детального изучения срезов временных и скоростных кубов пришли к выводу, что «объект» существует и представляет собой тектоническое нарушение в виде складки – флексуры, с опущенным восточным крылом, вытянутой в северо-восточном направлении (рис. 1, б). Направление оси складки не совпадает с доминирующим направлением тектонических нарушений на площади – северным («уральское» направление) и северо-западным (в соответствии с ориентировкой Куединского вала, структуры второго порядка, в пределах которого расположена площадь работ). Для выявления истории тектонического развития площади в познедевонское время и был выполнен AVOA-анализ, изучающий анизотропные свойства среды. Данные сейсморазведки 3D, полученные в различных азимутах дают возможность определять ориентацию трещин и плотность трещин [2].

Этапы выполнения, анализ результатов и выводы по AVOA

Азимутальный AVO- анализ выполнялся в два этапа.

1. Анализировалась одна сейсмограмма, при этом менялись параметры AVOA инверсии для определенного отражения в интерактивном режиме (размеры супербина, диапазон углов и азимутов) для получения оптимального результата. Выбраны диапазон углов $2^\circ \div 32^\circ$, азимуты в диапазоне $-90^\circ \div 90^\circ$, с секторами по 45° .

2. С выбранными параметрами выполнялась AVOA инверсия для всего объема данных с получением кубов атрибутов.

Инверсия определяет четыре величины для каждого временного отсчета и для каждой ОСТ: A – стандартный интерсепт, B_{iso} – изотропный градиент, B_{ani} – анизотропный градиент, степень плотности трещин, φ_{iso} – направление плоскости изотропии, которая нормальна к трещинам. Особый интерес представляют кубы параметра анизотропного градиента B_{ani} , который отображает интенсивность

анизотропии (плотность трещин) и параметра φ_{sym} определяющий доминирующее направление анизотропии (азимут простирания трещин).

Срез куба анизотропного градиента B_{ani} по направлению IL 1698 показывает (рис. 2) четкое разделение на два этажа по интенсивности параметра: нижний (до горизонта III) этаж с высокой степенью интенсивности параметра анизотропии, и верхний, в пределах которого значения B_{ani} значительно ниже. Это соответствует представлениям о высокой тектонической активности на территории в додевонский период времени.

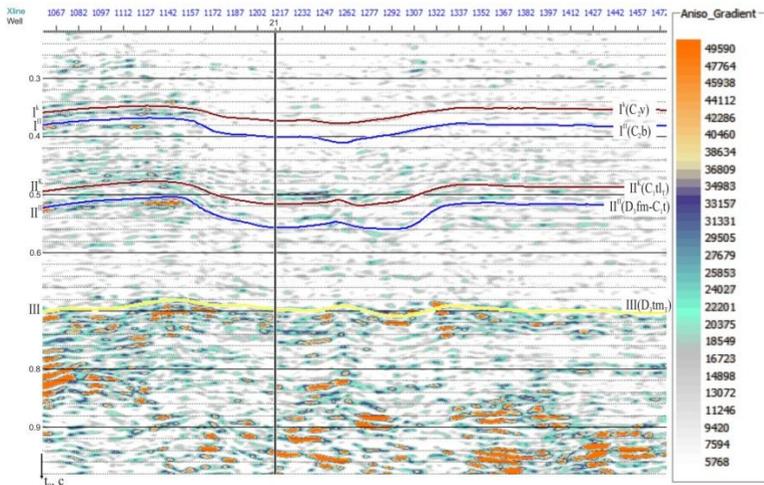


Рис. 2. Фрагмент среза куба анизотропного градиента B_{ani} по IL 1698

Анизотропный градиент B_{ani} и плоскость изотропии φ_{iso} являются векторными величинами, которые наиболее эффективно интерпретируются при совместной визуализации. На рисунках в представлении 3D одновременно отображаются величина и ориентация анизотропии амплитуд Р-волн (рис. 3). Размер и цвет пластинок характеризуют степень анизотропии, в то время как их направление показывает азимут главной оси эллипса анизотропии.

Увеличенные значения интенсивности анизотропии наблюдаются в различных частях площади, область предполагаемого тектонического нарушения также выделяется ярким пятном повышенных значений параметра B_{ani} .

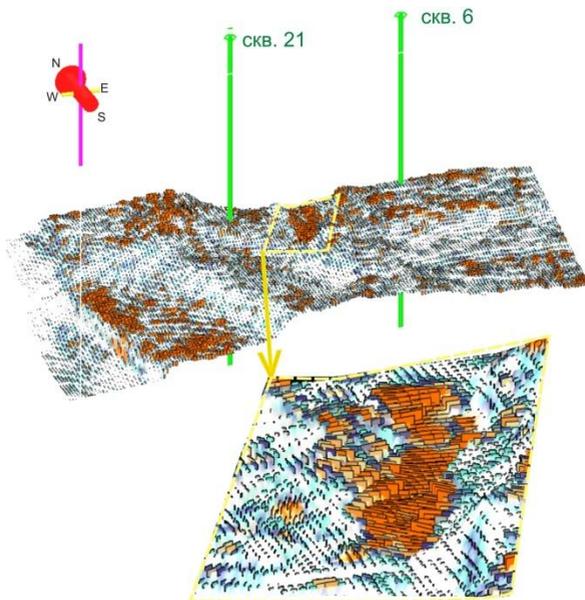


Рис. 3. Аксонометрическая проекция совмещенных карт анизотропных атрибутов для кровли девонских терригенных отложений

Детальный анализ совмещенной карты анизотропных параметров B_{ani} и Az по ОГ III и отдельных ее фрагментов, представленных в плане на рис. 4, привел к следующим выводам.

1. На площади локализуются отдельные аномальные зоны с высокой интенсивностью анизотропного градиента B_{ani} (желто-коричневый диапазон спектра), которые можно определить как зоны высокой тектонической активности.

2. Одна из таких зон (1) приурочена к крутому склону Куединского вала, который в интервале девонских отложений контролируется серией тектонических разломов.

В области предполагаемого тектонического нарушения (зона 2) также наблюдаются аномально высокие значения параметра B_{ani} .

3. Доминирующее направление анизотропии (связанной с системной трещиноватостью) для площади в целом – восточное (рис. 4, г), что соответствует «уральскому» направлению стресса в рассматриваемый геологический период. Такое же направление сохраняется для зоны 1 (рис. 4, д).

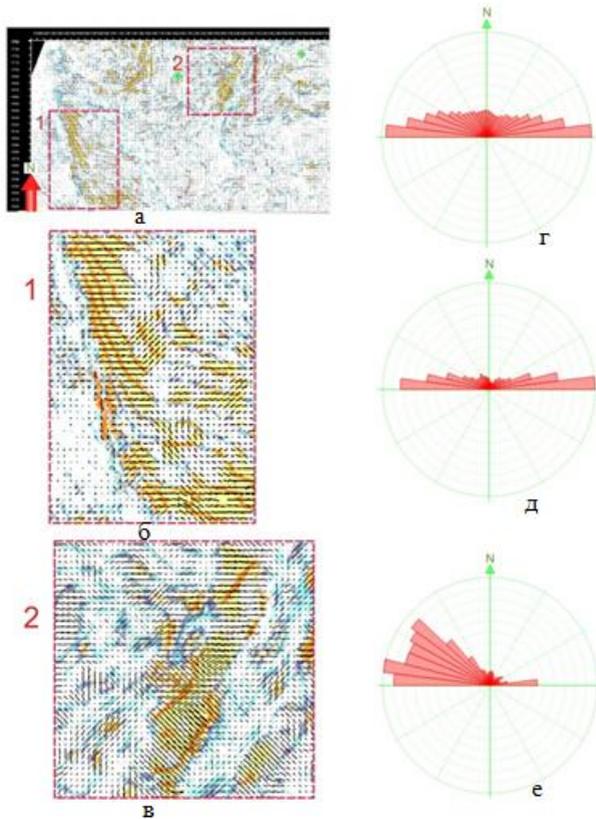


Рис. 4. Представление в плане совмещенной карты анизотропных параметров V_{ANI} и Az и отдельных ее фрагментов:
 а, б, в – фрагменты карты; г, д, е – розы-диаграммы азимутов анизотропии в пределах каждого из фрагментов

4. В пределах зоны 2 (рис. 4, е), азимут доминирующего направления анизотропии изменяется в диапазоне от -90° до -45° . Наблюдаемое распределение величины анизотропных параметров подтверждает тектоническую природу антиклинальной складки: направление действия стресса – северо-западное, перпендикулярное к оси складки. Доминирующее направление трещин в этой зоне – также северо-западное, поскольку только трещины одного направления с тектоническим стрессом остаются открытыми и создают системную трещиноватость.

Обобщающие выводы

- В настоящее время при проектировании 3D съемок широко применяется практика использования широкоазимутальных и полноазимутальных наблюдений, что, в свою очередь, расширяет круг геологических задач, решаемых пространственной сейсморазведкой.
- Рассмотренные вопросы подчеркивают важность сохранения не только истинной зависимости амплитуд от удалений, что является главной целью для любой обработки ПАМ (preserve amplitude) , но, как показывает практика, и зависимости амплитуд от азимутов.
- Информация, извлекаемая после AVOA анализа, может применяться как дополнительный инструмент для оценки геологических условий и обстановки, решения проблем неоднозначности в интерпретационном процессе.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Воскресенский Ю. Н.* Изучение изменений амплитуд сейсмических отражений для поисков и разведки залежей углеводородов: Учебное пособие для вузов. М.: РГУ нефти и газа, 2001. 68 с.
2. *Урупов А. К.* Основы трехмерной сейсморазведки: Учебное пособие для вузов. М.: Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2004. 584 с.

REFERENCES

1. *Voskresenskiy Yu. N.* Izuchenie izmeneniy amplitud seysmicheskikh otrazheniy dlya poiskov i razvedki zalezhey uglevodorodov [Study of amplitude variations in seismic reflections for prospecting and exploration of hydrocarbon deposits]. M.: Gubkin Russian State University of Oil and Gas, 2001. 68 p. (In Russian).
2. *Urupov A. K.* Osnovy trekhmernoy seysmorazvedki [Fundamentals of 3D seismic exploration]. «Oil and Gas» Publishing House of the Gubkin Russian State University of Oil and Gas, 2004. 584 p. (In Russian).

УДК 550.8.028

Д. В. Глушков

Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть»
в г. Пермь. 614066, Россия, г. Пермь, ул. Советской Армии, 29;
e-mail: Denis.Glushkov@pnn.lukoil.com

НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ПРОФИЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ КЕРНА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИНФОРМАТИВНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН

Аннотация. Разработанные методические рекомендации по первичной подготовке керна, проведению и интерпретации профильных исследований повышают достоверность интерпретации данных геофизических исследований скважин Тимано-Печорской и Волго-Уральской нефтегазоносных провинций.

Ключевые слова: керн, геофизические исследования скважин, петрофизические связи, профильные исследования керна, гамма-каротаж, плотностной гамма-гамма каротаж, гониометр, флуоресценция, фотографирование, углеводороды.

D. V. Glushkov

LLC LUKOIL-Engineering, PermNIPIneft, 29 Sovetskoy Armii Str.,
Perm 614066, Russia; e-mail: Denis.Glushkov@pnn.lukoil.com

DIRECTIONS OF WHOLE CORE STUDY ADVANCEMENT TO IMPROVE THE INFORMATIVITY OF THE INTERPRETATION RESULTS OF WELL LOGGING

Abstract. The developed methodological recommendations for core preparation and conducting and interpreting the whole core analysis increase the reliability of the interpretation of well log data from the Timan-Pechora and Volga-Ural Oil and Gas Provinces.

Key words: core, well logging, petrophysical functions, whole core analysis, gamma-ray logging, density gamma-gamma logging, goniometer, fluorescence, photographing, hydrocarbons.

Увеличение доли трудноизвлекаемых запасов углеводородного сырья в ресурсной базе страны требует кардинального улучшения методов извлечения полезной информации из применяемого комплекса,

как геофизических исследований скважин (ГИС), так и лабораторных исследований кернового материала [1, 2].

Одним из необходимых условий для построения достоверных связей «кern-ГИС» при интерпретации данных ГИС является точность привязки керна по глубине [3]. Основой качественной привязки керна к разрезу скважин по глубине служит сопоставление результатов профильных исследований всей колонки вынесенного керна с данными ГИС. Как показывает опыт работ по привязке керна, гамма-каротаж «кern-ГИС» даже терригенных пород не всегда достаточно хорошо коррелируется, а тем более для сложных карбонатных разрезов [2, 4].

С вовлечением все большего количества керна сложнопостроенных коллекторов увеличивается потребность в привлечении дополнительной информации по всему профилю для увеличения точности привязки к разрезу скважин по глубине.

В совокупности с гамма-каротажем такие виды профильных исследований, как плотностной гамма-гамма-каротаж, профильная газопроницаемость, фотографии колонки керна в дневном и ультрафиолетовом (УФ) свете [2, 4] позволяют значительно улучшить качество привязки по глубине даже в самых слабодифференцированных по общей радиоактивности разрезах (рис. 1). Схема фотографирования керна на всей поверхности на 360 градусов и исследование трещиноватости гониометром позволяют осуществлять привязку к имиджам электрических и акустических сканеров (таких как FMI, MCI, SAC, BAK) и его дальнейшую азимутальную ориентировку.

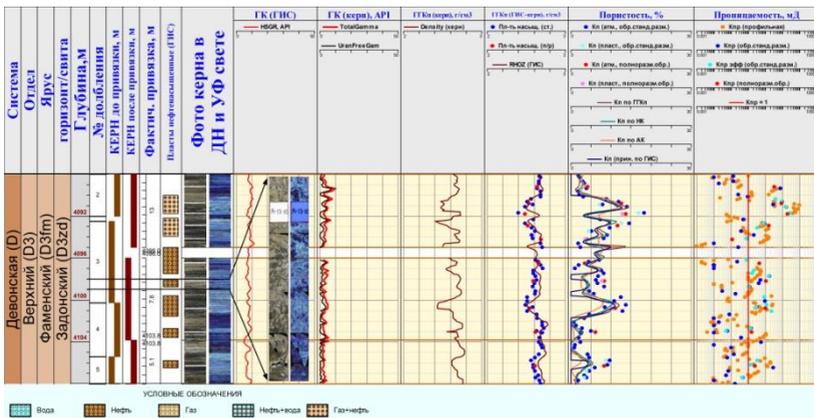


Рис. 1. Результаты привязки керна к разрезу скважины Баяндыского месторождения Тимано-Печорской НПП

Если по результатам профильных видов исследований невозможно выполнить привязку «кern-ГИС», то ее корректировку проводят после завершения комплекса лабораторных исследований на образцах керна, как правило, путем сопоставления пористости и/или плотности.

При наличии в разрезе кавернозных пород следует отбирать образцы керна максимально возможного большого диаметра (полноразмерные образцы) и проводить исследования на них. При определении пористости на образцах керна стандартного размера (длина и диаметр 30 мм) обычно получают заниженные значения пористости. Занижения могут быть весьма значительными за счет объема каверн, порой соизмеримого с размерами образцов стандартного размера, что затрудняет окончательную привязку при сопоставлении пористости по ГИС с пористостью по керну [5].

В настоящее время отсутствуют единые государственные стандарты на проведение первичной подготовки профильных исследований, отбор образцов керна, ориентированные на сложнопостроенные карбонатные и терригенные коллекторы. Практически полностью отсутствуют рекомендации по количеству и выбору мест отбора полноразмерных образцов, а также методики лабораторного изучения петрофизических свойств пород или данные рекомендации требуют усовершенствования. Аналогично не существует подробных методических рекомендаций по фотографированию керна в дневном и УФ свете, а также по интерпретации получаемых фотоснимков.

В филиале ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть» в городе Перми были разработаны руководящие документы на исследование сложных коллекторов нефти и газа в лабораторных условиях, которые включают раздел по отбору образцов различного размера, методикам проведения профильных видов исследований и их интерпретации, в том числе по фотографированию керна в дневном и УФ свете, а также методики лабораторного изучения петрофизических свойств пород на образцах полноразмерного керна.

Для учета строения породы, неоднородностей строения пустотного пространства (наличие каверн, трещин, переслаивание), более достоверной увязки «кern-ГИС», необходимо отбирать образцы с сохраненным при выбуривании на скважине диаметром (полноразмерные образцы).

Следует отметить, что полноразмерные образцы также отбираются и в терригенных породах-коллекторах, и в породах-покрышках. Это объясняется отсутствием идеального распределения вещества по объему изучаемого объекта, даже кажущегося однородным. Также

полноразмерный образец больше охватывает изучаемый разрез исследованием, т.к. его объем значительно больше объема образца керна стандартного размера [6].

Выбор мест точек отбора полноразмерного керна и стандартных образцов оказывает влияние на определение свойств изучаемого разреза скважины. Образцы необходимо отбирать таким образом, чтобы изучить свойства не только неоднородных участков, но и свойства матрицы, а также разделить зоны неоднородностей по группам, и разделить их по свойствам, сопоставив со свойствами матрицы.

Результаты профильных исследований керна, проводимые по всему вынесенному керну, позволяют назначать различные по размерам образцы для исследований по дифференцируемым характеристикам пласта, учитывая все зоны неоднородностей [7].

Для повышения информативности и достоверности интерпретации фотоснимков керна в дневном и УФ свете в филиале ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть» было проведено ряд экспериментов по изучению характера флюоресценции в зависимости от времени и от состава нефтей для месторождений Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции [8]. В ходе экспериментов было установлено, что при длительном хранении керна в атмосферных условиях (1 неделя и более) значительное изменение характера флуоресценции (рис. 2) для керна, насыщенного легкой нефтью происходит вследствие процессов испарения и окисления УВ С9-С13 и обогащения тяжелыми УВ (особенно С14-С17). Во время проведения данных экспериментов также было установлено, что нефтенасыщенный керн, отбираемый с помощью одноразовых (алюминиевых или фиберглассовых) керноприёмных труб, закрытых плотно с двух сторон резиновыми крышками, не изменял своих флуоресцирующих свойств. Проникновение фильтрата бурового раствора в колонку керна по фотографиям срезов в УФ свете, как правило, не превышало 20 мм в зоне нефтенасыщенного коллектора и не превышало 5 мм – в зоне неколектора при диаметре отобранного керна 100 мм. Этот факт позволил предположить, что при отборе керна с использованием одноразовых алюминиевых или фиберглассовых труб из стекловолокна, секции труб, возможно, могут служить готовой системой консервации керна. Для подтверждения этой теории было проведено сравнение качества герметизации в керноприёмной трубе с одним из самых распространённых способов герметизации с помощью парафина. В результате экспериментов было доказано, что одноразовые керноприёмные трубы являются надёжной системой консервации керна для сохранения флюидо-

насыщенности с целью дальнейшего определения прямыми методами флюидонасыщенности [9].



Рис. 2. Распределение n-алканов в экстрактах нефти на различных этапах хранения нефтенасыщенных образцов керна

При фотографировании срезов керна карбонатных отложений в дневном свете для более четкого выделения структурных и текстурных особенностей предлагается обрабатывать их поверхность раствором дистиллированной воды с добавлением глицерина в соотношении примерно 1/1. Фотографии керна в дневном свете, выполненные по рекомендуемой схеме, позволяют в значительной мере облегчить интерпретацию результатов ГИС на сложных участках, дополнить послойное литологическое описание и служат первичным качественным материалом для специалистов еще до выдачи результатов по описанию [8].

Разработанные методические рекомендации, включающие технологию привязки колонки керна к разрезу скважин по глубине, отбор образцов различного размера для дальнейших лабораторных исследований по результатам профильных исследований, результатам фотографирования и интерпретации фотоснимков, а также с учетом особенностей строения сложнопостроенных коллекторов [10], позволили уточнить связи «кern-ГИС» для ряда месторождений Тимано-Печорской и Волго-Уральской нефтегазоносных провинций [11].

По данной методике, например, было скорректировано сопоставление значений относительного сопротивления (параметра пористости P_n) и открытой пористости K_n образцов карбонатных пород $D_3fm_1(zd)$ Восточно-Ламбейшорского месторождения Тимано-Печорской НГП в рамках оперативного подсчета запасов с учетом надежной привязки керна к разрезу скважины по глубине, алгоритмов отбора и исследований полноразмерных образцов керна (рис. 3) [10, 11].

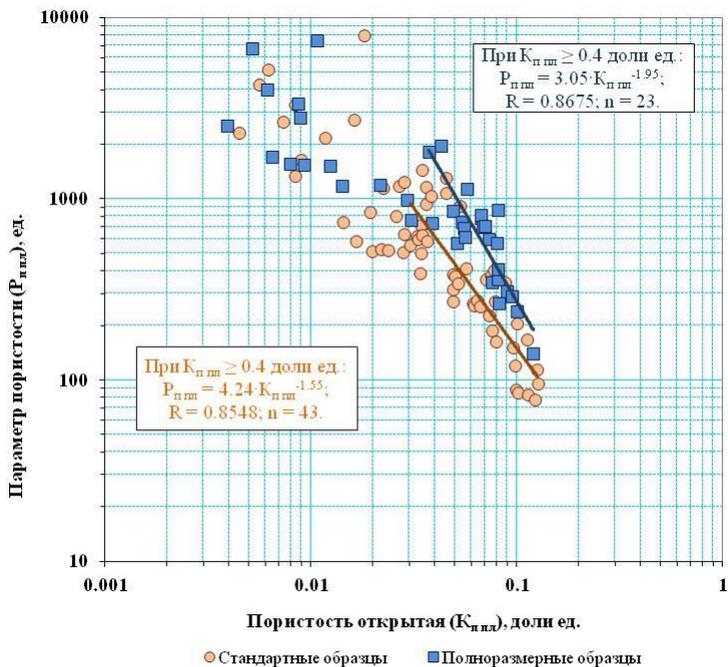


Рис. 3. Зависимость параметра пористости от открытой пористости в пластовых условиях

Заключение

Методика первичной подготовки и комплекс профильных исследований керна (в том числе азимутально-ориентированного), разработанные с учетом особенностей строения карбонатных и терригенных коллекторов (в том числе сложных), позволяет повысить достоверность построения связей «керна-ГИС» для интерпретации результатов геофизических исследований скважин.

Методика выделения нефтенасыщенных интервалов горных пород по фотографиям керна в дневном и ультрафиолетовом свете, основанная на зависимости характера флуоресценции углеводородов от их состава и фактора времени, позволяющая оценить качественный состав углеводородов и характер насыщения коллекторов, выделенных по результатам геофизических исследований скважин.

Технология герметизации керна, основанная на использовании одноразовых фиброгласовых (стеклопластиковых) и/или алюминиевых керноприёмных труб, обеспечивает получение достоверной информации о флюидонасыщенности по профилю разреза при оперативной интерпретации данных геофизических исследований скважин.

ЛИТЕРАТУРА

1. Особенности изучения карбонатных пород-коллекторов лабораторными методами / Гурбатова И. П., Глушков Д. В., Рехачев П. Н. [и др.]. Фил. ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть» в г. Перми. Пермь: Астер, 2017. 264 с.

2. Глушков Д. В., Попов Н. А., Сергеев М. С., Чугаева А. А. Применение профильных исследований керна для повышения достоверности количественной интерпретации данных геофизических исследований скважин // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений, 2015. № 10. С. 33–39.

3. Добрынин В. М., Вендельштейн Б. Ю., Кожевников Д. А. Петрофизика (Физика горных пород): Учеб. для вузов. 2-ое изд. перераб. и доп. под редакцией Д. А. Кожевникова. М.: ФГУП Издательство «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2004. 368 с.

4. Глушков Д. В., Попов Н. А., Родионова А. Л. Современные технологии профильных исследований керна и интерпретация результатов исследований // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений, 2010. № 5. С. 73–78.

5. Методические рекомендации по подсчету геологических запасов нефти и газа объемным методом / под редакцией В. И. Петерилье, В. И. Пороскуна, Г. Г. Яценко. М.-Тверь: ВНИГНИ, НПЦ «Тверьгеофизика», 2003.

6. Гурбатова И. П., Михайлов Н. Н. Анализ информативности различных методов определения емкостных свойств карбонатных пластов со сложным типом пористости // Вестник ЦКР Роснедра, 2008. № 2. С. 52–56.

7. Глушков Д. В. Автоматизация распределения образцов по колонке керна для отбора и последующего изучения // Теория и практика разведочной и промысловой геофизики. Пермь, ПГНИУ, 2016. С. 89–96.

8. Глушков Д. В. Повышение информативности керна сложнопостроенных карбонатных пород при оперативной интерпретации данных ГИС // Теория и практика разведочной и промысловой геофизики. Пермь, ПГНИУ, 2015. С. 62–65.

9. Глушков Д. В., Костицын В. И. Влияние фактора времени на достоверность выделения нефтенасыщенных коллекторов по данным фотографирования керна в дневном и ультрафиолетом свете // НТВ Каротажник, 2015. Вып. 10 (256). С. 54–64.

10. Шутов С. С., Чернявский В. Ю., Глушков Д. В. Технология проведения комплекса работ по отбору, консервации, реконструкции керна и подготовке к лабораторным исследованиям // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений, 2010. № 5. С. 58–66.

11. Глушков Д. В. Первичная подготовка и профильные виды исследований керна – основа повышения достоверности связей «кern-ГИС» // Теория и практика разведочной и промысловой геофизики. Пермь, ПГНИУ, 2014. С. 79–83.

REFERENCES

1. *Osobennosti izucheniya karbonatnykh porod-kollektorov laboratornymi metodami* [Features of the study of carbonate reservoir rocks by laboratory methods]. Gurbatova I. P., Glushkov D. V., Rekhachev P. N. et al.; LLC LUKOIL-Inzhiniring, PermNIPIneft. Perm: Aster, 2017. 264 p. (In Russian).

2. *Glushkov D. V., Popov N. A., Sergeev M. S., Chugaeva A. A. Primenenie profilnykh issledovaniy kerna dlya povysheniya dostovernosti kolichestvennoy interpretatsii dannykh geofizicheskikh issledovaniy skvazhin* [Application of whole core analysis to improve the reliability of quantitative interpretation of well logging]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy*. 2015. № 10. Pp. 33–39. (In Russian).

3. *Dobrynin V. M., Vendelshtejn B. Yu., Kozhevnikov D. A. Petrofizika (Fizika gornyykh porod)* [Petrophysics (rock physics)]. M.: FGUP Izdatelstvo Neft i gaz. RGU nefti i gaza im. I. M. Gubkina, 2004. 368 p. (In Russian).

4. *Glushkov D. V., Popov N. A., Rodionova A. L. Sovremennyye tekhnologii profilnykh issledovaniy kerna i interpretatsiya rezultatov issledovaniy* [Modern technologies of whole core analysis and interpretation of study results]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy*, 2010. № 5. Pp. 73–78. (In Russian).

5. *Metodicheskie rekomendatsii po podschetu geologicheskikh zapasov nefti i gaza obemnym metodom* [Guidelines for the calculation of geological reserves of oil and gas by volumetric method]. V. I. Petersilie, V. I. Poroskuna, G.G.Yacenko Eds.. M.-Tver. VNIGNI, NPCz Tvergeofizika, 2003. (In Russian).

6. *Gurbatova I. P., Mikhaylov N. N. Analiz informativnosti razlichnykh metodik opredeleniya emkostnykh svoystv karbonatnykh plastov so slozhnym tipom poristosti* [Analysis of the informativeness of various methods for determining the capacitive properties of carbonate formations with a complex type of porosity]. *Vestnik CzKR ROSNEDRA*, 2008. № 2. Pp. 52–56. (In Russian).

7. *Glushkov D. V. Avtomatizatsiya raspredeleniya obraztsov po kolonke kerna dlya otbora i posleduyushchego izucheniya* [Automation of samples distribution on the whole core for selection and subsequent study]. *In: Teoriya i praktika razvedochnoy i promyslovy geofiziki*. Perm State Univ., Perm, 2016. Pp. 89–96. (In Russian).

8. *Glushkov D. V.* Povyshenie informativnosti kerna slozhnopostroennykh karbonatnykh porod pri operativnoy interpretatsii dannykh GIS [Increasing the informativeness of the core of complex carbonate rocks in the operational interpretation of well logging data]. In: *Teoriya i praktika razvedochnoy i promyslovoy geofiziki*. Perm State Univ., Perm, 2015. Pp. 62–65. (In Russian).

9. *Glushkov D. V., Kostitsyn V. I.* Vliyaniye faktora vremeni na dostovernost vydeleniya neftenasyshchennykh kollektorov po dannym fotografirovaniya kerna v dnevnom i ultrafioletom svete [The influence of time factor on the accuracy of the oil-saturated reservoir allocation according to the core photograph obtained in the daylight and ultraviolet light]. *NTV Karotazhnik*, 2015. Release 10 (256). Pp. 54–64. (In Russian).

10. *Shutov S. S., Chernyavskiy V. Yu., Glushkov D. V.* Tekhnologiya provedeniya kompleksa rabot po otboru, konservatsii, rekonstruktsii kerna i podgotovke k laboratornym issledovaniyam [The technology of conducting a complex of works on selection, preservation, reconstruction of core and preparation for laboratory study]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy*. 2010. № 5. Pp. 58–66. (In Russian).

11. *Glushkov D. V.* Pervichnaya podgotovka i profilnye vidy issledovaniy kerna – osnova povysheniya dostovernosti svyazey «kern-GIS» [Primary preparation and whole core analysis – the basis for improving the reliability of relationship core-wel logging data]. In: *Teoriya i praktika razvedochnoy i promyslovoy geofiziki*. Perm State Univ., Perm, 2014. Pp. 79–83. (In Russian).

УДК 550.8.056

А. П. Горбачёва, О. Л. Сальникова

ПАО «Пермнефтегеофизика». 614090, Россия, г. Пермь, ул. Лодыгина,
д 34; e-mail: gorbacheva@pngf.com, salnikovaol@pngf.com

ДЕТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ НЕФТЕГАЗОВЫХ СКВАЖИН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОГО ГАММА-КАРОТАЖА

***Аннотация.** Представлен опыт использования данных спектрометрического каротажа при детальном изучении нефтегазовых скважин. Приведены основные выводы по результатам проведенного анализа и систематизации данных по оценке минерального состава глин на месторождениях Пермского края. Рассмотрены возможности использования метода для повышения эффективности разработки месторождений.*

***Ключевые слова:** спектрометрический гамма каротаж, минеральный состав глин, коэффициент глинистости, литологические особенности разреза, фациальный анализ.*

© Горбачёва А. П., Сальникова О. Л., 2018

A. P. Gorbacheva, O. L. Salnikova
Permneftegeofizika, 34 Lodygina Str., Perm 614090, Russia;
e-mail: gorbacheva@pngf.com, salnikovaol@pngf.com

A DETAILED STUDY OF OIL AND GAS WELLS USING GAMMA-RAY SPECTRAL LOGGING DATA

***Abstract.** The paper presents the experience of using the spectrometric logging data for a detailed study of oil and gas wells. The results of analysis and systematization of the clay mineral composition assessment data for the fields of the Perm region are given. The possibilities of using the method to improve the field development efficiency are considered.*

***Key words:** spectrometric gamma logging, mineral composition of clays, clay coefficient, lithological features of the section, facies analysis.*

По методу спектрометрического гамма каротажа (СГК) по спектрам естественного гамма-излучения определяются концентрации в породе основных радиоактивных элементов: Th, K, U(Ra). СГК наиболее чувствительный метод изучения литологических особенностей разреза.

В ПАО «Пермнефтегеофизика» в рамках расширенной программы опытно-промышленных работ в 2016, 2017 гг. и первой половине 2018 г. методом СГК было исследовано более 60 скважин с целью увеличения эффективности ГИС при оценке коллекторских свойств, анализа достоверности определения минерального состава глин и фациальных обстановок.

По результатам исследований решаются задачи по определению содержания в разрезе естественных радиоактивных элементов и определению минерального состава глинистых пород, оцениваются литологические особенности разреза (содержание органического материала (углерода)), определяются условия осадконакопления и фациальные обстановки формирования осадочных пород, уточняются прогнозные литолого-фациальные карты данных сейсморазведки 3D и уточняется расчёт глинистости. Следует отметить, что на результат обработки данных СГК не влияют условия записи метода – открытый ствол или запись в колонне, так как на начальной стадии обработки исходный материал приводится к стандартным условиям.

Определение минерального состава глинистого вещества

По энергетическим спектрам естественного гамма-излучения производится оценка минерального состава глинистого вещества по

всему интервалу исследования и по отдельным стратиграфическим подразделениям. Установлено, что глинистые породы по отдельным стратиграфическим объектам различаются по минеральному составу.

Для повышения однозначности результатов интерпретации данных СГК была проведена систематизация данных по минеральному составу глин на месторождениях Пермского края и сделаны следующие выводы:

- в каширских и верейских отложениях глинистое вещество чаще всего представлено иллитом и слюдами;
- в башкирских отложениях – иллитом;
- в окских и тульских карбонатных отложениях глинистое вещество представлено иллитом и слюдами;
- в тульских терригенных отложениях встречаются смешанно-слоиные глины и иллит, с примесями монтмориллонита и слюд;
- бобриковские и радаевские отложения имеют сложный полифациальный состав, здесь преобладают смешанно-слоиные глины со всевозможными примесями;
- в турнейских отложениях глинистое вещество чаще всего представлено иллитом;
- в фаменских, франских, мендымских, доманиковых отложениях глинистое вещество представлено иллитом;
- в саргаевских отложениях – смешанно-слоиными глинами, иллитом и слюдами;
- в тиманских отложениях – иллитом и смешанно-слоиными глинами, редко с примесями монтмориллонита и хлорита;
- в пашийских отложениях – иллитом и смешанно-слоиными глинами, редко с примесями монтмориллонита;
- в живетских и вендских отложениях – иллитом и смешанно-слоиными глинами.

По скважинам с отбором кернa по данным описания шлифов оценивается корректность определения минерального состава глин. Проводится сопоставление данных СГК с результатами спектрометрического и рентгеноструктурного (минеральный состав глинистой фракции) анализа кернa, исследованного в лабораториях филиала ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть», и на основе этих результатов оценивается возможность более корректного определения по данным СГК минерального состава глин в смеси для условий отдельных пластопересечений. При этом учитывается как состав, так и содержание основных минералов, присутствующих в отложениях. Установлено, что некоторые расхождения, возможно, связаны с тем, что для более сложного состава глин определение по палетке для мономи-

нерального состава не достаточно и требуются дополнительные данные. Необходимо и далее проводить работу в этом направлении.

Определение коэффициента глинистости

Достоверное определение объемной глинистости – актуальная задача при расчете пористости и определении ёмкостных свойств пород по данным ГИС. Более корректное определение объемной глинистости осуществляется по данным SGK через калий-ториевый индекс или через концентрацию тория без урановой составляющей [3]. В процессе химического преобразования пород торий легко гидролизует и поэтому обладает ограниченной подвижностью (малопереносим). Кроме того, торий имеет тенденцию концентрироваться в глинистых минералах.

На рис. 1 приведен показательный пример оценки глинистости

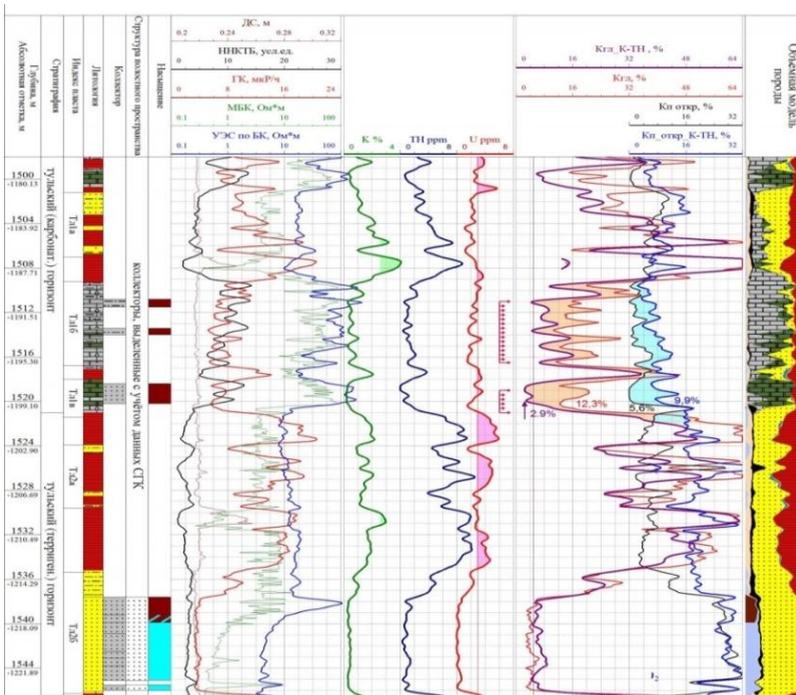


Рис. 1. Сопоставление результатов оценки объёмной глинистости по данным SGK и GK в скважине Таныпского месторождения

по данным интегрального ГК и спектрального ГК по концентрации тория и калия в скважине Таныпского месторождения. По стандартному комплексу ГИС в интервалах пластов Тл1в и Тл1б пласты коллекторы не были выявлены из-за коэффициента глинистости ($K_{ГЛ}$), превышающего предельно допустимое значение для карбонатных коллекторов. Было установлено, что за счет присутствия в своём составе урановой компоненты гамма-излучения $K_{ГЛ}$ завышен. С учетом пересчитанных значений глинистости и открытой пористости были скорректированы границы нефтенасыщенных коллекторов, рекомендованных для испытания в колонне. После перфорации интервалов 1511–1516,5 м, 1519–1521 м и вызова притока при помощи свабирования из интервалов была получена нефть. В настоящее время скважина работает с дебитом около $11 \text{ м}^3/\text{сут}$ с 10 % содержанием воды.

Подобные расчеты в ПАО «Пермнефтегеофизика» проводятся на Дозорцевском, Павловском, Сосновском, Стретенском и Таныпском месторождениях. В заключениях обращается внимание на интервалы с пересчитанной глинистостью и выдаются рекомендации для дополнительного источника притока. Таким образом, результаты определения объемной глинистости по данным СГК учитываются при оценке общей и эффективной пористости коллекторов по данным комплекса ГИС.

Уточнение прогнозных литолого-фациальных схем, оценка условий осадконакопления, фациальный анализ, сопоставление с данными керна

По данным СГК (по геохимическому показателю (Th/U)) оцениваются условия осадконакопления [4], по комплексу методов ГИС (СГК, ЭМС – электромагнитное сканирование) устанавливается фациальная природа песчаных тел, и выявляются особенности внутреннего строения песчаных тел и карбонатных массивов, условий их формирования [1, 2]. Ведется аналитическая работа по сопоставлению и оценке выделения фациальных комплексов и фаций с данными керна (макроописания, фильтрационно-ёмкостные свойства). Решение этих задач имеет первостепенное значение при поисках литологических ловушек нефти и газа, позволяет осуществлять прогноз их пространственного размещения, положения зон выклинивания и изменения коллекторских свойств пород.

Данные ГИС по оценке фациальной природы песчаных тел подтверждают или корректируют прогнозные литолого-фациальные карты по данным сейсморазведки. Проведен анализ выделенных фаций на

Стретенском месторождении и были скорректированы области распространения предполагаемых протоков в радаевское время (рис. 2).

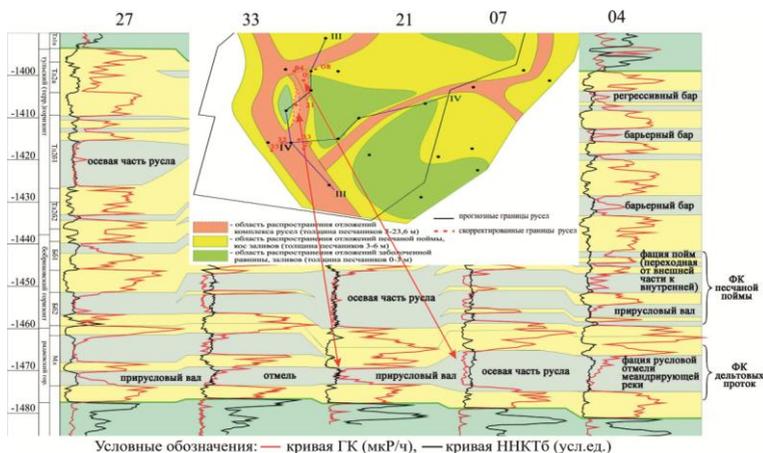


Рис. 2. Схема распространения фациальных комплексов в визейское время и скорректированная литолого-фациальная схема отложений радаевского циклита на Стретенском месторождении

Аналогичный анализ выполнен по Моховскому месторождению, по которому скорректированы области распространения предполагаемых протоков в бобриковское и радаевское время (рис. 3).

Выводы

Наряду с обширной геологической информацией, получаемой при помощи спектрометрического гамма каротажа, существует ряд важных экономических показателей эффективности использования метода, которые позволяют рекомендовать включить его в стандартный комплекс ГИС:

- при относительно невысокой стоимости проведения геофизических исследований с регистрацией метода СГК, и небольших временных затратах на его запись, метод позволяет получить дополнительную информацию, значительно повышающую точность и информативность ГИС;

- вовлечение в разработку дополнительно выделенных при помощи метода СГК интервалов, таких как Тл1б и Тл1в, позволит увеличить добычу и повысить эффективность разработки месторождений эксплуатационного фонда;

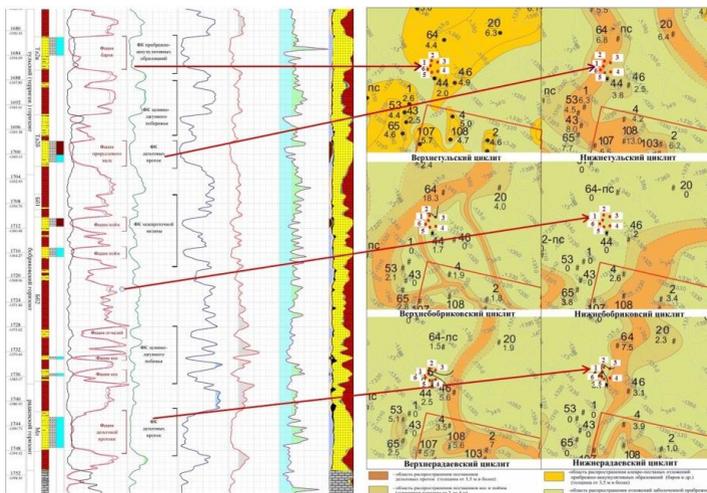


Рис. 3. Литолого-фациальная схема отложений тульского, бобриковского и радаевского циклитов на Моховском месторождении

– метод SGK в комплексе с данными ЭМС успешно используется для оценки условий осадконакопления, установления фациальной природы песчаных тел и уточнения прогнозных литолого-фациальных схем. Эти данные позволяют корректировать сетку бурения согласно оперативно уточненным данным по трассированию песчаных тел и повысить эффективность добычи;

– корректность определения минерального состава глинистого вещества и определения фаций подтверждается микроописаниями данных керна.

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.
4. Ферти В. Х. Спектрометрия естественного гамма-излучения в скважине // Нефть, газ и нефтехимия за рубежом, М., 1983. №№ 3–11.

REFERENCES

1. Ezhova A. V. Litologiya [Lithology]. Tomsk: Tomsk Polytechnic University, 2008. (In Russian).

2. *Muromtsev V. S.* Elektrometricheskaya geologiya peschanykh tel – litologicheskikh lovushek nefti i gaza [Electrometric Geology of sand bodies-lithological traps of oil and gas]. L.: Nedra, 1984. 260 p. (In Russian).

3. *Urmanov E. G.* Spektrometricheskii gamma-karotazh neftegazovykh skvazhin [Spectrometric gamma-ray logging of oil and gas wells]. M.: VNIIOENG, 1994. (In Russian).

4. *Fertl V. X.* Spektrometriya estestvennogo gamma-izlucheniya v skvazhine [Spectrometry of natural gamma radiation in the well]. In: *Neft, gaz i neftekhimiya za rubezhom*, M., 1983. No. 3–11. (In Russian).

УДК 550.831:550.34

С. В. Горожанцев¹, Е. В. Лисунов²

¹ ФИЦ ЕГС РАН. 249035, Россия, г. Обнинск, пр. Ленина, 189;
e-mail: sgor@gsras.ru

² ФИЦ ЕГС РАН. 690091, Россия, г. Владивосток, ул. Мордовцева 3,
каб. 407; e-mail: lisunov.evgeniy@gmail.com

**О РЕЗУЛЬТАТАХ СОВМЕСТНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ
И ГРАВИМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ В ПРИМОРСКОМ
КРАЕ В 2016–2017 ГОДАХ**

Аннотация. По результатам совместных сейсмических и гравиметрических наблюдений на Дальнем Востоке рассматривается возможное влияние сейсмического режима земных недр на детальные гравиметрические измерения.

Ключевые слова: землетрясения, гравиметрия, гравиметр, сейсмология, сейсмические волны, сейсмостанция, мониторинг.

S. V. Gorozhantsev¹, E. V. Lisunov²

¹ FRC GS RAS. 189 Lenin Str., Obninsk 249035, Russia;
e-mail: sgor@gsras.ru

² FRC GS RAS. 3 Mordovtsev Str., Office 407, Vladivostok 690091,
Russia; e-mail: lisunov.evgeniy@gmail.com

**ABOUT RESULTS OF INTEGRATED SEISMIC
AND GRAVIMETRIC OBSERVATIONS
IN PRIMORSKY KRAI IN 2016–17**

Abstract. In the article, based on the results of joint seismic and gravimetric observations in the Far East of the Russian Federation, the

Для выполнения специальных совместных гравиметрических и сейсмических мониторинговых наблюдений на станции MSH (м. Шульца) был установлен гравиметр gPhone компании Micro-g LaCoste [1].

В периоды совместных сейсмических и гравиметрических наблюдений за 2016 и 2017 годы сетью РИОЦ «Владивосток» было зарегистрировано 292 землетрясения (194 и 98 землетрясений соответственно).

В табл. 2 приводятся параметры некоторых землетрясений с различными характеристиками (от источников природного и искусственного происхождения [1, 2, 3]), сигналы от которых проявились как в сейсмических, так и в гравиметрических измерениях. Расстояние указано от эпицентра землетрясения до станции MSH.

Таблица 2

N	Дата и время в очаге, ч:мин:с (GMT)	Шир., град.	Долг., град.	Глуб., км	Ms	mb	Расст., км	Уровень, мкГал	Местонахождение
1	2016-апр-15 16:25:06	32,79	130,75	10	6,4	7	1000	60300	Япония
2	2017-январь-02 07:31:05	53,41	108,6	10		4,5	2000	80	Усть-Баргузинск, Россия
3	2017-январь-12 17:04:59	41,74	132,98	498		5,4	200	740	Японское море
4	2017-июль-17 23:34:10	54,43	168,82	10	7,5	7,0	3000	25600	Район Командорских о-ов
5	2017-июль-22 23:13:35	45,27	124,86	10		5,0	580	5140	Северо-Восточный Китай
6	2017-сентябрь-03 03:30:01	41,33	129,03	0		6,3	220	36900	С. Корея, взрыв
7	2017-сентябрь-08 04:49:19	15	-93,69	70	8,3	7,4	12000	6850	Побе-режье Чьяпас, Мексика
8	2017-ноябрь-12 18:18:15	34,86	45,88	20	7,4	7,1	7000	5090	Иран – Ирак, погран. область

На рис. 2 и 3 приведены гравиметрические записи землетрясений с минимальной ($m_b = 4,5$) и максимальной ($m_b = 7,4$) магнитудами при различных расстояниях от очага землетрясения (2000 км и 12000 км соответственно) и глубин его залегания (10 км и 70 км).

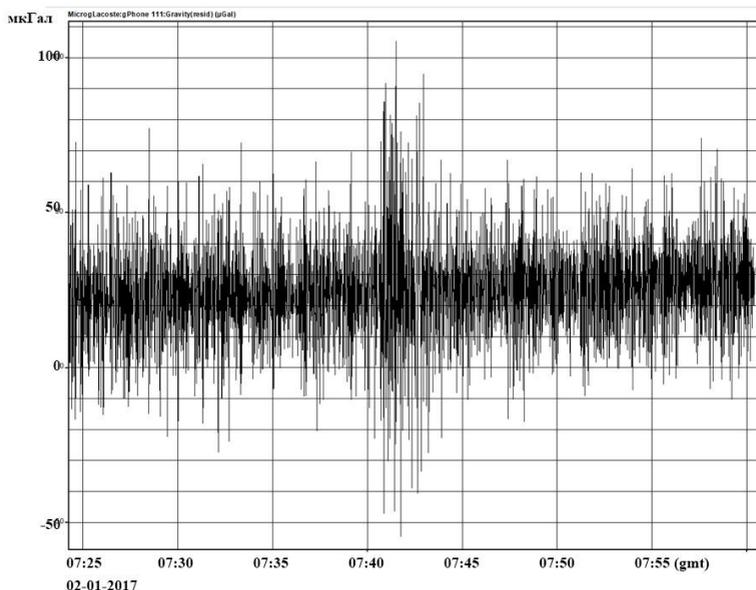


Рис. 2. Землетрясение m_b 4.5, 2017-январь-02, 07:31:05
(Усть-Баргузинск, Россия)

Минимальная амплитуда сигнала в первом случае составила 80 мкГал (при его длительности 3 минуты), максимальная (во втором случае) – 6850 мкГал при длительности 130 минут. Как было отмечено ранее [1], длительность проявления сигнала, кроме выделившейся энергии в гипоцентре землетрясения, существенно связана с расстоянием его до места проведения гравиметрических измерений. На более удаленных расстояниях от эпицентра длительность проявления землетрясения на записи больше за счет эффекта наложения сейсмических волн друг на друга.

На рис. 4 приведена запись одного из самых близких к станции MSH землетрясений, произошедшего в Японском море, но очаг его находился на значительно большей глубине – 498 км. Расстояние до станции MSH – 200 км. Максимальная амплитуда составила 740 мкГал

(при длительности сигнала около 4 минут). Следует отметить, что при глубокофокусных близких землетрясениях эффект затухания сейсмических волн может быть сильнее, что объясняется наличием мощной толщи пород над очагом землетрясения. Поверхностные волны слабо выражены или полностью отсутствуют.

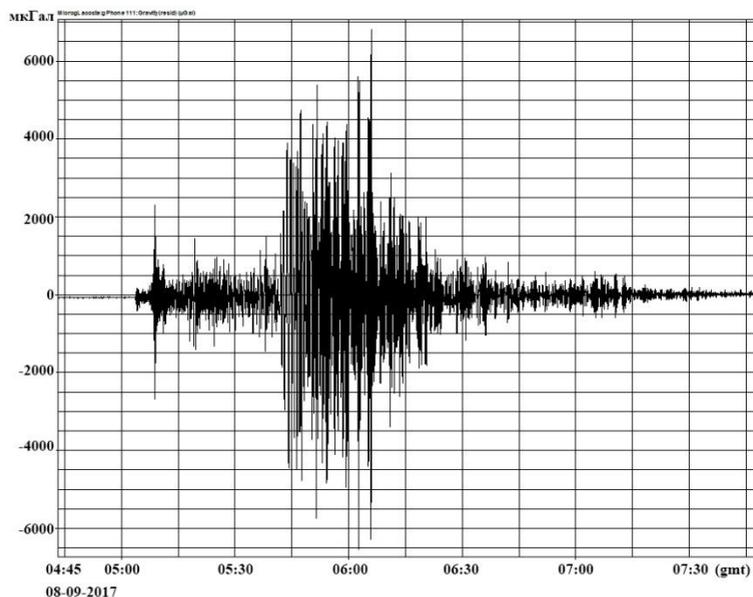


Рис. 3. Землетрясение mb 7.4, ms 8.3, 2017-сен-08, 04:49:19
(Побережье Чьяпас, Мексика)

Анализ регистрируемых землетрясений 2016–2017 гг. показывает, что на гравиметрической записи уверенно выделяются те сейсмические события, магнитуда mb которых превышает 4,5 (при расстоянии источник-приемник 2000 км и глубине очага 10 км). Однако не исключается тот факт, что при меньшей магнитуде и более близком расстоянии «источник-приемник» возникшие землетрясения не окажут влияния на результаты высокоточных гравиметрических измерений. Частота регистраций землетрясений, способных оказывать влияние на результаты высокоточных гравиметрических измерений, составляет 10–15 событий в месяц.

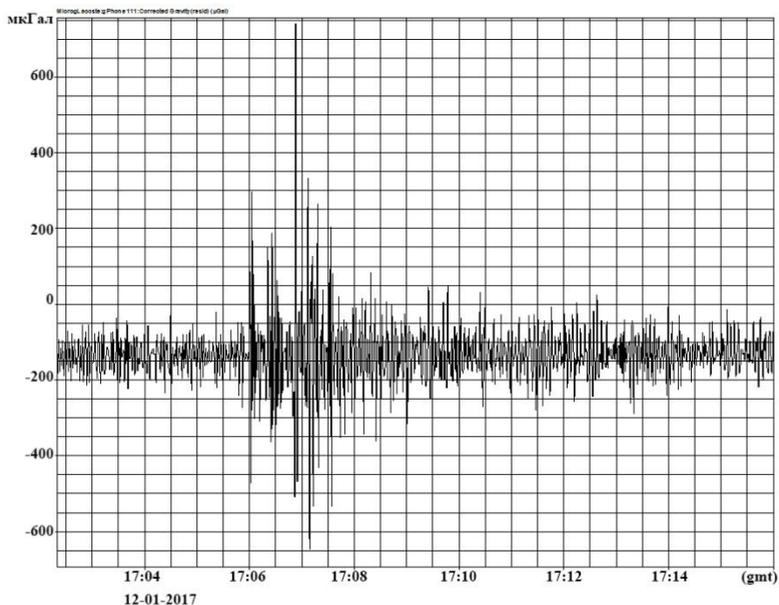


Рис. 4. Землетрясение mb 5.4, 2017-январь-12, 17:04:59
(Японское море)

Таким образом, для обнаружения сейсмических помех при проведении высокоточной гравиметрии и интерпретации ее результатов необходимо получение сведений о землетрясениях и использование каталогов землетрясений Федерального исследовательского центра «Единой геофизической службы Российской академии наук» [4].

ЛИТЕРАТУРА

1. Лисунов Е. В., Горожанцев С. В. Реакция гравиметра gPhone на северокорейский взрывы 12 февраля 2013 года и 9 сентября 2016 года // Десятый Всероссийский симпозиум «Физика геосфер»: Материалы докладов. Владивосток, 2017 г. Владивосток: ТОИ ДВО РАН, 2017. С. 70–74.
2. Горожанцев С. В., Наумов С. Б., Лисунов Е. В. Об опыте применения гравиметрических измерений при регистрации сигналов от сильных землетрясений // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных: Материалы Восьмой международной сейсмологической школы. Геленджик, 2013 г. Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2013. С. 139–144.

3. *Лисунов Е. В.* О регистрации землетрясений на мысе Шульца в 2012 году с использованием гравиметра «gPhone» // Четырнадцатая уральская молодежная научная школа по геофизике: Сборник науч. материалов. Пермь, ГИ УрО РАН, 2013. С. 174–178.

4. *Горожанцев С. В.* О влиянии землетрясений на результаты высокоточных гравиметрических измерений // Развитие геофизических методов с позиции первой Всесоюзной геофизической конференции. Пермь, ПГНИУ, 2012. С. 53–57.

REFERENCES

1. *Lisunov E. V., Gorozhantsev S. V.* Reaktsiya gravimetra gPhone na severo-koreyskie vzryvy 12 fevralya 2013 goda i 9 sentyabrya 2016 goda [Reaction of the gPhone gravity meter on North Korean explosions on February 12, 2013 and September 9, 2016]. In: *Fizika geosfer. Mater. of 10th Vseros. symp.* Vladivostok. POI FEB RAS, 2017. Pp. 70–74. (In Russian).

2. *Gorozhantsev S. V., Naumov S. B., Lisunov E. V.* Ob opyte primeneniya gravimetricheskikh izmereniy pri registratsii signalov ot silnykh zemletryaseniy [Case study of application of gravimetric measurements for registration the signals from strong earthquakes]. In: *Sovremennye metody obrabotki i interpretatsii seysmologicheskikh dannykh. Mater. 8th Intern. Seismological school.* Gelendzhik. 2013. Obninsk. FRC GS RAS, 2013. Pp. 139–144. (In Russian).

3. *Lisunov E. V.* O registratsii zemletryaseniy na myse Shultsa v 2012 godu s ispolzovaniem gravimetra gPhone [About registration of earthquakes on the Shults Cape in 2012 using the gPhone gravity meter]. In: *Mater. 14th Ural. molod. nach. shkola po geofizike.* Perm, GI URO RAS, 2013. Pp. 174–178. (In Russian).

4. *Gorozhantsev S. V.* O vliyanii zemletryaseniy na rezultaty vysokotochnykh gravimetricheskikh izmereniy [About influence of earthquakes on results of high-precision gravimetric measurements]. In: *Razvitie geofizicheskikh metodov s pozitsii Pervoy Vsesoyuznoy geofizicheskoy konferentsii (1932).* Perm, PGNIU, 2012. Pp. 53–57. (In Russian).

УДК 550.832

А. И. Губина^{1,2}, П. Н. Гуляев², В. А. Истратов³

¹ Пермский государственный национальный исследовательский университет. 614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15;

e-mail: gubinaai@pitc.pnsh.ru,

² ООО «ПИТЦ Геофизика». 614000, Россия, г. Пермь, ул. Петропавловская, 16а, офис 408; e-mail: pitc@pitc.ru,

³ ООО «Радионда СПВ», г. Москва

ОЦЕНКА ТЕКУЩЕЙ НАСЫЩЕННОСТИ ПЛАСТОВ-КОЛЛЕКТОРОВ ПО ДАННЫМ МНОГОЧАСТОТНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ИНТРОСКОПИИ ОКОЛОСКВАЖИННОГО ПРОСТРАНСТВА (MFDI) В РАЗЛИЧНЫХ СКВАЖИННЫХ УСЛОВИЯХ

Аннотация. Приведены примеры опробования многочастотной диэлектрической интроскопии для определения характера насыщения коллекторов в условиях применения растворов на нефтяной основе, стеклопластиковой обсадки, эксплуатации скважины методом открытого забоя и пресноводного обводнения коллекторов. Показана эффективность комплекса и его преимущества в сравнении с другими методами определения характера насыщения.

Ключевые слова: многочастотная диэлектрическая интроскопия, насыщение коллекторов, относительная диэлектрическая проницаемость, инвертные буровые растворы, пресноводное заводнение, стеклопластиковая обсадка, распределение сопротивлений.

A. I. Gubina^{1,2}, P. N. Gulyaev², V. A. Istratov³

¹ Perm State University. 15 Bukireva Str., Perm 614990, Russia;

e-mail: gubinaai@pitc.pnsh.ru,

² PITC Geophysics Ltd. 16a Petropavlovskaya Str., Office 408, Perm 614000, Russia; e-mail: pitc@pitc.ru,

³ Radionda SPV. Moscow

ASSESSMENT OF THE CURRENT RESERVOIR SATURATION ACCORDING MULTIFREQUENCY ELECTRICAL NEAR-WELLBORE IMAGING (MFDI) DATA IN DIFFERENT BOREHOLE CONDITIONS

Abstract. The article presents the examples of application of the multifrequency dielectric introscopy for defining the character of reservoir

saturation in the conditions of oil-based solutions, fiberglass casing, open face well, and a freshwater reservoir flooding. The efficiency of the complex and its advantages over other methods of determining the nature of saturation is shown.

Key words: *multiprobe induction logging, multifrequency dielectric introscope, saturation reservoir, relative permittivity, invert drilling fluids, freshwater flooding, fiberglass casing, distribution of resistance.*

Определение характера насыщения коллекторов является основой для оценки текущих запасов нефти. Наиболее просто эта задача решается в условиях открытого ствола скважины при его заполнении полимерсолевым раствором (или другим раствором с низким удельным сопротивлением) с использованием стандартного комплекса, включающего боковой каротаж, микробоковой каротаж и БКЗ. Однако, в некоторых случаях, если пласты частично заполнены пресными водами или используется непроводящий раствор на нефтяной основе (ИЭБР, РИЭР), или скважина обсажена стеклопластиковой колонной, стандартный комплекс дает неоднозначные результаты или вовсе неприменим [1].

В этих случаях оказывается эффективным применение таких новых отечественных разработок электромагнитных методов, как многочастотная диэлектрическая интроскопия (метод MFDI с аппаратурой ДИ-МЧ) [2].

Метод многочастотной диэлектрической интроскопии (MFDI) основан на зависимости поглощения электромагнитной энергии от электрических свойств пород в околоскважинном пространстве. Измерения электромагнитного поля проводятся на нескольких частотах в диапазоне 1,25–50 МГц. Источником гармонического сигнала является излучатель, нагруженный на осевую электрическую антенну. На некотором расстоянии L от излучающей антенны, называемым разносом установки, располагается приемник с электрической антенной такой же конструкции. Измеряемой величиной является амплитуда сигнала на выходе приемной антенны.

Методика измерений обеспечивает детальность исследований околоскважинного пространства, как по стволу скважины (дискретность непрерывных измерений – 0,1 м), так и в радиальном направлении – от 0,5 до 2,0 м. Интерпретация осуществлялась в программе «Solver», разработанной в ООО «Радионда».

Вычисления эффективных значений ϵ и ρ проводится итерационно методом подбора путем сравнения измеренного поля с расчетным. Подбор осуществляется на всех измеренных частотах одновременно путем минимизации функционала. Результаты измерений представляются в виде диа-

грамм частотных спектров по каждому из разносов и графиков эффективных значений ϵ и ρ .

Проведение измерений на 25 частотах в методе MFDI обеспечивает возможность одновременного определения нескольких независимых параметров. В пакете «Solver», предназначенном для обработки данных MFDI, возможно использование различных графов обработки. Одна из ветвей программы предусматривает решение системы уравнений с одновременным определением электрического сопротивления пород, диэлектрической проницаемости и коэффициентов частотной дисперсии этих параметров K_{disp} , обусловленных структурой пористости коллектора (коэффициент цементации или извилистости пор). Коэффициент дисперсии тем выше, чем больше извилистость поровых каналов, заполненных водой. При интерпретации по коэффициентам дисперсии определяется показатель степени « m » в уравнении Арчи, который используется для вычисления коэффициента водонасыщения коллектора. Таким образом, конечным параметром, определяемым с помощью MFDI является коэффициент углеводородного насыщения коллекторов, а промежуточными параметрами диэлектрическая проницаемость пласта, удельное электрическое сопротивление пласта и структурный коэффициент « m », зависящий от степени цементации и извилистости каналов.

Коэффициент нефтенасыщенности рассчитывался по формуле Арчи

$$K_N = 1 - K_V,$$
$$K_V^n = A \cdot \rho_v / (K_p^m \cdot \rho_n).$$

Для карбонатных отложений $A = 1$; $N = 2$. Для терригенных отложений $A = 0,8$; $N = 1,8$. Параметр « m » вычислен для каждого из коллекторов с учетом K_{disp} пород и варьируется в диапазоне $1,3 \div 2,2$, увеличиваясь в карбонатном разрезе.

Анализ данных MFDI по скв. 115 Габыевской площади

В качестве иллюстрации возможностей метода MFDI рассмотрим результаты, полученные в скважине, пробуренной на ***непроводящем буровом растворе*** типа ИЭР. Исследовались карбонатные отложения нижнего карбона и верхнего девона в интервале 1897–2100 м. Измерения проводились на двух разносах 2 и 3,5 м в диапазоне частот 2–50 МГц с шагом 2 МГц.

На рис. 1. данные измерений представлены в виде спектра измеренного поля для разноса 3,5 м, расчетные ϵ и ρ и диаграммы ГК и ННК. При построении спектров по вертикальной оси отложена глубина, по горизонтальной – рабочие частоты, а цветом дана интенсивность измеренного па-

раметра. Для наглядности значения измеренного поля построены в логарифмическом масштабе, а его интенсивность охарактеризована цветом в соответствии с рядом приведенной шкалой: чем выше значение поля, тем цвет более красный. Обводненным интервалам соответствуют синие цвета.

По характеру изменения поля E с частотой по MFDI даже на качественном уровне коллектора легко разделить по характеру насыщения. Более глубокий спад поля E с частотой характерен для водонасыщенных коллекторов (1930–1978 м).

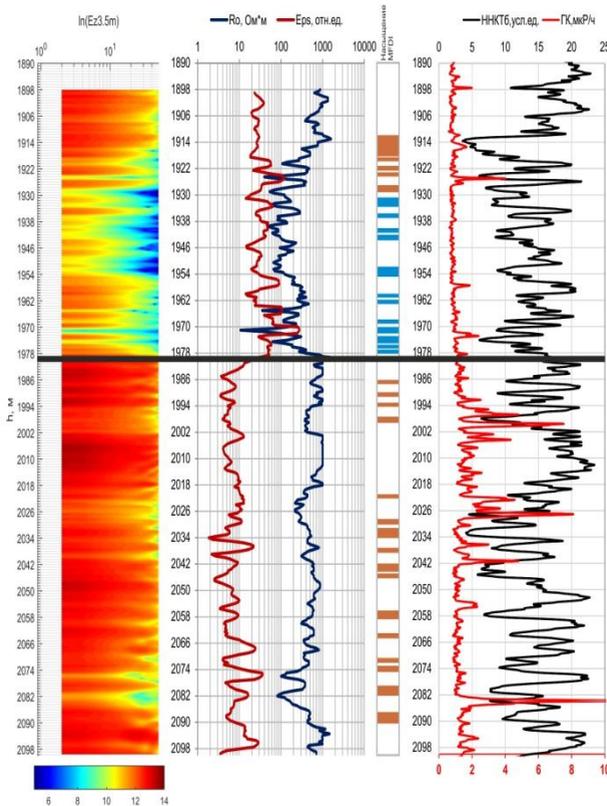


Рис. 1. Определение насыщения по MFDI на растворе ИЭР

Диэлектрическая проницаемость в пределах нефтенасыщенных коллекторов в основном меньше 25, для водонасыщенных более 30. Коэффициент нефтенасыщенности, рассчитанный по ρ с использованием

MFDI, для нефтенасыщенных коллекторов 0,73–0,94. По результатам исследования данной скважины свабированием из выделенных нефтеносных интервалов (1986–2090 м) получен приток нефти.

Анализ данных MFDI по скв. 589 Сибирской площади

Метод MFDI хорошо зарекомендовал себя не только в скважинах, заполненных непроводящим буровым раствором, но и в скважинах со *стеклопластиковой обсадкой труб*. (СПОТ) [2]. На рис. 2 приведены результаты, полученные комплексом МИК-MFDI в скважине, обсаженной СПОТ. Промывочная жидкость-техническая вода, СПОТ перфорирована лишь частично.

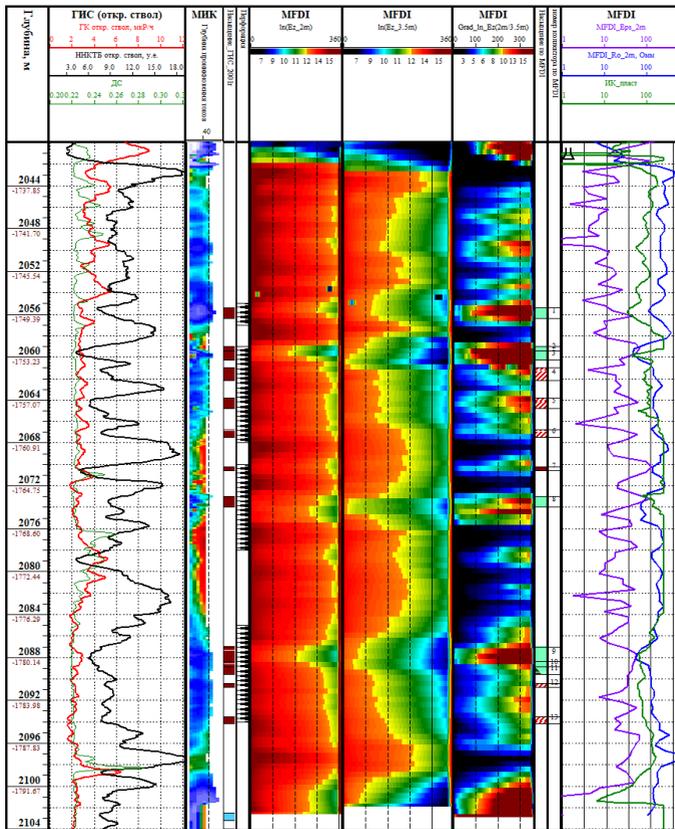


Рис. 2. Определение насыщения по MFDI в скважине со СПОТ

Измерения MFDI проводились установкой с разносом 2,0 м и 3,5 м в диапазоне частот 2–50 МГц с шагом 2 МГц. Данные измерений представлены в виде спектров измеренного поля E и кривых ϵ и ρ . При анализе полученных результатов исследованную область можно разделить на три части с различающимися значениями E , ϵ и ρ – промытые пласты, частично промытые и нефтенасыщенные. При свабировании из данного интервала получена вода с незначительным количеством нефти.

В условиях исследования скважин со стеклопластиковой обсадкой для определения характера насыщения электромагнитные методы более предпочтительны, чем радиоактивные. Так, при записи метода ИННК в интервале СПОТ значительно падает счет импульсов и текущая насыщенность этим методом однозначно не определяется. Кроме того, в интервалах перфорации ИННК за счет малого радиуса исследований не всегда дает объективную информацию о насыщении пластов.

Стандартные методы ГИС малоэффективны или совсем не дают информации. Основное преимущество комплекса «МИКИ» перед другими методами измерения электрических характеристик пород состоит в том, что при его использовании снимаются ограничения, связанные с невозможностью определения сопротивления и диэлектрической проницаемости в скважинах, заполненных растворами на нефтяной основе, особенно в высокоомной части разреза. При этом глубинность исследований достигает 2 м, что дает возможность оперировать понятиями неизменная часть пласта.

Многочастотные измерения позволяют изучать частотную дисперсию электрических свойств пород в естественных условиях, что в перспективе будет являться важным фактором в развитии способов интерпретации данных каротажа электромагнитными методами.

Важно отметить, что применение комплекса «MFDI» для решения указанных задач целесообразно именно в условиях, когда стандартные методы ГИС малоэффективны или совсем не дают информации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аксельрод С. М. Новые тенденции в диэлектрическом каротаже (по материалам зарубежной печати) // НТВ «Каротажник», 2012. Вып. № 4 (214). С. 78–112.

2. Истратов В. А., Перекалин С. О., Мазитова И. К., Губина А. И., Гуляев П. Н., Уточкин Ю. В. Опыт использования комплекса электромагнитных методов каротажа для определения характера насыщения коллекторов в условиях заводнения пресными водами, применения инвертных буровых растворов и стеклопластиковых труб // НТВ «Каротажник», 2015. Вып. №10 (256). С. 44–53.

REFERENCES

1. *Akselrod S. M.* Novye tendentsii v dielektricheskom karotazhe (po materialam zarubezhnoy pechati) [New trends in dielectric logging (based on foreign publications)]. Karotazhnik, 2012. Release 4 (214). Pp. 78–112. (In Russian).

2. *Istratov V. A., Perekalin C. O., Mazitova I. K., Gubina A. I., Gulyaev P. N., Ytochkin Y. V.* Opyt ispolzovaniya kompleksa elektromagnitnykh metodov karotazha dlya opredeleniya kharaktera nasyshcheniya kollektorov v usloviyakh zavodneniya presnymi vodami, primeneniya invertnykh burovykh rastvorov i stekloplastikovykh trub [The use of complex of electromagnetic logging methods to determine the nature of reservoir saturation in the conditions of fresh water flooding tht use jf invert drilling fluids and fiberglass pipes]. Karotazhnik, 2015. Release 10 (256). Pp. 44–53. (In Russian).

УДК 550.832.92

А. И. Губина^{1,2}, М. Н. Расторгуев²

¹ Пермский государственный национальный исследовательский университет. 614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15; e-mail: gubinaai@pitc.pnsh.ru,

² ООО «ПИТЦ Геофизика». 614000, Россия, г. Пермь, ул. Петропавловская, 16а, офис 408; e-mail: pitc@pitc.ru

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ В ИНТЕРПРЕТАЦИИ ГАЗОВОГО КАРОТАЖА

Аннотация: *Исследуются возможности нейронных сетей в интерпретации газового каротажа. Самое главное назначение создаваемой нейронной сети – классификация наблюдаемых значений с выделением литологических типов пород в терригенном разрезе: аргиллиты, алевролиты, глинистые песчаники, нефтенасыщенные песчаники, а также выделение нефтенасыщенных песчаников. Созданная нейронная сеть показала хорошие результаты, предполагаются дальнейшие попытки создания нейронной сети для интерпретации данных газового каротажа.*

Ключевые слова: *нейронная сеть, геолого-технологические исследования, газовый каротаж, геофизика.*

A. I. Gubina^{1,2}, M. N. Rastorguev²

¹ Perm State University. 15 Bukireva Str., Perm 614990, Russia;
e-mail: gubinaai@pitc.pnsh.ru,

² PITC Geophysics Ltd. 16a Petropavlovskaya Str., office 408,
Perm 614000, Russia; e-mail: pitc@pitc.ru

APPLICATION OF THE NEURAL NETWORK FOR THE GAS LOGGING DATA INTERPRETATION

Abstract: *The possibility of the neural networks use for the interpretation of gas logging data was estimated. The most important purpose of the neural network is the classification of the observed values in accordance with the lithological types of rocks in the terrigenous section: argillites, siltstones, clay sandstones, oil-saturated sandstones, as well as the selection of oil-saturated sandstones. The created neural network has shown good results. The further attempts to improve the creation of a neural network for the interpretation of gas logging data are assumed.*

Keywords: *neural network, geological and engineering survey, gas logging, geophysics.*

Введение

При интерпретации диаграмм газового каротажа интерпретатор должен обращать внимание на множество параметров, описывающих состав газа, плотность разбуриваемых пород, геологический разрез, нефтепроявления в шламе/керне и др. Сложно принимать во внимание все параметры, поэтому необходимо оптимизировать интерпретацию данных газового каротажа. Поэтому интерпретатору необходимо провести поиск связей между параметрами, описанными выше, выявить наиболее важные связи и, в конечном итоге, создать методику интерпретации газового каротажа, основанную на вероятностно-статистическом моделировании. В последнее время наблюдается рост интереса к нейронным сетям во многих сферах (биология, IT, физика, банкинг, маркетинг и др.), где необходимо решать задачи прогнозирования, классификации или нелинейной регрессии [2, 3, 5]. Нейронные сети – мощный метод моделирования, позволяющий воспроизводить чрезвычайно сложные зависимости. Способность обучаться на примерах является одной из особенностей нейронных сетей. Пользователь нейронной сети подбирает представительные данные, а затем запускает алгоритм обучения, который автоматически воспринимает структуру данных. При этом от пользователя, конечно, требуется какой-то набор эвристических знаний о том, как следует отбирать и подготавливать

ливать данные, выбирать нужную архитектуру сети и интерпретировать результаты, однако уровень знаний, необходимый для успешного применения нейронных сетей, гораздо скромнее, чем, например, при использовании традиционных статистических методов. Это особенно ощущается, когда алгоритмы нейронных сетей встроены и скрыты в хорошо спроектированной мощной компьютерной программе, позволяющей пользователю провести исследование от начала до конца всего за несколько кликов мыши. Нейронные сети имеют поразительную способность находить и извлекать полезную информацию (знания, правила и тенденции) из сложных, зашумленных и неточных данных [4].

Рассмотрим возможность применения нейронных сетей в интерпретации газового каротажа, а именно возможность классификации наблюдаемых значений с выделением литологических типов пород: аргиллиты, алевролиты, песчаники глинистые, песчаники нефтенасыщенные и песчаники нефтенасыщенные.

Для исследования использованы данные газового каротажа скважин Павловского месторождения в нижне-средневизейском терригенном нефтегазоносном комплексе в интервале тульского терригенного горизонта S_{1n} . После сбора данных количество наблюдений в различных классах сильно разнилось, поэтому была проведена выборка случайным образом, для того чтобы уравнивать количество наблюдений во всех классах (общее число наблюдений $n = 1535$).

Для построения искусственной нейронной сети были использованы следующие параметры:

1. $G_{\text{сум}}$, абс. % – суммарное газосодержание нефтенасыщенных углеводородов в буровом растворе;
2. C_1 , отн. % – относительное содержание метана (CH_4) в газовой смеси;
3. C_2 , отн. % – относительное содержание этана (C_2H_6) в газовой смеси;
4. C_3 , отн. % – относительное содержание пропана (C_3H_8) в газовой смеси;
5. C_4 , отн. % – относительное содержание бутана (C_4H_{10}) в газовой смеси;
6. C_5 , отн. % – относительное содержание пентана (C_5H_{12}) в газовой смеси;
7. ЛБА, баллы – данные интенсивности свечения вытяжек люминесцентно-битуминологического анализа шлама (по Фроловской В.Н.);

8. ЛБА, тип битуминоида – тип битуминоида по люминесцентной характеристике капиллярных вытяжек люминесцентно-битуминологического анализа шлама (по Фроловской В.Н.);

9. ГК, мкР/ч – показания гамма-каротажа;

10. ННКТ, усл.ед – показания нейтрон-нейтронного каротажа по тепловым нейтронам;

11. ДС, мм – разница между диаметром долота и диаметром скважины.

Назначение создаваемой нейронной сети – умение отделять плотные горные породы от коллекторов и среди коллекторов выделять нефтенасыщенные песчаники. Для того чтобы создать нейронную сеть её необходимо обучить. Обучение происходит по эталонным примерам, которые подбирались по результатам проведённых геолого-технологических исследований по одному из нефтяных месторождений Пермского края.

Обучение и тестирование сети

Для классификации наблюдений на вышеописанные классы вся выборка была поделена на обучающую (70 % наблюдений), контрольную (15 % наблюдений) и тестовую (15 % наблюдений). После подбора различных параметров нейронных сетей и их обучения было выбрано 5 сетей, основные параметры которых указаны в табл. 1. По общей точности сети были пронумерованы от 1 (самая точная) до 5.

Таблица 1

Параметры получившихся нейронных сетей

Параметры	Номер нейронной сети				
	1	2	3	4	5
Архитектура	11-5-5	11-5-5	11-13-5	11-4-5	11-14-5
Производительность обучения	89,21	88,37	87,63	87,16	86,51
Контрольная производительность	88,70	90,87	92,17	88,70	89,57
Тестовая производительность	88,70	89,13	88,26	88,26	85,28
Количество эпох	140	50	42	61	68
Функция активации скрытых нейронов	Гипер-бол.	Тождеств.		Гипер-бол.	Тождеств.
Функция активации выходных нейронов	Софтмакс				
Функция ошибки	Кросс-энтропия				

Подробнее о функциях активации нейронов и функциях ошибки можно узнать в работах [4, 6]. В строке «Архитектура» указано количество нейронов, участвующих в построении модели – «входные нейроны-скрытые нейроны-выходные нейроны»: 11 входных нейронов – это 11 переменных, которые использовались в построении сети, 5 выходных нейронов – это 5 классов, на которые была поделена выборка, скрытые нейроны – это нейроны, в которых взвешенная сумма этих сигналов от входных нейронов преобразуется, с помощью математической функции, и передаётся на выходные нейроны. Также указана производительность сети по разным выборкам. Она примерно одинаковая, что говорит о равной достоверности всех сетей. Количество эпох в обучении – это количество проходов по всему обучающему множеству с последующей проверкой на контрольном множестве. Первая нейронная сеть характеризуется большим количеством эпох (140), то есть ей понадобилось больше времени, чтобы решить задачу. Остальные сети решили задачу в 2–3 раза быстрее, но их точность немного ниже (в пределах 3 процентов). Чтобы определить наиболее подходящую сеть, необходимо посмотреть: какая из них была наиболее точной при выделении нефтенасыщенных песчаников (табл. 2) Из таблицы видно, что лучше всего с этой задачей справилась сеть № 1, но другие сети имеют значение точности немного ниже.

Таблица 2

Точность определения литотипов

Номер сети	Аргиллиты	Алевриты	Песч. глин.	Песч. нефт.	Песч. нефт.	Все
1. (11-5-5)	89,01	93,81	92,99	82,04	89,40	89,06
2. (11-5-5)	90,07	95,44	86,72	84,18	88,75	88,86
3. (11-13-5)	90,07	93,16	88,56	84,45	86,76	88,40
4. (11-4-5)	77,66	97,07	90,78	84,18	88,41	87,56
5. (11-14-5)	84,04	94,14	84,50	83,38	88,08	86,78

Также можем провести анализ чувствительности нейронных сетей, то есть узнать важность входных переменных для конкретной нейронной сети (табл. 3).

Таблица 3

Важность входных параметров для каждой нейронной сети

Номер нейронной сети	Параметры										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1. (11-5-5)	ГК	ЛБА, тип	ЛБА, баллы	ННКТ	С1	С2	С3	С4	Геум	ДС	С5
2. (11-5-5)	ГК	ННКТ	ЛБА, баллы	С1	ЛБА, тип	Геум	С4	С2	С3	С5	ДС
3. (11-13-5)	ГК	ННКТ	ЛБА, баллы	С1	Геум	ЛБА, тип	С2	С3	С4	С5	ДС
4. (11-4-5)	ГК	С1	ЛБА, баллы	С2	ННКТ	С3	ЛБА, тип	С4	Геум	С5	ДС
5. (11-14-5)	ГК	ННКТ	ЛБА, баллы	С1	С2	С3	ЛБА, тип	Геум	С4	С5	ДС

Во всех приведенных сетях на первом месте находится переменная ГК, а переменная ННКТ расположена на 2 месте в трёх из пяти сетей, что, возможно, говорит о том, что все сети в первую очередь выделяют коллектор от глинистой части разреза. На 3 месте во всех сетях находится переменная «ЛБА, баллы». Вероятно, что нейронные сети считают её первым признаком нефтенасыщенных песчаников. На 4 и 5 местах расположены переменные, отвечающие за содержание метана, этана и суммарное содержание УВ в газоздушном смеси, что тоже является показателем нефтенасыщенных пластов. На последних местах расположены показатели содержания пентана и разница между диаметром долота и диаметром скважины – они практически не влияют на показания нейронных сетей. Отдельно можно выделить переменную «ЛБА, тип битуминоида», так как она в разных сетях находится на разных местах. Возможно, это связано с недостатком данных по каждому типу, в дальнейшем при наборе данных ситуация может измениться.

Для того, чтобы выбрать только одну сеть, необходимо ещё раз проверить все сети на новых контрольных данных, так как их параметры похожи. Нейронные сети № 1–3 обладают более высокой общей точностью, поэтому они приоритетнее. Нейронная сеть № 1 характеризуется гиперболической функцией активации скрытых нейронов, более долгим процессом обучения (140 эпох) и относительно простой архитектурой (5 нейронов в скрытом слое), также она обращает повышенное внимание на тип битуминоида, но совсем не замечает повышение суммарных газопоказаний (Геум). Нейронная сеть № 2 характеризуется тождественной функцией активации скрытых нейронов, относи-

тельно быстрым процессом обучения (50 эпох) и простой архитектурой (5 нейронов в скрытом слое), также она в отличие от сети № 1 принимает во внимание и Гсум и тип битуминоида. Нейронная сеть № 3 обладает схожими характеристиками: она также обладает тождественной функцией активации скрытых нейронов, также быстро учится (42 эпохи), принимает во внимание те же переменные, но обладает более сложной архитектурой (13 нейронов в скрытом слое), что, скорее всего, делает её более гибкой в анализе неизвестных данных. Конечный выбор сделать трудно, потому что исследование находится на ранней стадии и необходимо больше материалов для обучения нейронной сети, но на данный момент более приоритетной выглядит сеть № 3.

Заключение

Разработанные нейронные сети смогли классифицировать наблюдения на заданные литотипы: аргиллиты, алевролиты, глинистые песчаники, нефтенасыщенные песчаники, нефтенасыщенные песчаники с точностью около 90 %. Предполагается дальнейший сбор данных и обучение новых нейронных сетей с повышением точности определения нефтенасыщенных песчаников. Также планируется создание нейронной сети для работы в карбонатном разрезе и создание программного обеспечения на основе получившейся нейронной сети.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баранова Т. Э., Ильина А. А., Фроловская В. Н. Руководство по методике люминесцентно-битуминологических исследований. Ленинград: Недра, 1966. 112 с.
2. Голов Д. В., Красовская Л. В. Нейронные сети и распознавание рукописных цифр на основе искусственных нейронных сетей // Исследования технических наук. М.: Изд-во ООО «ИНГН», 2014. № 4. С. 18–20.
3. Мансуров А. В. Мониторинг сети оврагов с помощью нейронной сети по радиолокационным изображениям // Известия Алтайского государственного университета. Барнаул: Алтайский государственный университет, 2005. № 1. С. 124–127.
4. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. М.: Вильямс, 2006. 1104 с.
5. Хамидуллин А. Л., Новикова С. В. Распознавание монохромных изображений сверхточными нейронными сетями // Молодёжный научный форум: технические и математические науки. М.: ООО «Международный центр науки и образования», 2017. № 6. С. 176–182.
6. Bishop C. M. Neural Networks for Pattern Recognition – Oxford University Press, 1995. 498 p.

REFERENCES

1. *Baranova T. E., Ilyina A. A., Frolovskaya V. N.* Rukovodstvo po metodike lyuminescentno-bituminologicheskikh issledovaniy [Manual on methodology of fluorescent-bitumen study]. Leningrad: Nedra, 1966. 112 p. (In Russian).
2. *Golov D. V., Krasovskaya L. V.* Neyronnye seti i raspoznanie rukopisnykh tsifr na osnove iskusstvennykh neyronnykh setey [Neural networks and recognition of handwritten digit by artificial neural networks]. In: *Issledovaniya tekhnicheskikh nauk*. Moscow: LLC INGN, 2014. № 4. Pp. 18–20. (In Russian).
3. *Mansurov A. V.* Monitoring seti ovragov s pomoshchyu neyronnoy seti po radiolokatsionnym izobrazheniyam [Monitoring of the ravine network using the neural network and radar images]. *Izvestiya Altayskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2005. № 1. Pp. 124–127. (In Russian).
4. *Khaykin S.* Neyronnye seti [Neural networks]. M.: Williams, 2006. 1104 p. (In Russian).
5. *Hamidullin A. L., Novikova S. V.* Raspoznavanie monokhromnykh izobrazheniy svyortochnymi neyronnymi setyami [Recognition of monochrome images by convolutional neural networks]. In: *Molodyozhnyy nauchnyy forum: tekhnicheskie i matematicheskie nauki*. Moscow: LLC Mezhdunarodnyy tsentr nauki i obrazovaniya. 2017. № 6. Pp. 176–182. (In Russian).
6. *Bishop C. M.* Neural Networks for Pattern Recognition – Oxford University Press, 1995. 498 p.

УДК 550.83

А. И. Губина^{1,2}, А. Д. Яцук^{1,2}

¹ Пермский государственный национальный исследовательский университет. 614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15;
e-mail: gubinaai@pitc.pnsh.ru;

² ООО «ПИТЦ Геофизика». 614000, Россия, г. Пермь,
ул. Петропавловская, 16а, офис 408; e-mail: pitc@pitc.ru;

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ДОЛГОВРЕМЕННОГО АКУСТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ШУМОВСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭТОГО МЕТОДА НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ»

Аннотация. Проведен анализ результатов применения метода длительного акустического воздействия (ДАВ) на Шумовском месторождении (рассмотрена динамика основных показателей работы скважин, выявлены зависимости дебитов жидкости от коэффициента подачи насоса и эффективность применения этого метода на сква-

жинах с высоковязкой нефтью), рассмотрены дальнейшие перспективы развития.

Ключевые слова: Акустическое воздействие, тяжелые углеводороды, вязкость, коэффициент корреляции, стабилизация добычи, низкодебитные скважины, гидродинамические исследования, интеллектуальная скважина.

A. I. Gubina^{1,2}, **A. D. Yatsuk**^{1,2}

¹ Perm State University. 15 Bukireva Str., Perm 614990, Russia;
E-mail: gubinaai@pitc.pnsh.ru;

² PITC Geophysics Ltd. 16a Petropavlovskaya Str., Office 408,
Perm 614000, Russia; e-mail: pitc@pitc.ru

ANALYSIS OF THE APPLICATION OF LONG-TERM ACOUSTIC STIMULATION AT THE SHUMOVSKY FIELD AND PERSPECTIVES OF THE METHOD DEVELOPMENT AT THE FIELDS OF LLC LUKOIL-PERM

Annotation. *The analysis of results of the application of the long-term acoustic stimulation method at the Shumovskoye field was made (the dynamics of the basic well performance, the dependence of the fluid flow rates on the pump feed rate and the efficiency of this method application in wells with high viscosity oil).*

Key words: *Acoustic impact, heavy hydrocarbons, viscosity, correlation coefficient, production stabilization, low-yield wells, hydrodynamic studies, intelligent well.*

Одним из методов интенсификации работы пластов является акустическое воздействие, физической основой которого является способность порозаполняющего флюида менять свои физико-химические свойства в акустическом поле [2]. Под действием акустического поля происходит расщепление на молекулярном уровне тяжелых фракций углеводородов на более легкие, уменьшение вязкости и увеличение подвижности флюида, разрушение коллоидно-дисперсных коагулирующих структур, устранение капиллярных и граничных скин-эффектов [1].

Суммарный эффект данной технологии достигается сочетанием низко- и высокочастотных колебательных воздействий. Причем наибольший эффект возможен при воздействии в режиме депрессии.

Аппаратура акустического воздействия состоит из наземной панели и скважинного прибора АВ, включающего в себя генератор элек-

трических колебаний и акустический излучатель на основе пьезоэлементов [4]. Блок электроники передает на поверхность данные о мощности излучения, температуре внутри прибора и время работы излучателя. Наличие интерфейсного модуля позволяет реализовать технологию удаленного мониторинга и управления длительного акустического воздействия (ДАВ) по каналам сотовой связи [3].

В представленной работе проводилось сопоставление параметров работы скважины. Было выявлено наличие связи между коэффициентом подачи насоса ($K_{\text{под}}$) и дебитом жидкости ($Q_{\text{ж}}$).

Математической мерой корреляции послужил коэффициент корреляции R . Значения коэффициента корреляции находятся в пределах между -1 и 1 . Нуль обозначает, что зависимости между исследуемыми величинами нет.

В случае, если существует хорошая гидродинамическая связь между скважиной и пластом, то при увеличении коэффициента подачи насоса должен наблюдаться закономерный рост дебита жидкости.

Скважины, находящиеся в работе долгие годы без проведения ГТМ по очистке ПЗП, будут снижать продуктивность. Это можно наблюдать по дебиту скважины, и в том числе по такому признаку, как ухудшение функциональной взаимосвязи $Q_{\text{ж}} = f(K_{\text{под}})$, где $K_{\text{под}}$ – коэффициент подачи.

Согласно функциональной зависимости при падении дебита – коэффициент корреляции будет снижаться. В прогностических целях обычно используют величины коэффициента корреляции с $R > 0,7$, что соответствует сильной степени связи. При $R < 0,3$ степень связи отсутствует.

Анализ воздействия прибора ДАВ был проведен на 2-х скважинах Шумовского месторождения.

Скважина X (рис. 1) запущена в работу в 1994 г. с начальным дебитом нефти 4,2 т/сут. В 1995 г. дебит упал до 0,6 т/сут, а затем до 0,3 т/сут. В 2008 г. на скважине проводился гидроразрыв пласта. Дебит нефти составил 1,1 т/сут, обводненность составила 4,7 %. Далее дебит нефти стабилизировался на уровне 1,0 т/сут. ДАВ запустили в работу в январе 2013 г. с дебитом нефти 0,7 т/сут и обводненностью 2,6 %. Дебит нефти с момента запуска увеличился, и в среднем составил 1,6 т/сут. На данный момент скважина работает с дебитом нефти 1,2 т/сут, обводненность составляет 2 %.

Согласно графику зависимости дебита жидкости от коэффициента подачи скважины (рис. 2) – коэффициент корреляции составляет $R = 0,6$, что соответствует умеренной степени связи дебита от коэффициента подачи. Наблюдается эффект от ДАВ.

Шумовское месторождение
Шумовская площадь
Скважина X

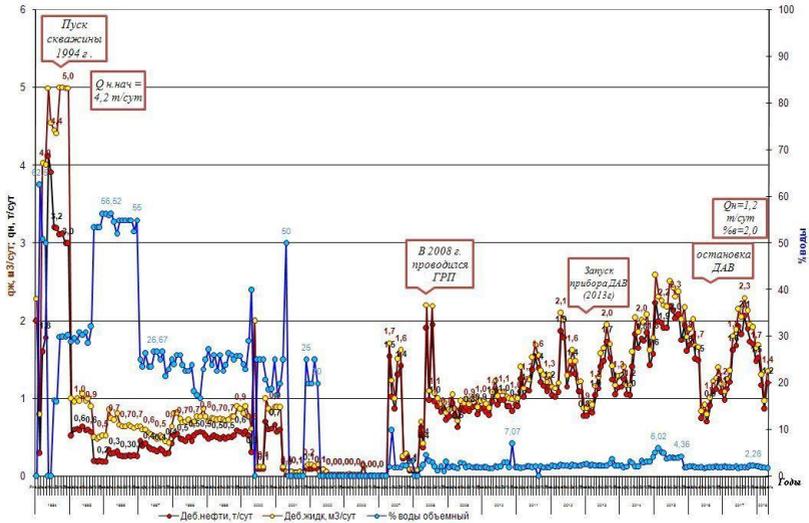


Рис. 1. Динамика показателей работы скважины X с начала эксплуатации

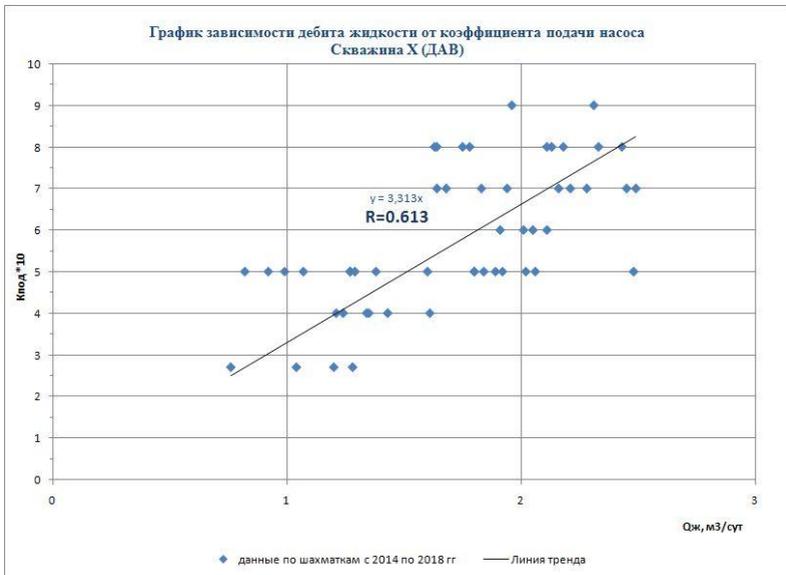


Рис. 2. График зависимости дебита жидкости от коэффициента подачи насоса

Скважина Z (рис. 3) – горизонтальная, введена в эксплуатацию в январе 1994 г. При вводе в эксплуатацию дебит по нефти составлял 6,4 т/сут, обводненность – 2 %. В 2009 г. была проведена кислотная обработка, дебит нефти вырос до 3,7 т/сут и обводненность до 30 %. В 2013 г. повторно провели кислотную обработку, дебит вырос до 5,7 т/сут, обводненность составила 20 %.

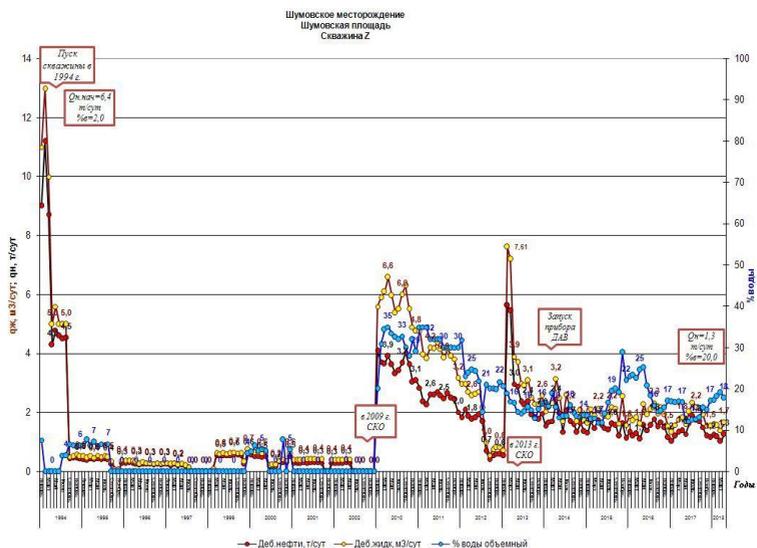


Рис. 3. Динамика показателей работы скважины Z с начала эксплуатации

В 2014 г. был запущен прибор ДАВ с дебитом нефти 1,6 т/сут и обводненностью продукции – 13 %. Далее дебит стабилизировался на уровне 1,5 т/сут и обводненность – 20 %. В настоящее время дебит нефти составляет 1,3 т/сут и обводненность – 21 %.

Коэффициент корреляции функциональной связи $Q_{ж} = f(K_{под})$ (рис. 4) составляет $R = 0$, что свидетельствует об отсутствии взаимосвязи.

На Шумовском месторождении технология показала эффективность в плане стабилизации добычи нефти в условиях низкодебитных скважин.

При выборе месторождения для внедрения технологии ДАВ следует отметить, что эффективность его применения напрямую зависит от фильтрационных и физико-химических свойств продуктивного пласта.

мический, индукционный нагреватели и т. д.) позволяет также увеличить нефтеотдачу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дрягин В. В., Кузнецов О. Л. Технология обнаружения и извлечения углеводородов на основе их реакции на волновое воздействие // Технологии ТЭК, 2003. № 5 (12).

2. Максимов Г. А., Радченко А. В. Моделирование интенсификации нефтедобычи при акустическом воздействии на пласт из скважины // Техническая акустика, <http://ejta.org>, 2003. 10.

3. Некрасов Н. И. Дистанционный контроль и управление аппаратурой длительного акустического воздействия (ДАВ), с наземным силовым ультразвуковым генератором, по сотовому телефонному каналу: Методическая разработка ООО «ПИТЦ «Геофизика», 2015.

4. Патент №2456442. Способ акустического воздействия на нефтяной пласт и устройство для его осуществления.

REFERENCES

1. Dryagin V. V., Kuznetsov O. L. Tekhnologiya obnaruzheniya i izvlecheniya uglevodorodov na osnove ikh reaktsii na volnovoe vozdeystvie [The technology of detection and extraction of hydrocarbons on the basis of their reaction to wave action]. Tekhnologii TEK. 2003. № 5 (12). (In Russian).

2. Maksimov G. A., Radchenko A. V. Modelirovanie intensivatsii nefte dobychi pri akusticheskom vozdeystvii nap last iz skvazhiny [Modeling the intensification of oil production with acoustic impact on the formation from the well]. Tekhnicheskaya akustika. URL://ejta.org, 2003, 10 (Accessed 12. 08. 2018). (In Russian).

3. Nekrasov N. I. Distantsonnyy kontrol i upravlenie apparatury dlitelnogo akusticheskogo vozdeystviya (DAV) s nazemnym silovym ultrazvukovym generatorom po sotovomu telefonnomu kanalu [Remote monitoring and control of long-term acoustic stimulation equipment (DAV) with a on-ground ultrasonic power generator via a cellular phone channel]. Metodicheskaya razrabotka OOO PITC Geofizika, 2015. (In Russian).

4. Patent number 2456442. Sposob akusticheskogo vozdeystviya na neftyanoy plast I ustroystvo dlya ego osushchestvleniya [The method of acoustic influence on the oil reservoir and the device for its implementation].

УДК 550.832

А. М. Денисов¹, А. Д. Савич², Д. Г. Халилов³

¹ ПАО «Пермнефтегеофизика». 614090, Россия,
г. Пермь, ул. Лодыгина, д. 34; e-mail: adenisov@bk.ru

² Пермский государственный национальный исследовательский
университет. 614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, д. 15;
e-mail: savich@pngf.com

³ ОАО «Когалымнефтегеофизика». 628486, Россия, г. Когалым,
ул. Геофизиков, д. 4; e-mail: Adskiykrevetko@yandex.ru

ОСОБЕННОСТИ ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН, ОБОРУДОВАННЫХ ХВОСТОВИКАМИ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ МНОГОСТАДИЙНОГО ГИДРОРАЗРЫВА ПЛАСТА

***Аннотация.** Рост тенденции заканчивания скважин при помощи незацементированных хвостовиков вызывает необходимость в привлечении технологических комплексов, которые способны выполнить доставку геофизических приборов в интервалы исследований, таких как колтюбинг. Однако данная технология является не только дорогой, но и трудоёмкой. В качестве альтернативной технологии выступает специальный комплекс, состоящий из жёсткого геофизического кабеля и насосно-компрессорных труб. Эффективность и применимость данного решения подтверждены опытом российских сервисных компаний, причём не только в случаях с хвостовиками для многостадийного гидроразрыва пласта, но и в исследованиях через байпасные системы, включающие различное оборудование.*

***Ключевые слова:** горизонтальная скважина, многостадийный гидроразрыв пласта (МГРП), колтюбинг, жёсткий геофизический кабель, «Латераль-2006».*

A. M. Denisov¹, A. D. Savich², D. G. Khalilov³

¹ Permneftegeofizika. 34 Lodygina Str., Perm 614090, Russia;
e-mail: adenisov@bk.ru

² Perm State University. 15 Bukireva Str., Perm 614990, Russia;
e-mail: savich@pngf.com

³ JSC «Kogalymneftegeofisika». 4 Geofizikov Str., Kogalym
628486 Russia; e-mail: Adskiykrevetko@yandex.ru

PECULARITIES OF LOGGING THE WELLS EQUIPPED WITH CASING LINERS FOR THE MULTISTAGE FRACTURING

***Abstract.** Increase of tendency of well completion technology using uncemented liners leads to the usage of technological complexes such as a*

© Денисов А. М., Савич А. Д., Халилов Д. Г., 2018

coiled tubing, which are capable to deliver logging tools to the interval of study. This technology is expensive and labor consuming, but certainly effective. Alternative solution presented in the paper is a special complex composed the rigid geophysical cable and pump-compression pipes. Effectiveness and applicability of this solution was proven by experience of the Russian service companies not only in a case with fracturing liners, but for work through the bypass systems including different equipment as well.

Key words: *horizontal well, multistage fracturing, coiled tubing, rigid geophysical cable, Lateral-2006.*

В последние годы закачивание горизонтальных скважин (ГС) всё больше производится путём оборудования их хвостовиками, содержащими в своём составе оборудование для проведения многостадийного гидроразрыва пласта (МГРП). По технологии хвостовиком обсаживается интервал интенсивного набора кривизны ствола скважины и горизонтальная часть (диаметр 114–102 мм), при этом разобщение отдельных интервалов разреза производится за счет установки проектного количества заколонных набухающих пакеров, которые расширяются при контакте с флюидом. Пакер внутренне имеет уступообразное строение. При этом учитывая конструктивные особенности технологических комплексов, широко применяемых для исследований ГС, такие как «Латераль», скважинные тракторы фирм «WillTec» и «UltraTRAC», существует вероятность возникновения «непрохода» приборов, либо аварийной ситуации. Отсюда следует, что вышеизложенные комплексы уступают в эффективности по проведению исследований иным технологиям, как колтубинг и жёсткий геофизический кабель (ЖГК) [1].

Особенности колтубинга

Рассмотрим особенности колтубинга на примере накопленного опыта эксплуатации оборудования в подразделениях ОАО «Когалым-нефтегеофизика». Одно из главных преимуществ технологии гибких труб состоит в возможности выполнения самостоятельной подготовки скважины к геофизическим исследованиям, для чего по стандарту, привлекается сторонняя организация и дополнительное оборудование для ремонта скважин, без учёта потенциально простоя времени. Возможность работы при избыточных устьевых давлениях, без глушения скважины, во многом также предоставляет колтубингу преимущества перед альтернативными технологиями исследования горизонтальных скважин.

В парк колтюбингового оборудования, помимо самой установки с гибкой безмуфтовой длинномерной трубой, входят: установка азотная для преобразования жидкого азота в газообразный, узел намотки гибкой трубы с вмонтированным внутрь её геофизическим кабелем, насосные установки для закачки агентов в скважину, кран подъёмный, транспортные средства для доставки жидкого азота, промывочная ёмкость, используемая для приёма и очистки технологических жидкостей. Для обвязки технологического оборудования между собой и устьем скважины в комплект включены блок превенторов, герметизатор и набор манифольдов (рис. 1).



Рис 1. Установка МК30Т

Перед проведением исследований выполняется спуск пустых гибких труб с оборудованием для проработки скважины. Затем, в зависимости от типа аппаратуры, может производиться замена барабана пустого на барабан с геофизическим кабелем. Геофизические исследования скважин (ГИС) могут выполняться при помощи кабельных и автономных геофизических приборов. Последний вариант позволяет совмещать технологические операции по проведению геофизических исследований с операциями по вызову притока флюида. Однако отсутствие возможности контроля и оценки качества регистрируемой информации и процессов, происходящих в продуктивных интервалах, не позволяет изменять режимы газлифтного способа возбуждения скважины посредством регулирования забойных давлений (депрессий) с целью получения наиболее информативных результатов ГИС.

Основными причинами, не позволяющими совместить операции по подготовке ствола скважины к проведению ГИС и их выполнению с помощью гибкой трубы с геофизическим кабелем, являются нерешенные до настоящего времени технические проблемы: отсутствие специального трубно-кабельного наконечника с обратным клапаном оптимального диаметра для прокачки азота; сложности в крепле-

нии кабеля к внутренней стенке трубы для исключения его движения и выхода из заделки коллектора за счет собственного веса и усилия, создаваемого потоком нагнетаемого газа. Отметим также, что герметизация трубы обратным клапаном может привести к её деформации гидростатическим давлением при спуске в скважину (до начала компрессирования), а попадание внутрь трубы флюида с содержанием воды к её разгерметизации («размораживания») в зимнее время.

При помощи колтюбинга проводятся исследования по байпасной технологии спуска скважинной аппаратуры в условно горизонтальный участок ствола скважины (технология Y-tool). Байпасные системы позволяют обеспечить выполнение геофизических и гидродинамических исследований на различных режимах работы электрического центробежного насоса (ЭЦН), тем самым позволяют выбирать оптимальный способ промышленной эксплуатации скважины, а также определять техническое состояние ствола от забоя до приема насоса. Вывод скважин на заданный режим эксплуатации производится посредством смены диаметров штуцеров и изменения количества оборотов вращения электродвигателя насоса, что позволяет менять условия извлечения флюида за счет изменения депрессии в продуктивном пласте и, в частности, на каждом из циркуляционных клапанов в скважинах, оборудованных хвостовиками для проведения МГРП.

Практика демонстрирует, что рассмотренная технология позволяет проводить оперативный мониторинг работы скважин с целью выполнения последующих мероприятий по выравниванию профилей притока посредством повторной интенсификации, либо изоляции обводненных интервалов горизонтальных стволов [2].

Однако высокая стоимость геофизических исследований при помощи указанного оборудования ограничивает его использование в скважинах с низкими пластовыми давлениями. В данном случае убыточность стандартной технологии возбуждения скважин посредством создания газлифта компрессором состоит в том, что первичная закачка азота приводит к поглощению скважинной жидкости продуктивными интервалами, следовательно, к обводнению продукции.

Технология исследований при помощи комбинации жёсткого геофизического кабеля и насосно-компрессорных труб малого диаметра

Альтернативной и значительно менее дорогостоящей технологией проведения ГИС в хвостовиках для МГРП является технологический комплекс в составе насосно-компрессорных труб (НКТ) диаметром 33 мм, выполняющих роль движителя и ЖГК (удлинитель). Реали-

зация технологии, получившей название «Латераль-2006», стала возможной благодаря разработке, в последнее время, образцов жёсткого геофизического кабеля, позволяющих существенно повысить проталкивающие свойства удлинителя. Для выполнения исследований данных комплексом, жёсткий геофизический кабель, оборудованный кабельным наконечником и приборной головкой специальной конструкции, наматывается на барабан большого диаметра несамостоятельного каротажного подъемника (рис. 2). Для полного сматывания его с барабана при спуске в скважину и фиксации приборной головки элеватором на устье скважины, барабан оснащен отрезком стандартного геофизического кабеля, механически и электрически соединенного с ЖГК – транспортный кабель. Этим же кабелем, в обратном порядке, производится транспортировка кабеля на барабан подъемника. Проталкивание приборов к забоям производится при помощи набора насосно-компрессорных труб расчетной длины с условным диаметром 33 мм (двигатель, рис. 3), которые располагают над отрезком ЖГК. Связь с удлинителем и, соответственно, с прикрепленным к нему геофизическим прибором производится по стандартной схеме с использованием устройства электрической связи («мокрый контакт»), неподвижная (трубная) часть которого на устье соединяется с приборной головкой жесткого геофизического кабеля.



Рис. 2. Технологическое оборудование несамостоятельного каротажного подъемника

Дополнительным фактором, позволяющим успешно доставлять приборы в хвостовики, является их относительно небольшой диаметр, что при соотношении размеров технологического комплекса способствует ограничению пружинящих свойств кабеля, вызванных остаточной деформацией. В связи с существованием последнего явления исполь-

зуется небольшой отрезок кабеля, большая часть которого при подходе прибора к забою располагается в хвостовике, а проталкивающее усилие создаёт практически не деформируемый движитель.

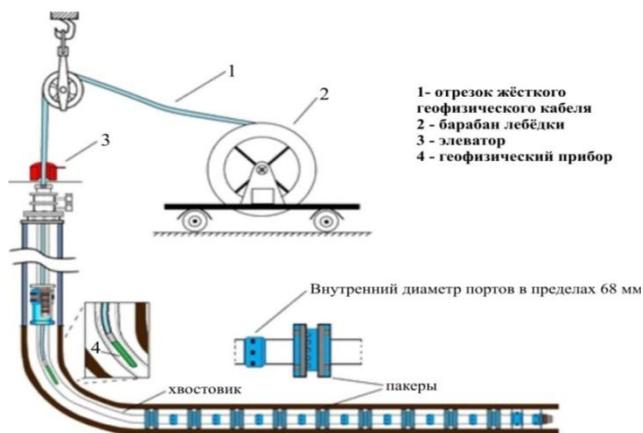


Рис. 3. Схема спуска прибора в хвостовик для производства многостадийного гидроразрыва пласта

Технология «Латераль-2006» позволяет производить ГИС не только под электроцентробежным, в том числе и по технологии Y-tool, но и под штанговым глубинным насосом (ШГН). Важным преимуществом технологии является отсутствие необходимости производить доставку скважинной аппаратуры к забоям через насосно-компрессорные трубы, что снимает ограничения по величине диаметра приборов. Это позволяет применять жёсткие центраторы для геофизических приборов, способствующие дистанцированию датчиков от стенок колонны, что гарантирует высокое качество регистрируемых данных.

Заключение

Из всего набора существующих технологических комплексов, как зарубежных, так и отечественных, выполнять доставку приборов к забоям горизонтальных скважин, оборудованных хвостовиками для МГРП возможно только с помощью колтюбинговых установок или альтернативных решений, аналогичных «Латераль-2006». Вопрос выбора между изложенными технологиями разрешается специфическими особенностями геологического разреза и финансовым соотношением расходов и доходов, полученным от добытого сырья. Привлечение

экспериментальных методов заканчивания скважин способствует мобилизации научного потенциала для экономии производственных ресурсов, а также повышению объёмов и качества продукции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каталог услуг ГИС и ПВР. Шлюмберже. URL: docplayer.ru/26180544-Katalog-uslug-gis-i-pvr.html.

2. Яруллин. Р. К., Валиуллин А. С., Валиуллин М. С., Тихонов И. Н., Асмандияров Р. Н., Назаргалин Э. Р. Проведение геофизических исследований в горизонтальных скважинах с многостадийными гидроразрывами пласта с применением технологии Y-tool // Нефтяное хозяйство, 2015. № 1. С. 62–65.

REFERENCES

1. *Katalog uslug GIS i PVR* [Wireline Services Catalogue]. Schlumberger. URL: docplayer.ru/26180544-Katalog-uslug-gis-i-pvr.html. (Accessed 12.09.2018)

2. *Yarullin R. K., Valiullin A. S., Valiullin V. C., Tikhonov I. N., Asmandiyarov R. N., Nazargalin T. R.* Provedenie geofizicheskikh issledovaniy v gorizontalnykh skvazhinakh s vyujcnflbqysv gidrorazryvom plasta s primeneniem tekhnologii Y-tool [Geophysical research in the horizontal wells with multistage hydraulic fracturing using the Y-tool technology]. *Neftyanoe khozyaystvo*. 2015. № 1. Pp. 62–65. (In Russian).

УДК 550.8.053

А. С. Долгаль

Горный институт УрО РАН.

614007, Россия, г. Пермь, ул. Сибирская, д. 78а;

Пермский государственный национальный

исследовательский университет.

614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15; e-mail: dolgal@mi-perm.ru

КРИТЕРИИ ОПТИМАЛЬНОСТИ В ОБРАТНОЙ ЗАДАЧЕ ГРАВИРАЗВЕДКИ (НА ПРИМЕРЕ МОНТАЖНОГО МЕТОДА)

Аннотация. Рассмотрен монтажный метод решения обратной задачи гравirazведки как пример реализации жадных алгоритмов. Показана возможность использования различных критериев локальной оптимизации в итерационном процессе моделирования источников поля, что обеспечивает расширение множества допустимых решений.

Ключевые слова: гравirazведка, обратная задача, монтажный метод, жадный алгоритм, оптимальность, решение.

A. S. Dolgal

Mining Institute UB RAS. 78a Sibirskaya Str., Perm 614007, Russia;

Perm State University. 15 Bukireva Str., Perm 614990, Russia;

e-mail: dolgal@mi-perm.ru

**CRITERIA OF OPTIMISATION WITH INVERSION
OF THE GRAVITATIONAL FIELD (ON THE EXAMPLE
OF THE MONTAGE METHOD)**

Abstract. *The montage method of inverse gravity problem solving is considered as an example of implementation of greedy algorithms. The possibility of using various criteria of local optimization in the iterative process of modeling the field sources is shown that provides an expansion of the set of admissible solutions.*

Key words: *gravity prospecting, inverse problem, montage method, greedy algorithm, optimality, solution.*

Монтажный метод решения обратной задачи гравизразведки, предложенный в середине 1970-х годов В. Н. Страховым и А. В. Овчаренко, развитый в работах П. И. Балка и др., базируется на единстве сеточного (конечноэлементного) описания геологического пространства и специализированного метода минимизации невязки ε наблюдаемого и модельного полей (библиографию можно найти в [3]). В модификации регулируемой направленной кристаллизации (РНК) на каждом i -м шаге итерационного процесса осуществляется присоединение одного элемента замощения к ранее построенной модели источников Ω_{i-1} . При этом необходимо выполнение двух условий: соблюдение всех априорных ограничений «геометрического характера» для новой модели Ω_i и обеспечение минимальной величины ε . Значения эффективной плотности возмущающих тел, наряду с ε , являются оптимизируемыми параметрами. Таким образом, за некоторое число итераций k происходит построение резульативной интерпретационной модели геоплотностного разреза Ω_k , которая является последней в ряду монотонно увеличивающихся по объему (площади) моделей $\Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_k$.

Алгоритм РНК, как и другие модификации монтажного метода, относится к т.н. жадным алгоритмам (greedy algorithms), в которых на каждом этапе выбирается локально-оптимальное решение поставленной задачи, что позволяет в итоге предположить оптимальность конечного результата [5]. Жадные алгоритмы в настоящее время широко применяются в вычислительной практике. Одной из самых известных задач, которые могут быть решены на основе жадных алгоритмов, яв-

ляется задача коммивояжера (travelling salesman problem) – поиск самого выгодного маршрута, проходящего через указанные города с последующим возвратом в пункт отправления [4]. В условиях задачи формулируются критерии оптимальности маршрута (самый короткий, наименее затратный и т.п.).

Даже при относительно небольшом числе городов (от 66) задача коммивояжера не может быть решена методом перебора вариантов (это т.н. трансвычислительная задача, требующая обработки более 10^{93} бит информации, время ее решения на сверхмощном компьютере достигает нескольких миллиардов лет). Поэтому для построения квазиоптимального по суммарному расстоянию маршрута коммивояжеру достаточно переезжать в ближайший от него город, не задумываясь о всех возможных вариантах пути до конечной точки. Такой пошаговый выбор посещаемых городов, представляющий собой реализацию жадного алгоритма, не представляет вычислительных трудностей, однако при этом общая протяженность маршрута может превысить минимально возможную.

В монтажном методе решения обратной задачи гравиразведки, как и в большинстве других, величина невязки полей ε определяется в евклидовой метрике, предполагающей нормальный закон распределения помехи в интерпретируемом поле. Однако в реальности статистический закон распределения помехи всегда неизвестен, что позволяет использовать другие метрики для оценки ε . Такой опыт в математической геофизике уже был: различные функционалы качества F минимизировались Е. Г. Булахом в методе автоматизированного подбора источников гравитационных аномалий [1]. Если проводить аналогию с задачей коммивояжера, то разные структуры функционалов F отвечают различным расстояниям между городами для автомобильного, железнодорожного, водного и др. видов транспорта, что неизбежно влияет на выбор маршрута.

На примере аномалии силы тяжести, обусловленной 2D многоугольной призмой, выполнено сравнение алгоритма РНК и метода А. В. Овчаренко. В последнем считается известной аномальная масса возмущающего объекта. Полученные результаты позволили использовать метод А. В. Овчаренко для проведения вычислительных экспериментов. В ходе этих экспериментов в итерационном процессе апробировались шесть различных функционалов F , использующихся для оценки близости ε исходного и модельного полей. В роли невязки выступают средний квадрат разности (F_0), средняя сумма модулей разности (F_1), максимальное отклонение (F_2). При сопоставлении полей также применялись меняющиеся в ходе итерационного процесса весо-

вые коэффициенты (F_3) и предварительное логарифмирование параметров (F_4). Для подавления мультипликативной помехи минимизировалось максимальное отношение амплитуд полей во всех точках измерений (F_5).

Результаты решения обратной задачи при использовании различных функционалов качества приведены на рисунке, а сведения о достигнутых значениях невязки – в таблице. Во всех комбинациях выбора критерия локальной оптимальности текущего приближения и выбора метрики, в которой оценивается относительное значение невязки, последнее колеблется в пределах от 1 % до 7 %. Следует отметить, что совершенно неожиданно меньшее значение итоговой невязки в евклидовой метрике может быть достигнуто при работе с функционалами, рассчитанным на иной тип невязки.

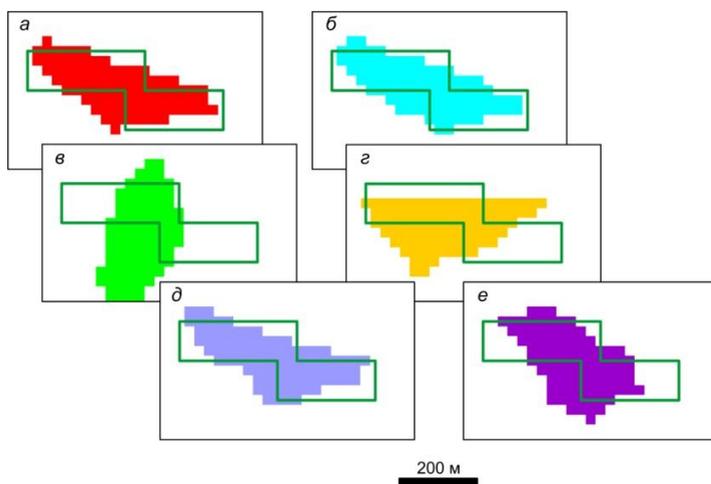


Рис. Результаты решений обратной задачи гравirazведки с использованием разных функционалов качества:
a – F_0 ; *б* – F_1 ; *в* – F_2 ; *г* – F_3 ; *д* – F_4 ; *е* – F_5 .
 Примечание: зеленый контур – аномалиеобразующая призма

Таблица

Значения невязки исходного и модельного полей

Тип функционала	F_0	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5
Значение	0,0041 мГал	0,0037 мГал	0,0465 мГал	0,0193 мГал	0,0216	0,0678

В результате исследований установлено, что применение различных типов функционалов локальной оптимизации в монтажных технологиях является вполне допустимым. Это позволяет в дальнейшем создать новый набор алгоритмов, расширяющих множество допустимых решений обратной задачи при одном и том же начальном приближении, что необходимо для реализации аддитивных технологий количественной интерпретации данных гравиразведки [2]. Следует заметить, что совместное использование функционалов качества вида F_0 – F_5 позволяет осуществлять подавление самых разнообразных видов помех в исходных данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Булах Е. Г. Прямые и обратные задачи гравиметрии и магнитометрии. Киев: Наукова думка. 2010. 463 с.
2. Долгаль А. С. Повышение эффективности моделирования источников гравитационных аномалий // Теория и практика разведочной и промысловой геофизики. Пермь, ПГНИУ, 2016. С. 106–110.
3. Долгаль А. С., Балк П. И., Демнев А. Г., Мичурин А. В., Новикова П. Н., Рашидов В. А., Христенко Л. А., Шархимуллин А. Ф. Использование метода конечных элементов при интерпретации данных гравиразведки и магниторазведки // Вестник КРАУНЦ, 2012. Т. 1. № 19. С. 108–127.
4. Крилли Тони. Математика. 50 идей, о которых нужно знать. Пер. с англ. Ш. Мартыновой. М.: Фантом Пресс, 2015. 208 с.
5. Новиков Ф. А., Поздняков С. Н. Жадные алгоритмы // Компьютерные инструменты в образовании, 2005. № 2. С. 49–58.

REFERENCES

1. Bulah E. G. Pryamyie i obratnye zadachi gravimetrii i magnitometrii [Forward and inverse problems of gravity and magnetometry]. Kiev. Naukova dumka. 2010. 463 p. (In Russian).
2. Dolgal A. S. Povyshenie effektivnosti modelirovaniya istochnikov gravitatsionnykh anomalii [Increasing the effectiveness of gravity anomalies sources modeling]. In: Teoriya i praktika razvedochnoy i promyslovooy geofiziki. Perm, PSU, 2016. Pp. 106–110. (In Russian).
3. Dolgal A. S., Balk P. I., Demenev A. G., Michurin A. V., Novikova P. N., Rashidov V. A., Hristenko L. A., Sharhimullin A. F. Ispolzovanie metoda konechnykh ehlementov pri interpretacii dannykh gravirazvedki i magnitorazvedki [Use of finite element method for gravity and magnetic data interpretation]. Vestnik KRAUNC, 2012. T. 1. № 19. Pp. 108–127. (In Russian).
4. Crilly Tony. 50 Mathematical Ideas You Really Need to Know. Quercus. 2015. 208 p. (In Russian).
5. Novikov F. A., Pozdnyakov S. N. Zhadnye algoritmy [Greedy algorithms]. Kompyuternye instrumenty v obrazovanii, 2005. № 2. Pp. 49–58. (In Russian).

УДК 550.379

А. А. Зубриков¹, В. П. Колесников^{1,2}

¹ ООО «НПО Уралгеополе». 614000, Россия, г. Пермь, ул. Героев Хасана, д. 68, e-mail: za@uralgeopole.ru,

² Пермский государственный национальный исследовательский университет. 614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15; e-mail: vp@uralgeopole.ru

КОНТРОЛЬ ЦЕЛОСТНОСТИ ПЛЕНОЧНОГО ПОКРЫТИЯ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПРОМСТОКОВ МЕТОДАМИ ЭЛЕКТРОМЕТРИИ

Аннотация. Рассмотрена технология выявления мест нарушенности геомембраны, основанная на использовании методов электрометрии. Исследованы возможности применения разных методов полевых наблюдений с использованием аппаратурно-программного комплекса АМС-ЗОНД при решении различных задач.

Ключевые слова: геомембрана, противодиффузионный экран, групповое профилирование, экология, технология, встречные установки, оборудование.

А. А. Zubrikov¹, V. P. Kolesnikov^{1,2}

¹ NPO Uralgeopole. 68 Geroev Khasana Str., Perm 614000, Russia; e-mail: za@uralgeopole.ru

² Perm State University. 15 Bukireva Str., Perm 614990, Russia; e-mail: vp@uralgeopole.ru

INTEGRITY MONITORING OF AN INDUSTRIAL WASTE WATER TREATMENT PLANTS POND LINER BY ELECTROMETRY METHODS

Annotation. The technology of leak detection in the wastewater pond liner based on the use of resistivity methods is considered. The feasibility of various methods of field operation using the AMS-ZOND hardware and software for solution of various problems was analyzed.

Keywords: liner, anti-filtration screen, group profiling, ecology, technology, counter installations, equipment.

Одной из актуальных экологических проблем в настоящее время является поиск способов и приемов контроля состояния объектов и сооружений складирования промышленных и бытовых отходов (шла-

мохранилищ, хвостохранилищ, свалок и т.п.), для снижения загрязнения окружающей среды и, соответственно, обеспечения безопасной жизнедеятельности человека.

В данной работе рассмотрена одна из разработанных технологических решения данных проблем, основанная на использовании методов электрометрии и опыт практического ее применения при обследовании ряда объектов.

Перспективность применения электрометрии в решении данных проблем связана с достаточно высокой чувствительностью электропроводности к различного рода загрязнителям (водные растворы, химические растворы, углеводороды и т.п.), относительной простоте методик наблюдений и экономической эффективности производства работ.

В качестве электрометрических методов использованы метод комбинированного электропрофилирования (КЭП) и метод группового профилирования (ГП), являющийся модификацией метода группового зондирования [4]. Реализация методов была выполнена на основе использования современного аппаратно-программного комплекса АМС-1 [1]. Для метода ГП дополнительно использован коммутатор СОМГЗ-48 и многоэлектродная установка в виде косы. Обработка и интерпретация результатов съемки осуществлялась с помощью системы программ «ЗОНД», а также программы обработки материалов КЭП, разработанных в ООО «НПО Уралгеополе». Данные программные средства позволяют получать графики и карты различных информационных параметров (градиента потенциала, кажущихся сопротивлений (ρ_k) и их трансформант), осуществлять контроль и визуализацию наблюдаемых и получаемых в результате интерпретации параметров.

Теоретическое обоснование возможности выявления участков нарушения целостности противofильтрационного пленочного покрытия основано на особенностях поведения электрического поля на поверхности двумерной слоистой модели среды с включением пленочного экрана [2, 3]. Всякие нарушения целостности полиэтиленового экрана, являющегося изолятором для электрического тока, ведет к перераспределению плотности тока на этих участках и, как следствие, к появлению локальных аномалий электрического поля и поля кажущихся сопротивлений.

Для повышения надежности геофизических заключений с помощью физического моделирования был апробирован ряд методик наблюдений, включающих метод срединного градиента с поверхностным и погруженным источником поля, а также метод комбинированного электропрофилирования. В результате анализа результатов моде-

лирования определены информационные возможности каждого из апробированных методов, установлена возможная величина и особенности поведения аномального поля, связанного с нарушением пленочного экрана, оценены соотношения сигнал-помеха. В качестве основных диагностических признаков нарушения целостности пленочного покрытия были выбраны следующие три критерия: а) аномально пониженные значения кажущегося сопротивления; б) резкие расхождения значений прямой и встречной измерительной установок метода КЭП; в) наличие, так называемого, «рудного» пересечения графиков прямой и встречной установок, возникающего над проводящими телами, – в данном случае над токопроводящей зоной, образующейся на участках нарушения пленочного экрана. Способы определения и визуализации этих критериев были положены в основу программ обработки результатов полевых работ.

Рассмотрим результат применения данной технологии на примере одного из обследованных участков. Работы проводились в два этапа. На первом выполнялась съемка градиента потенциала прямой и встречной измерительными установками по сети профилей, проходящих параллельно продольной оси чаши при плотности наблюдений 5×5 м. На втором этапе проводились детализационные работы по выявленным аномальным участкам с целью локализации и определения природы выделенных аномалий. Плотность детализационных наблюдений составляла 1×2 м. При детализационных работах применялся метод группового электропрофилеирования. Общее число физических точек наблюдений с учетом контрольных измерений составило более 1500. Выполнение полевой съемки заняло в общей сложности 3 дня.

По результатам наблюдений методом КЭП были построены графики кажущихся сопротивлений (рис. 1) для прямой и встречной измерительных установок, отображающие характерные проявления возможных нарушений пленочного покрытия.

Анализ поля кажущихся сопротивлений с учетом результатов физического моделирования показал, что значения данного параметра в пределах исследуемого участка меняются в достаточно широких пределах – от 100 до 6000 Ом·м, отображая неоднородность состава и физического состояния исследуемого объекта. Для повышения информативности визуализации результатов наблюдений был использован коэффициент контрастности k , характеризующий степень аномальности результатов измерений

$$k = \frac{2 \cdot (\rho_{k,AMN} - \rho_{k,MNB})}{(\rho_{k,AMN} + \rho_{k,MNB})} \cdot 100\% ,$$

где $\rho_{k,AMN}$ и $\rho_{k,MNB}$ – значения кажущегося сопротивления, измеренные соответственно прямой и встречной установками.

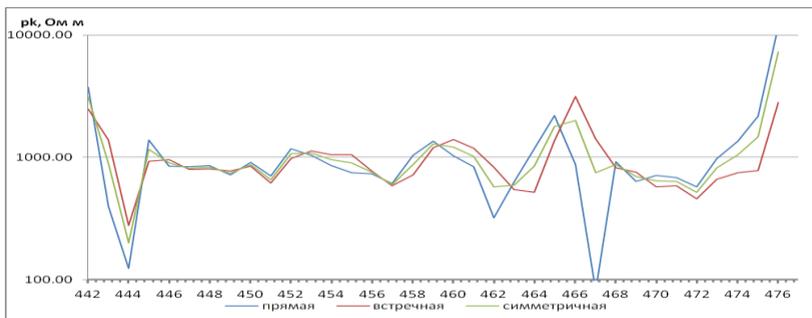


Рис. 1. Графики кажущегося сопротивления для прямой, встречной и симметричной четырехэлектродной измерительных установок

Карта коэффициента контрастности (рис. 2) показывает, что большая часть исследуемого участка характеризуется фоновыми значениями поля, соответствующего уровню погрешности наблюдений.

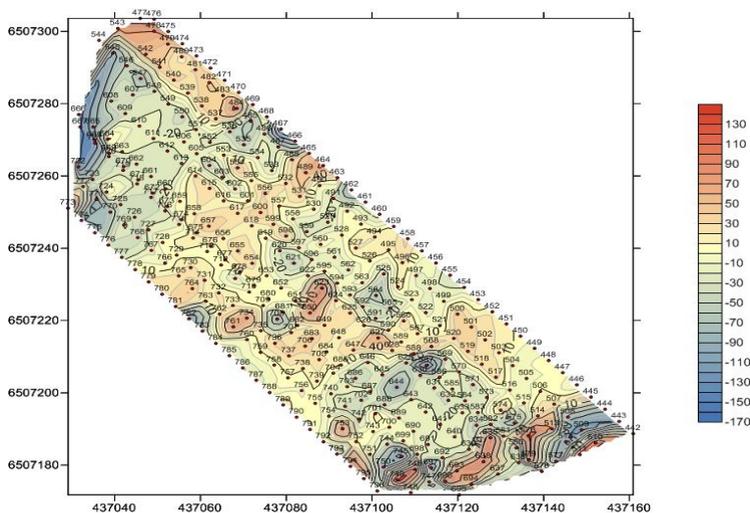


Рис. 2. Карта коэффициента контрастности

Учитывая многофакторный характер природы повышенной аномальности поля, для выявления участков возможного порыва пленочного покрытия использован ряд дополнительных критериев, выделенных по результатам комплексной интерпретации материалов КЭП, совместный анализ которых позволил уточнить полученные результаты и наметить детализационные участки для заверочной съемки методом ГП.

В итоге выполненных геофизических работ выделено пять аномальных зон, отвечающих по совокупности признаков участкам возможного нарушения целостности пленочного экрана. Контрольные раскопки в трех случаях, выполненные в районе отмеченных аномальных зон, подтвердили наличие порывов и точечного повреждения пленочного покрытия, в остальных случаях аномалии оказались связанными с участками резкого переувлажнения грунтов.

Данная технология успешно апробирована при обследовании нескольких объектов при решении задач, связанных с контролем целостности пленочного экрана на Калийном комбинате, полигоне ТБО, Золотодобывающем руднике, показав перспективность ее использования. В целом, применение данной технологии показало информативность получаемых результатов и высокую оперативность выполнения работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент на полезную модель. Аппаратурно-программный комплекс для геоэлектроразведки. Авторы: Алпатов С. А., Батяев И. М., Зеленин В. П., Карпов С. Б., Колесников В. П., Мельников А. К., Татаркин А. В. № 97542 от 10.09.2010.
2. *Блох И. М.* Электропрофилирование методом сопротивлений. М.: Недра, 1971. 216 с.
3. *Вешев А. В.* Электропрофилирование на постоянном и переменном токе. Л.: Недра, 1980. 392 с.
4. *Колесников В. П., Ласкина Т. А., Артемьев Д. А.* Многоэлектродные электрические зондирования с использованием инверсионной установки // Инженерные изыскания, 2016. № 2. С. 54–59.

REFERENCES

1. Patent napoleznuyu model. Apparaturno-programnyy kompleks dlya geoelektrozvedki [The patent for useful model. Hardware and software complex for geo-electrical exploration]. Alpatov S. A., Bataev I. M., Zelenin V. P., Karpov S. B., Kolesnikov V. P., Melnikov A. K., Tatarkin A. V. No. 97542 from 10.09.2010. (In Russian).
2. *Bloch I. M.* Elektroprofilirovanie metodom soprotivleniy [Resistivity Profiling]. M.: Nedra, 1971. 216 p. (In Russian).

3. Veshev A. V. Elektroprofilirovanie na postoyannom i peremennom toke [Electrical profiling on constant and alternating current]. L.: Nedra, 1980. 392 p. (In Russian).

4. Kolesnikov V. P., Laskina T. A., Artemyev D. A. Mnogoelektroodnye elektricheskie zondirovaniya s ispolzovaniem inversionnoy ustanovki [Multi-electrode sounding using inversion device]. Inzhenerhye izyskaniya, 2016. No. 2. Pp. 54–59. (In Russian).

УДК 550.831

В. А. Казанцев², В. И. Костицын¹, С. А. Шихов²

¹Пермский государственный национальный исследовательский университет. 614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15;

e-mail: kostitsyn@psu.ru

² г. Пермь

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ПРОДОЛЖЕНИЕ АНОМАЛИЙ НА ОСНОВЕ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ЗАМЕНЫ СЛОЖНОГО ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ

***Аннотация.** Рассмотрен способ аналитического продолжения на основе эквивалентной замены сложного гравитационного поля суммой полей однородного горизонтального цилиндра и его неоднородного аналога. Возможности способа показаны на теоретическом примере, который дал хорошие результаты.*

***Ключевые слова:** гравитационное поле, нормирование, аналитическое продолжение, горизонтальный цилиндр бесконечного простираня, эквивалентная замена.*

V. A. Kazantsev², V. I. Kostitsyn¹, S. A. Shikhov²

¹ Perm State University. 15 Bukireva Str., Perm 614990, Russia;

e-mail: kostitsyn@psu.ru

² Perm

ANALYTIC ANOMALIES CONTINUATION BASED ON EQUIVALENT REPLACEMENT OF A COMPLEX GRAVITY FIELD

***Abstract.** We consider a method of analytical continuation of the complex gravimetric field. The method is based on the equivalent replacement of a*

complex field by the sum of the fields of a homogeneous horizontal cylinder and its inhomogeneous analogue. The possibilities of the method are shown with the theoretical example, which shown the good results.

Keywords: *gravimetric field, normalization, analytic continuation, horizontal cylinder of infinite length, equivalent replacement.*

При интерпретации гравитационных аномалий необходимо знать плотность не только горных пород, представляющих поисковый интерес, но и вмещающих пород [2, 3]. Для сведения к минимуму трудностей такого рода в работах [1, 4, 5] рассмотрен способ нормирования геофизических аномалий, вызванных двухмерными объектами. Для нормирования аномалий следует разделить функцию, которой описывается аномалия, на одно из каких-либо значений функции, или на производную от этой функции. Поскольку все значения функции и значения производных в одинаковой степени зависят от плотности пород, то в результате такого деления должна получаться единица, т. е. влияние плотности горных пород исключается. Как показали исследования, нормирование гравитационных аномалий с целью определения глубины залегания источников целесообразно выполнять по их максимальной величине.

Рассмотрим способ аналитического продолжения, основанный на эквивалентной замене сложного (неоднородного) гравитационного поля суммой полей однородного горизонтального цилиндра и его неоднородного аналога.

Покажем, что любую сглаженную аномалию, стремящуюся к нулю при $x \rightarrow \infty$ и не содержащую вторых максимумов, особенно на периферии, можно выразить суммой слагаемых

$$V_Z(x, 0) = 2Gs\sigma \frac{z_0}{x^2 + z_0^2} + 2Gs\Delta\sigma(x) \frac{z_0}{x^2 + z_0^2}, \quad (1)$$

где s – поперечное сечение цилиндра, G – аномальная плотность.

В формуле (1) первый член представляет собой гравитационный эффект горизонтального однородного цилиндра, а второй – гравитационное действие его неоднородного аналога.

После нормирования получим

$$V_Z(x, 0) = E \frac{z_0}{x^2 + z_0^2} + \frac{E\Delta\sigma(x)}{\sigma} \frac{z_0}{x^2 + z_0^2} = EP(x) + E \frac{\Delta\sigma(x)P(x)}{\sigma}. \quad (2)$$

Можно показать, что

$$\frac{\Delta\sigma(x)}{\sigma} = \frac{\Delta V_Z(x, 0)}{V_Z(x, 0)_{Ц}} = K_H, \quad (3)$$

где $V_Z(x, 0)_{Ц}$ – вертикальная составляющая притяжения горизонтального цилиндра, K_H – коэффициент неоднородности.

Действительно, если перенести в левую часть первое слагаемое в уравнении (2) и разрешить его относительно $\frac{\Delta\sigma(x)}{\sigma}$, то будем иметь соотношение (3).

Предлагаемый способ предусматривает аппроксимацию аномалий силы тяжести гравитационным полем однородного кругового цилиндра бесконечного простираия и полем его неоднородного аналога, поэтому сначала рассмотрим более подробно нормированную функцию для однородного цилиндра.

Данную нормированную функцию $P(x)$ выражает равенство, представленное в работе [1],

$$P(x) = E \frac{z_0^2}{x^2 + z_0^2}.$$

Наиболее полно нормированная функция $P(x)$ описывает последовательность значений в точках x , которые являются кратными глубине (h) залегания его центра (таблица).

Таблица

Значения нормированной функции, вертикальной составляющей и других параметров при $h = 4$ км и $E = 4$ мГал

1	x	0	$0,5h$	h	$1,5h$	$2h$	$2,5h$	$3h$	Примечание
2	$P(x, 0)$	1,00	0,80	0,50	0,30	0,20	0,15	0,10	На земн. поверхн. $Z_0 = 0$
3	x	0	$0,25h$	$0,5h$	$0,75h$	$1,0h$	$1,25h$	$1,5h$	
4	$P(x, z_0)$	1,00	0,80	0,50	0,30	0,20	0,15	0,10	На глуб. $Z_0 = 2$ км
5	$V_Z(x, 0)$	4,00	3,20	2,00	1,20	0,80	0,60	0,40	$Z_0 = 0$
6	$V_Z(x, z_0)$	8,00	6,40	4,00	2,40	1,60	1,20	0,80	$Z_0 = 2$ км
7	$V_Z(x, 0)$, <i>м.п.</i>	2,0	1,80	1,41	1,10	0,90	0,70	0,63	Матер. полоса, $Z_0 = 0$

Продолжение таблицы

8	$V_Z(x, z_0), \text{ м.п.}$	4,00	3,57	2,83	2,20	1,80	1,40	1,21	Матер. поло- са, $Z_0 = 2 \text{ км}$
9	x	0	$0,5h$	h	$1,5h$	$2h$	$2,5h$	$3h$	
10	Коэфф. неодн. K_H	0,50	0,56	0,70	0,90	1,10	1,25	1,60	На земн. поверхн. $Z_0 = 0$
11	$V_Z(x, 0)$	6,00	4,99	3,40	2,29	1,68	1,35	1,04	По формуле (2)
12	x	0	$0,25h$	$0,5h$	$0,75h$	$1,0h$	$1,25h$	$1,5h$	
13	Коэфф. неодн. K_H	0,50	0,56	0,70	0,90	1,10	1,25	1,60	$Z_0 = 2 \text{ км}$
14	$K_H V_Z(x, z_0)_H$	4,00	3,84	2,80	2,16	1,76	1,50	1,28	$Z_0 = 2 \text{ км}$
15	$V_Z(x, z_0)$	12,0 0	10,12	6,80	4,56	3,46	2,41	2,11	
16	$\sum(V_Z)_H$ + $(V_Z)_{\text{м.п.}}$	12,0 0	10,00	6,83	4,60	3,40	2,50	2,02	

Соответствующие значения нормированной функции $P(x, 0)$ даны в строке 2, а значения $P(x, z_0)$ на глубине $Z_0 = 2 \text{ км}$ приведены в строке 4. Они точно такие же, как и на земной поверхности, но при этом интервал наблюдения сократился в два раза.

Как было показано в работе [1], однородный цилиндр сохраняет свои свойства на разных уровнях наблюдений через свою нормированную функцию. Точно также сохраняет свою неоднородность (через коэффициент K_H) на разных уровнях **неоднородный цилиндр** через конкретный символ этой неоднородности (K_H).

Рассмотрим справедливость такого утверждения на конкретном примере. Предположим, что на гравитационное **поле однородного цилиндра** наложилось **поле материальной полосы**

$$V_Z(x, 0) = \frac{G\mu\pi z_0}{2\sqrt{x^2 + z_0^2}}, \quad (4)$$

где μ – поверхностная плотность, $Z_0 = 4 \text{ км}$ – глубина залегания материальной полосы.

Как видим, формула (4) является аналогом известной формулы для расчета гравитационного поля материальной полосы. Отличие только в том, что градусная мера здесь заменена радианной.

Значения, рассчитанные по формуле (4), приведены в таблице (строка 7). Данные величины, наложенные на поле $V_Z(x, 0)$ цилиндра, создают неоднородность гравитационного поля. Такое сложное неоднородное гравитационное поле можно заменить суммой двух слагаемых (2). С целью подобной замены вычислим коэффициенты неоднородности на уровне $Z_0 = 0$, полученные значения приведены в строке 10.

Подставим вычисленные коэффициенты в формулу (2) вместо отношения $\frac{\Delta\sigma(x)}{\sigma}$. После несложных расчетов убеждаемся, что такая замена действительно эквивалентная, так как вычисленные значения $V_Z(x, 0)$ по формуле (2) практически равны значениям $V_Z(x, 0)$ сложного неоднородного поля (см. строки 11 и сумму значений в строках 5 и 7).

Определение величины степени неоднородности K_H на уровне $Z_0 = 0$ дано в строке 10, а в строке 12 показано, что степень неоднородности сохраняется полностью и на уровне $Z_0 = 2$ км, но при этом шаг (интервал) наблюдений уменьшается в два раза.

Для нахождения суммарного поля (аналитическое продолжение $V_Z(x, z_0)$) необходимо в каждой точке x определить: какую часть в суммарное поле вносит неоднородная часть цилиндра и его однородная часть. Влияние неоднородной части определяем путем умножения $V_Z(x, z_0)_{Ц}$ на коэффициент неоднородности K_H (значения даны в строках 6 и 14) и прибавляем к этой величине ($K_H V_Z(x, z_0)_{Ц}$) аналитически продолженное значение $V_Z(x, z_0)_{Л}$. Результаты суммирования приведены в строке 15. Они хорошо контролируются путем сложения $V_Z(x, z_0)_{Ц}$ и $V_Z(x, z_0)_{М.П.}$ (строка 16).

Таким образом, сопоставление значений вертикальной составляющей силы притяжения в строках 15 и 16 показывает, что каких-либо заметных расхождений не наблюдается. Это является доказательством того, что предлагаемый способ аналитического продолжения аномалий силы тяжести, основанный на эквивалентной замене сложного гравитационного поля суммой полей однородного горизонтального цилиндра и его неоднородного аналога, является достаточно простым и дает хорошие результаты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Казанцев В. А., Костицын В. И., Шихов С. А. Применение нормированной функции для аналитического продолжения аномалий и глубины контактной поверхности // Геология и полезные ископаемые западного Урала, 2018. Вып. 1 (38). С. 174–178.

2. *Маловичко А. К.* Методы аналитического продолжения аномалий силы тяжести. М.: Гостоптехиздат, 1956. 160 с.

3. *Маловичко А. К., Костицын В. И.* Гравиразведка: учебник для вузов. М.: Недра, 1992. 357 с.

4. *Шихов С. А., Каракулов В. А.* Определение элементов залегания возмущающих объектов с помощью нормирования геофизических аномалий // Геофизические методы поисков и разведки месторождений нефти и газа. Пермь, Перм. ун-т, 2001. № 19 (33). С. 47–53.

5. *Шихов С. А., Казанцев В. А., Костицын В. И.* Применение нормированных функций при аналитическом продолжении трехмерных аномалий силы тяжести // Вестник Пермского университета. Геология. Пермь, Перм. ун-т, 2010. Вып. 1 (9). С. 58–62.

REFERENCES

1. *Kazantsev V. A., Kostitsyn V. I., Shikhov S. A.* Primenenie normirovannoy funktsii dlya analiticheskogo prodolzheniya anomalii i glubiny kontaktnoy poverkhnosti [The use of the normalized function for the analytic continuation of anomalies and depths of the contact surface]. *Geologiya i poleznye iskopaemye zapadnogo Urala*. Perm, 2018. Issue 1 (38). Pp. 174–178. (In Russian).

2. *Malovichko A. K.* Metody analiticheskogo prodolzheniya anomalii sily tyazhesti [Methods of analytical continuation of gravity anomalies]. Moscow: Gostoptehizdat, 1956. 160 p. (In Russian).

3. *Malovichko A. K., Kostitsyn V. I.* Gravrirazvedka [Gravimetry]. Moscow. Nedra, 1992. 357 p. (In Russian).

4. *Shikhov S. A., Karakulov V. A.* [Opredelenie elementov zaleganiya vozmushchayushchikh obektov s pomoshchyu normirovaniya geofizicheskikh anomalii [Determination of anomalous objects occurrence by means of normalization of geophysical anomalies]. *Geofizicheskie metody poiskov i razvedki mestorozhdenij nefiti i gaza*. Perm. Perm State University, 2001. № 19 (33). Pp. 47–53. (In Russian).

5. *Shikhov S. A., Karakulov V. A., Kostitsyn V. I.* Primenenie normirovannykh funktsiy pri analiticheskom prodolzhenii trekhmernykh anomalii sily tyazhesti [The application of normalized functions for the analytic continuation of three-dimensional gravimetric anomalies]. *Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya*. 2010. Issue 1 (9). Pp. 58–62. (In Russian).

УДК 550.832, 550.83.015

А. Д. Каринский, Д. С. Даев, М. Н. Юдин

Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе. 117997, Россия, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23; e-mail: akarinski@mail.ru

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ ПРОВОДЯЩИХ ОБЪЕКТОВ НА РЕЗУЛЬТАТЫ КАРОТАЖА СОПРОТИВЛЕНИЯ

Аннотация. Представлены результаты моделирования для зондов каротажа сопротивления в случаях, когда зонды «пересекают» локальные проводящие тела V_0 , либо проходят на некотором расстоянии от них. Результаты расчётов приведены для объектов V_0 в форме прямоугольного параллелепипеда и эллипсоида вращения.

Ключевые слова: Математическое моделирование; каротаж сопротивления; влияние локальных проводящих объектов.

A. D. Karinskiy, D. S. Daev, M. N. Yudin

Russian State Geological Prospecting University n. a. Sergo Ordzhonikidze.
23 Miklukho-Maklay Str., Moscow 117997, Russia;
e-mail: akarinski@mail.ru

MATHEMATICAL MODELING OF THE INFLUENCE OF LOCAL CONDUCTING FEATURES ON THE RESULTS OF THE RESISIVITY LOGGING

Abstract. The results of simulation for resistivity logging probes for cases when probes cross or pass at some distance the local conductive bodies V_0 are presented. The results of calculations are given for objects V_0 in the form of a rectangular parallelepiped and an ellipsoid of revolution.

Key words: Mathematical modeling; resistivity logging; influence of local conductive objects.

В работе [1] нами было дано обоснование применению приближённого подхода к определению понятия «область пространства, оказывающая основное влияние на результаты измерений» для некоторых методов электроразведки. Достоверность результатов получаемых на основе этого подхода к методике расчётов подтвердило, в частности, сравнение полученных нами результатов расчётов для метода сопро-

тивлений с данными, полученными другими способами и опубликованными в зарубежных научных изданиях, например в работе [6].

Позже результаты исследований по этой тематике для некоторых методов электроразведки были представлены в статье [2]. В работах [3–5] были приведены результаты 3D-моделирования, показывающие то, какое влияние на результаты электроразведки методами сопротивлений (СЭП, ВЭЗ, СГ) оказывают имеющие различную форму локальные объекты V_0 , отличающиеся по удельному электрическому сопротивлению ρ от вмещающей эти объекты среды.

При применённом нами подходе имеющие разную форму объекты V_0 были представлены множеством элементов ΔV в форме куба, достаточно малых по размерам для того, чтобы можно было принять допущение о том, что в пределах каждого элемента ΔV , создаваемое в методах сопротивлений зарядами токовых электродов A, B первичное электрическое поле \mathbf{E}^n – близко к однородному. При этих условиях вторичное электрическое поле $\Delta \mathbf{E}^n$ каждого элемента ΔV , из которых состоит объект V_0 , можно было аппроксимировать полем электрического диполя с моментом $\Delta \mathbf{P}$, пропорциональным полю \mathbf{E}^n в центре элемента ΔV и зависящим от объёма ΔV , удельных электрических сопротивлений ρ_0 объекта V_0 и величины $\rho_1 = \rho_{\text{вм}}$ вмещающей этот объект среды. В разработанных алгоритмах расчётов для электроразведки методом сопротивлений был предусмотрен учёт взаимного влияния дипольных моментов $\Delta \mathbf{P}$ элементов ΔV на дипольные моменты $\Delta \mathbf{P}$ других элементов ΔV . Максимально допустимые размеры элементов ΔV можно было определить на основе численных экспериментов. Такой же подход был применён нами и в этой работе, при моделировании влияния локальных объектов V_0 на результаты каротажа сопротивления (КС).

Известно, что одной из важных задач, которую должны решать геофизические методы на стадии разведки некоторых рудных месторождений, является обнаружение проводящих «слепых» рудных тел – объектов с низким удельным электрическим сопротивлением, не пройденных (не «вскрытых») скважинами. В этой работе приведены полученные на основе применённой нами методики моделирования примеры результатов расчётов для потенциал-зонда и градиент-зонда КС. На этом этапе исследований данные моделирования были получены без учёта влияния скважины на данные КС.

Результаты расчётов приведены для случаев, когда объект V_0 с очень низким удельным электрическим сопротивлением ρ_0 (по сравнению удельным электрическим сопротивлением $\rho_1 = \rho_{\text{вм}}$ вмещающей этот объект среды) имеет форму прямоугольного параллелепипеда с

горизонтальными рёбрами $l_x = l_y = 30$ м, и с вертикальным ребром $l_z = 10$ м, либо вписанного в такой параллелепипед эллипсоида вращения (рис. 1).

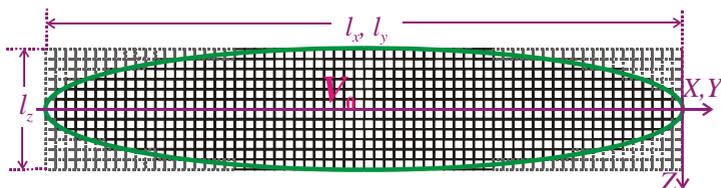


Рис. 1. Модель объекта V_0 в форме прямоугольного параллелепипеда, либо объекта, близкого по форме к эллипсоиду вращения (при $l_x = l_y$)

Точнее, результаты расчётов, приведенные на рис. 2, 3, получены для случая, когда объект V_0 не «тождественен» эллипсоиду, а близок по форме к эллипсоиду, вписанному в параллелепипед с указанными выше размерами. Фактически объект V_0 отличается по форме от «идеального» эллипсоида. При численных расчётах было учтено влияние на потенциалы U_M , U_N измерительных электродов M , N вторичного поля ΔE^B только тех, заполняющих тело V_0 и имеющих малые размеры элементов ΔV в форме куба, центры которых лежат в области, ограниченной поверхностью эллипсоида (рис. 1).

На рис. 2, 3 представлены результаты моделирования для случаев, когда зонды КС, пересекают тело V_0 , «касаются» его, либо проходят по вмещающей среде на некотором расстоянии от этого тела. В последнем случае это – модель «слепого» проводящего рудного тела. Результаты расчётов приведены для отношения ρ_K / ρ_{BM} , где ρ_K – кажущееся удельное электрическое сопротивление, а ρ_{BM} – удельное электрическое сопротивление вмещающей объект V_0 среды. Величина $\rho_K = K \cdot \Delta U_{MN} / I$, где I – эмиссия электрода A , ΔU_{MN} – разность потенциалов в точках M , N для градиент-зонда, либо $\Delta U_{MN} = U_M$ для предельного потенциал-зонда, а K – коэффициент зонда. Для предельного потенциал-зонда AM коэффициент $K = 4\pi \cdot AM$, а для однополюсного градиент-зонда AMN коэффициент $K = 4\pi \cdot (AM \cdot AN) / MN$, где AM , AN , MN – расстояния между точечными электродами: токовым электродом A и измерительными электродами M , N . Центры тел V_0 и зонды КС лежат в плоскости $y = 0$.

На рис. 2 показан пример расчётных кривых ρ_K / ρ_{BM} для предельного потенциал-зонда КС при длине зонда $AM = 5$ м. Координата z точки записи такого зонда это – z -координата середины отрезка AM .

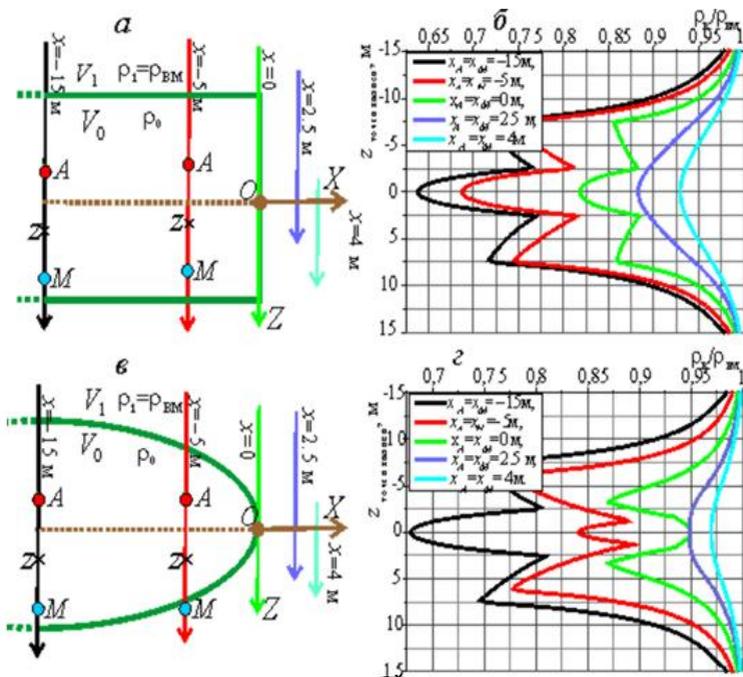


Рис. 2. Кривые $\rho_k / \rho_{вм}$ для потенциал-зонда КС.
 Зонд А5М ($AM = 5$ м), $l_x = l_y = 30$ м, $l_z = 10$ м, $\rho_0 \ll \rho_{вм}$

Шифрам «х» кривых соответствуют x -координаты потенциал-зонда АМ (в метрах) относительно «правой» границы объекта V_0 . Показанные на рис. 2, а, в параллельные оси Z прямые, по которым перемещаются зонды, пересекают хорошо проводящее тело V_0 ($x = -15$ м или $x = -5$ м), «касаются» границы тела V_0 ($x = 0$ м), либо проходят на расстояниях x от границы тела V_0 ($x = 2,5$ м или $x = 4$ м). Например, при $l_x = l_y = 30$ м, и при $x = -15$ м зонд АМ «проходит» через центр объекта V_0 . При $x = 2,5$ м или $x = 4$ м зонд «проходит» на соответствующем расстоянии от этой границы (модель «слепого» рудного тела).

Как видно на рис. 2, б, г при заданных при расчётах размерах l_x , l_y , l_z тела V_0 , координатах x зонда и длине зонда АМ влияние «слепого» проводящего тела на значения ρ_k зонда КС – не велико. В приведенных на рис. 2, б, г примерах расчётов это влияние не превышает 12 % для тела в форме прямоугольного параллелепипеда и 5 % для тела в форме эллипсоида вращения.

Результаты расчётов, приведенные на рис. 3, отвечают тем же моделям среды, что на рис. 2, но они получены для градиент-зонда А4.5М0.5N длиной 4,75 м. Координата z точки записи такого зонда это – z -координата середины отрезка MN . На рис. 3, б, z видно, что при показанных на рис. 3 параметрах объекта V_0 , координатах x зонда и размерах градиент-зонда влияние «слепого» проводящего тела V_0 на значения ρ_k не превышает 23 % для объекта в форме прямоугольного параллелепипеда и 11 % для объекта в форме эллипсоида вращения.

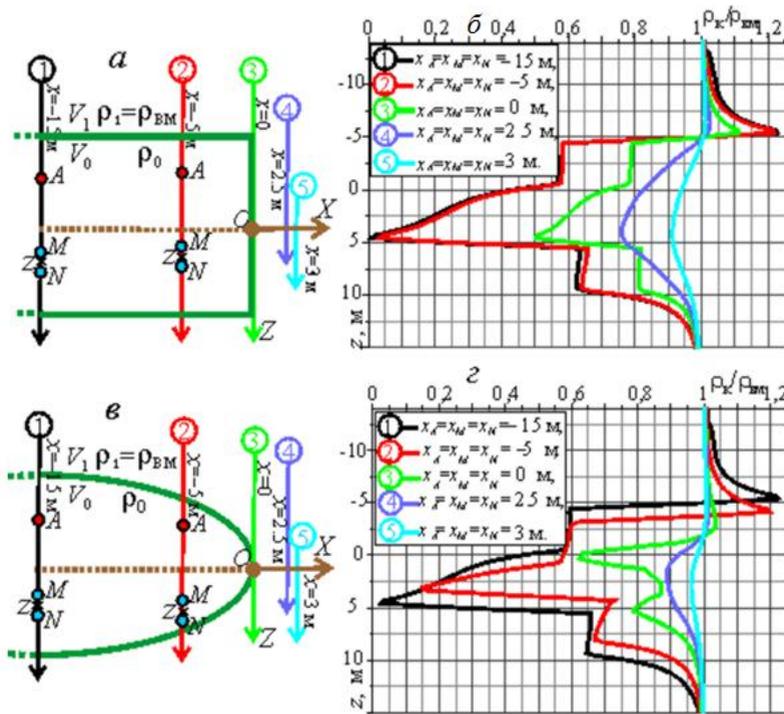


Рис. 3. Кривые ρ_k/ρ_{BM} для градиент-зонда КС.
 Зонд А4.5М1N ($AM = 4,5$ м, $MN = 1$ м), $l_x = l_y = 30$ м, $l_z = 10$ м, $\rho_0 \ll \rho_{BM}$

Полученные данные моделирования показали, что результаты КС могут послужить для обнаружения «слепых» проводящих тел V_0 лишь в тех случаях, когда зонды КС «проходят» на небольших рас-

стояниях от таких тел. Количественное влияние параметров имеющих различную форму локальных объектов V_0 (моделях среды) и размерах зондов КС на величину ρ_k в конкретных условиях не сложно установить по результатам математического моделирования на основе применённой нами методики расчётов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Каринский А. Д., Даев Д. С.* Об областях пространства, существенно влияющих на результаты измерений в электромагнитных методах // *Геофизика*, 2012. № 6. С. 42–53.
2. *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.
3. *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.
4. *Каринский А. Д., Даев Д. С.* Влияние локальных объектов на результаты электроразведки методом сопротивлений; опыт математического моделирования // *Геофизика*, 2017. № 1, С. 35–44.
5. *Каринский А. Д., Даев Д. С., Филатова И. К., Юдин М. Н.* Моделирование влияния имеющих разную форму объектов на результаты электропрофилирования // *Теория и практика разведочной и промысловой геофизики*. Пермь, ПГНИУ, 2017. С. 111–116.
6. *Loke M. H. and Dahlin T.* A comparison of the Gauss-Newton and quasi-Newton methods in resistivity imaging inversion // *Journal of Applied Geophysics*, 2002. 49. 149–162.

REFERENCES

1. *Karinskiy A. D., Daev D. S.* Ob oblastiakh prostranstva, sushchestvenno vliyayushchikh na rezul'taty izmereniy v elektromagnitnykh metodakh [On areas of space significantly affecting the results of measurements in electromagnetic methods]. *Geofizika*, 2012. № 6. Pp. 42–53. (In Russian).
2. *Karinskiy A. D., Daev D. S., Mazitova I. K.* Matematicheskoye modelirovaniye C-effekta i P-effekta v metodakh soprotivleniy elektrorazvedki [Mathematical modeling of the C-effect and P-effect in resistivity methods]. *Geofizika*, 2014. № 1. Pp. 36–45. (In Russian).
3. *Karinskiy A. D., Daev D. S., Mazitova I. K., Yudin M. N.* Matematicheskoye modelirovaniye vliyaniya lokal'nykh ob"yektov na rezul'taty metodov soprotivleniy elektrorazvedki [Mathematical modeling of the influence of local objects on the results of resistivity methods]. *Teoriya i praktika razvedochnoy i promyslovoy geofiziki*. Perm, PSU, 2016. Pp. 122–126. (In Russian).
4. *Karinskiy A. D., Daev D. S.* Vliyaniye lokal'nykh ob"yektov na rezul'taty elektrorazvedki metodom soprotivleniy; opyt matematicheskogo modelirovaniya

[Influence of local objects on the resistivity method results; experience of mathematical modeling]. *Geofizika*, 2017. № 1. Pp. 35–44. (In Russian).

5. *Karinskiy A. D., Daev D. S., Filatova I. K., Yudin M. N.* Modelirovaniye vliyaniya imeyushchikh raznyuyu formu ob'yektov na rezul'taty elektroprofilirovaniya [Simulation of the influence of objects of different shapes on the results of electrical profiling]. *Teoriya i praktika razvedochnoy i promyslovoy geofiziki*. Perm, PSU, 2017. Pp. 111–116. (In Russian).

6. *Loke M. H. and Dahlin T.* A comparison of the Gauss-Newton and quasi-Newton methods in resistivity imaging inversion. *Journal of Applied Geophysics*, 2002. 49. Pp. 149–162.

УДК 550.832.7, 550.83.015, 550.83.017

А. Д. Каринский, Д. С. Даев

Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе. 117997, Россия, г. Москва ул. Миклухо-Маклая, д. 23; e-mail: akarinski@mail.ru

ДИПОЛЬНЫЕ ЗОНДЫ КАРОТАЖА СОПРОТИВЛЕНИЯ В НЕКОТОРЫХ МОДЕЛЯХ АНИЗОТРОПНОЙ СРЕДЫ

***Аннотация.** Рассмотрены результаты моделирования на основе полученных в аналитическом виде решений прямых задач для пока не применяемых при каротаже сопротивления дипольных зондов для двух моделей среды. Это – однородная анизотропная среда и осесимметричная, пройденная скважиной, анизотропная среда.*

***Ключевые слова:** Электрическая анизотропия; каротаж сопротивления; дипольные зонды; математическое моделирование.*

A. D. Karinskiy, D. S. Daev

Russian State Geological Prospecting University n. a. Sergo Ordzhonikidze.
23 Miklukho-Maclay Str., Moscow 117997, Russia;
e-mail: akarinski@mail.ru

DIPOLE PROBES OF RESISTIVITY LOGGING IN SOME MODELS OF ANISOTROPIC MEDIUM

***Abstract.** The results of modeling based on the solutions of direct problems by analytical methods for two models of the medium for dipole probes not still applied for resistivity logging are considered. These are a homogeneous ani-*

sotropic medium and an axisymmetric anisotropic medium, penetrated by a borehole.

Key words: *Electrical anisotropy; resistivity logging; dipole probes; mathematical modeling.*

Электрическая анизотропия по удельному электрическому сопротивлению (УЭС) ρ присуща многим горным породам, в частности, терригенным пластам-коллекторам нефтяных месторождений, представленным частым чередованием проницаемых (алевролитов, песчаников) и непроницаемых (аргиллитов, глин) прослоев. Таким породам соответствует модель одноосно-анизотропной среды с осью анизотропии n по нормали к границам прослоев и любым, ортогональным оси n , направлением t . УЭС такой среды характеризуют значения: ρ_n – по направлению оси n и ρ_t – по направлению t . Коэффициент анизотропии $\lambda = (\rho_n / \rho_t)^{1/2}$.

При геофизических исследованиях скважин применяют два вида зондов каротажа сопротивления (КС): градиент-зонд и потенциал-зонд. В типичных условиях (при каротаже вертикальных скважин и при субгоризонтальном залегании прослоев в указанных выше пластах-коллекторах) результаты измерений с применяемыми зондами КС, а также – с зондами электромагнитного каротажа (ИК, ВИКИЗ), зависят, в основном, от параметра ρ_t . Но, по сравнению с ρ_t , параметр ρ_n более информативен для определения, например, такой характеристики пластов, как тип насыщения. Дополнительную информацию о свойствах пород может дать коэффициент λ . Заметим, что фактически измерения с зондами КС проводят «на переменном токе». Результаты расчётов, показывающие влияние электромагнитной индукции на данные КС, были приведены в работе [6].

В работах А. С. Семёнова [4] и других ученых, посвящённых электроразведке методом сопротивлений, было показано, что дипольные установки могут иметь высокую (и разную) «чувствительность» к параметрам ρ_t и ρ_n . В книге В. Н. Дахнова [1] было отмечено, что дипольные зонды КС могут быть перспективны при геофизических исследованиях скважин, но этот вопрос недостаточно изучен.

У дипольных зондов КС, как и в дипольных электроразведочных установках, расстояния между токовыми электродами A , B и между измерительными электродами M , N – много меньше расстояния (отрезка) L между центрами линий AB , MN , где L – длина дипольного зонда. У дипольно-осевого зонда (ДОЗ) все электроды лежат на одной прямой. У дипольно-экваториального зонда (ДЭЗ) линии AB , MN – взаимно параллельны и ортогональны отрезку L . Прямую l , на которой

лежит отрезок L , условно назовём осью не только ДОЗ, но и ДЭЗ. Ниже приведены результаты математического моделирования для ДОЗ и ДЭЗ в однородной анизотропной среде и в осесимметричной модели среды: «скважина – анизотропный пласт неограниченной мощности». Результаты расчётов получены на основе решений прямых задач, представленных нами в работах [2, 3, 5].

На рис. 1 показан пример зависимостей отношений кажущихся удельных электрических сопротивлений ρ_k для ДОЗ ($\rho_k^{\text{ДОЗ}}$) и ДЭЗ ($\rho_k^{\text{ДЭЗ}}$) к продольному УЭС ρ_l в модели однородной анизотропной среды от угла α между осями l зондов и осью анизотропии n . Результаты расчётов, приведенные на этом рисунке, получены для предельных дипольных зондов КС – при расстояниях $AB \rightarrow 0, MN \rightarrow 0$. В примере, приведенном на рис. 1, видно, что (как, известно для дипольных установок в электроразведке) дипольно-экваториальный зонд КС более «чувствителен» к (УЭС) однородной анизотропной среды по сравнению с дипольно-осевым зондом.

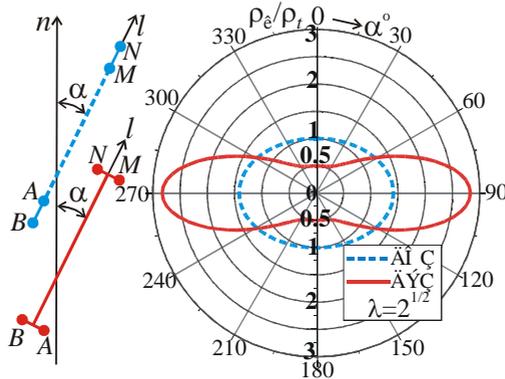


Рис. 1. Зависимости отношения ρ_k/ρ_l для дипольных зондов КС от угла α между осями зондов и осью анизотропии n в однородной анизотропной среде при $\lambda=2^{1/2}$

В частности, для таких зондов, ориентированных по оси анизотропии n ($\alpha = 0^\circ$), либо по нормали к этой оси ($\alpha = 90^\circ$), в однородной анизотропной среде справедливы следующие выражения: при $\alpha = 0^\circ$: $\rho_k^{\text{ДОЗ}} = \rho_b$, $\rho_k^{\text{ДЭЗ}} = \rho_l/\lambda^2$; при $\alpha = 90^\circ$: $\rho_k^{\text{ДОЗ}} = \rho_m$, $\rho_k^{\text{ДЭЗ}} = \lambda^3 \cdot \rho_b$ (1) где $\rho_m = (\rho_n \cdot \rho_l)^{1/2}$ – среднегеометрическое УЭС анизотропной среды.

Перейдём теперь к результатам моделирования, которые могут отвечать условиям, при геофизических исследованиях скважин.

В работах [3, 5] нами приведено решение прямой задачи для потенциала U стационарного электрического поля \mathbf{E} для следующей 1D-модели среды. В цилиндрической системе координат r, φ, z неограниченный по высоте круговой цилиндр с осью Z , диаметром d и УЭС ρ_c (область V_1) – модель изотропной скважины. Окружающая модель скважины среда (область V_2) – однородная, анизотропная с параллельной оси цилиндра осью анизотропии n и значениями УЭС, равными ρ_r и ρ_n . Источником первичного поля \mathbf{E}^n является заряд токового точечного электрода A с эмиссией I , находящегося в модели скважины. Решение прямой задачи для потенциала $U(M)$ в точке M , расположенной в области V_1 :

$$U(M) = \frac{\rho_c I}{\pi^2} \int_0^\infty \left\{ \sum_{n=0(0,5)}^\infty I_n(mr) [K_n(mr_A) + F] \cos[n(\varphi - \varphi_A)] \right\} \cos[m(z - z_A)] dm, \quad (2)$$

где r, φ, z – координаты точки M , r_A, φ_A, z_A – координаты точечного электрода A , $I_n(mr)$ – модифицированная функция Бесселя, а $K_n(mr_A)$ – функция Макдональда целого порядка n . В правой части равенства (2) обозначение $n = 0(0,5)$ в выражении для ряда Σ указывает на то, что соответствующий значению $n = 0$ член ряда следует умножить на 0,5, F – слагаемое, зависящее от параметров модели среды и координаты r_A . От F зависит вторичное электрическое поле \mathbf{E}^b . Согласно (2), выражение для потенциала $U(M)$ – это несобственный интеграл в смысле главного значения.

На основе выражения (2) нами были получены двухслойные кривые зондирования для потенциал-зондов и градиент-зондов КС для того, практически важного, случая, когда электроды лежат на стенке скважины. Пользуясь полученным решением (2) можно также получить для описанной выше 1D- модели среды кривые зондирования для пока не применяемых при геофизических исследованиях скважин дипольных зондов КС. Кривые зондирования для этих зондов приведены на рис. 2, 3. Показанные на этих рисунках красным цветом зависимости ρ_k/ρ_c от L/d получены для анизотропной модели среды при $\rho_n = 2 \cdot \rho_r$ и коэффициенте $\lambda = 2^{1/2}$. Кривые чёрного цвета отвечают модели изотропной среды ($\rho_n = \rho_r, \lambda = 1$). Ориентация зондов на рис. 2, 3 относительно оси анизотропии n соответствует углу $\alpha = 0^\circ$ на рис. 1, но на рис. 1 не учтено влияние модели скважины.

В соответствии с выражениями (1) и приведенными на рис. 1 результатами расчётов для модели однородной анизотропной среды при ориентации ДОЗ и ДЭЗ по оси анизотропии n (при $\alpha = 0^\circ$) для кажущихся удельных электрических сопротивлений имеем: $\rho_k^{\text{ДОЗ}} = \rho_r$, $\rho_k^{\text{ДЭЗ}} = \rho_r/\lambda^2$. Это означает, что в такой модели среды при $\alpha = 0^\circ$ величина $\rho_k^{\text{ДОЗ}}$ не зависит параметров ρ_n и λ среды. Как видно на рис. 2, при

расположении ДОЗ на границе модели скважины влияние параметров ρ_n и λ окружающей скважину анизотропной среды – невелико. При $\lambda = 2^{1/2}$ влияние ρ_n на $\rho_k^{ДОЗ}$ не превышает 15 %.

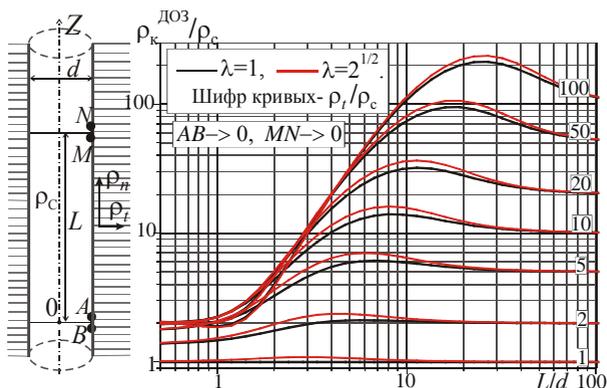


Рис. 2. Модель среды и дипольно-осевого зонда; кривые зондирования

На рис. 3 приведены кривые зондирования для ДЭЗ при $\lambda = 2^{1/2}$ и при $\lambda = 1$. Отметим, что кривые зондирования для ДЭЗ выходят на правую асимптоту при небольшой длине ДЭЗ: $L > (4-5) \cdot d$. Такая особенность, как известно, не присуща кривым зондирования для ДОЗ (рис. 2), а также – для градиент-зондов и потенциал-зондов КС.

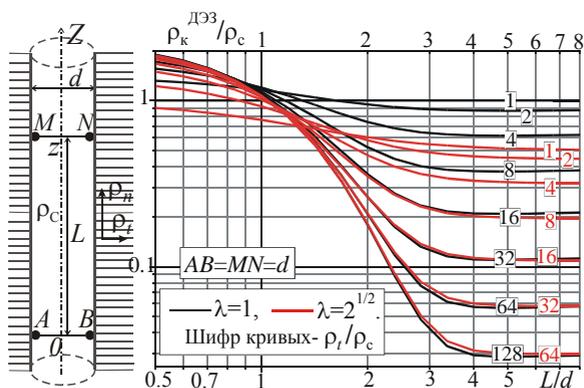


Рис. 3. Модель среды и дипольно-экваториального зонда; кривые зондирования

На рис. 3 видно, что при длине ДЭЗ $L > (1,5-2) \cdot d$, $\rho_t \geq 16 \cdot \rho_c$ и заданных значениях ρ_t / ρ_c , L / d , величина $\rho_k^{ДЭЗ}$ обратно пропорциональна λ^2 , что согласуется с выражением (1) для $\rho_k^{ДЭЗ}$ при $\alpha = 0^\circ$ в модели однородной анизотропной среды. Но при расположении ДЭЗ в показанной на рис. 3 модели среды, в отличие от выражения (1), при $\rho_t > \rho_c$ $\rho_k^{ДЭЗ}$ не возрастает, а убывает с увеличением параметра ρ_t . Чем это обусловлено?

При показанной на рис. 3 модели среды источниками вторичного электрического поля \mathbf{E}^B являются индуцированные заряды: поверхностные заряды (с поверхностной плотностью Σ) на границе модели скважины и (при $\lambda \neq 1$) объёмные заряды в окружающей модель скважины среде. В модели среды на рис. 3 плотность Σ поверхностных зарядов зависит от параметров ρ_t и ρ_c , но не зависит от ρ_n и λ .

На рис. 4 приведены данные моделирования, иллюстрирующие особенности влияния поверхностных зарядов на поле \mathbf{E}^B в окрестности электродов M , N , от которого зависит разность потенциалов ΔU_{MN} и величина $\rho_k^{ДЭЗ}$.

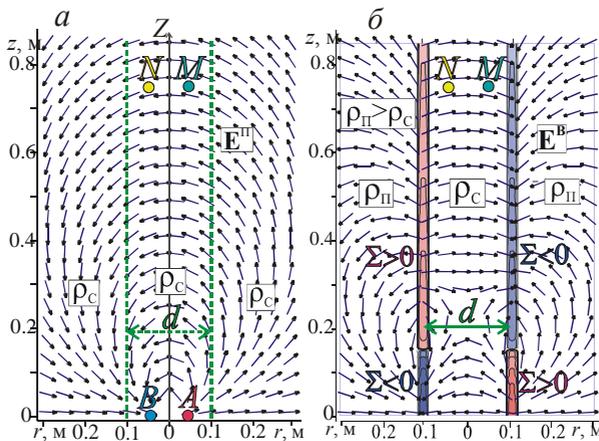


Рис. 4. Направления векторов первичного поля \mathbf{E}^H (а); распределение индуцированных на границах зарядов и направление их поля \mathbf{E}^B при $\rho_n > \rho_c$ (б)

Результаты расчётов на рис. 4 получены не для модели среды с цилиндрической границей (рис. 3), а для 1D- модели изотропной среды с двумя плоскопараллельными границами, ортогональными плоскости рисунка. Конечно, результаты таких расчётов могут отвечать показан-

ной на рис. 3 модели среды лишь на «качественном уровне», но они наглядно иллюстрируют то, почему, в отличие от модели однородной среды, величина $\rho_k^{ДЭЗ}$ при расположении ДЭЗ в скважине не возрастает, а убывает с ростом ρ_r .

Как видно на рис. 4, а, для модели ДЭЗ в окрестности горизонтального измерительного диполя MN направление первичного поля $\mathbf{E}^п$ таково, что разность потенциалов поля $\mathbf{E}^п$: $\Delta U_{MN}^п = U_M^п - U_N^п$, равная напряжению поля $\mathbf{E}^п$ на отрезке MN положительна. Величина $\Delta U_{MN}^п$ пропорциональна ρ_c и абсолютным величинам эмиссий $\pm I$ электродов A, B . На рис. 4, б показаны направления векторов вторичного поля $\mathbf{E}^в$, и распределение в плоскости рисунка его источников – поверхностных зарядов с плотностью Σ на границах в случае, когда $\rho_r = \rho_n > \rho_c$. Разность потенциалов ΔU_{MN} (и величина $\rho_k^{ДЭЗ}$) зависит от суммарного поля $\mathbf{E} = \mathbf{E}^п + \mathbf{E}^в$ на отрезке MN . На рис. 4, б видно, что возбуждение поля $\mathbf{E}^п$ токовым диполем AB , поперечным «оси модели скважины», приводит к специфическому распределению зарядов с плотностью Σ . Известно, что Σ пропорциональна коэффициенту контрастности, равному $\pm(\rho_c - \rho_n) / (\rho_c + \rho_n)$.

При $\rho_n > \rho_c$ и длине ДЭЗ L в 1,5–2 раза превышающей мощность d слоя поле $\mathbf{E}^в$ в окрестности измерительного диполя MN имеет направление, противоположное направлению $\mathbf{E}^п$. Поэтому для абсолютных величин векторов \mathbf{E} и $\mathbf{E}^п$ справедливо неравенство: $E < E^п$. Отсюда следует, что при достаточно больших длинах L и $\rho_n > \rho_c$ для ДЭЗ имеет: $\Delta U_{MN} < \Delta U_{MN}^п$, $\rho_k < \rho_c$. При прочих одинаковых условиях ρ_k тем меньше, чем больше ρ_n (ρ_r). Это позволяет объяснить то, почему на рис. 3 значения $\rho_k^{ДЭЗ}$ уменьшаются с увеличением величины ρ_r , что видно на зависимостях $\rho_k^{ДЭЗ} / \rho_c$ от L / d при разных отношениях ρ_r / ρ_c .

ЛИТЕРАТУРА

1. Дахнов В. Н. Электрические и магнитные методы исследования скважин. М.: Недра, 1981. 344 с.
2. Каринский А. Д. Влияние электрической анизотропии горных пород на электромагнитное поле в скважине: Диссертация на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. 226 с. М., 2008. <http://www.disserscat.com/content/vliyanie-elektricheskoi-anizotropii-gornykh-porod-na-elektromagnitnoe-pole-v-skvazhine>.
3. Каринский А. Д., Даев Д. С. Математическое моделирование на основе решения прямой задачи каротажа сопротивления при произвольном положении токового электрода в скважине и анизотропии среды // Геология и геофизика. Научный журнал СО РАН, 2016. № 10. С. 1875–1884.

4. Семенов А. С. Поле дипольной линии над анизотропным полупространством // Уч. зап. ЛГУ. Вопросы геофизики. № 25, 1975.
5. Karinskiy A. D., Daev D. S. The effects of tool eccentricity and formation anisotropy on resistivity logs: forward modeling // Russian Geology and Geophysics 57 (2016). Pp. 1477–1484. Издательство Elsevier, Kidlington, Oxford, United Kingdom.
6. Kaufman, A. A., Karinsky, A. D., Wightman, E. W. 1996. Influence of inductive effect on measurements of resistivity through casing // Geophysics, 61. 34–42.

REFERENCES

1. Dakhnov V. N. Elektricheskiye i magnitnyye metody issledovaniya skvazhin [Electrical and magnetic methods of well investigation]. M. Nedra, 1981. 344 p. (In Russian).
2. Karinskiy A. D. Vliyaniye elektricheskoy anizotropii porod na elektromagnitnoye pole v skvazhine [Influence of rocks electrical anisotropy on electromagnetic field in borehole]. Diss. Dr. fiz.-mat. Sci. M. 226 p., 2008. URL: <http://www.dissercat.com/content/vliyanie-elektricheskoi-anizotropii-gornykh-porod-na-elektromagnitnoe-pole-v-skvazhine>. (Accessed 10.07.2018) (In Russian).
3. Karinskiy A. D., Daev D. S. Matematicheskoye modelirovaniye, osnovannoye na reshenii pryamoy zadachi karotazha soprotivleniya s proizvol'nym polozheniyem tokovogo elektroda v skvazhine i anizotropiyey sredy [The effects of tool eccentricity and formation anisotropy on resistivity logs: forward modeling]. Nauchnyy zhurnal SB RAS, 2016. No. 10. Pp. 1875–1884. (In Russian).
4. Semenov A. S. Pole dipol'noy linii nad anizotropnym poluprostranstvom. [Field of a dipole line over an anisotropic half-space]. Uch. zap. Leningrad State University. Voprosy geofiziki. No. 25, 1975. (In Russian).
5. Karinskiy A. D., Daev D. S. The effects of tool eccentricity and formation anisotropy on resistivity logs: forward modeling. Russian Geology and Geophysics 57 (2016). Pp. 1477–1484. Elsevier, Kidlington, Oxford, United Kingdom.
6. Kaufman, A. A., Karinsky, A. D., Wightman, E. W. 1996. Influence of inductive effect on measurements of resistivity through casing. Geophysics, 61. Pp. 34–42.

USING MIGRATION TO IMPROVE THE GEORADAR DATA INTERPRETATION: POTASH MINE CASE STUDY

Abstract. *Different scale folding in multi-layered salt rock imposes significant problems for interpretation of geophysical data obtained in the mine openings. Usage of migration algorithms to georadar imaging allows effective recovering the geological structure in detail. The comparative effectiveness of different migration algorithms was estimated. Algorithm of the FD migration provided the most detail and realistic image of subsurface features.*

Key words: *georadar data, processing, migration, interpretation.*

O. N. Kovin

Пермский государственный национальный исследовательский

университет. 614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15;

e-mail: on_kovin@psu.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИГРАЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ИНТЕРПРЕТАЦИИ ГЕОРАДАРНЫХ ДАННЫХ: НА ПРИМЕРЕ КАЛИЙНЫХ РУДНИКОВ

Аннотация. *Слоистость различного масштаба многослойной толщи соляных пород представляет существенную проблему для интерпретации геофизических данных, получаемых в шахтных выработках. Использование алгоритмов миграции для обработки георадарных данных позволяет получить детальные изображения геологических структур. Была проведена сравнительная оценка эффективности различных алгоритмов миграции. Наиболее детальные и реалистичные изображения подземных объектов были получены с помощью FD миграции.*

Ключевые слова: *георадарные данные, обработка, миграция, интерпретация.*

Geohazards posed by the surface subsidence accompany extensive exploitation of the potash deposits. Studying of the rock mass structure in vicinity of mine openings is very important for safe mining, planning the

methods of ore extraction, and, especially, preventing the catastrophic water inflow in the potash mines. Geophysical methods have proven to be an effective, nondestructive tool, providing mining engineers with continuous information about the structure and geotechnical properties of subsurface material. The analysis of the geophysical data has shown that georadar (GPR) provides the most accurate and detailed information about the subsurface at distances of up to 30 m from the mine openings [1, 2]. GPR method uses high frequency (10–2500 MHz) short electromagnetic signal propagating through the medium with a velocity governed by the electrical properties of material. Energy reflected at the boundaries of materials with different electrical properties is recorded.

Different scale folding in multi-layered salt rock imposes significant problems for interpretation of georadar data obtained in the mines of the Verkhnekamskoe salt deposit. In case of the complicated irregular interfaces, the radargrams are contaminated with a large amount of diffraction patterns. Usage of migration algorithms to the georadar data processing allows effective recovering the geological structure in detail [3].

The salt deposits introduce almost the ideal conditions for applying the radio wave methods. The velocity of electromagnetic signal in salt rock is uniform and attenuation is relatively low. The reflecting interfaces are presented mostly by the thin clay and anhydrite seams.

In order to estimate the effectiveness of different migration algorithms, the data collected in the underlying salt horizon of Solikamsk Mine 3 [4] were processed using the migration programs of the ReflexW software [5]. The processed data were acquired with OKO georadar system (Logis Ltd). Antenna of operating frequency 150 MHz was implemented in continuous constant offset mode.

The pre-migration processing flow applied to georadar data included a start time adjustment, «dewow» filtering to suppress very low frequency noise, 2D filtering to remove the «ringing» and direct waves. Gain correction was used to amplify weak signals. The data before migration are shown in the Fig. 1, a.

Four algorithms (simple diffraction transform, Kirchhoff, Stolt fk, and Finite-Difference (FD) migration) were tested. We can see in Figure 1 that the quality of reflection boundaries differs depending on the processing algorithm used.

Analysis of migrated data has shown that the FD migration algorithm allows most correct recovering of the interfaces geometry and rock mass structure (Fig. 1, b). A simple diffraction stack produced the clear image but geometry of reflecting boundaries is not enough correct (Fig. 1, d). Kirchhoff algorithm provides with more details, but boundaries geometry is not

correct still (Fig. 1, e). Stolt migration effectively restores the geometry of the boundaries in upper part of radargram but generates artifacts when the noise level increases at greater arrival time (Fig. 1, c).

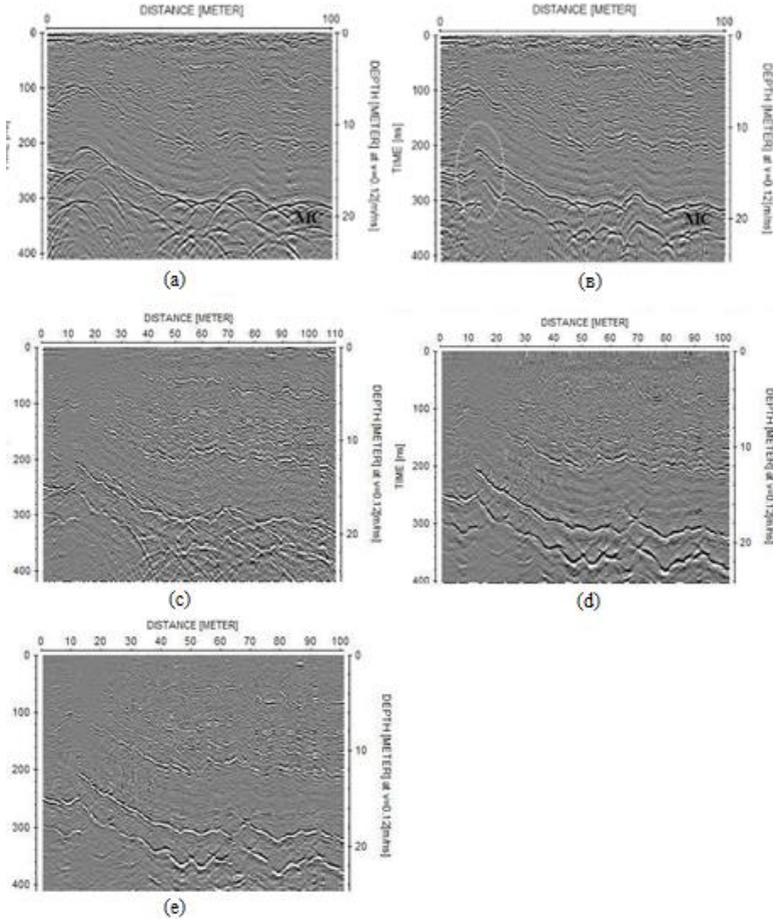


Figure 1. Comparison of different migration algorithms: a – data before migration; b – after FD migration; c – after Stolt fk migration; d – after diffraction stack; e – after Kirchhoff migration.

The most characteristic area of radargram is marked with oval

REFERENCES

1. *Annan A. P., Davis J. L., Gendzwill D.* Radar sounding in potash mines, Saskatchewan, Canada. *Geophysics*. 1988. 53 (12). Pp. 1556–1564.
2. *Kovin O. N., Mironov S. A., Kvitkin S. Yu., Kuznetsov N. V.*, Opyt ispolzovaniya metoda georadar dlya resheniya gorno-tekhnicheskikh zadach na kaliynykh rudnikakh OAO Uralkaliy [Case history of application of georadar method for solving mining problems in potash mines of JSC «Uralkali». Tezisy konf. Georadar 2002. MGU], Moskva. 2002. Pp. 22–23. (In Russian).
3. *Kovin O.* Mapping of evaporite deformation in a potash mine using ground penetrating radar: Upper Kama deposit, Russia. *Journal of Applied Geophysics*. 2011. 74. Pp. 131–141. doi:10.1016/j.jappgeo.2011.04.009
4. *Kovin O. N.* Ground penetrating radar investigations in Upper Kama potash mines. ProQuest, UMI Dissertation Publishing. 2012. 184 p.
5. *REFLEXW*. Manual. Karlsruhe: Sandmeier geophysical research. 2018.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Annan A. P., Davis J. L., Gendzwill D.* Radar sounding in potash mines, Saskatchewan, Canada // *Geophysics*, 1988. 53 (12). С. 1556–1564.
2. *Ковин О. Н., Миронов С. А., Квиткин С. Ю., Кузнецов Н. В.* Опыт использования метода георадар для решения горно-технических задач на калийных рудниках ОАО «Уралкалий» // Георадар-2002, Москва, МГУ. 2002. С. 22–23.
3. *Kovin O.* Mapping of evaporite deformation in a potash mine using ground penetrating radar: Upper Kama deposit, Russia // *Journal of Applied Geophysics*, 2011. 74. С. 131–141. doi:10.1016/j.jappgeo.2011.04.009
4. *Kovin O.N.* 2012. Ground penetrating radar investigations in Upper Kama potash mines. ProQuest, UMI Dissertation Publishing, 2012. 184 с.
5. *REFLEXW*. Manual. Karlsruhe: Sandmeier geophysical research. 2018.

УДК 550.83

Н. В. Кулакова

Пермский государственный национальный
исследовательский университет.

614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15; e-mail: kulakva@gmail.com

О ПОДСЧЕТЕ ЗАПАСОВ УГЛЕВОДОРОДОВ С УЧЕТОМ ТРЕЩИННОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ПО ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ИССЛЕДОВАНИЯМ СКВАЖИН

Аннотация. При подсчете запасов нефти объемным методом трещиноватость коллекторов не учитывается, хотя в настоящее время

общепризнано, что запасы углеводородов в карбонатных коллекторах могут составлять (по различным оценкам) от 38–48 % до 50–60 % от мировых запасов.

Ключевые слова: подсчет запасов, объемный метод, ArcGIS, трещиноватость, пластовое давление.

N. V. Kulakova

Perm State University. 15 Bukireva Str., Perm 614990, Russia;

e-mail: kulakva@gmail.com

CALCULATION OF HYDROCARBONS RESERVES BASED ON THE FRACTURE PERMEABILITY DEFINED USING WELL LOGGING DATA

Abstract. *Hydrocarbon reserves in carbonate reservoirs constitute (according to various estimates) from 38–48 % to 50–60 % of the world's reserves. The reservoir fracturing is not taken into account when calculating oil reserves by the conventional volumetric method. The accounting of fracture permeability allowed correction of the reservoir reserves value.*

Key words: *stock count, volumetric method, ArcGIS, fracturing, reservoir pressure.*

Подсчет запасов и оценка ресурсов нефти, газа и конденсата основывается на детальном изучении недр, и синтезируют в себе все сведения, полученные в процессе поисков, разведки и разработки залежей.

В настоящее время основными методами подсчета запасов является объемный метод и 3D моделирование [2, 3]. При подсчете запасов нефти объемным методом трещиноватость коллекторов не учитывается, хотя в настоящее время общепризнано, что большинство продуктивных пластов в той или иной степени нарушено системой многочисленных трещин [4].

Более 40% мировой добычи нефти связано с карбонатными отложениями, в России из них добывается всего лишь 12 %. Запасы углеводородов, заключенные в них, по различным оценкам составляют от 38–48 % до 50–60 % [1].

В качестве объекта исследований выбрано одно из месторождений нефти Пермского края, в частности пласт Бш1. Породы данного нефтеносного пласта характеризуются достаточно высокой пористостью (рис. 1, а), которая в некоторых районах достигает 24 %. Это

обеспечивает относительно высокую проницаемость коллекторов (рис. 1, б).

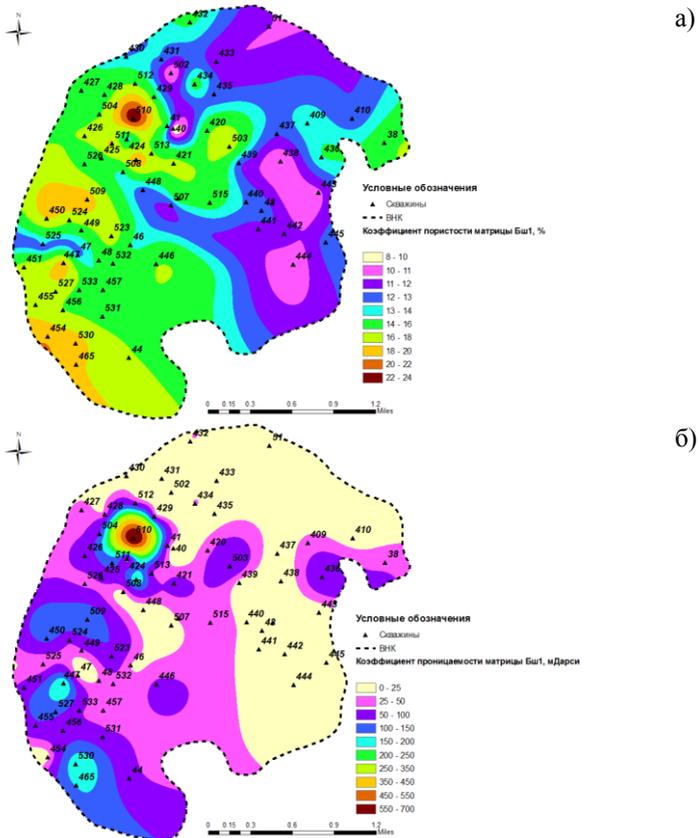


Рис. 1. Карта пористости (а) и проницаемости (б) матрицы (поровая проницаемость)

Кроме того, по данным акустического широкополосного каротажа (АКШ) в пласте отмечается наличие систем закрытых трещин разной направленности. Через распределение коэффициента Пуассона были вычислены коэффициенты охвата трещиноватостью на территории месторождения.

Для оценки влияния трещиноватости на суммарную проницаемость пород по данным гидродинамического каротажа, проведенного в 69 скважинах, были построены графики зависимости охвата трещино-

ватостью от бокового горного давления по эффективной части разреза (рис. 2, а) и зависимости коэффициента проницаемости от пластового давления (рис. 2, б). Анализ графиков показал, что при давлении большем, чем 6 МПа, трещины открыты и при поддержании в ходе разработки месторождения пластового давления в скважине, превышающего 6 МПа, по ним может осуществляться транспортировка нефти. Это приведет к увеличению суммарной проницаемости коллекторов за счет трещинной проницаемости (рис. 3).

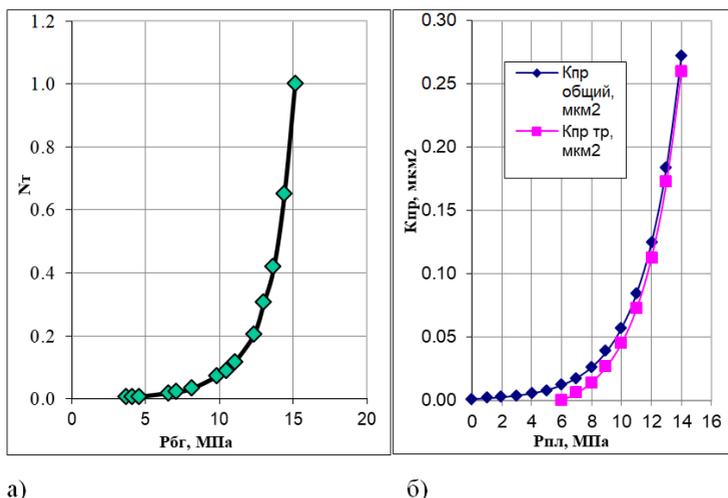


Рис. 2. Графики зависимости охвата трещиноватостью от бокового горного давления по эффективной части разреза (а) и зависимости коэффициента проницаемости от пластового давления (б)

Подсчет запасов нефти пласта Бш1 с учетом трещинной проницаемости был выполнен по формуле

$$Q_T = F \cdot h_{об} \cdot N_T \cdot m_T \cdot \frac{1}{b} \cdot \rho_H \cdot \beta_H,$$

где Q_T – трещинные запасы нефти, тыс. т, F – площадь залежи, тыс. м², $h_{об}$ – общая толщина разреза, м, N_T – коэффициент охвата разреза трещиноватостью, д. ед., m_T – трещинная пористость, д. ед., b – пересчетный коэффициент, учитывающий усадку нефти, д. ед., ρ_H – плотность нефти в поверхностных условиях, т/м³, β_H – трещинная нефтенасыщенность, д. ед.

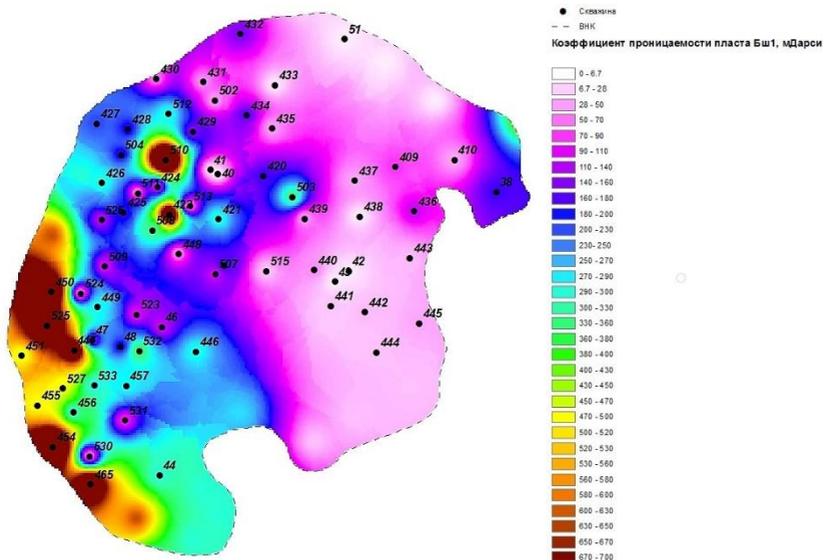


Рис. 3. Карта трещинной проницаемости

Установлено, что трещинные слои содержат самостоятельные балансовые запасы трещинной нефти (9 % от всех запасов). Кроме того, трещинная система отвечает за транспортировку углеводородов: трещинная проницаемость составляет 78 % от общей проницаемости [4].

ЛИТЕРАТУРА

1. Багринцева К. И. Условия формирования и свойства карбонатных коллекторов нефти и газа. М.: ВНИГНИ, 1999. 253 с.
2. Гутман И. С. Методы подсчета запасов нефти и газа. М.: Недра, 1985. 223 с.
3. Жданов М. А. Нефтегазопромысловая геология и подсчет запасов нефти и газа. М.: Недра, 1981. 453 с.
4. Кулакова Н. В. Учет трещиноватости карбонатных коллекторов при подсчете запасов углеводородов // XVIII Уральская молодежная научная школа по геофизике. Пермь, ГИ УрО РАН, 2017. с. 123–125.

REFERENCES

1. Bagrintseva K. I. Usloviya formirovaniya i svoystva karbonatnykh kollektorov nefi i gaza [Formation conditions and properties of the carbonate oil and gas reservoirs]. M.: VNIGNI, 1999. 253 p. (In Russian).

2. *Gutman I. S.* Metody podscheta zapasov nefti i gaza. [Methods of calculation of oil and gas reserves]. M.: Nedra, 1985. 223 p. (In Russian).

3. *Zhdanov M. A.* Neftegazopromyslovaya geologiya i podschet zapasov nefti i gaza. [Oil and Gas Geology and calculation of oil and gas reserves]. M.: Nedra, 1981. 453 p. (In Russian).

4. *Kulakova N. V.* Uchet treshchinovatosti karbonatnykh kollektorov pri podschete zapasov uglevodorodov [Accounting of carbonate reservoirs fracturing in the calculation of hydrocarbon reserves]. XVIII Uralskaya molodezhnaya nauchnaya shkola po geofizike. Perm, GI UrO RAN, 2017. Pp. 123–125. (In Russian).

УДК 550.8

Ю. В. Лапшина

ПАО «Пермнефтегеофизика», 614090, Россия, г. Пермь, ул. Лодыгина,
34; e-mail: lapshina5@mail.ru

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗРАБОТКИ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ»
ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН**

***Аннотация.** Выявлена вероятность обводнения пресной водой визейских отложений Таныпского месторождения и даны рекомендации по дальнейшим исследованиям на месторождениях подобного типа, которые позволят максимально эффективно вести их разработку.*

***Ключевые слова:** разработка, завершающая стадия разработки, ГИС, геофизические исследования, обводнение пластов, нетрадиционные запасы, определение насыщения, спектральный каротаж, терригенные коллекторы.*

Yu. V. Lapshina

Permneftegeofizika, 34 Lodygina Str., Perm 614090, Russia.
E-mail: lapshina5@mail.ru

**INCREASE OF EFFICIENCY OF THE LLC LUKOIL-PERM
FIELDS DEVELOPMENT USING THE RESULTS
OF WELL GEOPHYSICAL RESEARCH**

***Abstract.** The probability of watering with fresh water of the Tanypskoe field Visean reservoirs was revealed. Recommendations for further re-*

search on fields of this type, which will allow increasing effectiveness of their development, were worked out.

Key words: *field, final stage of development, well logging, geophysical research, water cut, unconventional reservoirs, saturation determination, spectral logging, terrigenous reservoir.*

Для эффективной работы на месторождении необходимо иметь максимум информации о его текущем состоянии. Геофизические исследования скважин (ГИС), к сожалению, позволяют исследовать лишь небольшой участок вблизи ствола скважины, но, с другой стороны, это практически единственный доступный и наименее затратный способ получения всесторонней информации о процессах, протекающих под землей.

Периодически при интерпретации ГИС на ряде месторождений возникают вопросы несоответствия некоторых данных, ошибки в определении насыщения. Так, по стандартным геофизическим данным отличить пресную воду от нефти практически не возможно. А по данным технологических режимов Таныпского месторождения, Северо-Таныпского поднятия, было выявлено обводнение пластов пресной водой. Поэтому было решено изучить визейский объект данного поднятия. Для этого пласта характерно наибольшее распространение по месторождениям Пермского края и максимальная выработанность запасов. Таныпское месторождение на данный момент находится на завершающей стадии разработки [3], характерна высокая обводненность продукции, истощение запасов, снижение проницаемости продуктивных пластов.

Для Таныпского месторождения было выбрано очагово-избирательное заводнение, а нефть, присутствующая в пластах, отличается высокой вязкостью [1, 2], поэтому **движение воды от нагнетательных скважин было неравномерным**. Вода, как более подвижный флюид, оттесняет нефть от более высокопроницаемых участков пласта, образуя языки обводнения, поэтому предсказать, где появится вода без данных ГИС не возможно.

Для наглядности проблемы обводнения скважин по значениям плотности извлекаемой воды по данным технологических режимов была построена карта, которая наглядно показывает, где присутствует обводнение пресной водой и предлагалось провести специальный комплекс ГИС, в который включены методы СГК и ИНГК-С. ИНГК-С позволит точнее определить насыщение пластов, а метод СГК увеличить приток нефти за счет выявления нетрадиционных (редко вовле-

каемых в эксплуатацию) продуктивных пластов Т11, и вовлечь их в разработку.

Определение насыщения пластов методом ИНГК-С, в первую очередь, выполняется по содержанию хлора и углерода. В пластовых водах нефтяных месторождений за счет растворенных солей присутствует значительное количество хлора. При этом в скелете большинства пород, слагающих коллекторы, хлор отсутствует. Отделить же пресную воду от нефти можно по практическому отсутствию углеродной составляющей. В нефти содержание углерода будет значительным.

Поэтому на скв. 50 Таныпского месторождения было решено провести исследования данными методами (рис. 1). При освоении объекта ББ1 в соседней скв. 51 после проведения окончательного каротажа в открытом стволе, была получена вода с низким удельным весом ($1,05 \text{ г/см}^3$). Хотя в данном интервале, отмечались высокие сопротивления, характерные для нефти.

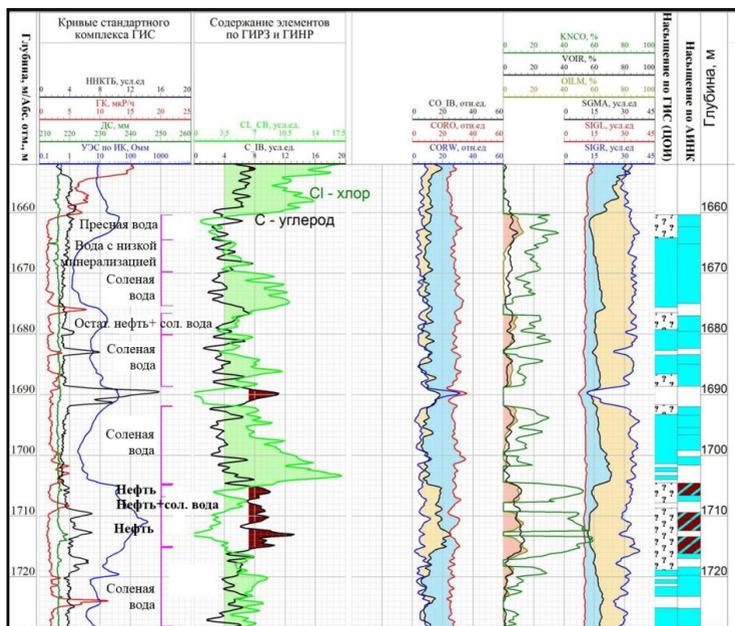


Рис. 1. Результаты анализа данных ГИС методом ИНГК-С при оценке характера насыщения по скв. 50 Таныпского месторождения

К сожалению, в скв. 50 освоения интервала С1 не было, и именно этим методом ИНГК-С исследования на Северо-Таныпском подня-

тии были проведены лишь в этой скважине. Для конкретных выводов этого крайне мало. Но действенность метода ИНГК-С по исследованиям на других месторождениях была показана в отчете для ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ» в 2017 г. специалистами ПАО «Пермнефтегеофизика».

На Таныпском месторождении также проводились исследования методом ИННК (подобен ИНГК-С), который позволяет получить параметры для расчета коэффициента текущего насыщения, но компонентный состав он не дает, что не позволяет сделать уверенное заключение о характере насыщения.

Метод SGK может быть использован при оценке коллекторских свойств пластов. По дополнительно выделенным интервалам коллекторов выдаются рекомендации для эксплуатации и увеличения нефтедобычи.

Для скв. 51 по методу SGK были скорректированы границы нефтенасыщенных коллекторов и рекомендованы к испытанию (рис 2). Из них была получена нефть, в скважине эксплуатируется только объект Тл1 с дебитом нефти 9 т/сутки и обводненностью 10 %.

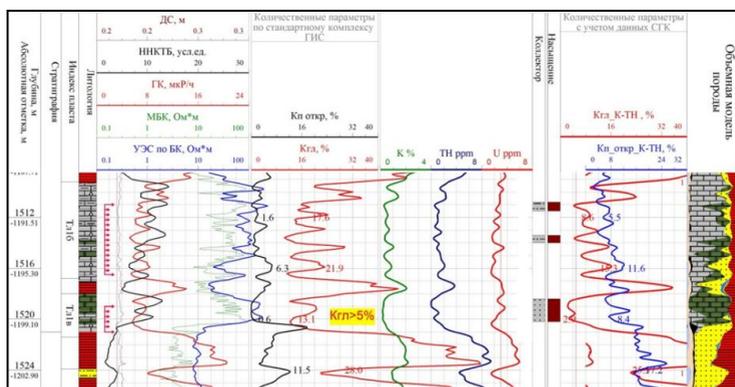


Рис. 2. Сопоставление результатов оценки объёмной глинистости по данным SGK и ГК в скв. № 51 Таныпского месторождения

Без геофизических исследований скважин на нефтяных месторождениях обойтись не возможно, проведение метода SGK позволяет увеличить дебит нефти, а ИНГК-С уменьшить процент обводненности.

На большинстве нефтяных месторождений Пермского края, как на Таныпском, наблюдаются схожие проблемы, поэтому выводы и

рекомендации, полученные в результате проведенного анализа, позволят избежать многих осложнений на других подобных объектах.

Для повышения эффективности разработки нефтяного месторождения с подобными проблемами необходимо:

- Применение метода SGK в скважинах эксплуатационного фонда, и во вновь пробуренных, с освоением выделенных дополнительных интервалов. Увеличение дебита нефти;

- Проведение метода ИНГК-С, в том числе и периодическое, для определения текущего насыщения пластов и выделение наиболее рентабельных интервалов для перфорации;

- Замена метода ИННК более информативным методом ИНГК-С;

- Создание карт или моделей, учитывающих необходимые параметры, для выбора корректного и информативного комплекса ГИС.

Методы ГИС несут косвенную информацию, при их интерпретации можем выдать лишь наиболее вероятный вариант процессов, происходящих в скважине. Напрямую проверить, что происходит в пластах, мы не можем.

В производственном режиме заложено слишком малое количество времени, чтобы рассмотреть и учесть всю информацию о месторождении и выдать рекомендации по конкретной скважине. Изучение данных ГИС с позиции разработки месторождения позволит избежать ошибочных результатов при их интерпретации, а также повысить эффективность разработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Оперативный пересчет запасов нефти и растворенного газа Таныпского нефтяного месторождения Пермского края. Пермь, 2017.

2. Отчет: технологический проект разработки Таныпского месторождения. Москва-Пермь, 2013.

3. Юшков И. Р., Хижняк Г. П., Илюшин П. Ю. Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений: учеб.-метод. пособие. Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2013. 177 с.

REFERENCES

1. *Operativnyy pereschet zapasov nefi i rastvoryonnogo gaza Tanypskogo neftyanogo mestorozhdeniya Permskogo kraya* [Operational recalculation of oil and dissolved gas reserves of the Tanypskoe oil field of Permskiy Krai. Perm, 2017. (In Russian).

2. *Otchet: tekhnologicheskyy proekt razrabotki Tanypskogo mestorozhdeniya* [Report: technological project of development of the Tanypskoe field]. Moscow-Perm, 2013. (In Russian).

3. Yushkov I. R., Khizhnyak G. P., Ilyushin P. Yu. Razrabotka i ekspluatatsiya neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy [Development and operation of oil and gas fields]. Perm: Publishing house of Perm National Research Polytechnic University, 2013. 177 p. (In Russian).

УДК 550. 837.3

**С. П. Левашов¹, Н. А. Якимчук¹, И. Н. Корчагин²,
Г. М. Дрогицкая²**

¹ Институт прикладных проблем экологии, геофизики и геохимии.
01133, Украина, г. Киев, пер. Лабораторный, 1;
e-mail: geoprom@ukr.net

² Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины.
03680, Украина, г. Киев, просп. акад. Палладина, 32;
e-mail: drogitskayag@gmail.com

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ПОИСКОВ РУДНЫХ ОБЪЕКТОВ С УРАНОВОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИЕЙ

***Аннотация.** Анализируются результаты экспериментального применения мобильных геоэлектрических методов СКИП и ВЭРЗ на участке Новокозантиновской зоны разломов Украинского щита. Показана принципиальная возможность использования методов СКИП и ВЭРЗ для «прямых» поисков залежей урана.*

***Ключевые слова:** геоэлектрические методы, съемка, зондирование, аномалия типа залежь, уран, газоконденсат, прямые поиски, интерпретация.*

**S. P. Levashov¹, N. A. Yakymchuk¹, I. N. Korchagin²,
G. M. Drogitskaya²**

¹ Institute of Applied Problems of Ecology, Geophysics and Geochemistry.
1 Laboratornyy Lane, Kyiv 01133, Ukraine; e-mail: geoprom@ukr.net

² Institute of Geophysics of Ukraine National Academy of Sciences. 32
Palladin Ave., Kyiv 03680, Ukraine; e-mail: drogitskayag@gmail.com

ABOUT THE FEASIBILITY OF GEOELECTRIC METHODS FOR ORE OCCURRENCES WITH URANIUM MINERALIZATION PROSPECTING

***Abstract.** The results of experimental application of mobile geoelectric methods FSPEF (SCIP) and VERS on the area of the Novokozantinov-*

skaya fault zone of the Ukrainian Shield are analyzed. The principal feasibility of using the SCIP and VERS methods for «direct» prospecting of uranium deposits is shown.

Key words: *geoelectric methods, surveying, sounding, anomaly of reservoir type, uranium, gas condensate, direct detection, interpretation.*

Введение. Мобильные геоэлектрические методы становления короткоимпульсного электромагнитного поля (СКИП) и вертикального электрорезонансного зондирования (ВЭРЗ) (технология СКИП-ВЭРЗ) [2, 3] уже около двадцати лет активно применяются для поисков рудных и горючих полезных ископаемых. Эти методы прошли широкую практическую апробацию на известных месторождениях УВ в различных регионах мира. Ниже представлены и анализируются результаты экспериментальных геоэлектрических работ в пределах Новоконстантиновской зоны разломов, расположенной в пределах Кировоградского района Украинского щита [4].

Основная цель экспериментальных исследований – проведение наземных работ методами СКИП и ВЭРЗ с целью обнаружения и картирования возможных скоплений газа и газоконденсата в пределах отдельных участков зоны разломов. Основные задачи: а) обнаружение и картирование геоэлектрических аномальных зон типа «залежь углеводородов» в пределах разломной зоны по данным съемки СКИП; б) выделение в разрезе, а также определение глубин залегания и мощностей аномально поляризованных пластов (АПП) типа «газ» и «газоконденсат» по данным ВЭРЗ в пределах закартированных аномалий; в) оценка возможности применения методов СКИП и ВЭРЗ для обнаружения и картирования зон уранового оруденения, а также определения глубин залегания и мощностей отдельных рудных тел; г) оценка возможностей и перспектив применения методов СКИП и ВЭРЗ для поисков скоплений нефти и газа в кристаллических массивах и в разломных зонах кристаллического фундамента.

Поиск зон скопления газа и газоконденсата. Площадной съемкой методом СКИП на участке работ обнаружено и закартировано три аномальных геоэлектрических зоны типа залежь газа (конденсата) площадью 3,2 км². Глубины расположения АПП типа «газ» и «газоконденсат» определены зондированием ВЭРЗ. Аномальные зоны фиксируются вдоль основных тектонических нарушений. В вертикальном разрезе выделенные АПП типа «газ» и «газоконденсат» располагаются параллельно тектоническим нарушениям. По данным измерений методами СКИП-ВЭРЗ определены оптимальные места для расположения скважин по дегазации горных выработок.

Обнаружение и картирование зон уранового оруденения. В период проведения геоэлектрических работ с целью выделения и картирования участков скопления газа и газоконденсата была также опробована отдельная модификация технологии СКИП-ВЭРЗ, предназначенная для обнаружения зон уранового оруденения по площади и определения глубин залегания и мощностей отдельных рудных тел в разрезе. В процессе проведения работ экспериментально подобраны соответствующие характеристики (параметры) приемной антенны и частоты резонансного отклика от зоны залегания урановых руд. По данным экспериментальной съемки методом СКИП построена карта геоэлектрической аномалии, обусловленной зоной уранового оруденения в пределах участка работ (рис. 1).

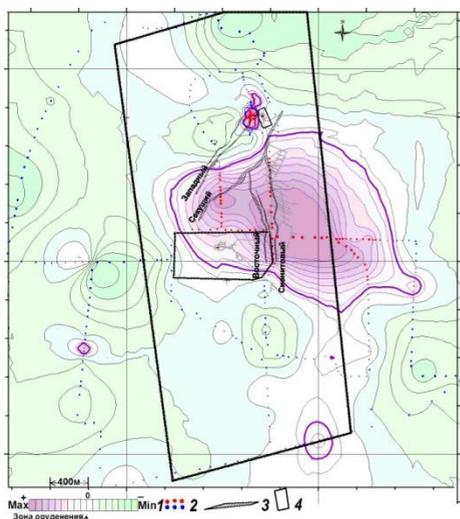


Рис. 1. Карта аномалий типа «зоны уранового оруденения» на площади работ.
 1 – шкала интенсивности поля СКИП;
 2 – отдельные точки измерений поля СКИП;
 3 – зоны разломов в фундаменте;
 4 – контуры участка работ

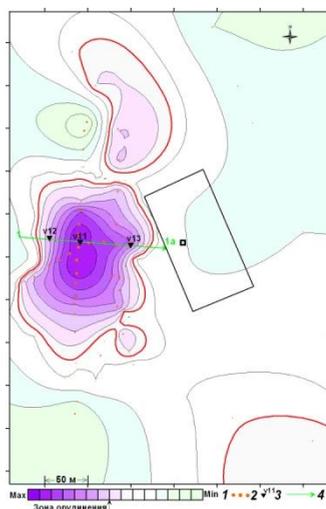


Рис. 2. Локальная аномалия типа «зона уранового оруденения» 1 – шкала интенсивности; 2 – пункты съемки СКИП; 3 – пункты ВЭРЗ; 4 – линия разреза

Съемкой СКИП выявлена и закартирована локальная аномалия типа «зона уранового оруденения» (рис. 2), в пределах которой выполнено вертикальное зондирование по профилю 1 (рис. 3, 4). Глубины залегания и мощности рудных тел в отдельных точках зондирования

показаны на рис. 4. Закартированная локальная зона возможного скопления руды не разбурена. Наличие рудных залежей в пределах закартированной аномалии подтверждается также методом ядерно-магнитного резонанса [1].

Выводы. Результаты проведенных экспериментальных исследований свидетельствуют о целесообразности использования методов СКИП и ВЭРЗ для «прямых» поисков урановых руд. Площадная съемка методом СКИП позволяет выявлять и картировать геоэлектрические аномальные зоны типа «зона уранового оруденения», а зондирование ВЭРЗ дает возможность в пределах закартированных аномальных зон определять глубины залегания и мощности АПП типа «урановая залежь».

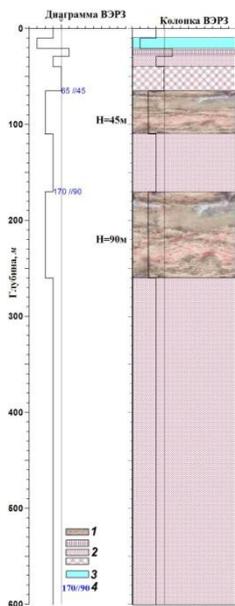


Рис. 3. Результаты ВЭРЗ в точке № v11. 1 – зоны АПП типа «урановое оруденение»; 2 – гранитоиды; 3 – обводненный горизонт; 4 – глубина / мощность

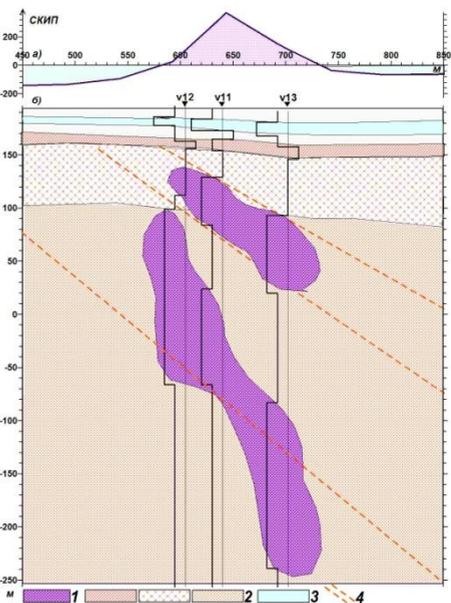


Рис. 4. Вертикальный разрез аномальной зоны типа «урановое оруденение», профиль 1. 1 – зоны АПП типа «урановое оруденение»; 2 – гранитоиды; 3 – обводненный горизонт; 4 – тектонические нарушения

Положительный результат подбора параметров приемных антенн и оптимальных диапазонов частот для выявления урановых руд

указывают на принципиальную возможность целенаправленного подбора такого же рода характеристик и для прямых поисков других рудных минералов и пород: железа, золота, алмазов, титана, алюминия и т.д. При проведении исследований методические и технические вопросы создания отдельных модификаций метода СКИП для прямых поисков рудных минералов и пород отработаны в полной мере. Это важное обстоятельство открывает широкие перспективы для применения технологии СКИП-ВЭРЗ в рудной геофизике.

Результаты экспериментов свидетельствуют также, что технология СКИП-ВЭРЗ может успешно применяться при поисках и разведке скоплений углеводородов в тектонически нарушенных (разломных) зонах кристаллического фундамента, а также являются дополнительным аргументом в пользу целесообразности ее более широкого применения в геологоразведочном процессе на нефть и газ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ковалев Н. И., Гох В. А., Солдатова С. В., Лямцева И. В. Использование дистанционного геологического комплекса «Поиск» для обнаружения и оконтуривания углеводородных месторождений // Геоинформатика, 2009. № 3. С. 83–87.

2. Левашов С. П., Якимчук Н. А., Корчагин И. Н. Частотно-резонансный принцип, мобильная геоэлектрическая технология: новая парадигма геофизических исследований // Геофизический журнал, 2012. Т. 34. № 4. С. 167–176.

3. Левашов С. П., Якимчук Н. А., Корчагин И. Н., Дегтярь Р. В., Божжева Д. Н. Обнаружение и картирование геоэлектрическими методами зон повышенного газонасыщения на угольных шахтах // Геофизика, 2006. № 2. С. 58–63.

4. Старостенко В. И., Казанский В. И., Дрогизкая Г. М., Макивчук О. Ф., Попов Н. И., Тарасов Н. Н., Трипольский А. А., Шаров Н. В. Связь поверхностных структур Кировоградского рудного района (Украинский щит) с локальными неоднородностями коры и рельефом поверхности Мохо // Геофизический журнал, 2007. Т. 29. № 1. С. 3–15.

REFERENCES

1. Kovalev N. I., Gokh V. A., Soldatova S. V., Lyamtseva I. V. Ispol'zovanie distantsionnogo geologicheskogo kompleksa «Poisk» dlya obnaruzheniya i okonturivaniya uglevodorodnykh mestorozhdeniy [The use of remote geologic complex «Poisk» for detection and delineation of hydrocarbon deposits]. Geoinformatika, 2009. No. 3. Pp. 83–87. (In Russian).

2. Levashov S. P., Yakymchuk N. A., Korchagin I. N. Chastotno-rezonansnyy printsyp, mobil'naya geoelektricheskaya tekhnologiya: novaya paradigma geofizicheskikh issledovaniy [Frequency-resonance principle, mobile geoelectric technology: a new paradigm of geophysical study]. Geofizicheskiy zhurnal. 2012. Vol. 34, No. 4. Pp. 167–176. (In Russian).

3. *Levashov S. P., Yakymchuk N. A., Korchagin I. N., Degtyar R. V., Bozhezha D. N.* Obnaruzhenie i kartirovanie geoelektricheskimi metodami zon povyshennogo gazonasyszhcheniya na ugol'nykh shahtakh [Detection and mapping of zones of increased gas saturation in coal mines by geoelectric methods]. *Geofizika*. 2006. No. 2. Pp. 58–63. (In Russian).

4. *Starostenko V. I., Kazansky V. I., Drogitskaya G. M., Makivchuk O. F., Popov N. I., Tarasov N. N., Tripolsky A. A., Sharov N. V.* Svyaz' poverkhnostnykh struktur Kirovogradskogo rudnogo rayona (Ukrainskiy shchit) s lokal'nymi neodnorodnostyami kory i rel'efom poverkhnosti Mokho [Connection of surface structures of the Kirovograd ore region (Ukrainian Shield) with local crust inhomogeneities and the topography of the Moho surface]. *Geofizicheskiy zhurnal*. 2007. Vol. 29. No. 1. Pp. 3–15. (In Russian).

УДК 550.8

В. И. Луппов¹, А. С. Некрасов^{1,2}

¹ Пермский государственный национальный исследовательский университет. 614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15;
e-mail: luprov@psu.ru

² Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть». 614066, Россия, г. Пермь, ул. Советской Армии, д. 29,
e-mail: Aleksandr.Nekrasov@pnn.lukoil.com

ОЦЕНКА ТЕКУЩЕЙ НЕФТЕНАСЫЩЕННОСТИ ПО КОМПЛЕКСУ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ПЕРМСКОГО ПРИКАМЬЯ

***Аннотация.** Предложена методика определения текущей нефтенасыщенности по комплексу методов ГИС. Сопоставления расчётной текущей нефтенасыщенности и фактической показывают хорошую сходимость между ними и подтверждают результаты определения обводнённости продукции скважин.*

***Ключевые слова:** импульсный нейтрон-нейтронный каротаж, геофизические исследования скважин, удельное электрическое сопротивление, обводнённость продукции скважин.*

V. I. Luppov¹, A. S. Nekrasov^{1,2}

¹ Perm State University. 15 Bukireva Str., Perm 614990, Russia;

e-mail: luppov@psu.ru

^{1,2} LUKOIL-Engineering, PermSRDloil.

29 Sovetskoy Armii Str., Perm 614066, Russia;

e-mail: Aleksandr.Nekrasov@pnn.lukoil.com

EVALUATION OF CURRENT OIL-SATURATION USING COMPLEX OF GEOPHYSICAL WELLS STUDY OF DEPOSITS OF THE PERM REGION

Abstract. *A technique for determining the current oil saturation by a set of borehole logging is proposed. Comparison of the estimated and actual current oil saturation shows good convergence between them and confirm the results of determining the water cut of well production.*

Key words: *pulsed neutron-neutron logging, geophysical study of wells, resistivity, watering of well production.*

Для разработки методики оценки текущей нефтенасыщенности в разрезах обсаженных скважин по данным импульсного нейтрон-нейтронного каротажа (ИННК) были исследованы связи времени жизни тепловых нейтронов ($\tau_{\text{иннк}}$), регистрируемого при ИННК с другими геофизическими параметрами, в частности с удельным электрическим сопротивлением ($УЭС$) и естественной гамма-активностью, регистрируемой по гамма-каротажу ($I_{\text{ГК}}$).

В основу методики заложено выполнение временных замеров ИННК, то есть проведение в одной и той же скважине в интервалах продуктивного разреза двух и более разновременных замеров ИННК, один из которых «фоновый» выполняется сразу после спуска обсадной колонны, когда в продуктивном пласте сохранено первоначальное нефтенасыщение, в то время как последующие замеры выполняются с целью определения текущего нефтенасыщения пласта-коллектора [2]. Результаты последующих замеров сопоставляются с фоновым замером, что даёт возможность заключить об изменениях характера насыщения в пласте за период между фоновым и повторным измерениями. Отсутствие фонового замера обусловлено различными причинами, поэтому предлагается в качестве фонового замера использовать данные электрометрии скважин, полученные в процессе бурения скважины и соответственно, характеризующие начальную нефтенасыщенность коллектора. При этом данные электрометрии принимаются в качестве фонового замера, а данные ИННК, как повторный замер.

Установлено, что петрофизическая зависимость $\tau_{\text{ИННК}} = f(\rho_{\text{п}})$ в диапазоне изменения параметра $\rho_{\text{п}}$, включающем водонасыщенные (в), водо-нефтенасыщенные (в + н) и нефтенасыщенные (н) коллекторы, аппроксимируется уравнением вида

$$\tau = 72,92 \cdot \ln \rho_{\text{п}} + 37,87; R = 0,81, \quad (1)$$

где $\rho_{\text{п}}$ – УЭС пород-коллекторов, τ – время жизни тепловых нейтронов.

В приведённом примере статистическая связь $\tau_{\text{ИННК}} = f(\rho_{\text{п}})$ характеризуется теснотой и высоким коэффициентом корреляции ($R = 0,81$) этих параметров.

С целью достоверного разделения пород-коллекторов на продуктивные и водоносные осуществлена статистическая обработка результатов электрометрии скважин в сопоставлении их с данными испытаний и петрофизических исследований керна. Результатом сопоставления явилось определение граничного значения УЭС, равного 8,0 Ом·м, разделяющего коллекторы на продуктивные и водоносные.

Значение времени жизни тепловых нейтронов, регистрируемого в обводнившемся пласте при одинаковых условиях, меньше $\tau_{\text{ИННК}}$ нефтенасыщенного пласта, сохраняющего первоначальное насыщение.

Этот факт, можно объяснить следующим образом: при обводнении пласта-коллектора происходит замещение части нефти водой, что ведёт к увеличению содержания водорода в порах пласта, а также атомов хлора и других микрокомпонентов, содержащихся в воде, вытесняющей нефть [1]. В результате замещения нефти водой изменяются нейтронные свойства пластов-коллекторов таких, как коэффициент диффузии, длина замедления быстрых нейтронов и время жизни тепловых нейтронов, что приводит к уменьшению $\tau_{\text{ИННК}}$, регистрируемого ИННК.

Установлено, что в терригенных отложениях визейского яруса Красноярско-Куединского месторождения существует зависимость между временем жизни тепловых нейтронов и естественной радиоактивностью пластов с первоначальным нефтенасыщением и водонасыщением (рис. 1), которая описывается независимыми уравнениями следующего вида:

$$\tau_{\text{ИННК}} (\text{н}) = -45,273 \cdot I_{\text{ГК}} + 423,57; R = 0,75 - \text{нефть}, \quad (2)$$

$$\tau_{\text{ИННК}} (\text{н+в}) = -13,068 \cdot I_{\text{ГК}} + 275,17; R = 0,68 - \text{нефть} + \text{вода}, \quad (3)$$

$$\tau_{\text{ИННК}} (\text{пл}) = -6,0745 \cdot I_{\text{ГК}} + 177,61; R = 0,46 - \text{плотный}. \quad (4)$$

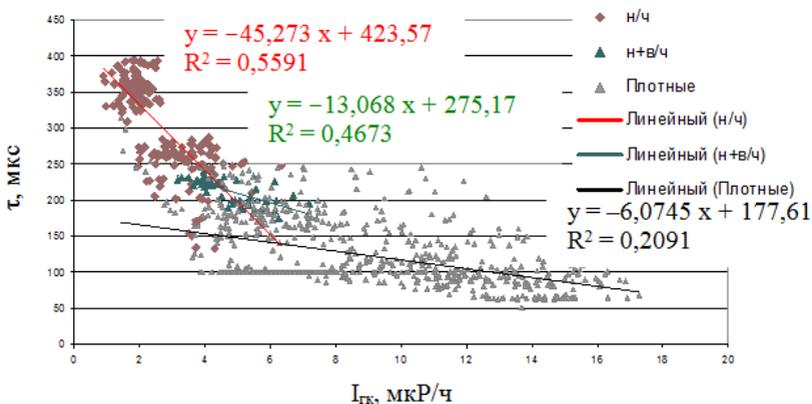


Рис. 1. Зависимость времени жизни тепловых нейтронов от гамма-активности нефтенасыщенных, нефте-водонасыщенных коллекторов и плотных пород. Месторождение Красноярро-Куединское, скв. 545-2, пласт Гл-Бб

Таким образом, выполнено обоснование методики, в основу которой заложена совместная интерпретация данных ИННК и ГК с привлечением результатов других методов ГИС, лабораторных исследований керна и геолого-промысловых данных, по результатам которых выделены заведомо нефтенасыщенные, нефте-водонасыщенные (н + в), водонасыщенные коллекторы и плотные вмещающие породы. Рассчитываются параметры уравнений регрессии и в системе координат ($I_{ГК}$, $\tau_{иннк}$) устанавливаются $\tau_{иннк} = f(I_{ГК})$ для нефтенасыщенных, нефте-водонасыщенных, водонасыщенных коллекторов и плотных вмещающих пород.

Идентификация пород-коллекторов, характер текущего насыщения которых необходимо оценить, осуществляется следующим образом.

Пласты, попавшие в поле корреляции $\tau_{иннк} = f(I_{ГК})$ в доверительный интервал, характеризующий связь $\tau_{иннк}$ по $I_{ГК}$ в нефтенасыщенных пластах с установленной достоверностью, могут быть отнесены к нефтенасыщенным коллекторам с первоначальным насыщением.

Коллекторы, которые по графику ($I_{ГК}$, $\tau_{иннк}$) расположены в доверительном интервале уравнения регрессии, описывающего связь параметров $\tau_{иннк}$ по $I_{ГК}$ в водонасыщенных пластах с принятой достоверностью, могут быть отнесены к водонасыщенным коллекторам.

Пласты, попавшие в поле корреляции $\tau_{иннк} = f(I_{ГК})$ в доверительный интервал между нижней границей доверительного интервала

уравнения $\tau_{\text{ИННК}} = f(I_{\text{ГК}})$, описывающего связь значений $\tau_{\text{ИННК}}$ по $I_{\text{ГК}}$ в нефтенасыщенных коллекторах и верхней границей уравнения регрессии, описывающего связь между $\tau_{\text{ИННК}}$ по $I_{\text{ГК}}$ либо водонасыщенного, либо водонефтенасыщенного коллекторов, с установленной достоверностью, могут быть отнесены к обводняющимся нефтенасыщенным коллекторам.

Одновременное использование статистических моделей нефтенасыщенных, нефте-водонасыщенных, водонасыщенных пластов-коллекторов при соответствующей корреляции $\tau_{\text{ИННК}}$ и $I_{\text{ГК}}$ позволяет оценить текущую насыщенность, любого выделенного в разрезе скважины пласта-коллектора в долях от первоначальной нефтенасыщенности ($K_{\text{нт}}$). При этом параметр $K_{\text{нт}}$ может быть определён по формуле

$$K_{\text{нт}} = (\tau_{\text{ИННК}, i} - \tau_{\text{ИННК}, в}) / (\tau_{\text{ИННК}, н} - \tau_{\text{ИННК}, в}) \quad (5)$$

где $\tau_{\text{ИННК}, i}$ – время жизни тепловых нейтронов (ϕ_n^1) в i -м (испытуемом) интервале разреза; $\tau_{\text{ИННК}, н}^*$ – $\tau_{\text{ИННК}, в}^*$ – условные средние значения времен жизни тепловых нейтронов (ϕ_n^1), прогнозируемые уравнением регрессии $\tau_{\text{ИННК}, н} = f(I_{\text{ГК}})$, $\tau_{\text{ИННК}, в} = f(I_{\text{ГК}})$, при $I_{\text{ГК}} = I_{\text{ГК}, i}$ [3].

Смысл значений $\tau_{\text{ИННК}, н}^*$ и $\tau_{\text{ИННК}, в}^*$ вытекает из рис. 1. Видно, что эти величины не что иное, как ординаты $\tau_{\text{ИННК}, н}^* = f(I_{\text{ГК}})$ и $\tau_{\text{ИННК}, в}^* = f(I_{\text{ГК}})$, при $x = I_{\text{ГК}, i}$.

Пример использования разработанной методики приведён на рис. 2, где представлены кривые (зарегистрированная – $\tau_{\text{ИННК}}$) в скв. 764 Краснояро-Куединского месторождения и статистически восстановленная фоновая кривая.

Из рис. 2 видно, что чем ближе зарегистрированная кривая располагается к статистически восстановленной фоновой кривой, тем меньше обводнён коллектор и наоборот, чем дальше удалена зарегистрированная кривая от фоновой, тем сильнее обводнён пласт-коллектор. При полном совпадении обеих кривых, следует понимать, что пласт сохранил начальную насыщенность.

В интервале разреза 1534,0–1544,0 м зарегистрированная (06.03.2006 г.) кривая ИННК располагается ниже статистически восстановленной фоновой кривой, наибольшее расхождение наблюдается в подошве исследуемого интервала, что свидетельствует об обводнении данного интервала. При освоении (07.03.2006 г.) интервала перфорации (1534,0–1544,0 м) получен приток воды с нефтью, второй интервал перфорации (1548,0–1553,0 м) оказался задавленным (рис. 2).

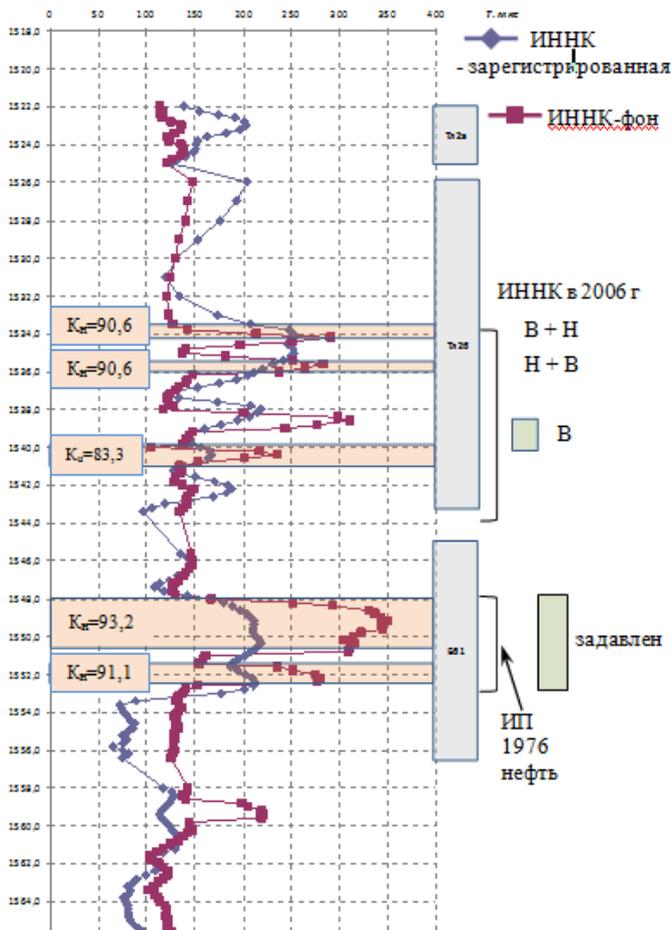


Рис. 2. Результаты обработки комплекса ГИС (ИННК-ГК-БК). Месторождение Красноярро-Куединское, скв. 764, пласт Тл-Бб

Расчёт средневзвешенного коэффициента текущей нефтенасыщенности в интервале 1534,0–1544,0 м составил значение, равное 63,0 %, при начальном 89,4 %. Расчёт прогнозной обводнённости продукции W выполнен по формуле

$$W = [1 + \{F_H(S_B) / \mu_H C_H\} \cdot \{\mu_B C_B / F_B(S_B)\}]^{-1}, \quad (6)$$

где $F_H(S_B)$ и $F_B(S_B)$ – относительные фазовые проницаемости по нефти и воде; μ_n ; μ_B – вязкости нефти и воды; C_H , C_B – объёмная сжимаемость нефти и воды; значение W равно 21 %.

Таким образом, испытание интервала разреза 1534,0–1544,0 м подтвердило результаты интерпретации по разработанной методике.

В процессе интерпретации ИННК восьми скважин Красноярро-Куединского и одной скважины Юрчукского месторождения определена прогнозная обводнённость и выполнено её сопоставление с прогнозной (рис. 3).

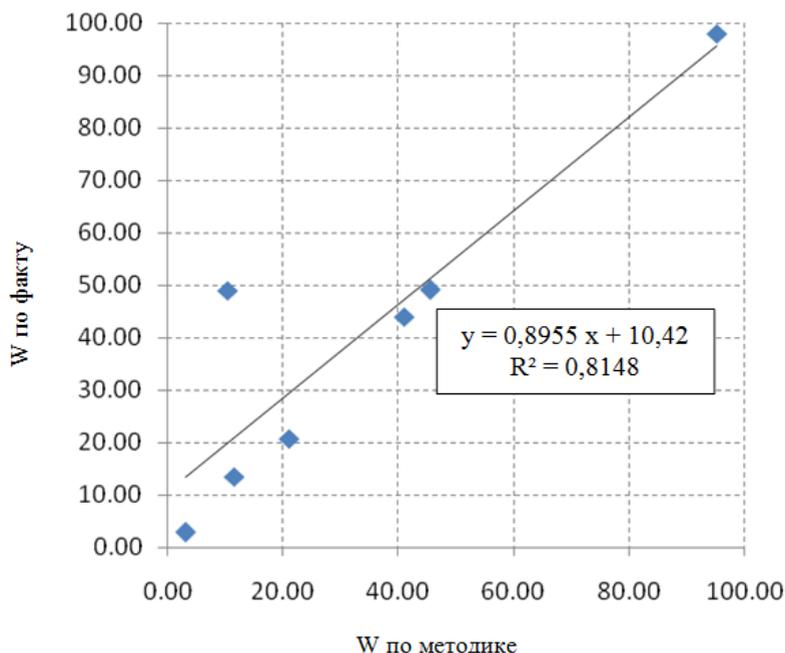


Рис. 3. Сопоставление фактической и прогнозной обводнённости. Красноярро-Куединское и Юрчукское месторождения, пласт Тл-Бб

Анализ полученных результатов свидетельствует, что среднее абсолютное расхождение между фактической и прогнозной обводнёностью составило 7,0 %, а относительное – 14,0 %.

Сопоставление фактической и прогнозной обводнённости показало близость расчётных и фактических показателей разработки ($R = 0,90$), а, следовательно, возможность применения разработанной мето-

дики для оценки текущей нефтенасыщенности в условиях обводняющихся пластов в процессе их разработки.

В процессе разработки методики установлено, что корреляционная связь между временем жизни тепловых нейтронов и гамма-активностью пород-коллекторов становится устойчивой в случаях, если породы гидрофобные, то есть имеющие смачиваемость (показатель M) поверхности не более 40 % (Краснояро-Куединское, Юрчукское месторождения). Если смачиваемость поверхности становится промежуточной (показатель M составляет от 40 до 60 %) или полностью гидрофильной при показателе смачиваемости превышающем 60 % (Горское, Казаковское месторождения), то корреляционная зависимость между временем жизни тепловых нейтронов и гамма-активностью пород-коллекторов становится неустойчивой.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гудок Н. С., Богданович Н. И., Мартынов В. Г.* Определение физических свойств нефтесодержащих пород: Уч. пособие для вузов. М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2007. 592с.
2. *Путкарадзе Л. А.* Оценка текущей нефтенасыщенности по ИННК // НТВ Каротажник, 2001. Вып. 84. С. 125–138.
3. *Некрасов А. С., Луппов В. И.* Обоснование положения ВНК залежи нефти и газа с использованием кривых относительной фазовой проницаемости // НТВ Каротажник, 2016. Вып. 10 (268). С. 65–73.

REFERENCES

1. *Gudok N. S., Bogdanovich N. I., Martinov V. G.* Opredelenie fizicheskikh svoystv neftesoderzhashchikh porod [Determination of physical properties of oil-bearing rocks]. M. Nedra-Biznessentr, 2007. 592 p. (In Russian).
2. *Putkaradze L. A.* Otsenka tekushchey neftenasyshchennosti po INNK [Estimation of current oil saturation by PNNL]. Karotazhnik, 2001. Release 84. Pp. 125–138. (In Russian).
3. *Nekrasov A. S., Lupov V. I.* Obosnovanie polozheniya VNK zalezhi nefi i gaza s ispolzovaniem krivykh odnositelnoy fazovoy pronitsaemosti [Justification of the position of the water-oil contact of the oil and gas reservoir using the relative phase permeability curves]. Karotazhnik, 2016. Release 10 (268). Pp. 65–73. (In Russian).

УДК 550.83

И. Ю. Митюнина

Пермский государственный национальный исследовательский
университет, 614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15;
e-mail: bsg-home@mail.ru

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ 3D МОДЕЛИРОВАНИЯ В ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

***Аннотация.** Рассмотрены вопросы создания каркасных и блочных трехмерных моделей геологических объектов в рамках горно-геологических информационных систем.*

***Ключевые слова:** горно-геологические информационные системы, 3D моделирование, каркасная модель, блочная модель, 3D интерполяция*

I. Yu. Mityunina

Perm State University, 15 Bukireva Str., Perm 614000, Russia;
e-mail: bsg-home@mail.ru

SPECIAL ASPECTS OF 3D MODELING IN THE MINING- GEOLOGICAL INFORMATION SYSTEMS

***Abstract.** The problems of creation of wireframe and block 3D models of geological objects in mining-geological information systems are considered.*

***Key words:** mining-geological information systems, 3D modeling, wireframe model, block model, 3D interpolation.*

В последние годы горно-геологические информационные системы (ГГИС) все более интенсивно используются геологами, маркшейдерами и горными инженерами для решения информационно аналитических задач, связанных с эксплуатацией месторождений полезных ископаемых [1]. ГГИС имеют много общего с традиционными геоинформационными системами: использование пространственной привязки данных, позволяющей позиционировать их в едином координатном пространстве; хранение пространственной и атрибутивной информации об объектах в виде растровых и векторных моделей; послойная организация данных. В то же время горно-геологические информационные системы изначально ориентированы для решения задач

в трехмерном пространстве и создают широкие возможности для 3D моделирования геологических объектов.

Для объемного моделирования в ГИС используется два принципиально разных, но дополняющих друг друга метода – создание каркасной и блочной модели [2].

Каркасная модель представляет собой триангуляционную модель поверхности, огибающей целевой объект набором плоских треугольных граней. В ГИС каркасные модели строятся по набору трехмерных линий, определяющих границы объекта на нескольких субпараллельных разрезах, проходящих через скважины (рис. 1). Создание замкнутых каркасов пространственных объемов (солоидов) – одна из сложнейших операций в процессе геометрического моделирования, поэтому в ГИС реализованы процедуры визуальной и математической проверки каркасов.

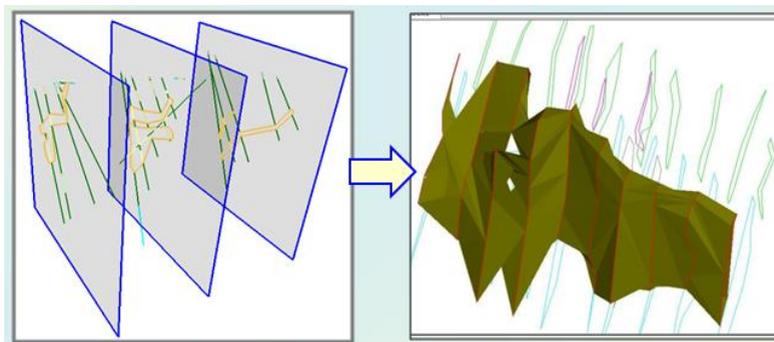


Рис. 1. Создание каркасной модели

Блочное моделирование основано на разделении пространства, в котором находятся целевые объекты, на однородные блоки (3D ячейки) и расчете в каждом блоке значений атрибутов (свойств) объекта. Блочная модель может быть построена в пределах всей изучаемой территории, однако обычно при ее создании используют готовую каркасную модель целевого объекта.

Горно-геологические системы используют для моделирования структурированные регулярные 3D сетки с ячейками в виде прямоугольных параллелепипедов. Однако серия регулярных блоков, расположенных по ортогональной сети, не всегда точно описывает границы каркасов тела, поэтому в ГИС предусмотрена процедура субблокиро-

вания, деления материнских блоков на несколько ячеек меньшего размера [3, 4].

Расчет значений атрибутов в узлах сети осуществляется по измеренным значениям, как правило, неравномерно распределенным в пространстве, на основе 3D интерполяции. В ГИС реализован ряд детерминированных и геостатистических методов трехмерной интерполяции: метод обратных расстояний, локальных полиномов, ближайших скважин, разновидности кригинга (ординарный, универсальный, индикаторный, полииндикаторный, ранговый) и др. При этом геостатистические методы интерполяции позволяют выявить и учесть при создании блочной модели анизотропию распределения свойств объекта [2].

Технологии 3D моделирования, реализованные в горно-геологических информационных системах, могут быть, как показывает практика, успешно использованы для создания трехмерных моделей геофизических полей в пределах координатного пространства произвольной конфигурации (рис. 2).

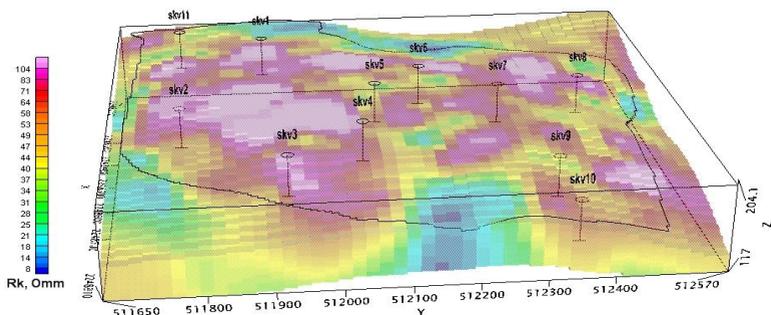


Рис. 2. Блочная геоэлектрическая модель

ЛИТЕРАТУРА

1. Бабина Т. О., Жидков С. Н., Кушнарев П. И., Маркова Н. С. Об использовании компьютерного моделирования при подсчете запасов // Недропользование – XXI век, 2007. № 6. С. 30–33.
2. Руководство пользователя: Обучение Micromine, 2013. (14.0). Ч. 1–6.
3. <https://www.3ds.com/ru/produkty-i-uslugi/geovia/produkty/surpac>.
4. <http://www.micromine.ru>.

REFERANCES

1. Babina T. O., Zhidkov S. N., Kushnarev P. I., Markova N. S. Ob ispolzovanii kompyuternogo modelirovaniya pri podschete zapasov [On the use of

computer simulation in calculating the reserves]. In: Nedropolzovanie – XXI century. 2007. № 6. Pp. 30–33. (In Russian).

2. *Rukovodstvo polzovatelya: Obucheniye Micromine*, 2013. (14.0) [User Guide: Learning Micromine 2013 (14.0)]. Parts. 1–6. (In Russian).

3. *Geovia Suprac*. 3dS. URL: www.3ds.com/ru/produkty-i-uslugi/geovia/produkty/surpac. (Accessed 10.08.2018) (In Russian).

4. *Micromine*. URL: www.micromine.ru. (Accessed 22.09.2018) (In Russian).

УДК 550.3

И. В. Огородова, А. В. Горожанцев

Пермский государственный национальный исследовательский университет. 614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15;
e-mail: irinaog@mail.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММЫ ARCGIS ДЛЯ СОЗДАНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ ФИЗИКО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НАДСОЛЕВОЙ ТОЛЩИ РАЗРЕЗА СОЛИКАМСКОЙ ДЕПРЕССИИ

Аннотация. Представлена комплексная физико-геологическая модель участка водозащитной толщи в пределах Соликамской депрессии, построенная с использованием геоинформационной системы ArcGIS 10.1 и отражающая основные особенности структурного строения надсолевой толщи изучаемой территории.

Ключевые слова: водозащитная толща, геоинформационная система ArcGIS, физико-геологические модели, кубы данных, грид-модели, TIN-модели.

I. V. Ogorodova, A. V. Gorozhantsev

Perm State University. 15 Bukireva Str., Perm 614990, Russia;
e-mail: irinaog@mail.ru

APPLICATION OF ARCGIS PACKAGE FOR CREATION OF INTEGRATED PHYSICAL-GEOLOGICAL MODEL OF SOLIKAMSK DEPRESSION SUPRASALT FORMATION

Abstract. A complex physical-geological model of the waterproof layer within the Solikamsk depression is constructed using the ArcGIS 10.1 The

model contains the main structural features of the suprasalt strata of the study area.

Key words: *waterproof layer, ArcGIS, physical and geological models, data cubes, grid models, TIN-models.*

Аварийные ситуации, произошедшие в последние годы на рудниках Верхнекамского месторождения калийных солей (ВКМКС), показали необходимость разработки методов повышения достоверности и оперативности получения информации о физическом состоянии пород водозащитной толщи. Как свидетельствует анализ горно-геологической информации, наиболее вероятной причиной ЧП, которые имели место в пределах ВКМКС, явилось возникновение в надсолевой части разреза «ослабленных» микротрещиноватых зон и разрывных структур горных пород, образование которых связано с характером существующих на современном этапе развития региона напряжений и технологией проведения добычных работ. Возникновение ослабленных зон негативно влияет на напряженно-деформационное состояние пород водозащитной толщи и приводит к усилению циркуляции флюидов, сопровождающейся выщелачиванием, изменением состава пород и их разрушением. Первоочередной задачей обеспечения безаварийной эксплуатации месторождения является изучение тектонического строения надсолевого комплекса отложений и создание его комплексной физико-геологической модели. Поскольку сеть пробуренных солеразведочных скважин на ВКМКС достаточно редка, для создания детальной модели строения надсолевых отложений и прогнозирования местонахождения ослабленных зон широко применяются геофизические методы [1, 4].

При построении физико-геологической модели участка, расположенного в южной части ВКМКС в пределах Белопашнинской площади, были использованы фондовые материалы ОАО «Уралкалий» и ПАО «Пермнефтегеофизика». Материалы геофизических съемок, в частности, данные электрометрических (метод ВЭЗ) [1] и детальных гравиметрических [2] измерений были переинтерпретированы [5] и подготовлены для создания физико-геологической модели исследуемой части водозащитной толщи разреза.

Технология создания трехмерной модели, в частности с применением геоинформационной системы ArcGIS 10.1 (ESRI, США), основывается на представлении среды в виде набора элементарных блоков (кубов), каждый из которых имеет числовую характеристику (геофизический параметр) и пространственное положение, описываемое координатами X, Y, Z [6]. Процесс построения модели включает целый

набор процедур выбора значений геофизического параметра по атрибуту Z , расчета грид-моделей его распределения для каждого уровня глубин, конвертации гридov в точки и формирования элементарных блоков трехмерной модели. Построение структурной модели разреза надсолевой толщи выполнялось по скважинным данным с помощью дополнительного модуля 3D Analyst. Представление структурных поверхностей осуществлялось с помощью TIN-моделей, аппроксимирующих поверхности в виде непрерывного набора треугольных граней, вершинами которых являются нерегулярно расположенные точки с известными отметками высот поверхности.

При создании модели рельефа поверхности наблюдений в качестве дополнительной информации учитывались слои изолиний рельефа и речной сети, полученные в результате векторизации топографической карты масштаба 1:100 000, а при формировании пластов разреза проводилось извлечение мультитпатчей для всех пар кровель и подошв горизонтов по области исследования (рис. 1).



Рис. 1. Схема структурной модели разреза надсолевой толщи исследуемого участка по скважинным данным с учетом топографии местности

Для изучения общего характера пространственного изменения электрических свойств среды в толще пород от дневной поверхности до эффективных глубин 220–250 м в программе ArcScene был построен куб кажущихся удельных электрических сопротивлений (рис. 2).

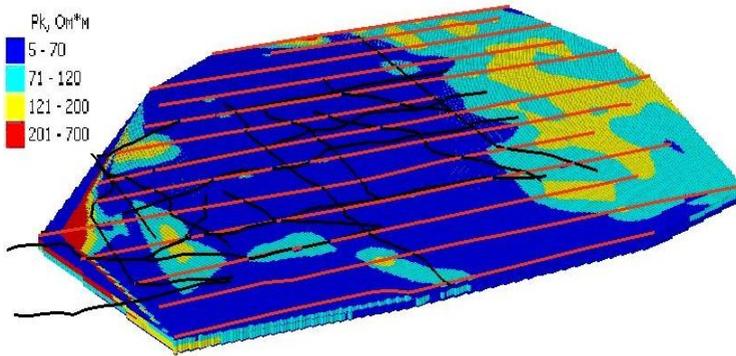


Рис. 2. Модель распределения кажущегося сопротивления

Ниже представлена комплексная геолого-геофизическая модель исследуемого участка, содержащая данные о локальном гравитационном поле (Δg , мГал), разрезы кажущихся сопротивлений (ρ_k , Ом·м) по электроразведочным профилям и скоростные разрезы (V , мс/м) по сейсмическим профилям (рис. 3).

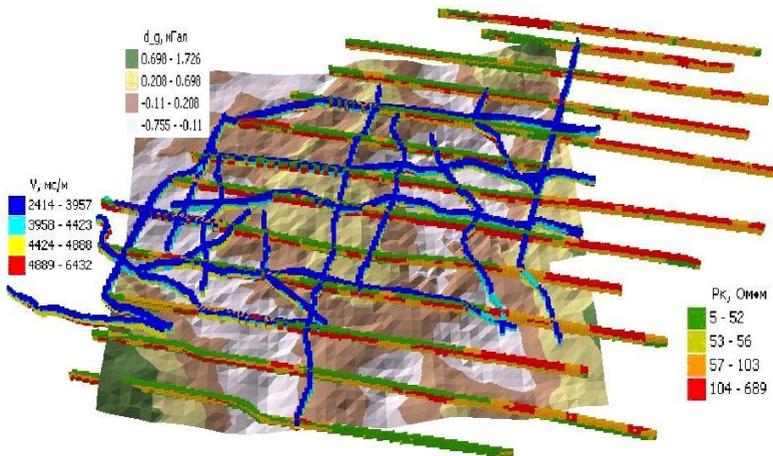


Рис. 3. Комплексная геолого-геофизическая модель исследуемого участка

Результаты проведенных исследований позволили выявить в пределах изучаемой площади два участка (первый расположен в северо-западной части, а второй – на западе исследуемой территории) от-

носителем низких значений электрического сопротивления горных пород, частично коррелируемых с зонами понижения значений локального гравитационного поля и уменьшением пластовых скоростей. Это позволяет предполагать здесь нарушения целостности пород надсолевой толщи. Для литологической привязки аномалий к конкретным геологическим горизонтам были использованы данные 4 параметрических скважин.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Беляев В. П. и др.* Отчет о геофизических работах на Верхнекамской площади за 1987–1989 гг. Пермь, 1989. (Фонды ОАО «Уралкалий»).
2. *Нояксова Л. Д. и др.* Отчет о результатах гравиметрической съемки м-ба 1:25 000 Верхнекамской площади, проведенной в 1986–1990 гг. ПГО «Уралгеология». Свердловск, 1990. (Фонды ОАО «Пермнефтегеофизика»).
3. *Огородова И. В.* Учет скоростной анизотропии пород верхней части разреза для повышения геологической эффективности сейсморазведки: автореферат дис. канд. геол.-мин. наук. Пермь, 2012. 24 с.
4. *Санфиоров И. А., Бабкин А. И.* Сейсморазведка МОВ в горных выработках соляных рудников // Геофизика, 2006. № 3. С. 23–26.
5. *Спасский Б. А. и др.* Отчет: опытно-методические работы по интерпретации сейсморазведочных данных на территории ВКМКС с целью геологического изучения соляной толщи, 2001. (Фонды ОАО «Пермнефтегеофизика»).
6. *Финчук В. В., Моргунов С. И.* Подсчет запасов полезных ископаемых «легкими» методами. ArcReview. № 4 (51), 2009.

REFERENCES

1. *Belyaev V. P. et al.* Otchet o geofizicheskikh rabotakh na Verkhnekamskoy ploshchadi za 1987–1989 gg. [A report on geophysical study at the Verkhnekamskaya area for 1987–1989]. OJSC Uralkali. Perm, 1989. (In Russian).
2. *Noyaksova L. D. et al.* Otchet o rezul'tatakh gravimetricheskoy s"yemki m-ba 1:25000 Verkhnekamskoy ploshchadi, provedennoy v 1986–1990 gg. PGO «Uralgeologiya» [A report on the results of a gravimetric survey of the 1: 25 000 m. Verkhnekamsk area, conducted in 1986–1990. PGO «Uralgeology»]. Sverdlovsk, 1990. ОАО «Пермнефтегеофизика». (In Russian).
3. *Ogorodova I. V.* Uchet skorostnoy anizotropii porod verkhney chasti razreza dlya povysheniya geologicheskoy effektivnosti seysmorazvedki [Consideration of shallow velocity anisotropy to improve the geological efficiency of seismic prospecting]. Diss. cand. geol.-min. sci. Perm, 2012. 24 p. (In Russian).
4. *Sanfirov I. A., Babkin A. I.* Seysmorazvedka MOV v gornyykh vyrabotkakh solyanykh rudnikov [Seismic reflection in mine workings of salt mines]. Geofizika, 2006. № 3. Pp. 23–26. (In Russian).
5. *Spassky B. A. et al.* Otchet: opytno-metodicheskiye raboty po interpretatsii seysmorazvedochnyykh dannyykh na territorii VKMKS s tsel'yu geologicheskogo

izucheniya solyanoy tolshchi [Report: Experimental and methodological work on the interpretation of seismic data on the territory of VKMKS for the purpose of geological study of the salt formation] Perm, 2001. Permneftegeofizika. (In Russian).

6. *Finchuk V. V., Morgun S. I.* Podschet zapasov poleznykh iskopayemykh «legkimi» metodami [Calculation of mineral resources using «light» methods]. ArcReview. № 4 (51), 2009.

УДК 550.837

Е. И. Паршаков, А. А. Тайницкий, А. В. Кичигин
Горный институт УрО РАН. 614007, Россия, г. Пермь, ул. Сибирская,
д. 78а; e-mail: parshakov_e@list.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АППАРАТА ТЕОРИИ ОЦЕНОК ПРИ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЗОНДИРОВАНИЙ

Аннотация. В статье рассматриваются возможности использования в интерпретации статистических характеристик параметров электрического поля. Для повышения достоверности интерпретации выполнена классификация статистических характеристик. Результаты представлены для участков, расположенных в пределах Верхнекамского месторождения солей.

Ключевые слова: вертикальное электрическое зондирование, кажущееся сопротивление, статистические характеристики, методы безэталонной классификации.

E. I. Parshakov, A. A. Taynitskiy, A. V. Kichigin
Mining Institute UB RAS. 78a Sibirskaya Str., Perm 614007, Russia;
e-mail: parshakov_e@list.ru

USE OF THE THEORY OF ASSESSMENTS FOR INTERPRETATION OF THE VERTICAL ELECTRICAL SOUNDINGS DATA

Abstract. The article presents a study of the possibility of use the statistical characteristics of the observed electric field parameters for interpretation of the resistivity date. Classification of statistical characteristics was performed to improve the reliability of the interpretation. The results are presented for the sites located within the Verkhnekamskoe deposit of salts.

Key words: vertical electric sounding, the apparent resistivity, statistical characteristics, methods of non-standard classification.

Жидкие отходы калийного производства накапливаются в специальных бассейнах – шламохранилищах, прудах-отстойниках и рассолосборниках. Вследствие фильтрационных потерь рассолов из накопительных бассейнов, на локальных участках, вблизи промплощадок и объектов хвостового хозяйства, происходят необратимые процессы засоления почв и грунтов, поверхностных и подземных вод.

Для выявления возможных путей миграции рассолов в водоносных горизонтах на участках накопителей солеотходов проводятся электроразведочные работы. Высокая чувствительность электропроводности солей к их влагосодержанию, повышению минерализации подземных вод определяет высокую информативность методов электроразведки. Качественная и количественная интерпретация данных вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) позволяет получить разрезы электрических параметров и схемы распределения кажущегося сопротивления. Участки низких сопротивлений, выявленные при этом, являются наиболее вероятными путями миграции рассолов.

Исследования методом ВЭЗ выполнялись на двух участках накопителей солеотходов в пределах Верхнекамского месторождения солей. Максимальный полуразнос питающей линии $AB/2 = 200$ м. Расстояние между пикетами – 100 м. На рис. 1 приведены планы изолиний кажущегося сопротивления (КС) для $AB/2 = 50$, 125 и 200 м, построенные для качественного отображения общего характера пространственного изменения КС на участке 2.

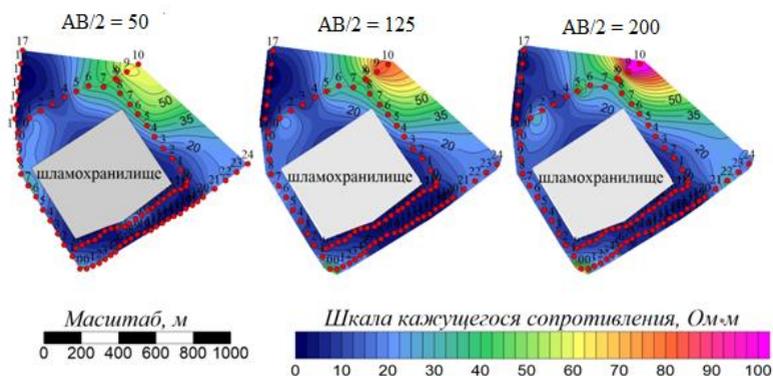


Рис. 1. Планы изолиний КС. Участок 2

Анализ планов изолиний КС и разрезов показал, что миграция высокоминерализованных подземных вод происходит в западном и южном направлениях. Однако преимущественным направлением миграции в пределах исследуемого участка следует считать юго-восточное. Наблюдается унаследованность конфигураций областей пониженных значений сопротивлений на глубинах 15–17, 35–40 и 65–70 м, соответствующих приведенным на рис. 1 полуразносам АВ. Область низких сопротивлений на северном окончании профиля 2 (ПК 12 – 17) расположена за пределами шламохранилища, а кривые ВЭЗ имеют сильные искажения, что затрудняет однозначно интерпретировать данную аномалию.

В условиях недоопределенности обратной задачи осуществлять выбор оптимального варианта исследуемой модели среды помогает использование дополнительной информации [1]. Получаемые в результате геолого-геофизических исследований данные можно считать выборкой одной или нескольких случайных величин. Это позволяет анализировать их статистические характеристики с помощью аппарата теории оценок, который существенно увеличивает объем полезной информации, содержащейся в наблюдениях, что, в свою очередь, повышает эффективность процесса геологической интерпретации и качество конечных результатов в целом [3]. Имеется положительный опыт интерпретации данных электропрофилеирования с помощью аппарата теории оценок при решении инженерно-геологических задач [2, 4, 5]. На данных участках авторами исследована возможность его использования при интерпретации данных ВЭЗ для решения поставленной задачи.

Значения КС, полученные для различных полуразносов АВ, интерполировались в узлы регулярной сети. Методом скользящего окна, размером 5×5 шагов сети, рассчитывались статистические характеристики значений КС. Полученные статистики объединялись в многопризнаковые пространства (по каждому полуразносу АВ), структура которых анализировалась с помощью различных методов безэталонной классификации. Вычисления выполнялись программным комплексом «КОСКАД» (Петров А. В. и др, МГГУ). Метод общего расстояния позволил получить контуры классов (рис. 2), пространственно совпадающие с областями повышенных значений КС. На профиле 5 (ПК 8 – 17) высокие сопротивления вызваны остатками насыпных грунтов в конструкции шламохранилища (щебень, песок, ПГС, и т.д.), поэтому контуры классов прослеживаются лишь для статистик КС, полученных до $AB/2 = 50$ м. Для профилей 1, 3 и 4 контуры классов выделяются по статистикам КС, измеренным при увеличении разносов АВ, т.е. с глу-

биной сохраняются повышенные значения КС. Области повышенного сопротивления отвечают необходимым четвертичным отложениям, мощность которых составляет около 35 м. Ранее авторы использовали классификационные процедуры для выделения зон возможных инженерно-геологических осложнений, отмечаемых пониженными сопротивлениями. Но на данных участках, из-за большого количества значений пониженного сопротивления, соответствующий им класс – фонový. Локальные области, выделяемые более высокими номерами классов, характеризуются повышенными значениями КС и пространственно отвечают областям наименее трещиноватых или необходимых пород.

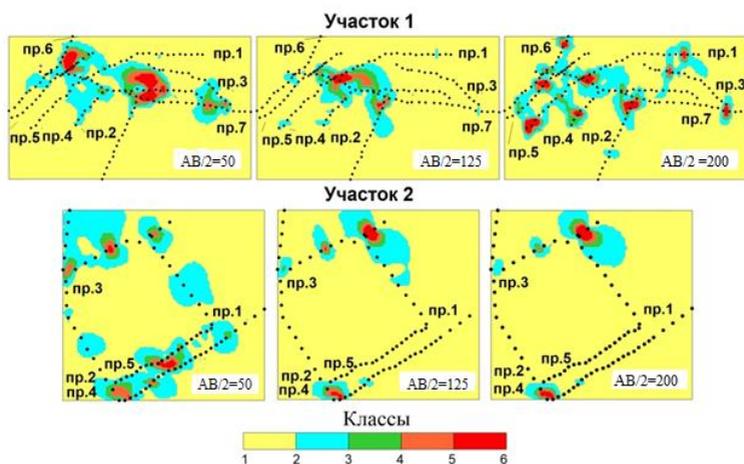


Рис. 2. Результаты классификаций

Получить дополнительную информацию для большей определенности при интерпретации интервала между ПК 12 – 17 (пр. 2) не удалось, но результаты классификаций позволили определить еще одно возможное направление их использования: выделение областей распространения наименее измененных пород.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 16-45-590046, № 18-35-00320.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колесников В. П. Основы интерпретации электрических зондирований М.: Научный мир, 2007. 248 с.
2. Паршаков Е. И., Ширяев К. Н. Использование классификаций электрометрических параметров при решении инженерно-геологических задач //

Теория и практика разведочной и промысловой геофизики. Пермь, ПГНИУ, 2017. С. 146–151.

3. *Петров А. В., Юдин Д. Б., Syueli Khou.* Обработка и интерпретация геофизических данных методами вероятностно-статистического подхода с использованием компьютерной технологии «КОСКАД 3D» // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле, 2010. № 2. Вып. 16. С. 126–132.

4. *Христенко Л. А.* Интерпретация геоэлектрических данных с использованием вероятностно-статистических характеристик при решении инженерно-геологических задач // GEOINFORMATIKA, 2015. № 4 (56). С. 29–34.

5. *Христенко Л. А., Степанов Ю. И., Кичигин А. В., Паршаков Е. И., Тайницкий А. А., Ширяев К. Н.* Совершенствование интерпретации данных мониторинговых электроразведочных наблюдений с помощью аппарата теории оценок // Инженерная геофизика 2017: материалы 13-й науч.-практ. конф. и выставки. Кисловодск, 2017. DOI 10.3997/2214-4609.201700419. Электрон. изд. режим доступа: <http://www.earthdoc.org/publication/publicationdetails/?publication=88140>. Code 129037. DOI: 10.3997/2214-4609.201700419

REFERENCES

1. *Kolesnikov V. P.* Osnovy interpretatsii elektricheskikh zondirovaniy [Basics of interpretation of electrical soundings]. M. Nauchnyy mir, 2007. 248 p. (In Russian).

2. *Parshakov E. I., Shiryayev K. N.* Ispol'zovanie klassifikatsiy elektrometricheskikh parametrov pri reshenii inzhenerno-geologicheskikh zadach [Use of classifications of electrometric parameters for the solution of engineering-geological problems]. Teoriya i praktika razvedochnoy i promyslovyoy geofiziki. Perm. PSU, 2017. Pp. 146–151 (In Russian).

3. *Petrov A. V., Yudin D. B. and Syueli Khou.* Obrabotka i interpretatsiya geofizicheskikh dannykh metodami veroyatnostno-statisticheskogo podkhoda s ispol'zovaniem komp'yuternoy tekhnologii «KOSKAD 3D» [Processing and interpretation of geophysical data by methods of probabilistic and statistical approach with use of the computer technology KOSKAD 3D]. Vestnik KRAUNTs, Nauki o Zemle. 2010. № 2. Issue 16. Pp. 126–13. (In Russian).

4. *Khristenko L. A., Stepanov Yu. I.* Interpretatsiya geoelektricheskikh dannykh s ispol'zovaniem veroyatnostno-statisticheskikh kharakteristik pri reshenii inzhenerno-geologicheskikh zadach [Interpretation of geoelectric data with use of probability and statistical characteristics for the solution of engineering-geological problems]. GEOINFORMATIKA. 2015. № 4. pp. 29-34. (In Russian).

5. *Khristenko L. A., Stepanov Yu. I., Kichigin A. V., Parshakov E. I., Taynitskiy A. A., Shiryayev K. N.* Sovershenstvovanie interpretatsii dannykh monitoringovykh elektrorazvedochnykh nablyudeniy s pomoshch'yu apparata teorii otsenok [Improvement of interpretation of the electrical monitoring data by means of the theory of estimates]. In: Engineering Geophysics 2017. Kislovodsk. OI: 10.3997/2214-4609.201700419. URL: <http://www.earthdoc.org/publication/publicationdetails/?publication=88140> (Accessed 05.09.2018). (In Russian).

УДК 550.34

И. А. Переплеткин

Тюменский индустриальный университет. 625000, Россия, г. Тюмень,
ул. Володарского, д. 38, email: ivan_perepletkin@mail.ru

**ВЫЯВЛЕНИЕ ОБЛАСТЕЙ НЕФТЕГАЗОНАСЫЩЕНИЯ
В НЕТРАДИЦИОННЫХ КОЛЛЕКТОРАХ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ
ТРЕХКОМПОНЕНТНОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ
В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

***Аннотация.** Разработка трехкомпонентной сейсморазведки позволяет дополнить сейсмические изображения сведениями о коллекторских свойствах пород. Данная технология включает в себя построение попластовых карт распределения коэффициента Пуассона. На практике эта методика реализует большой экономический потенциал.*

***Ключевые слова:** 3С сейсморазведка, коэффициент Пуассона, нетрадиционные коллекторы.*

I. A. Perepletkin

Tyumen Industrial University. 38 Volodarskogo Str., Tyumen 625000,
Russia, e-mail: ivan_perepletkin@mail.ru

**IDENTIFICATION OF THE UNCONVENTIONAL OIL-BEARING
RESERVOIRS USING THREE-COMPONENT SEISMIC
TECHNOLOGY. WESTERN SIBERIA**

***Abstract.** Three-component seismic survey allows supplementing seismic images with more detailed information about the reservoir properties. This technology includes the construction of the Poisson coefficient distribution maps. In practice, this methodology has a great economic potential.*

***Key words:** three-component seismic, Poisson's ratio, unconventional reservoir.*

В данной статье рассматривается применение технологии 2D-3С-сейсморазведки для трудноизвлекаемых запасов нетрадиционных коллекторов Западной Сибири на примере Ван-Еганского нефтяного месторождения. По физико-химическим свойствам и составу это тяжелые нафтеновые нефти, освоение которых сопряжено с комплексом проблем. Во-первых, их высокая вязкость в пластовых условиях, которая в сотни раз превышает вязкости пластовых вод, затрудняет процесс вытеснения нефти водой. Во-вторых, все сеноманские нефтяные

залежи, содержат массивные газовые шапки. Наибольший интерес для поисков залежей нефти и газа имеет изучение связей коэффициента Пуассона с нефтегазоносностью исследуемых интервалов разреза. Теоретически коэффициент Пуассона должен уменьшаться на участках нефтегазонасыщения по сравнению с водонасыщенными участками. Результаты полевых экспериментов, полученные на участках с известными залежами, подтверждают указанную закономерность (рис. 1).

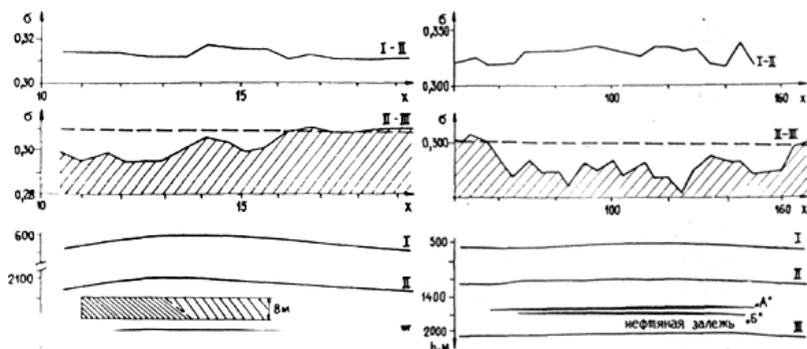


Рис. 1. Аномалии пластового коэффициента Пуассона в области нефтяных залежей двух месторождений: I–II – пластовый коэффициент Пуассона в «пустом» пласте между сейсмическими горизонтами I–II; II–III – то же в пласте, содержащем залежь, между горизонтами II–III [1]

В основе многоволновой сейсморазведки 2D-3С лежит направленная вниз продольная Р-волна с обменом, изменяющую в самой глубокой точке проникновения свой тип на восходящую поперечную S-волну. Источник сейсмических колебаний помещается в необсаженные скважины, во избежание дополнительных волн-помех, которые могут быть вызваны стальными обсадными колоннами. В общем виде радиальная схема расположения линий приема с трехкомпонентными приемниками отраженных обменных (PS) и монотипных (PP) волн, представляет собой следующую картину: в центре – источник колебаний, а также 6 профилей 2D с трехкомпонентными приемниками, расположенные симметрично по отношению к источнику (рис. 2).

Внутрискважинный источник возбуждает упругие колебания на глубине ниже зоны малых скоростей (глубина в пределах 25–30 м). Данный факт обусловлен тем, что запись сейсмограмм обменных волн имеют гораздо меньшее качество, по сравнению с PP-волнами, а при

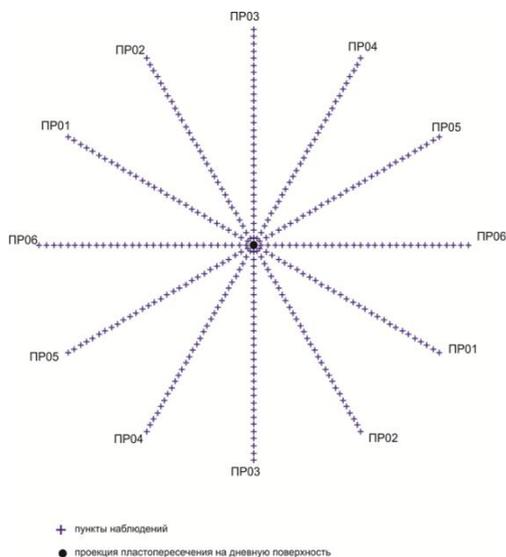


Рис. 2. Схема наблюдений для исследования околоскважинного пространства: в центре – источник колебаний и 6 профилей 2D с трехкомпонентными приемниками, расположенные симметрично по отношению к источнику [1]

дополнительном влиянии зоны малых скоростей (ЗМС) запись поперечных волн крайне проблематична. В данной технологии используются аналоговые трехкомпонентные приемники, располагающиеся на малом расстоянии друг от друга на профилях приема. Механизм действия прибора прост – принимаются сигналы по трем осям распространения упругих волн, записываются колебания среды в разных направлениях. Далее, с помощью преобразователя идет перевод сейсмограмм в электрический сигнал по сейсмическим трассам, являющийся функцией колебания упругой среды. При дальнейшей интерпретации данных по трехкомпонентным приемникам, сейсмические трассы переводятся во временные разрезы по профилям 2D-3С, согласно выбранной радиальной схеме расположения источника и приемников упругих волн. Во-первых, данная схема является экономически оправданной, так как используется лишь один источник колебаний. Во-вторых, применительно к интерпретации данных такая схема является достаточно удобной для построения поплатовых карт распределения коэффициента Пуассона, получаем данные, расположенные во все стороны на равных расстояниях от скважины, в которой находится источник. «Межлепестковые» области также подвергаются тщательной ин-

терполяции, упрощающейся ввиду высокой плотности полученных данных по каждому из приемников [2].

Окончательный этап интерпретации данных после анализа и корреляции временных разрезов по трем компонентам – построение попластовой карты распределения значений комплексного параметра $\gamma = V_P / V_S$ (рис. 3), где наименьшие значения коэффициента Пуассона соответствуют участкам нефтенасыщения.

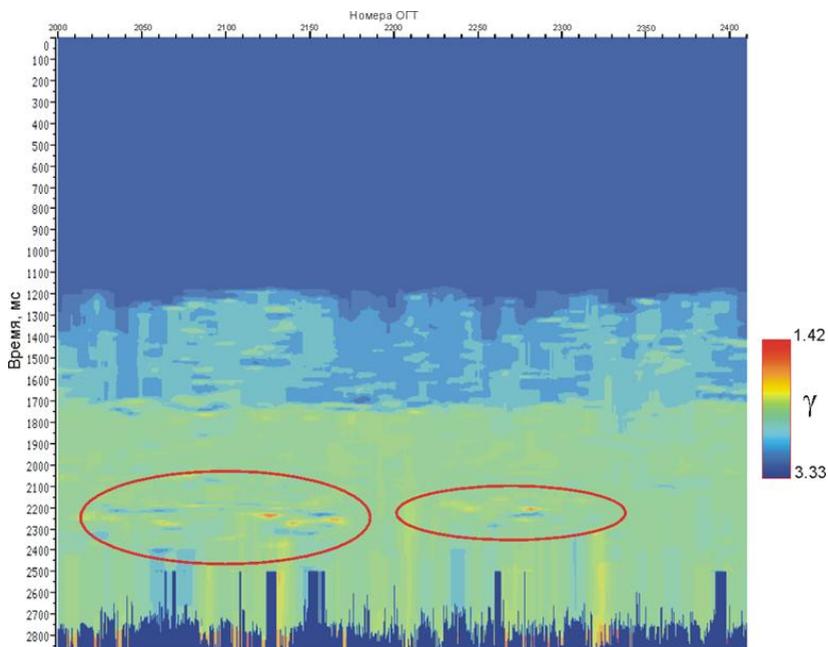


Рис. 3. Разрез распределения значений комплексного параметра $\gamma = V_P / V_S$: $\gamma = 1,42-3,33$ соответствуют значениям коэффициента Пуассона $\sigma = 0,01-0,45$

Таким образом, детальный анализ результатов проведения 2D-3С сейсморазведочных работ (конечная цель – определение коэффициента Пуассона) позволил свести к минимуму погрешность выделения зоны нефтенасыщения применительно к нетрадиционным коллекторам. Предлагаемая инновационная технология 2D-3С сейсморазведки позволила оптимизировать разработку трудноизвлекаемых запасов, сосредоточенных в нетрадиционных коллекторах Западной Сибири, суммарные геологические запасы нефти которой оцениваются в раз-

мере от 0,8 до 2,1 триллионов тонн, а потенциал прироста извлекаемых запасов нефти оценивается в размере не менее 30–40 млрд тонн. Следует отметить, что данная стратегия возможна только лишь при интегрировании геофизических методов, геологии и бурения в рамках единой технологии добычи полезных ископаемых, включающей создание пространственной геологической модели месторождения и подсчета запасов [1].

ЛИТЕРАТУРА

1. Пузырев Н. Н. Поперечные и обменные волны в сейсморазведке. Сборник научных трудов. М.: Недра, 1997. 118 с.
2. Hardage B. A., DeAngelo M. V., Murray P. E., Sava D. Multicomponent seismic technology, Tulsa: SEG, 2011. 295 с.

REFERENCES

1. Puzyrev N. N. Poperechnye i obmennye volny v seysmorazvedke. Sbornik nauchnykh trudov [Secondary and exchange waves in seismic survey. A book of scientific papers]. Moscow. Nedra, 1997. 118 p. (In Russian).
2. Hardage B. A., DeAngelo M. V., Murray P. E., Sava D. Multicomponent seismic technology, Tulsa: SEG, 2011. 295 p.

УДК 550.832.5; 51-74

Л. Д. Плешков

Пермский государственный национальный исследовательский университет. 614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15;
e-mail: levpleshkov@psu.ru

ИЗУЧЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД ПО ДАННЫМ ГИС С ПРИМЕНЕНИЕМ ЦЕПЕЙ МАРКОВА

Аннотация. По данным литолого-плотностного каротажа одной из скважин составлена литологическая колонка для разреза карбонатных отложений фаменского и турнейского ярусов, характерного северной части Башкирской вершины Пермско-Башкирского свода. Для анализа цикличности этих отложений был применен анализ с использованием цепей Маркова, при котором каждый литологический тип являлся состоянием системы – карбонатной толщи. Результаты анализа позволили выявить некоторые закономерности в осадконакоплении.

Ключевые слова: седиментационная цикличность, цепь Маркова, карбонатные породы, литолого-плотностной каротаж.

L. D. Pleshkov

Perm State University. 15 Bukireva Str., Perm 614990, Russia;
e-mail: levpleshkov@psu.ru

MARKOV CHAIN ANALYSIS FOR BETTER UNDERSTANDING OF CARBONATE SEQUENCES BASED ON WELL-LOGGING DATA

Abstract. Carbonate sequence of the Famennian and Tournaisian Stages were subject to the Markov chain analysis. Lithology was obtained from litho-density log data recorded in a well at the northern part of the Bashkirskiy Swell (Perm region, Russia). Each lithology corresponds to a state of Markov process. It was shown that the sequence has the cyclic patterns as well as the random behavior.

Keywords: sedimentary cycles, Markov chain analysis, carbonate sequences, litho-density logs.

Введение

Изучение цикличности и закономерностей смены состава осадочных пород давно является актуальной задачей, результаты решения которой способны положительно повлиять на процессы поисков и разработки залежей углеводородов. Особенно важным для территории Пермского края является изучение карбонатных отложений в связи с активизацией разработки продуктивных пластов фаменского яруса девонской системы.

К настоящему моменту накопился значительный объем исследований, посвященных изучению цикличности осадконакопления в различных геологических обстановках с использованием анализа, основанного на применении теории Марковских цепей [3, 4].

Применение Марковских цепей в геологии

Цепь Маркова является стохастической моделью, описывающей последовательность событий, в которой вероятность наступления последующих состояний системы зависит только от того, каким было предшествующее ему состояние. Изучив порядок смены состояний системы в прошлом и выразив его в математической форме, можно использовать полученные знания для предсказания событий в будущем.

Основной проблемой применения теории Марковских цепей к геологической среде является выбор оптимальной мощности пласта. Два крайних случая в выборе – это выбор мощности, равной разрешающей способности имеющихся данных, либо мощности, соответствующей каждому новому слою. В первом случае, будет большое количество переходов от одного пласта к другому, не отличающемуся от первого какими-либо свойствами, во втором – каждый пласт будет иметь различную мощность.

Другой важной проблемой является частое наличие перерывов в осадконакоплении и стратиграфических несогласий, когда нарушается «естественный» порядок смены литологических разностей.

Основные вопросы, на которые помогает ответить анализ с применением цепей Маркова, – есть ли закономерность в смене литологических разностей в разрезе, как эта закономерность проявляется, а также проследить цикличность в смене этих разностей.

Описание исследования

Исследование цикличности с использованием теории Марковских цепей проводилось в интервале карбонатных отложений фаменского (D₃fm) и турнейского (C₁t) ярусов. в пределах одного из месторождений, расположенного в северной части Башкирско свода (Башкирской вершины Пермско-Башкирского свода). В нижней части фаменского яруса залегают известняки и доломиты, в его верхней части и в турнейском ярусе – известняки. При этом наблюдается частое переслаивание чистых, доломитизованных, кремнелых и глинистых разностей известняков, а также появление глинистых прослоев. Фаменские известняки образовывались в условиях открытой карбонатной равнины, кремнение и глинизация происходило под влиянием приноса терригенного материала, а отложения доломита в основании яруса связана с притоком тяжелых рассолов из зоны себхи (засолоненных болот в понижениях рельефа прибрежной полосы) [1]. Известняки турнейского яруса имеют рифовое происхождение [2], в них наблюдается более интенсивное кремнение, чем в фаменских известняках. Это связано, вероятно с большим объемом их пустотного пространства, и, как следствие, способностью лучше аккумулировать терригенный материал. Нижняя граница фаменского яруса проведена по корреляции со скважинами соседних месторождений и площадей, однако может быть условна.

Фактический материал включает в себя результаты геофизических исследований стандартного комплекса, а также литолого-плотностного гамма-гамма каротажа (ГГК-ЛП).

По данным интерпретации ГИС была построена литологическая колонка в исследуемом интервале карбонатного осадконакопления. Всего выделено десять литологических разностей: известняк (А), известняк окремнелый (В), известняк окремнелый глинистый (С), известняк доломитизованный (D), известняк доломитизованный окремнелый (Е), известняк доломитизованный глинистый (F), доломит (G), доломит известковистый (H), глина / аргиллит (I), известняк глинистый (J). На рис. 1 представлен планшет с результатами интерпретации данных ГГК-ЛП в стандартном комплексе скважинных исследований.

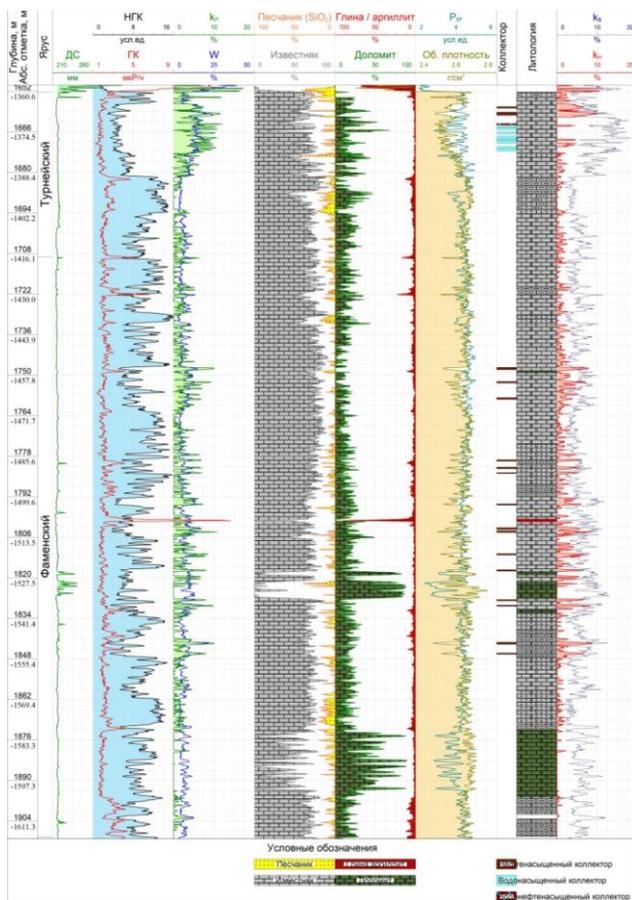


Рис. 1. Планшет с результатами интерпретации данных ГГК-ЛП и методов стандартного комплекса ГИС. Литологическая колонка усреднена

Путем подсчета смен литологических разностей была составлена матрица переходов **T**, на основе которой рассчитывалась матрица вероятностей переходов **P** и строилась диаграмма взаимоотношения состояний (рис. 2). Наличие цикличности (отсутствие случайности в смене литологических разностей) было проверено при помощи критерия хи-квадрат, рассчитанного по [4, формула (4)]: $\chi^2 = 140,9$ при критическом значении в 79,2 с 95 % доверительной вероятностью и числе степеней свободы, равном 80. Переходы состояний системы, которые не являются случайными, приводятся в матрице **D** разностей между вероятностями переходов **P** и независимыми испытаниями **R** (табл.).

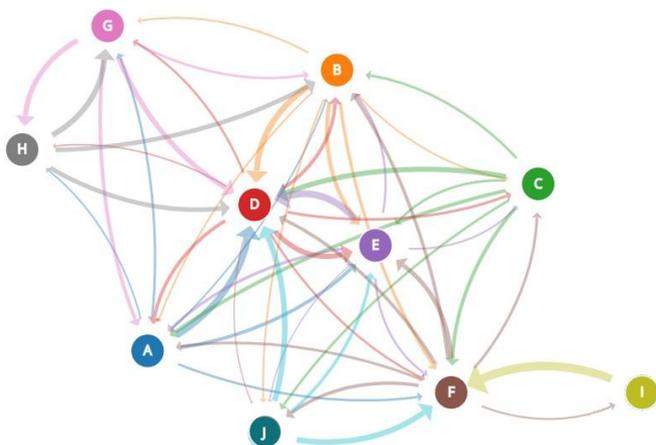


Рис. 2. Диаграмма взаимоотношения литологических разностей

Таблица

Матрица разностей d_{ij} вероятностей переходов p_{ij} и независимых испытаний r_{ij}

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
A				0,224			0,025	0,005		
B				0,118	0,001	0,030				0,006
C	0,067			0,024		0,087				0,056
D	0,002	0,017	0,020		0,083					
E				0,261						
F		0,039	0,043		0,051				0,047	0,122
G	0,067			0,025				0,329		
H		0,174					0,375			
I						0,910				
J				0,097		0,336				

Обсуждение результатов анализа

На диаграмме слева направо можно выделить три крупных кластера, включающих в себя пять, семь и две литологических разности. При этом, чем выше вероятность перехода из одного состояния в другое, тем толще стрелка, обозначающая переход.

1. HGADB. Кластер характеризуется почти равномерным распределением вероятностей перехода, однако наиболее устойчивое состояние система может достичь, когда попадет в пару HG.

2. ADBJECF. Самый крупный кластер с большим диапазоном вероятностей перехода, в центре которого можно выделить особую пару DE. Эта пара особенна тем, что, попав в нее, система может на длительное время остаться в ней: вероятность перехода из состояния D максимальна при переходе в состояние E, и наоборот. Остальные элементы кластера имеют весьма хаотичный набор связей.

3. FI. Наименее заполненный кластер с особым состоянием I, попасть в которое системе удаётся реже всего.

В целом, для системы характерен частый переход в состояние D из всех других состояний, кроме I. Попасть и выйти из состояния I возможно только через состояние F.

Переходя от состояний системы, обозначаемых латинскими буквами, к литологическим характеристикам горных пород, можно сделать дальнейшие выводы.

- Известняк доломитизованный (D) является наиболее популярным вариантом смены литологии (встречается с вероятностью в 35 %), при этом переход к нему возможен из любого другого литотипа, кроме глин (аргиллита). Наиболее частый переход к доломитизованному известняку происходит от известняка доломитизованного окремнелого (E, 27 раз), чистого известняка (A, 14 раз) и окремнелого известняка (B, 11 раз).

- Чистый известняк (A) встречается довольно редко (с вероятностью в 10%) и никогда не переходит в глинистые разности (C, F, J). Появление глинистых разностей в разрезе возможно либо после окремнелого и доломитизованного известняка, либо при их взаимном чередовании.

- Переход к доломиту (G) и доломиту известковистому (H) происходит через чистый известняк. Переходы от других разностей, согласно полученной модели, являются случайными.

- Доломитизация (состояния D, E, F, G, H) может проявиться в разрезе при переходе от любой из наличествующих литологических разностей, за исключением глин / аргиллитов (I).

Необходимо также отметить, что нефтеносные породы-коллекторы приурочены в разрезе к чистым и доломитизованным известнякам, крышкой которых всегда служат глинистые или кремнеземные разности доломитизованного известняка.

Выводы

Результаты применения анализа с помощью Марковских цепей позволили установить, что смена литологических характеристик пластов в изучаемом интервале разреза происходит циклично, однако, согласно результатам применяемого метода, эта цикличность осложняется случайными переходами. В дальнейшем требуется количественная характеристика меры случайности и цикличности осадконакопления, а также определение наиболее характерных циклов. Установление таких циклов по данным ГИС может значительно упростить процесс межскважинной корреляции карбонатных отложений.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Вилесов А. П., Пятунина Е. В.* Изучение литолого-фациального строения продуктивной карбонатной толщи фаменского яруса Башкирского свода с целью повышения эффективности геолого-разведочных работ // Нефтяное хозяйство. Ред. Зверева В. Н. М.: ЗАО «Изд. "Нефтяное хозяйство"», 2011. № 6. С. 82–85.

2. *Лядова Н. А., Яковлев Ю. А., Распопов А. В.* Геология и разработка нефтяных месторождений Пермского края. М.: ОАО «ВНИИОЭНГ», 2010. 335 с.

3. *Borka S.* Markov chains and entropy tests in genetic-based lithofacies analysis of deep-water clastic depositional systems / De Gruyter, 2016. 8. Pp. 45–51.

4. *Miall A. D.* Markov chain analysis applied to an ancient alluvial plain succession / *Sedimentology*, 1973. 20. Pp. 347–364.

REFERENCES

1. *Vilesov A. P., Pyatunina E. V.* Izuchenie litologo-fatsialnogo stroeniya produktivnoy karbonatnoy tolshchi famenskogo yarusa Bashkirskogo svoda s tselyu povysheniya effektivnosti geologo-razvedochnykh работ [The study of the lithofacies of the productive carbonate strata of the Famennian Stage of the Bashkir Arch in order to increase the efficiency of geological exploration]. *Neftyanoe khozyaystvo*, 2011. 6. Pp. 82–85. (In Russian).

2. *Lyadova N. A., Yakovlev Yu. A., Raspopov A. V.* Geologiya i razrabotka neftyanykh mestorozhdeniy Permskogo kraya [Geology and development of oil fields of the Perm region]. Moskva: VNIIOENG, 2010. 335 p. (In Russian).

3. *Borka S.* Markov chains and entropy tests in genetic-based lithofacies analysis of deep-water clastic depositional systems. *Open Geosciences*, 2016. 8. Pp. 45–51.

4. *Miall A. D.* Markov chain analysis applied to an ancient alluvial plain succession. *Sedimentology*, 1973. 20. Pp. 347–364.

УДК 550.3.

В. М. Попов¹, А. В. Наговицин^{1,2}, Р. В. Демидов¹, А. С. Зерова¹

¹АО «КамНИИКИГС», ул. Краснофлотская, д.15, г. Пермь, Россия,
614016; e-mail: kamniikigs@rusgeology.ru

²Пермский государственный национальный исследовательский
университет. 614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15;
e-mail: avnagovicin@niikigs.ru

ПОСТРОЕНИЕ ПРОГНОЗНОЙ СВОДНОЙ СТРУКТУРНОЙ КАРТЫ КРОВЛИ ВЕРХНЕПРОТЕРОЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ИЖМА-ПЕЧОРСКОЙ СИНЕКЛИЗЫ ПО ДАННЫМ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Аннотация. Построение предварительной сводной структурной карты кристаллического фундамента северо-восточной части Джебольшкой ступени с использованием данных сейсморазведки, гравиразведки, магниторазведки, геофизических исследований скважин, данных глубокого и сверхглубокого бурения.

Ключевые слова: Тимано-Печорская провинция, Джебольшая ступень, сейсморазведка, гравиразведка, магниторазведка, скважина, отражающий горизонт, структура, разрывное нарушение, фундамент, нефть, газ, Республика Коми.

V. M. Popov¹, A. V. Nagovitsin^{1,2}, R. V. Demidov¹, A. S. Zerova¹

¹АО «KamNIKIGS». 15 Krasnoflotskaya Str., Perm 614016,
Russia; e-mail: kamniikigs@rusgeology.ru,

²Perm State University. 15 Bukireva Str., Perm 614990, Russia;
e-mail: avnagovicin@niikigs.ru

CREATION THE FORECAST INTERGRATED STRUCTURAL MAP OF UPPER PROTEROZOIC IN THE EAST OF IZHMA-PECHORA SYNECLISE USING GEOPHYSICAL DATA

Abstract. Creation of preliminary integrated structural map of the Upper Proterozoic in the east of Izhma-Pechora Syncline based on the seismic, gravity, magnetic, well-logging data, and data of deep and super-deep drilling is described.

Keywords: Timan-Pechora Province, Izhma-Pechora Syncline, seismic survey, gravity survey, magnetic survey, well, reflecting horizon, structure, faulting, Proterozoic, oil, gas, Komi Republic.

Уже довольно давно во всём мире установлена и подтверждена нефтегазоносность кристаллических пород фундамента (кристаллической коры), в них открыто более 400 промышленных нефтяных и газовых месторождений. Чаще всего скопления углеводородного сырья в консолидированной коре определяются двумя факторами:

1. Наличие погребённых поднятий кристаллического фундамента;

2. Высокая степень тектонической дезинтеграции пород.

Дезинтеграция пород фундамента и связанная с ней структурная переработка горных масс фундамента обязаны явлениям реидной деформации, т.е. способности горных пород к объёмному тектоническому течению в твёрдом состоянии [5].

Тимано-Печорская провинция, в пределах которой находится объект исследования, представляет собой уникальный древний нефтегазоносный бассейн, промышленная продуктивность которого определяется широким стратиграфическим диапазоном. Экономико-географическое положение и масштабы нефтегазопродуктивности недр позволяют рассматривать провинцию в качестве основного поставщика углеводородного сырья для топливно-энергетического комплекса Северо-Западного экономического района России [2].

На территории Тимано-Печорской НГП выявлено около 70 залежей нефти, газа и газоконденсата, подавляющее большинство которых расположено на глубинах от 4 до 5 км. Менее 10 % залежей находятся на глубинах более 5 км и приурочены к восточной части провинции – Верхнепечорской (Вуктыльское, Кылымьельское месторождения) и Косью-Роговской (Кочмесское месторождение) впадинам. Промышленная нефтегазоносность в Тимано-Печорской провинции установлена от верхнепротерозойских (рифейских) образований до триггенных отложений среднего триаса [3].

Известно, что Тиманский и Печоро-Колвинский авлакогены не являются изолированными, а входят вместе с авлакогенами Волго-Уральского НГБ в единую систему Уральского перикратонного опускания. Выявленные структурные связи авлакогенов Тимано-Печорского НГБ с расположенными южнее авлакогенами Волго-Уральского НГБ, а именно полученные притоки нефти и газа из верхней части рифейского комплекса, повышают значимость авлакогенов Тимано-Печорского НГБ как возможных новых нефтегазоперспективных объектов регионального уровня.

На примере хорошо изученных НГБ мира эмпирически установлено, что в рассматриваемых комплексах древних платформ может быть сосредоточено не более 10 % ресурсов углеводородов. В Тимано-

Печорском НГБ эта цифра, без учета потенциальных ресурсов стабильных Ижма-Печорского и Большеземельского мегаблоков, составляет 3,5 %. Однако доля УВ газа в рифейском комплексе резко возрастает и достигает 16 %, что вполне сопоставимо с ресурсами газа, содержащимися в верхнепермско-триасовом нефтегазоносном комплексе [4].

На территории Джебольской ступени Тимано-Печорской провинции выделено несколько природных резервуаров пластового типа. Первый природный резервуар слагается средне-верхнеордовикскими карбонатными отложениями, породы коллекторы представлены доломитами ваньюской свиты, коллекторские свойства практически не изучены. Тип коллекторов – порово-трещинный. Второй природный резервуар в подошве ограничен пестроцветной пачкой ваньюской свиты, а в кровле в восточной части ступени – плотными, непроницаемыми породами венлокского возраста. Нижнесилурийские породы-коллекторы характеризуются наибольшим площадным распространением и лучшими фильтрационно-емкостными свойствами по сравнению с породами ордовикско-нижнедевонского НГК. Пласты коллекторы слагают разнородные доломиты, коллекторы порово-трещинного типа. Основные параметры и особенности распространения нижнепалеозойских природных резервуаров свидетельствуют о их перспективности и дают возможность для обоснования направления дальнейших геологоразведочных работ и выбора первоочередных объектов поиска [1].

В 2018–2019 годах АО «Росгео» планирует провести региональные сейсморазведочные работы в юго-восточной части Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции. В рамках работ будет отработано по 120-кратной системе 250 километров сейсмического профиля.

Целью региональных работ будет являться уточнение структуры осадочного чехла, структуры перспективного промежуточного комплекса и верхней части фундамента по всем элементам и зонам сочленения по пересечению малоизученной части Тимано-Печорской провинции от Южного Тимана до Северного Урала, включая Западно-Уральскую область. По результатам камеральных работ предполагается построить структурные карты масштаба 1:100 000.

Юго-западная и северо-восточная части площади, предполагаемой к изучению, геофизическими методами действительно изучены очень слабо, например, в районе Уральской складчатой области сейсмические работы не проводились вообще. Однако центральная часть ещё в 1970–1980-е годы была покрыта густой сетью сейсмических профилей, поисковые работы также возобновлялись в 2003–2006 гг.

Кроме сейсморазведки территория также изучалась грави- и магниторазведкой. Выполнялось структурное и глубокое бурение, а также геофизические исследования пробуренных скважин.

Целью нашего исследования являлось построение прогнозной структурной карты кровли перспективного докембрийского комплекса масштаба 1:100 000 на основе существующих геофизических данных, которая увеличит вероятность выявления перспективных участков на нефть и газ в приразломных зонах. Практически во всех нефтегазовых бассейнах наблюдается значительное количество зон нефтегазопроявлений, особенно в местах дизъюнктивно-экранированных ловушек.

Карта (рис. 1) была построена с использованием программных продуктов ArcGIS, Corel, PlotDigitizer.

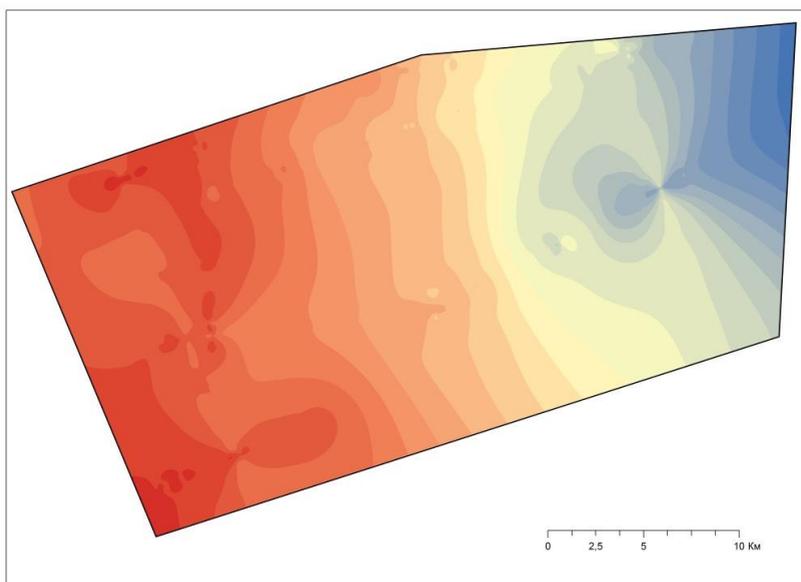


Рис. 1. Карта высот кровли пород верхнего протерозоя

Для построения структурной карты были использованы материалы четырёх сейсмических партий, в разные годы работавших на исследуемой площади. Также учитывались гравиметрические данные, а именно карта изоаномал силы тяжести (редукция Буге $\sigma = 2,3 \text{ г/см}^3$).

На карте можем видеть общее северо-восточное падение кровли верхнего протерозоя, что соответствует данным региональных геологических и геофизических исследований. В восточной части следует отметить значительное локальное понижение ещё в платформенной части, до начала резкого падения. В юго-западной части площади присутствует обширная положительная структура, представляющая поисковый интерес.

Объёмы выполненных работ недостаточны, чтобы можно было говорить о качественном изучении глубоких горизонтов. Особенно остро ощущается нехватка данных бурения. Результаты региональных сейсморазведочных работ 2018–2019 гг. будут весьма полезны для дальнейшего изучения верхнепротерозойского комплекса. В западной части исследованной площади выявлено несколько перспективных структур, что свидетельствует о целесообразности проведения детальных сейсморазведочных работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Боровинских А. П. и др.* Природные резервуары в ордовикских, силурийских и девонских отложениях Джебольской ступени Ижма-Печорской впадины. Сыктывкар, 2014.
2. *Данилевский С. А., СклярOVA З. П., Трифачев Ю. М.* Геофлюидальные системы Тимано-Печорской провинции. Ухта, 2003. 298 с.
3. *Карасева Т. В., Попов С. Г. и др.* Обоснование перспектив нефтегазоносности глубокопогруженных горизонтов Тимано-Печорской, Волго-Уральской, Прикаспийской и Западно-Сибирской НГП на основе результатов комплексной обработки и анализа материалов сверхглубокого бурения. Пермь, КамНИИКИГС, 2014.
4. *Щепелина Т. Н.* Перспективы нефтегазоносности рифейских пород фундамента Тимано-Печорского нефтегазоносного бассейна. ВНИГРИ, Санкт-Петербург, 2009. С. 484–487.
5. *Ченборисова Р. З.* Отчет по объекту «Региональные сейсморазведочные работы по профилю 26-РС». Спецгеофизика, Поваровка, 2007. Комигеолфонд. Инв. № 15606.

REFERENCES

1. *Borovinskih A. P. et al.* Prirodnye rezervuary v ordovikskikh, siluriyskikh i devonskikh otlozheniyakh Dzhebolskoy stupeni Izhma-Pechorskoy vpadiny [Natural reservoirs in Ordovician, Silurian and Devonian deposits of the Dzhebolskaya step of Izhma-Pechorskaya Basin]. Syktyvkar, 2014. (In Russian).
2. *Danilevskiy S. A., Sklyarova Z. P., Trifachev Yu. M.* Geoflyuidalnye sistemy Timano-Pechorskoy Provintsii [Geofluid systems of the Timan-Pechora Province]. Ukhta, 2003. 298 p. (In Russian).
3. *Karaseva T. V., Popov S. G. et al.* Obosnovanie perspektiv neftegazonosnosti glubokopogruzhennykh gorizontov Timano-Pechorskoy, Volgo-

Uralskoy, Prikaspiyskoy i Zapadno-Sibirskoy NGP na osnove rezultatov kompleksnoy obrabotki i analiza materialov sverkhglubokogo bureniya [Rationale of oil and gas potential of deep horizons of the Timano-Pechorskaya, Volgo-Uralskaya, Prikaspiyskaya, and Zapadno-Sibirskaya Oil and Gas Provinces based on the results of complex processing of the super deep drilling data]. Perm, KamNIKIGS, 2014. (In Russian).

4. *Shepelina T. N.* Perspektivy neftegazonosnoti rifeyskikh porod fundamenta Timano-Pechorskogo neftegazonosnogo basseyna [Oil and Gas potential of Riphean rocks of the Timano-Pechorskaya oil and gas province basement]. VNIGRI, Sankt-Peterburg, 2009. Pp. 484–487. (In Russian).

5. *Chenborisova R. Z.* Otchet po obyektu «Regionalnye seysmorazvedochnye raboty po profilu 26-RS» [Report. Regional seismic survey on profile 26-RS]. Spegeofizika, Povarovka, 2007. Komigeolfond. Inv. № 15606. (In Russian).

УДК 550.8.056

О. Л. Сальникова¹, А. Д. Савич^{1,2}, А. В. Серкина¹, А. С. Чухлов³

¹ ПАО «Пермнефтегеофизика». 614090, Россия, г. Пермь, ул. Лодыгина, 34; e-mail: salnikovaol@pngf.com, serkina@pngf.com

² Пермский государственный национальный исследовательский университет. 614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15; e-mail: savich@pngf.com

³ ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ». 614990, Россия, г. Пермь, ул. Ленина, 64; e-mail: Andrej.Chukhlov@lp.lukoil.com

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И МЕТОДОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИС

Аннотация. Представлен опыт использования методов ГИС, расширяющих возможности стандартного комплекса для повышения продуктивности и эффективности эксплуатации скважин. Проведен анализ корректности решения различных задач дополнительными методами ГИС.

Ключевые слова: гамма-гамма литоплотностной каротаж, акустическое сканирование, скважинное электрическое микросканирование, многозондовый боковой каротаж, эффективность, анализ, импортозамещение.

O. L. Salnikova¹, A. D. Savich^{1,2}, A. V. Serkina¹, A. S. Chukhlov³

¹Permneftegeofizika. 34 Lodygina Str., Perm 614090, Russia;
e-mail: salnikovaol@pngf.com, serkina@pngf.com

²Perm State University. 15 Bukireva Str., Perm 614990, Russia;
e-mail: savich@pngf.com

³LLC «LUKOIL-PERM». 64 Lenina Str., Perm 614990, Russia;
e-mail: Andrej.Chukhlov@lp.lukoil.com

IMPROVING THE EFFECTIVENESS OF WELL LOGGING THROUGH THE USE OF NEW TECHNOLOGIES AND METHODS

Abstract. *The experience of using borehole logging methods that extend the capabilities of the standard complex to improve the productivity and efficiency of well operation is presented. The analysis of correctness of the solution of various problems by additional logging methods is carried out.*

Key words: *gamma-gamma litho-density logging, acoustic borehole scanning, electric MicroScan, a multi-probe lateral logging, efficiency analysis, import substitution.*

В настоящее время все чаще возникает потребность в геофизических методах, способных выделять коллекторы в низкопористой части разреза, выделять дополнительные пропластки для увеличения продуктивности скважин и включения их в разработку [1].

Для повышения достоверности в определении характера насыщения и исключения возможных перетоков пластовой воды требуется применение расширенного комплекса ГИС как при проведении каротажей при сопровождении процесса бурения, так и при оценке качества крепи нефтегазовых колонн.

В современных условиях импортозамещения высокая роль отводится возможностям отечественных сервисных геофизических предприятий для применения расширенного комплекса ГИС. ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ» поддерживает заинтересованность подрядных геофизических организаций в приобретении новейших методов ГИС, реализованных в аппаратуре производства РФ. Особенно приветствуются комплексы, позволяющие за одну спуско-подъёмную операцию зарегистрировать максимальное количество информации.

Начиная с 2014 г. после проведения опытно-промышленных работ с дополнительными методами ГИС: гамма-гамма-литоплотностной каротаж (ГГК-ЛП), электромагнитный и акустический сканеры (ЭМС, САС), спектрометрический гамма каротаж (СГК), многозондовый боковой каротаж (МнБК (5БК)), показавших свою эффективность для

решения разнообразных геолого-технологических задач, обязательный комплекс исследования эксплуатационных бурящихся скважин на месторождениях ООО «ЛУКОЙЛ-Пермь» постепенно расширяется.

Достоверность оценки емкостных свойств пластов-коллекторов зависит от степени изученности литологического состава горных пород, слагающих разрезы нефтегазовых скважин. При сложном литологическом составе необходимы дополнительные данные ГИС, к которым можно отнести метод литоплотностного каротажа.

В ПАО «Пермнефтегеофизика» используется модуль ГГК-ЛП, разработанный НПФ «Геофизика» (г. Уфа), который включает два зонда для определения плотности породы и один зонд для измерения сечения фотоэффекта Ре. Наличие данных значительно упрощает решение задачи определения вещественного состава породы и, следовательно, оценки пористости и выделения коллекторов. Важной составляющей является и тот факт, что модуль ГГК-ЛП входит в состав комплекса «МАГИС» и может работать в сборке с другими методами, позволяя сокращать время на производство ГИС и оптимизировать процесс бурения.

В ПАО «Пермнефтегеофизика» разработан граф обработки данных для получения количественных параметров и построения объёмной литологической модели на основе решения петрофизических уравнений по комплексу ГК, 2ННК-т, АК-ПВП, БК, ГГК-ЛП, ДС. Корректность построения объёмной модели по комплексу АК+БК+РК+ДС+ГГК-ЛП подтверждается данными микроописания керна, уточняется пористость и литология пластов. При построении объёмной модели выявляются литологические особенности скелета породы и особенности флюидонасыщенности.

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 предлагается 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).

При помощи этих методов в ПАО «Пермнефтегеофизика» выделяют коллекторы со сложной структурой порового пространства в низкопористой части разреза, интервалы с развитием трещиноватости, определяют элементы залегания пластов и трещин, профиль сечения скважины и направление вывалов, направления стресса горных пород (направление максимального тектонического напряжения), оценивают

проводимость трещин (проводящие, частично проводящие, залеченные).

Также решают сопутствующие задачи, исходя из возможностей методов САС и ЭМС: оценка структуры порового пространства коллектора, уточнение границ коллекторов, выделение тонких (до 10 см) проницаемых прослоев, не видимых по стандартным методам ГИС, определение элементов залегания пластов в пределах сечения скважины с азимутальной привязкой, определение активности гидродинамического режима водной среды и текстуры пород, использование данных для определения фациальных обстановок и фаций, использование данных для азимутальной привязки керна.

Авторами и специалистами ПАО «Пермнефтегеофизика» проведен сравнительный анализ полученных данных по корректности определения типа пустотного пространства, по оценке проницаемости выделенных дополнительных прослоев и интервалов субвертикальной трещиноватости с данными керна и результатами освоения. Так, тип структуры порового пространства, определенный по данным САС на 92–96 % подтверждается данными керна (рис. 1). Отмечается хорошая подтверждаемость данными керна фильтрационных свойств выделяемых дополнительных тонких прослоев (около 75 % прослоев проницаемы), которые не видимы стандартными комплексами ГИС из-за меньшей разрешающей способности методов. Следует отметить, что повышается интерес заказчика к этим дополнительным источникам притока. Например, в 2017 г. введено в разработку уже 47 % тонких прослоев.

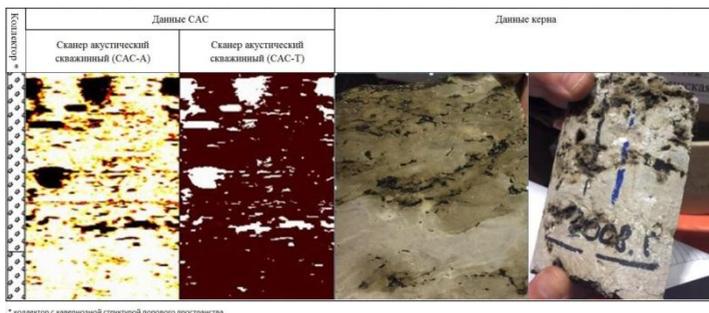


Рис. 1. Примеры выделения интервалов кавернозности по данным САС, подтвержденные данными керна в скважине Левинского месторождения

Подтверждение выявленных интервалов трещиноватости представлено на примере скважины Солодовского месторождения (рис. 2).

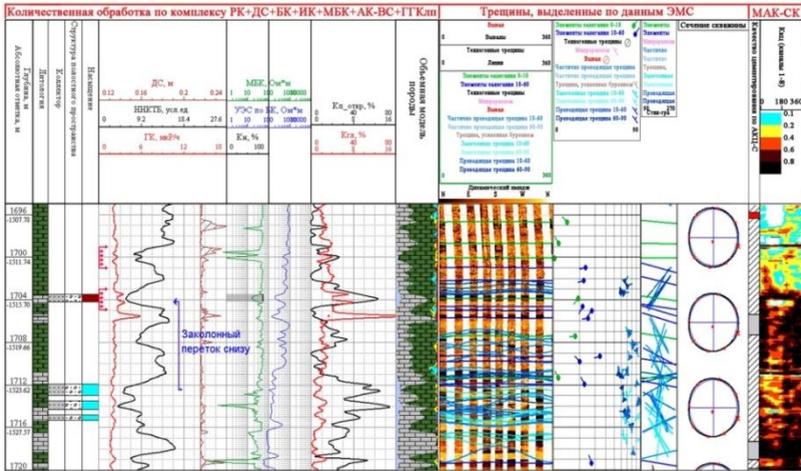


Рис. 2. Пример развития заколонного перетока жидкости по системе трещин, выявленных по данным ЭМС в скважине Солодовского месторождения

При освоении карбонатных отложений франского яруса (интервалы перфорации 1699,0–1701,0 м, 1703,0–1705 м) методом свабирования преимущественно в скважину поступала пластовая вода. По результатам ГИС выявлен заколонный переток снизу из водонасыщенных коллекторов с глубины 1712 м. Ранее по данным ЭМС в интервале 1702–1718 м выявлены субвертикальные трещины. Также причиной обводнения дополнительно способствовал плохой контакт цементного кольца с колонной в интервале 1695–1707 м по данным сканирующей акустики (МАК-СК). При создании депрессии и продвижении пластовой воды по системе трещин и каналу в цементном кольце не позволило получить нефть из интервала перфорации. При выборе интервалов эксплуатации следует учитывать определенные по методам САС и ЭМС интервалы развития трещиноватости, тип трещин (открытые, частично залеченные, залеченные), а также направление стресса горных пород по отношению направления трещины.

Перед геофизиками остро стоит задача о повышении точности данных ГИС при определении характера насыщения, особенно в высокоомных разрезах и при глубоком проникновении жидкости в пласт. Необходимо уменьшать риски при выборе интервалов перфорации для дальнейшей эксплуатации объектов, повышать эффективность и оптимизировать бурение скважин путем проведения каротажей модульными сборками за меньшее количество спуско-подъемных операций. По-

этому встал вопрос об отказе использования аппаратуры бокового электрического каротажа и бокового электрораззондирования, требующих отдельного спуска аппаратуры с электрической косой типа К1А-723 – в пользу модуля МнБК (5БК).

Модуль 5БК применяется в сборке со всеми приборами, которые могут работать в АМК «МАГИС-2» и предназначен для измерения кажущегося удельного электрического сопротивления горных пород, пересеченных бурящейся скважиной, методом пятисондового бокового каротажа. Специалистами ПАО «Пермнефтегеофизика» проводился анализ качества выданных результатов и совместно со специалистами НПФ «Геофизика» было доработано программное обеспечение. Обработка разноглубинных зондов проводится по трехслойным палеткам с учетом скважинных условий и вмещающих пород, в результате которой определяется удельное электрическое сопротивление пласта, оценивается наличие зоны проникновения, с определением удельного электрического сопротивления зоны проникновения и радиуса зоны проникновения.

Преимущества применения вышеперечисленных методов 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. Стало возможным уточнение геологической модели месторождений (с более точным расчётом количественных параметров), прогнозных литолого-фациальных схем и определения максимального тектонического напряжения горных пород.

Аппаратура, входящая в многомодульные комплексы позволяет оптимизировать и сокращать время на производство ГИС. Внедрение аппаратуры отечественных производителей позволило существенно подойти к вопросу импортозамещающих технологий. Эффективность использования методов САС, ЭМС, ГК-ЛП, СГК, МнБК обосновывает необходимость их применения.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Чухлов А. С.* Возможности современного отечественного комплекса геофизических методов при решении геолого-технологических задач на месторождениях ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ» // Теория и практика разведочной и промысловой геофизики. Пермь, ПГНИУ, 2017. С. 218–225.

REFERENCES

1. *Chukhlov A. S.* *Vozможности sovremennogo otechestvennogo kompleksa geofizicheskikh metodov pri reshenii geologo-tekhnologicheskikh zadach na*

mestorozhdeniyakh OOO LUKOIL-PERM [Modern Russian complex of geophysical methods for solving geological and technological problems in the fields of LLC LUKOIL-PERM]. In: Teoriya i praktika razvedochnoy i promyslovoy geofiziki. Perm, Perm State Univ., 2017. Pp. 218–225. (In Russian).

УДК 550.34

А. А. Саяпина, С. С. Багаева, С. В. Горожанцев
Северо-Осетинский филиал ФИЦ ЕГС РАН. 362002, Россия,
г. Владикавказ, ул. Маркова 93 А; e-mail: sgor@gsras.ru

О МЕТОДИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЯХ ВЫПОЛНЕНИЯ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ В СЕВЕРНОЙ ОСЕТИИ

Аннотация. Рассмотрены возможности выполнения сейсмологических наблюдений в Северной Осетии с учетом геолого-геофизических особенностей данной территории.

Ключевые слова: сейсмологические наблюдения, землетрясения.

A. A. Sayapina, S. S. Bagaeva, S. V. Gorozhantsev
North Ossetia Branch FRC RAS GS.
93 A Markova Str., Vladikavkaz 362002, Russia; e-mail: sgor@gsras.ru

ABOUT METHODOLOGICAL AND TECHNOLOGICAL FEATURES OF SEISMOLOGICAL OBSERVATIONS IN NORTH OSSETIA

Abstract. The possibilities of conducting the seismological observations in the territory of North Ossetia taking into account the geological-geophysical conditions are considered.

Key words: seismological observations, earthquakes.

Республика Северная Осетия – Алания входит в состав Северо-Кавказского федерального округа и является частью Северо-Кавказского экономического района, расположена на северном склоне Большого Кавказа. На рис. 1 приведена схематическая географическая карта территориального расположения Северной Осетии.

Доля нагорной полосы составляет немного меньше половины общей территории республики. В результате эндогенных процессов в

начале четвертичного периода на территории нынешней Северной Осетии происходили мощные горообразовательные процессы, в результате чего появились многочисленные складки, прогибы и впадины.

Затем большую роль в рельефообразовании сыграли внешние силы. Прежде всего, реки, которые рассекли горные складки и создали поперечные долины [1].

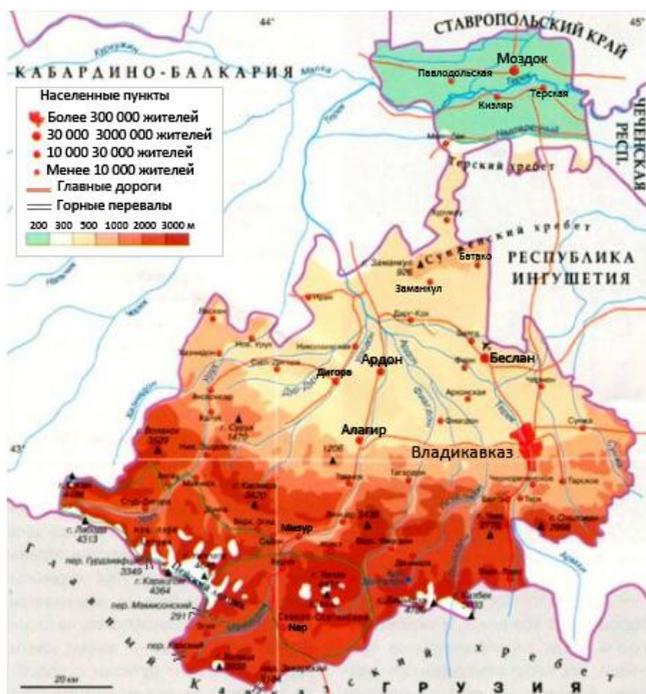


Рис. 1. Схематическая географическая карта расположения Республики Северная Осетия – Алания

Для южной горной части Северной Осетии по данным общего сейсмического районирования (ОСР-97), где горные вершины достигают высот выше 4000 м (Джигарай-хох – 4776 м, г. Казбек – 5033,8 м (на границе Северной Осетии и Грузии), характерны 8–9 балльные землетрясения, предгорно-равнинной части – 7–8 балльной и северо-равнинной – 4–5 балльные [2]. Сейсмичность территории республики тесно связана с наличием ряда активно действующих в настоящее время

мя региональных разломов. Одним из них является Трансконтинентальный разлом, пересекающий территорию РСО-Алании в крайнем западном секторе. В широтном направлении Центральную часть Республики пересекает Северо-Кавказский подкорковый разлом, а в меридиональном – Ардонский и Владикавказский. Терский и Сунженский коровые разломы простираются с запада на восток в северном секторе республики [3].

Актуальность проведения сейсмологического мониторинга в Северной Осетии, кроме задач научно-прикладного характера, обусловлена наличием сложных инфраструктур на территории республики. К особо важным объектам можно отнести несколько гидроэлектростанций общей мощностью 108,8 МВт, Рокский тоннель, соединяющий Россию со странами Закавказья, самый высокогорный в мире газопровод из России в Южную Осетию, строящийся горно-рекреационный комплекс Мамисон и т. д. Сейсмологические наблюдения необходимы, как для текущих защитных мероприятий, а именно сейсмостойкого строительства в соответствии с установленными инженерно-геологическими нормами, так и для более глубокого исследования сейсмической активности территории.

При выполнении работ по сейсмологическому мониторингу для установки сейсмических станций выбираются места, требующие определенных условий, связанных с возможностью получения максимально качественного материала. В настоящее время одной из важных составляющих при выборе мест по установке новых сейсмостанций, кроме минимального уровня шумов, являются организационные вопросы и учет следующих критериев: возможность потенциальной аренды охраняемого помещения для сохранности и установки аппаратуры, с соответствующим обеспечением; наличие в помещении сети снабжения электроэнергией; наличие возможности передачи сейсмических данных в информационно-обрабатывающий центр (ИОЦ) по каналам передачи данных; наличие подъездных путей для автотранспорта; относительная удаленность от источников индустриальных шумов [4].

Региональная сеть наблюдений Северо-Осетинского филиала Федерального исследовательского центра «Единой геофизической службы Российской академии наук» (СОФ ФИЦ ЕГС РАН) осуществляет непрерывный контроль сейсмической активности 13-ю цифровыми сейсмостанциями, оснащенными следующим оборудованием: цифровая сейсмическая станция с широкополосным высокочувствительным сейсмометром SMG-3ТВ, установленным в скважине на глубине 80 метров, и широкополосным трехкомпонентным акселерометром с

ние 15–20 минут с момента их происшествия и сообщение параметров землетрясений с $M_s \geq 2,5$ в МЧС республики и ИОЦ г. Обнинск.

Места для размещения сейсмостанций в СОФ ФИЦ ЕГС РАН выбирались с учетом различных геологических и геофизических факторов, а также зафиксированных, в основном, в прошлом столетии землетрясений [5].

Сейсмостанции DIGR (Дигорское ущелье), LACR (с. Лац), ZEI (с. Цей) установлены в горных районах на коренных породах и максимально удалены от человеческой деятельности. Эти места относительно труднодоступны с ноября по март, в связи с обилием снега, сходом лавин, оледенением дороги, камнепадов и наличием оползневых процессов, что периодически отражается на перебоях поставки электроэнергии и потере записей сейсмостанций. В межсезонье грунтовые дороги к пунктам наблюдений могут быть смыты потоками воды, вследствие обильных осадков. При организации поездок в данные места уточняется состояние дорог и метеоусловия у дежурного МЧС. Сейсмостанции DIGR (Дигорское ущелье) и LACR (с. Лац) характеризуются низким уровнем шумов, что позволяет регистрировать слабые сигналы различной природы. Однако в летний период на станциях ZEI (с. Цей) и DIGR (Дигорское ущелье) сейсмический шум заметно увеличивается. Возможным источником шумов (рис. 3) для станции ZEI является горная река Цейдон, находящаяся в 89 м от станции, более полноводная в летний период, а для станции DIGR возможными источниками сейсмических шумов являются: горная река Урух (68 м), водопад «Шумный» (1336 м) и водопад «Жемчужина» (2660 м) [6]. Следует также отметить, что кроме общей труднодоступности горных районов, расширение сети наблюдений в южной части Северной Осетии в настоящее время затрудняется еще таким фактором как отъезд населения с горных селений на постоянное место жительства в поселки городского типа или города.

Сейсмостанции ARNR (г. Ардон), LSNR (с. Лескен), STDR (с. Ставд-Дурт), PRTR (ст. Притеречная), TRKR (ст. Терская), BTKR (с. Батако), KORR (с. Кора-Урсдон), KMGR (с. Комгарон), VLKR, VLKG (г. Владикавказ) расположены в равнинной местности преимущественно на песчано-валунно-галечных отложениях, глине, суглинках, глине с прослоями песков. Необходимость наличия определенной инфраструктуры для эксплуатации станций не всегда позволяет удалиться от дорожного и железнодорожного движения, промышленных объектов, сельскохозяйственной деятельности и других источников искусственных сейсмических шумов, а также от естественных источников, таких как реки, озера.

Станции установлены в хозяйственных постройках, подвалах частных домовладений для сохранности оборудования и предотвращения вандализма. Однако расположение пунктов наблюдений в таких условиях также не всегда лучшим образом отражается на качестве сейсмических записей. Стоит отметить, что для Северной Осетии характерны сильные грозы и возникали случаи выхода из строя аппаратуры вследствие удара молнии. Кроме того, что в этих случаях отсутствует поступление данных сейсмологической сети, необходим еще и ремонт или замена оборудования станций, а это требует дополнительного значительного финансирования.



Водопад «Шумный»



Горная река Цейдон

Рис. 3. Возможные источники шумов для станций DIG и ZEI

В настоящее время развитие и расширение наблюдательной сети СОФ ФИЦ ЕГС РАН продолжается. Ведется поиск более удобных и тихих мест для установки сеймостанций, предполагается перенос сейсмической аппаратуры из домовладений в специальные сооружения, по мере возможностей производится замена существующего оборудования и аппаратуры на более совершенные современные образцы, что позволит регистрировать сейсмические волны в более широкой полосе частот и с большим динамическим диапазоном. В связи с этим повысится эффективность регистрации и определение параметров очагов более слабых землетрясений, расширяются возможности изучения сейсмичности Северной Осетии и прилегающих территорий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Свободная энциклопедия Википедия, статья «Северная Осетия» https://ru.wikipedia.org/wiki/Северная_Осетия.
2. Уломов В. И. Карты ОСР-97 и зоны ВОЗ Кавказа [Электронный ресурс] – режим доступа <http://seismos-u.ifz.ru/>.
3. *Милановский Е. Е.* Новейшая тектоника Кавказа. М.: Недра, 1958.
4. *Мишаткин В. Н.* Современные тенденции развития аппаратуры для сейсмических исследований. Геофизический мониторинг и проблемы сейсмической безопасности Дальнего Востока России. Обнинск: ГС РАН, 2008. С. 131–134.
5. *Погода Э. В., Габсатарова И. П., Головкова Л. В., Коломиец Ю. Н., Перевозникова А. А.* Состояние и перспективы развития системы сейсмического мониторинга Республики Северная Осетия – Алания // Материалы международной конференции «Сейсмичность Северной Евразии». Обнинск: ГС РАН, 2008. С. 240–243.
6. *Погода Э. В., Дмитриева И. Ю., Пятунин М. С.* Исследование спектральных характеристик сейсмических шумов на сейсмостанциях Республики Северная Осетия – Алания. // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Одиннадцатой Международной сейсмологической школы. Обнинск: ГС РАН, 2016. С. 263–267.

REFERENCES

1. Severnaya Osetiya [North Ossetia]. Wikipedia, URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Северная_Осетия. (Accessed 10.07.2018) (In Russian).
2. *Ulovov V. I.* Karty OSR-97 i zony VOZ Kavkaza [The OSR-97 maps and zones VOZ of the Caucasus]. URL: <http://seismos-u.ifz.ru/>. (Accessed 10.07.2018) (In Russian).
3. *Milanovskiy E. E.* Noveyshaya tektonika Kavkaza [The newest tectonics of the Caucasus]. M. Nedra, 1958. (In Russian).
4. *Mishatkin V. N.* Sovremennye tendentsii razvitiya apparatury dlya seysmicheskikh issledovaniy [Current trends of development of the equipment for seismic study]. In: *Geofizicheskiy monitoring i problem seysmicheskoy bezopasnosti Dalnego Vostoka Rossii*. Obninsk. GS RAS, 2008. Pp. 131–134. (In Russian).
5. *Pogoda E. V., Gabsatarova I. P., Golovkova L. V., Kolomiyets Y. N., Perevoznikova A. A.* Sostoyanie i perspektivy razvitiya sistemy seysmicheskogo monitoringa Respubliki Severnaya Osetiya – Alaniya [State and prospects of development of system of seismic monitoring of the Republic of North Ossetia – Alania]. In: *Mat. konf. Seysmichnost Severnoy Evrazii*. Obninsk: GS RAS, 2008. Pp. 240–243. (In Russian).
6. *Dmitriyev I. Y., Pogoda E. V., Pyatunin M. S.* Issledovaniye spektranykh kharakteristik seysmicheskikh shumov na seysmostantsiyakh Respubliki Severnaya Osetiya – Alaniya [Study of spectral characteristics of seismic noise on seismic stations of the Republic of North Ossetia-Alania]. In: *Mat. konf. Sovremennye metody jbrabotki i interpretatsii seysmologicheskikh dannykh*. Obninsk. GS RAS, 2016. Pp. 263–267. (In Russian).

УДК 550.832, 550.83.015

Н. А. Севостьянов

Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе. 117997, Россия, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая д. 23; e-mail: sevostyanovnk@yandex.ru

О РАСЧЕТЕ ПОТЕНЦИАЛА В ЛОКАЛЬНЫХ ТЕЛАХ ПРИ ДЕКОМПОЗИЦИОННОМ РЕШЕНИИ 3D-ЗАДАЧИ ВЭЗ

***Аннотация.** Рассмотрен алгоритм решения задачи Дирихле для ограниченного цилиндра и параллелепипеда. Приведены численные результаты расчета потенциала внутри тел.*

***Ключевые слова:** Математическое моделирование; задача Дирихле; декомпозиционный альтернирующий метод.*

N. A. Sevostyanov

Russian State Geological Prospecting University n. a. Sergo Ordzhonikidze.
23 Miklukho-Maclay St., Moscow 117997, Russia;
e-mail: sevostyanovnk@yandex.ru

ABOUT THE CALCULATION OF POTENTIAL IN LOCAL BODIES FOR THE DECOMPOSITIONAL SOLUTION OF THE 3D VES TASK

***Abstract.** Finding the potential by solving the Dirichlet task for a bounded cylinder and a parallelepiped is described. Numerical results of the calculation of the potential inside bodies are presented.*

***Key words:** mathematical modeling; the Dirichlet task; decompositional alternating method.*

Один из подходов к решению сложных задач геоэлектрики состоит в их декомпозиции на ряд более простых подзадач на основе алгоритма Шварца. В работе [3] предложена вариант этого метода, который обеспечивает минимально возможные размеры ограниченной области. Модифицированный алгоритм Шварца [3] требует решения задач Дирихле для уравнения Лапласа в ограниченных телах, содержащихся в слоистой среде.

В статье обсуждается трехмерная модель геоэлектрики на постоянном токе. Как известно, в этом частном случае электромагнитное поле полностью определяется скалярным потенциалом $u(x, y, z)$.

В работе рассмотрены алгоритмы расчета потенциала $u(x, y, z)$ в однородных вставках, имеющих форму прямоугольного параллелепипеда и цилиндра. Решение задач в этих телах по методу Фурье можно найти в сборниках задач по уравнениям математической физики [1].

Для определенности рассмотрим решение задачи применительно к прямоугольному параллелепипеду Π (рис. 1), погруженному в горизонтально-слоистую среду, и точечного источника, расположенного на глубине $z_0 \geq 0$ в нижнем полупространстве (земле).

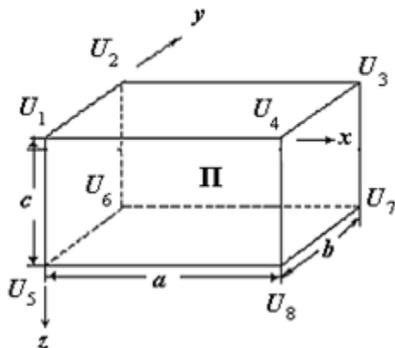


Рис. 1. Ограниченный прямоугольный параллелепипед с линейными размерами $a \cdot b \cdot c$

Требуется найти потенциал $u(x, y, z)$, удовлетворяющий в области Π дифференциальному уравнению

$$\Delta u = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = 0 \quad (1)$$

и принимающий на границе $\partial\Pi$ заданные значения (рис. 2)

$$u|_{\partial\Pi} = f(x, y, z). \quad (2)$$

Внутри тела, используя принцип суперпозиции решений, задачу (1) – (2) можно редуцировать к сумме трех более простых краевых задач [1]

$$u(x, y, z) = u_1(x, y, z) + u_2(x, y, z) + u_3(x, y, z).$$

Зная решение одной из них, например u_1 , несложно записать формулы для расчета u_2 и u_3 . Пусть функция u_1 есть решение задачи Дирихле для уравнения $\Delta u_1 = 0$ при краевых условиях $u_1|_{x=0} = f_1(y, z)$, $u_1|_{x=a} = f_2(y, z)$, $u_1|_{y=0} = u_1|_{y=b} = 0$, $u_1|_{z=0} = u_1|_{z=c} = 0$. На основании [1] имеем

$$u_1 = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\beta_{mn}^{(2)} \operatorname{sh} \left[\sqrt{\lambda_{mn}} x \right] + \beta_{mn}^{(1)} \operatorname{sh} \left[\sqrt{\lambda_{mn}} (a-x) \right]}{\operatorname{sh} \left(\sqrt{\lambda_{mn}} a \right)} \sin \frac{\pi m y}{b} \sin \frac{\pi n z}{c}, \quad (3)$$

где

$$\beta_{mn}^{(\alpha)} = \frac{4}{bc} \int_0^b \int_0^c f_k(y, z) \sin \left(\frac{\pi m y}{b} \right) \sin \left(\frac{\pi n z}{c} \right) dy dz, \quad k=1, 2; \quad m, n=1, 2, \dots$$

$\beta_{mn}^{(\alpha)}$ – коэффициенты Фурье при разложении граничных функций f_1, f_2 в ряды Фурье, а $v_{mn}(y, z) = \sqrt{4/bc} \sin(\pi m y / b) \sin(\pi n z / c)$ и $\lambda_{mn} = \pi^2 (m^2 / b^2 + n^2 / c^2)$ собственные функции и собственные значения задачи Штурма-Лиувилля, возникающей при решении первой краевой задачи в прямоугольной области. Аналогично находятся функции $u_2(x, y, z)$ и $u_3(x, y, z)$. Как известно, в окрестностях углов параллелепипеда ряды Фурье (3) сходятся неравномерно. Это хорошо видно на рис. 2, а, на котором изображен один из результатов численного эксперимента.

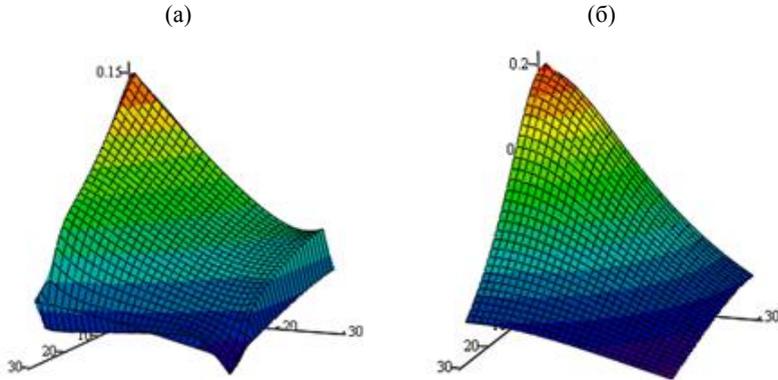


Рис. 2. Результаты численных экспериментов, проведенных на базе использования функции \tilde{U}

Для улучшения сходимости рядов нужно найти интерполяционную гармоническую функцию $\tilde{U}(x, y, z)$, имеющую те же значения в вершинах тела, что и искомое решение. Если $\tilde{U}(x, y, z)$ построена, то решение задачи сводится к отысканию функции $V(x, y, z) = u(x, y, z) - \tilde{U}(x, y, z)$, которая удовлетворяет уравнению Ла-

пласа $\Delta V = 0$ и условиям Дирихле $V|_{\partial\Pi} = f(x, y, z) - \tilde{U}(x, y, z)$. Тогда, очевидно

$$u(x, y, z) = V(x, y, z) + \tilde{U}(x, y, z).$$

Построение функции \tilde{U} . Пусть в вершинах параллелепипеда потенциал $u(x, y, z)$ имеет значения U_1, \dots, U_8 (см. рис. 1). Примем

$$p_1(t, h) = 1 - t/h, \quad p_2(t, h) = t/h, \quad t \in [0, h],$$

тогда функция $\tilde{U}(x, y, z)$

$$\begin{aligned} \tilde{U}(x, y, z) = & U_1 p_1(x, a) p_1(y, b) p_1(z, c) + U_2 p_1(x, a) p_2(y, b) p_1(z, c) + \\ & U_3 p_2(x, a) p_2(y, b) p_1(z, c) + U_4 p_2(x, a) p_1(y, b) p_1(z, c) + \\ & U_5 p_1(x, a) p_1(y, b) p_2(z, c) + U_6 p_1(x, a) p_2(y, b) p_2(z, c) + \\ & U_7 p_2(x, a) p_2(y, b) p_2(z, c) + U_8 p_2(x, a) p_1(y, b) p_2(z, c), \end{aligned}$$

в вершинах тела принимает те же значения, что и u , а V – в вершинах равна нулю.

Результат одного из численных экспериментов, проведенных на базе использования функции \tilde{U} , изображен на рис. 2, б. Распределение величин относительных погрешностей расчетов внутри тела в плоскости $z = c/2$ представлено на рис. 3.

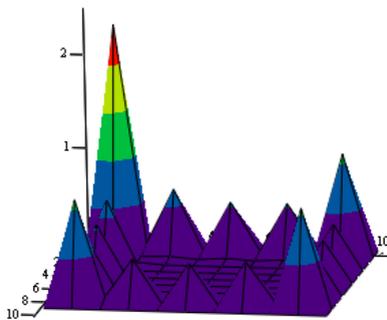


Рис. 3. Распределение величин относительных погрешностей расчетов внутри тела в плоскости $z = c/2$

Решение задачи Дирихле для ограниченного прямого цилиндра радиуса a и высоты H приведено в сборнике [1]. Суть задачи состоит в

нахождении потенциала $u = u(\rho, \phi, z)$, удовлетворяющего уравнению Лапласа

$$\Delta u = \frac{1}{\rho} \left(\rho u_{\rho} \right)_{\rho} + \frac{1}{\rho^2} u_{\phi\phi} + u_{zz} = 0, \quad 0 < \rho < a, \quad 0 < z < H, \quad 0 < \phi < 2\pi,$$

краевым условиям на боковой поверхности цилиндра

$$u|_{\rho=a} = f(\phi, z)$$

и

$$u|_{z=0} = \psi_1(\rho, \phi), \quad u|_{z=H} = \psi_2(\rho, \phi)$$

на его верхней ($z = 0$) и нижней ($z = H$) границах. Здесь $f(\phi, z)$, $\psi_1(\rho, \phi)$, $\psi_2(\rho, \phi)$ заданные функции. Графических материалов, отображающих результаты численного решения, не приводим. Отметим лишь, что графики численного и аналитического решений визуально совпадают.

На двух частных примерах рассмотрены проблемы, связанные с построением численных алгоритмов расчета ЭМ поля постоянного тока над телами правильной формы.

В публикациях можно найти аналитические решения для других локальных тел в поле точечного электрода в однородном пространстве и полупространстве (например, шар, полусферическое включение на поверхности земли, сфероид). На базе алгоритма Шварца из них можно построить широкий класс решений для тел существенно более сложной формы.

Основная цель работы состояла в разработке системы программ расчета влияния на поле точечного источника постоянного тока неоднородных включений простой геометрической формы. Разработан интерфейс, программы расчета потенциала и электрических полей и их графического представления для большинства моделей, которые упоминаются в этой работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Будак Б. М., Самарский А. А., Тихонов А. Н. Сборник задач по математической физике. М.: Физматлит, 2003. 608 с.
2. Юдин М. Н., Севостьянов Н. А. О полуаналитическом решении 3D задачи геоэлектрики на постоянном токе по методу Шварца // XII Международная конференция «Новые идеи в науках о земле». Доклады. Том 2. М., МГРИ-РГГРУ, 2015. С. 490–491.
3. Юдин М. Н., Юдин В. М. О декомпозиции прямых задач геоэлектрики на основе алгоритма Шварца // Изв. РАН. Физика Земли, 2004. № 4. С. 3–11.

REFERENCES

1. Budak B. M., Samarskiy A. A., Tikhonov A. N. Sbornik zadach po matematicheskoy fizike [Collection of problems in mathematical physics]. Moskva. Fizmatlit. 2003. 608 p. (In Russian).
2. Yudin M. N., Sevostyanov N. A. O poluanaliticheskom reshenii 3d zadachi geoelektriki na postoyannom toke po metodu Shvartsa [On the polyanalytical solution of 3D DC geoelectric problem using Schwarz method]. In: XII International Conference New Ideas in the Sciences of the Earth. Reports. Volume 2. M., MGRI-RGGRU, 2015. Pp. 490–491. (In Russian).
3. Yudin M. N., Yudin V. M. O dekompozitsii pryamykh zadach geoelektriki na osnove algoritma Shvartsa [On the decomposition of direct problems of geoelectrics based on the Schwartz algorithm]. Fizika Zemli. 2004. № 4. Pp. 3–11. (In Russian).

УДК 550.834.05

И. А. Селетков

Пермский государственный национальный исследовательский университет. 614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15;
e-mail: Seletkov.Ilya@gmail.com

ТЕХНОЛОГИИ ПРОГНОЗА ЭФФЕКТИВНЫХ ТОЛЩИН ПРОДУКТИВНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ 3D

***Аннотация.** В статье кратко рассмотрены ключевые технологии динамической интерпретации сейсмических данных 3D и приведены примеры применения некоторых из методик для девонских терригенных отложений одного из месторождений Пермского края.*

***Ключевые слова:** сейсморазведка, динамическая интерпретация, сейсмофацциальный анализ, сейсмическая инверсия, многовариантный прогноз коллекторов.*

I. A. Seletkov

Perm State University. 15 Bukireva Str., Perm 614990, Russia;
e-mail: Seletkov.Ilya@gmail.com

TECHNOLOGIES FOR PREDICTION OF EFFECTIVE PRODUCTIVE BEDS THICHNESS USING 3D SEISMIC DATA

***Abstract.** In this article, the main technologies of dynamic interpretation of*

seismological 3D data and the examples of using some of the methodologies for terrigenous sediments in one of the oilfields in Perm region are presented.

Key words: *seismic, dynamic interpretation, seismic-facial analysis, seismic inversion, multivariant collector forecast.*

В настоящее время прогнозирование коллекторов основано на динамической интерпретации отраженных волн, поскольку вполне обосновано считается, что любые изменения физических и фильтрационно-емкостных свойств пород приводят к изменению не только кинематических, но и динамических параметров волновых полей (сейсмических трасс), регистрируемых при проведении полевых работ. В свою очередь под понятием динамические характеристики понимают совокупность зависимостей, определяющих характер колебаний частицы среды во времени или в пространстве при распространении волн. Чаще всего к ним относятся: форма колебаний, амплитуда, характеристики амплитудно-частотных или фазово-частотных спектров, траектории движения частиц среды в пространстве или характер поляризации волны, а также характер их изменения во времени или пространстве [4].

Динамическая интерпретация имеет в своем арсенале ряд технологий. К ним относятся одномерное сейсмическое моделирование, сейсмофациальный анализ, атрибутивный анализ и инверсионные преобразования, включающие в себя акустическую, синхронную и нейронную инверсии. Кроме того, для прогноза такого эффективного параметра как эффективная толщина применяются методика многовариантного прогноза коллекторов, появившаяся в стенах Центра сейсмических исследований филиала ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть».

Далее рассмотрим основные моменты каждой из указанных технологий и примеры применения данных методик для интервала девонских терригенных отложений в пределах одного из месторождений Пермского края.

Сейсмофациальный или кластерный анализ основан на изучении изменения формы сигнала по латерали в указанном интервале. Результат данного анализа представляет собой карту сейсмофаций и набор модельных трасс, которые совместно описывают разнообразие форм сигналов по всей площади в заданном интервале (рис. 1). Как правило, кластерный анализ используется совместно с одномерным сейсмическим моделированием, которое позволяет расшифровать форму записи, т.е. связать геологические особенности с формой им-

пульса. Появляется возможность не только выявить зональность, но и связать выделенные сейсмофации с различными геологическими телами (рис. 1), где на сейсмофациальной схеме путем привлечения одномерного сейсмического моделирования выделены сейсмофация прибрежно-аккумулятивных образований и сейсмофация заливно-лагунного побережья.

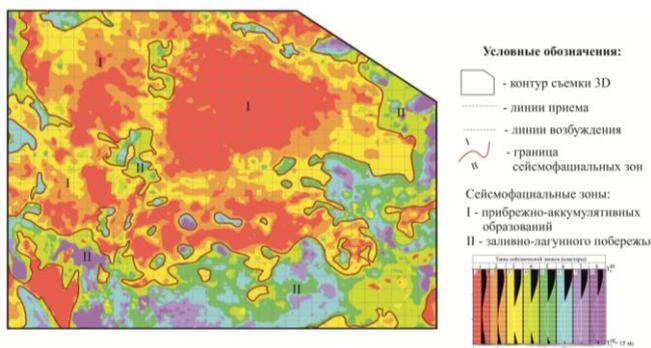


Рис. 1. Сейсмофациальная схема девонских терригенных отложений

Под атрибутивным анализом при прогнозе эффективных толщин коллекторов понимается изучение изменений атрибутов волнового поля в межскважинном пространстве и прогноз свойств резервуара на основании связей, установленных между скважинными характеристиками (пористость, эффективная толщина, песчаность и т.д.) и свойствами акустических волн (амплитуда, частота, фаза) в точках скважин при двумерном анализе (по картам атрибутов) и вдоль траекторий скважин (по кубам) [1].

Кроме указанных методик динамической интерпретации, к самым востребованным технологиям по праву относится сейсмическая инверсия. Название «инверсия» подразумевает инвертирование/обращение наблюдаемых сейсмических амплитуд обратно к упругим характеристикам пород. В настоящее время существует значительное количество алгоритмов инверсии, результатами которой могут быть кубы акустического импеданса, плотности, скорости. Данные характеристики имеют высокую корреляцию со скважинными данными, что определяет значимость сейсмической инверсии при прогнозе коллекторов.

Следует отметить, что рассмотренные методики направлены на получение прогноза коллекторов путем установления зависимостей между сейсмическими и скважинными данными. Однако полученные

по данным методикам прогнозы все равно несут в себе неопределенность, степень которой весьма сложно оценить. Поэтому в Центре сейсмических исследований филиала ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть» была предложена методика многовариантного прогноза коллекторов (МПК), которая базируется на использовании методов математической статистики в комплексе с элементами теории нечетких множеств, которая была предложена Лотфи Заде более 35 лет назад. Результатом многовариантного прогноза эффективных толщин является кратный прогноз. Кроме него, в каждой точке пространства рассчитываются традиционные статистические параметры, такие как минимумы, максимумы, размах, дисперсия, которые позволяют оценить погрешность прогноза и выделить оптимальные зоны [2, 3].

Таким образом, использование метода многовариантного прогноза коллекторов на базе теории нечетких множеств позволяет решать задачи прогноза эффективных толщин продуктивных пластов по данным сейсморазведки 3D и ГИС. Результатом являются прогнозные карты эффективных толщин, карты минимальных и максимальных прогнозных значений, дисперсии, размаха и ряда вспомогательных параметров, позволяющих оценить неопределенность прогнозов. В качестве примера применения методики МПК приведены карты эффективных толщин, минимальных эффективных толщин и дисперсии для пласта Д₂ (рис. 2).

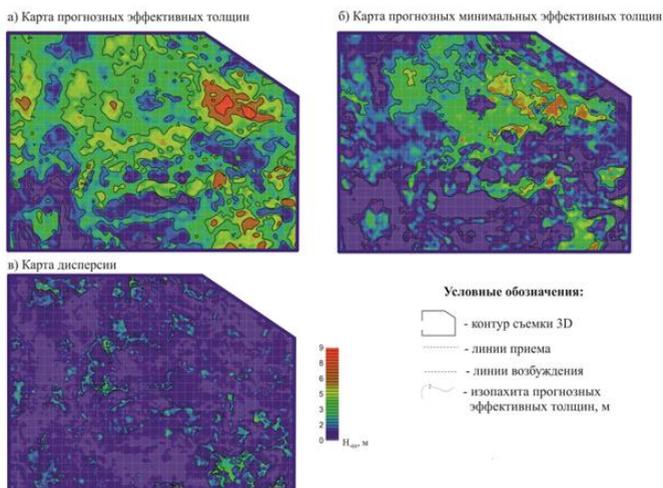


Рис. 2. Результаты многовариантного прогноза коллекторов (МПК) для пласта Д₂

Таким образом, рассмотрены ключевые методики динамической интерпретации материалов сейсморазведки 3D, направленные на прогноз эффективных толщин продуктивных отложений.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Кирилов А. С., Закревский К. Е.* Практикум по сейсмической интерпретации в PETREL. М.: изд. МАИ-ПРИНТ, 2014. 288 с.
2. *Путилов И. С.* Многовариантный прогноз коллекторов по данным 3D-сейсморазведки // Технологии сейсморазведки, 2013. № 1. С. 59–64.
3. *Путилов И. С.* Разработка технологий комплексного изучения геологического строения и размещения месторождений нефти и газа. Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2014. 285 с.
4. *Спасский Б. А., Герасимова И. Ю.* Сейсмостратиграфия: учеб.-метод. пособие. Пермь, Перм. ун-т, 2007. 267 с.: ил.

REFERENCES

1. *Kirilov A. S.* Praktikum po seysmicheskoy interpretatsii v PETREL [Practical guide on seismic interpretation using PETREL]. Moscow. MAI-PRINT, 2014. 288 p. (In Russian).
2. *Putilov I. S.* Multivariate reservoir prediction using 3-D seismic data]. *Technologii seysmorazvedki*. № 1, 2013. Pp. 59–64. (In Russian).
3. *Putilov I. S.* Razrabotka tekhnologiy kompleksnogo izucheniya geologicheskogo stroeniya i razmeshcheniya mestorozhdeniy nefti i gaza [Development of the technology of integrated study of the geological structure and location of the oil and gas deposits]. Perm: Perm national research polytechnic university, 2014. 285 p. (In Russian).
4. *Spasskiy B. A., Gerasimova I. Yu.* Seysmostratigrafiya [Seismic stratigraphy]. Perm, Perm State University, 2007. 267 p. (In Russian).

УДК 550.834

В. А. Силаев

Пермский государственный национальный исследовательский университет. 614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15

СИСТЕМЫ НАБЛЮДЕНИЙ С ГЛУБИНЫМ ИСТОЧНИКОМ КОЛЕБАНИЙ В СЕЙСМОРАЗВЕДКЕ

Аннотация. Рассмотрены системы наблюдений скважинной сейсморазведки по методу глубинного сейсмоторпедирования, позволяющие оперативно уточнять разбуриваемые участки нефтяных месторождений.

Ключевые слова. Сейсморазведка, системы наблюдений, глубинный источник колебаний, волны, волновые поля, вертикальное сейсмическое профилирование (BCП).

V. A Silaev

Perm State University. 15 Bukireva Str., Perm 614990, Russia

SEISMIC ACQUISITION SYSTEMS WITH THE DEEP (BOREHOLE) SOURCE

Abstract. We consider the acquisition systems of borehole seismic surveys using the method of deep seismic torpedoing, which allow specifying promptly the drilled areas of oil fields.

Keywords: seismic surveys, acquisition systems, depth source, waves, wave fields, vertical seismic profiling (VSP).

Наземные профильные наблюдения с глубинным источником колебаний в сейсморазведке называются методом глубинного сейсмического торпедирования (ГСТ) [1, 2]. Системы наблюдений ГСТ по изучению околоскважинного пространства имеют перемещающийся взрывной источник в глубокой скважине при фиксированном положении сейсмоприемников на наземных профилях. В зависимости от критериев выбора и местоположения точек можно выделить три системы наблюдений.

Универсальная система наблюдений с приемом колебаний на земной поверхности

Универсальная система наблюдений с наземным приемом обеспечивает сбор данных о полном волновом поле околоскважинного пространства. Данная система наблюдений ГСТ предусматривает прострел скважины зарядом торпеды в открытом стволе по глубине от первых сотен метров до максимальной глубины буровой скважины. Система представляет совокупность двухмерных наблюдений и получила название «уровневое профилирование ГСТ». Эта система принимает упругие колебания на земной поверхности группой линейных и площадных профилей в плоскости xoy от профиля взрывов по оси oz . Сочетание прострела скважины по глубине с площадными (радиальными) наблюдениями на земной поверхности позволяет оперативно реализовать пространственную (объемную) схему сбора информации [3].

Материалы ГСТ (рис. 1) позволяют отождествлять волны с двумя направлениями – горизонтальным на различных глубинах и вертикальным – на различных расстояниях от устья скважины.

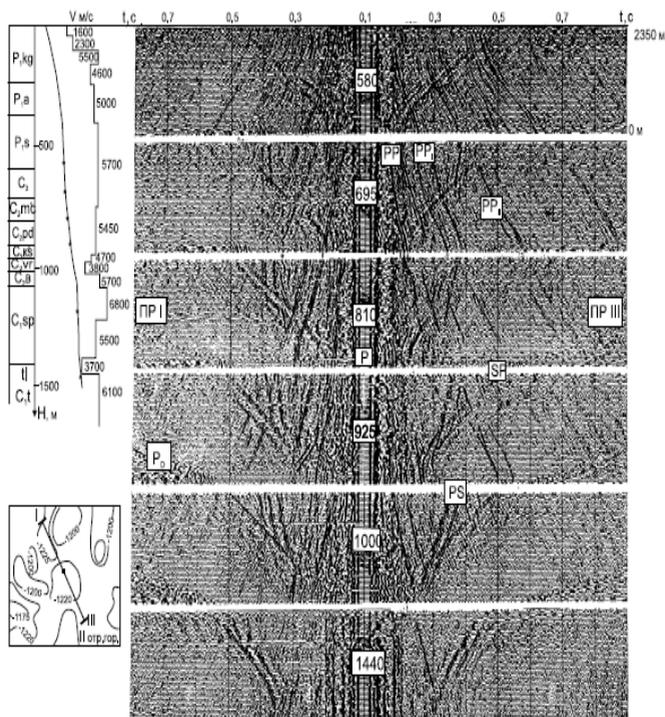


Рис. 1. Симметричный монтаж редуцированных сейсмограмм ГСТ, наблюдаемый в двух азимутах

В первом случае волны выделяются в пределах прямой уровневой сейсмограммы ОТВ, во втором – на обращенных сейсмограммах ВСП. Наличие двух таких монтажей делает анализ состава волнового поля полным, а определение типов волн наиболее достоверным, так как появляется возможность одновременного определения их параметров в горизонтальной (на разных уровнях) и в вертикальной (на разных удалениях) плоскостях. При выпрямлении годографа I проходящей волны относительно $t_{\text{взрыва}}$ происходит разделение общего наблюдаемого поля на волновые поля покрывающей и подстилающей толщи

относительно точки взрыва. Величины кажущихся скоростей толщ равняются или меньше кажущейся скорости проходящей волны. Отраженные волны от границ, расположенных ниже глубины взрыва, имеют более высокие значения кажущиеся скорости и выделяются на редуцированной сейсмограмме ГСТ переспрямленным годографом (с отрицательным значением скорости). Такое разделение общей структуры на две части обеспечивает четкое выделение границ верхней части разреза (ВЧР), наличие отражения от глубинных границ и в итоге – оперативное изучение геологического разреза околоскважинного пространства до 1,5–2 км.

Система межскважинных наблюдений ВСП с глубинным источником колебаний

Система межскважинных наблюдений предусматривает производство сейсмических взрывов на различных глубинах в одной скважине и прием колебаний на ВСП в соседней скважине. Особенности условий производства взрывов на больших глубинах и приема по профилю внутри среды обеспечивают одновременный прием продольных и поперечных колебаний. При межскважинных наблюдениях передача энергии от источника к приемнику происходит вдоль и вкрест напластования горных пород. На записи вместе с поперечными волнами устанавливаются только те из вторичных волн, которые связаны с границами раздела геологической среды.

Отличительной чертой межскважинных наблюдений является возможность изучать одни и те же границы раздела снизу и сверху. Т. е., помещая источник колебаний над границей и ниже нее, получать на вертикальном профиле, ее пересекающем, одинаковые (например, отраженные) и разные (например, обменные отраженные и проходящие) типы волн, которые совокупно характеризуют изучаемую границу (рис. 2).

Кроме того, обнаруживается более обширная область восходящих отраженных волн, а запись этих колебаний характеризуется высокой частотой (в среднем на 10–20 Гц), по сравнению с аналогичной записью от взрывов в мелкой скважине.

Комбинированная наземно-скважинная система наблюдений

Работы по способу комбинированного сейсмопрофилирования позволяют корреляционно увязать во взаимных точках волновые поля на вертикальном и горизонтальном профилях. При этом, для соблюдения принципа взаимности в кинематической форме, необходимо, чтобы пары волн с одинаковым временем регистрации на встречных трас-

сах были взаимными, т. е. при смене положения источника и приемника сохраняли одинаковый физический тип на одних и тех же отрезках пути. На комбинированном профиле это условие предусматривает для каждой волны, образованной от наземного источника и зарегистрированной на вертикальном профиле, наличие взаимной волны, исходящей из глубинного источника и наблюдаемой на наземном профиле [4].

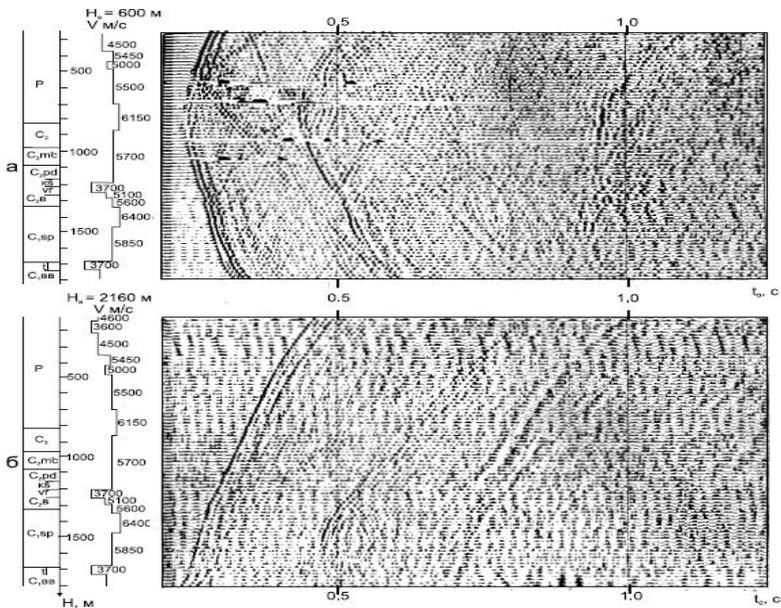


Рис. 2. Запись волн по профилю в глубокой скважине от взрывов на глубинах 600 м (а) и 2160 м (б) в соседней скважине на Дороховской площади Пермского края

Особенностью комбинированной системы является возможность создания корреляционного профиля между наблюдениями межскважинного ВСП, полученных на различных удалениях от скважины, что, в свою очередь, резко повышает разведочные возможности этого метода (рис. 3).

Необходимо отметить тот факт, что смена положений пунктов взрыва и приема может привести к смене типа обменных проходящих волн PS на SP.

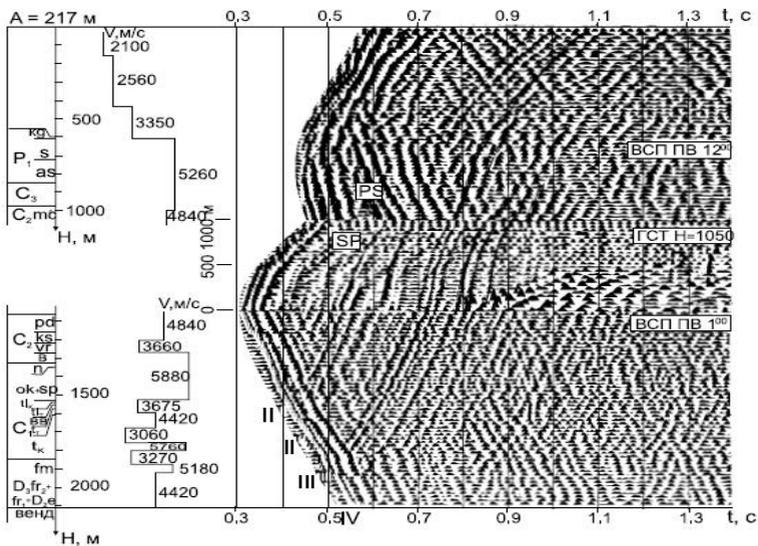


Рис. 3. Корреляционный комбинированный сейсмический профиль наблюдений по методике ВСП ГСТ (скв. 796, Есене́йская, Республика Удмуртия)

ЛИТЕРАТУРА

1. *Силаев В. А.* О результатах сейсмического торпедирования в скважинах // Геофизические методы поисков и разведки нефти и газа. Пермь, ПГУ, 1979. С. 32–38.
2. *Силаев В. А.* Глубинное сейсмоторпедирование // М., Тр. ВНИГНИ, 1981. Вып. 235. С. 102–111.
3. *Силаев В. А.* Скважинная сейсморазведка по методу глубинного сейсмического торпедирования (Электронный ресурс): Монография. Пермь, ПГНИУ, 2018. 8,5 Мб.
4. *Силаев В. А.* Корреляционное комбинированное наземно-скважинное сейсмопрофилирование // Геофизические методы поисков и разведки месторождений нефти и газа. Пермь, ПГУ, 1982. С. 45–51.

REFERENCES

1. *Silaev V. A.* O rezultatakh seismicheskogo torpedirovaniya v skvazhinakh [On the results of seismic torpedoing in wells]. In: *Geofizicheskie metody poiskov i razvedki nefi i gaza*. Perm State University, 1979. Pp. 32–38. (In Russian).
2. *Silaev V. A.* Glubinnoe sejsmotorpedirovanie [Deep seismic torpedoing]. In: *Trudy VNIIGNI*, 1981. Issue 235. Pp. 102–111. (In Russian).
3. *Silaev V. A.* Skvazhinnaya sejsmorazvedka po metodu glubinnogo seismicheskogo torpedirovaniya [Borehole seismic survey using the method of deep

seismic torpedoing]. (Internet resource): Monograph. Perm, Perm State University, 2018. (In Russian).

4. Silaev V. A. Korrelyacionnoe kombinirovannoe nazemno-skvazhinnoe seysmoprofilirovanie [Combined correlative land-borehole seismic torpedoing]. In: Geofizicheskie metody poiskov i razvedki nefi i gaza. Perm State University, 1982. Pp. 45–51. (In Russian).

УДК 550.834

Б. А. Спасский

Пермский государственный национальный исследовательский университет, 614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15;
e-mail: basp@mail.ru

ВЕРХНЯЯ ЧАСТЬ РАЗРЕЗА И ВОЗМОЖНОСТИ ЕЕ ИЗУЧЕНИЯ В СЕЙСМОРАЗВЕДКЕ МОВ ОГТ

***Аннотация.** Использование данных сейсморазведки МОВ для инженерных целей при изучении геологического строения верхней части разреза.*

***Ключевые слова:** сейсморазведка МОВ, верхняя часть разреза, геологическое строение.*

B. A. Spassky

Perm State University, 15 Bukireva Str., Perm 614000, Russia;
e-mail: basp@mail.ru

NEAR SURFACE GEOLOGY AND POSSIBILITIES OF ITS STUDY IN SEISMIC REFLECTION

***Abstract.** The article discusses the possibility to obtain engineering and geological information of near surface geology with the use of seismic reflection records.*

***Key words:** seismic reflection, near surface geology, geological information.*

Сетью профилей сейсмических исследований методом отраженных волн по методике общей глубинной точки (МОВ ОГТ) на нефть и газ покрыты значительные территории многих регионов России, в том числе и Пермского края. На полевых сейсмограммах МОВ, наряду с отраженными волнами, в начальной части сейсмограмм реги-

стрируются прямые и головные преломленные волны (ПрВ), возникающие на границах, расположенных на малых глубинах. Они регистрируются на сейсмограммах в зоне первых (и последующих) вступлений и иногда используются для расчета статических поправок (СтП), исключающих влияние скоростной неоднородности отложений верхней части разреза (ВЧР).

Однако изучение характеристик прямых и преломленных волн (скоростей, времен пробега колебаний и особенностей волновой картины) в пределах промышленных объектов, например на территории Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей (ВКМКС) в Соликамской депрессии, а также в других подобных регионах, открывает новые возможности уточнения геологического строения надсолевой толщи (малых глубин). По этим данным можно выделять участки аномальных, сложно построенных (разуплотненных) зон в надсолевых отложениях (до глубин 100–250 м), что необходимо учитывать как при проведении горных работ, так и при строительстве наземных сооружений на территории рудника. Недоучет особенностей геологического строения таких участков повышает вероятность возникновения чрезвычайных ситуаций.

Геологическое строение Соликамской депрессии представляет собой сложную геодинамическую систему, в верхних горизонтах осадочной толщи которой (глубины 200–400 м) находятся уникальные залежи калийно-магниевых солей, а в нижних (глубины 1800 м и более) – залежи нефти и газа.

Значительные масштабы техногенной нагрузки на геологическую среду приводят к активизации техногенных геологических процессов и оказывают опосредованное воздействие на экологическую обстановку в регионе. В связи с этим, возникает необходимость планомерного и целенаправленного изучения особенностей функционирования сложных природно-техногенных систем «добывающее предприятие – город». Неотъемлемым элементом обеспечения безопасности жизнедеятельности на землях Верхнекамского региона является разработка системы контроля за состоянием не только земной поверхности, но и всей толщи пород, залегающей выше солей, особенно на участках расположения наиболее важных инженерных объектов.

С учетом этого, геологи уделяют значительное внимание изучению тектоники надсолевой толщи осадков, поскольку исследования последних лет показывают, что именно здесь происходят процессы, являющиеся первопричиной возникновения многих нежелательных геодинамических событий, особенно для разработки стратегии совместного проведения добычных работ калийных солей и нефти. В на-

стоящее время геологами поддерживается точка зрения о формировании тектоники ВКМКС, сформулированная в работах А. И. Кудряшова. В ее основе утверждается, что крупные геологические структуры здесь сформировались при участии двух процессов – деформации соляных пород под действием региональных тектонических сил, направленных с востока на запад, и галокинеза. Эти геологические явления привели к тому, что изначально горизонтальное залегание пластов подстилающей, продуктивной и надсоляной толщ было нарушено. Неустойчивая (из-за присутствия пластичных солей) породная система была выведена из равновесного состояния. В мощной толще подстилающей соли начались перетоки пластичных соляных масс. В результате сформировались соляные поднятия и впадины.

Таким образом, к числу неблагоприятных, для проведения горных работ и наземного строительства объектов, могут быть отнесены районы сводов соляных поднятий. На таких участках наблюдается повышенная трещиноватость горных пород, снижение скоростей пробега упругих волн и смена вида волновой картины на сейсмических материалах (сейсмограммах и разрезах). Именно на эти особенности, в первую очередь, необходимо обращать внимание при анализе сейсмических материалов и при установлении местоположения аномальных зон по данным сейсморазведки. К разряду «аномальных» образований следует отнести также зоны разубоживания/замещения промышленных пластов солей. Они формировались в течение длительного времени в процессе их седиментации, диагенеза, стадии катагенеза или термодинамоморфизма и характеризуются снижением прочностных свойств пород.

Поскольку все эти явления развиваются, в основном, в пределах толщи надсолевых отложений, то именно изучение и районирование надсолевой толщи пород в пределах шахтных полей (и на всей территории ВКМКС) представляется основой стратегии снижения риска и смягчения последствий чрезвычайных ситуаций, спровоцированных природными факторами. Применение для решения таких проблем дополнительных данных, полученных при обработке преломленных волн по полевым материалам сейсморазведки МОВ, ранее полученных при поисках нефти и газа, позволяет более детально решить проблему изучения геологических особенностей строения надсолевых отложений [1].

Поэтому использование сейсмической информации о параметрах преломленных волн, которая обычно не используется для решения инженерно-геологических задач, может существенно помочь в деле прогнозирования сложно построенных и потенциально опасных для

наземного строительства и разработки солей участков и, тем самым, предотвратить возникновение аварийных ситуаций.

При «классической» обработке годографов прямых и преломленных волн (их аппроксимации прямыми линиями) обычно не снимается разброс времен первых вступлений каждого канала, обусловленный высокочастотными скоростными неоднородностями зоны малых скоростей и рельефом поверхности наблюдения. Это приводит к возникновению погрешностей при расчете глубин преломляющих горизонтов (формировании моделей ВЧР).

В условиях Пермского края это приводит к значительным расхождениям между реальными скоростными моделями и моделями сред, полученными при интерпретации данных ПрВ [1]. С учетом этих причин интерпретация информации о временах прихода преломленных волн, регистрирующихся в первых вступлениях, должна начинаться с их обработки, в процессе которой необходимо по возможности освободиться от факторов, приводящих к возникновению погрешностей, присутствующих в наблюдаемых временах.

Стандартную формулу уравнения годографа первых вступлений (прямых и преломленных волн) можно представить в виде ряда слагаемых, которые описывают те или иные погрешности, связанные с отличием особенностей строения реальной модели от теоретической среды

$$t_{ij} = t_0 + \Delta t_0 + \Delta t_{ij} + \Delta t_\phi + \Delta t_i + \Delta t_j + \Delta t.$$

Здесь t_{ij} – время регистрации преломленной волны на расстоянии L от пункта возбуждения (i – пикет возбуждения колебаний, j – пикет приема), t_0 – время, определяемое по точке пересечения продолжения годографа головной волны с осью времен (в точке $L = 0$). Все другие слагаемые в уравнении характеризуют погрешности времен t_0 , которые возникают за счет различных факторов. Так, Δt_0 – погрешности при определении величин t_0 по годографу, Δt_{ij} – при расчете кинематической поправки, Δt_ϕ – за счет недоучета угла наклона преломляющей границы, Δt_i и Δt_j – из-за присутствия скоростных неоднородностей и отличий высотных отметок в точках возбуждения и приема, Δt – за счет присутствия случайных ошибок измерений времен.

Времена прихода волн в первых вступлениях всегда можно считать случайными величинами, отягощенными погрешностями, обозначенными в уравнении. Для исключения этих погрешностей, с учетом вышесказанного, нами было предложено [1] использовать при обработке данных формирование по каждому профилю временных полей преломленных волн $t(X, L)$ по принципу постоянного удаления $L = \text{const}$, когда X – пикеты по профилю. Поле $t(X, L)$ в этом случае

представляется несколькими линиями $t_{L=\text{const}}(X)$, которые характеризуют времен приход волн на разных пикетах X при постоянных удалениях L между пунктами возбуждения и пунктами приема. При наблюдениях 3D формируются кубы времен $t(X, Y, L)$, когда каждому удалению $L = \text{const}$ будет соответствовать его двумерное изображение $t_{L=\text{const}}(X, Y)$ (карта). Любое изменение геологических особенностей разреза приводит к изменению времен регистрации колебаний, вида волнового поля и временных полей первых вступлений.

Чтобы исключить погрешности определения времен прихода преломленных волн различного происхождения (в соответствии с уравнением), необходимо проводить анализ характеристик преломленных волн не в пределах каждой сейсмограммы (по отдельным годографам), а с формированием разрезов постоянных удалений между пунктами возбуждения и приема $L = \text{const}$. Такой подход позволяет изучать информацию сразу в пределах всего профиля или площади, выявить и устранить отдельные погрешности случайного характера и выделить локальные неоднородности в ВЧР, которые невозможно обнаружить на отдельных сейсмограммах (в пределах отдельных годографов). Компоновка трасс по различным координатам дает возможность обнаружить влияние неоднородностей, имеющих в пунктах приема и пунктах возбуждения, выявить влияние других мешающих факторов и только после этого по характеру изменения времен, скоростей и динамических особенностей волновых полей преломленных волн изучить скоростные параметры среды и особенности волновой картины, позволяющей обнаруживать наличие аномальных зон в разрезе. По сформированным временным полям первых вступлений по каждому профилю можно создать кубы времен $t(x, y, L)$ [1], которые в дальнейшем пересчитываются в скоростные модели.

На основе этих данных можно выделить на территории исследований наиболее неблагоприятные участки, где необходимо более детально изучать прочностные свойства пород при планировании на них строительства инженерных сооружений. При этом необходимо учитывать, что при интерпретации данных МПВ могут применяться различные способы решения обратной задачи, которые при различных скоростных моделях разреза могут давать значительные погрешности изучаемых параметров сред.

ЛИТЕРАТУРА

1. Снасский Б. А. Современные тенденции в обработке преломленных волн в сейморазведке // Вестник Пермского университета. Геология. Пермь, ПГУ, 1994. С. 173–190.

REFERANS

1. Spasskiy B. A. Sovremennyye tendentsii v obrabotke prelomlennykh voln v seysmorazvedke [Modern tendency of processing refracted wave in seismic]. Vestnik Permskogo Universiteta. Geologiya. 1994. Pp. 173–190. (In Russian).

УДК 621.833; 622.24

И. В. Старков¹, Г. А. Цветков^{1, 2}

¹ ПНИПУ. 614990, Россия, г. Пермь, ул. Комсомольский проспект, д. 29; e-mail: fyzyka@yandex.ru, zvetkov71043@mail.ru

² Пермский государственный национальный исследовательский университет. 614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15

К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ БУРЕНИЯ СКВАЖИН

Аннотация. Рассмотрено применение алгоритма муравьиной оптимизации. Показано, что при правильном выборе параметров нейронной сети алгоритм работает эффективно. Раскрывается возможность использования нейронных сетей для диагностики и прогнозирования состояния бурового оборудования на примере винтового забойного двигателя, влияющего на качество и точность проводки при бурении скважин.

Ключевые слова: нейронная сеть, оптимальная траектория, винтовой забойный двигатель, алгоритм муравьиной оптимизации, буровое оборудование.

I. V. Starkov¹, G. A. Zvetkov^{1,2}

¹ PNRPU, 29 Komsomolskiy Ave., Perm 614990, Russia;
e-mail: fyzyka@yandex.ru, zvetkov71043@mail.ru

² Perm State University. 15 Bukireva Str., Perm 614990, Russia

ON THE APPLICATION OF NEURAL NETWORKS IN THE SYSTEM OF THE DRILLING PROCESS MANAGEMENT

Abstract. The examples of ant algorithm operation are considered. It is shown that the algorithm works effectively with the correct choice of neural network parameters. The possibility of using neural networks to diagnose

and predict the condition of drilling equipment on the example of a screw downhole motor affecting the quality and accuracy of the wiring when drilling is revealed.

Keywords: *neural network, optimal trajectory, screw downhole motor, ant optimization algorithm, drilling equipment.*

Система управления процессом бурения скважин содержит забойный двигатель с породоразрушающим инструментом и забойную телеметрическую систему с каналом связи. Забойная телеметрическая система содержит датчики контроля параметров в забое. Эти датчики контролируют параметры геофизических исследований скважин (ГИС) и геолого-технологических исследований (ГТИ): параметры скважин, давление, вибрации колонны бурильных труб, которые через приемное устройство связаны с управляющим компьютером (УК) [1].

В состав системы введена база данных, содержащая проектные данные по конструкции скважины, характеристики бурильного оборудования, технологии процесса бурения, геологические и геофизические данные. Программное обеспечение выполнено с возможностью самообучения путем учета данных, получаемых со скважины и предшествующего опыта при бурении скважины, данных ГИС и геологии.

Система управления оценкой качества эксплуатационных характеристик бурового оборудования включает замер фактических геометрических параметров основных деталей, узлов бурильного оборудования, программное обеспечение, содержащее сведения о проектных, конструктивных, технологических и эксплуатационных параметрах, ГТИ, характеристиках канала связи, блока передачи информации в управляющий компьютер.

Применение алгоритма муравьиной оптимизации

Существует множество критериев оптимизации траектории скважин: по длине скважины, минимальной стоимости, минимальным рискам аварий, минимальному ущербу природе, максимальной скорости бурения, по наиболее простой для проводки траектории (Camron Miller, 2008, Али А. и др., 2005). Недостатки системы управления заключаются в том, что она не обеспечивает требуемый уровень информации по параметрам геофизических и технологических исследований скважин для определения ситуации принятия оптимального решения по диагностике технического состояния бурового оборудования.

Решение указанных задач можно достичь применением информационных технологий в системе управления оценкой качества эксплуатационных характеристик бурильного оборудования.

Рассматривая оптимизацию по максимальной скорости проводки скважины оперируют комплексным показателем буримости в той или иной области горных пород при неизменных технологических параметрах.

При проведении экспериментов [2] были получены следующие результаты. На рис. 1 показан тестовый пример, в котором отмечены два тяжело буримых участка (выделены розовым). Пласт-коллектор выделен коричневым.

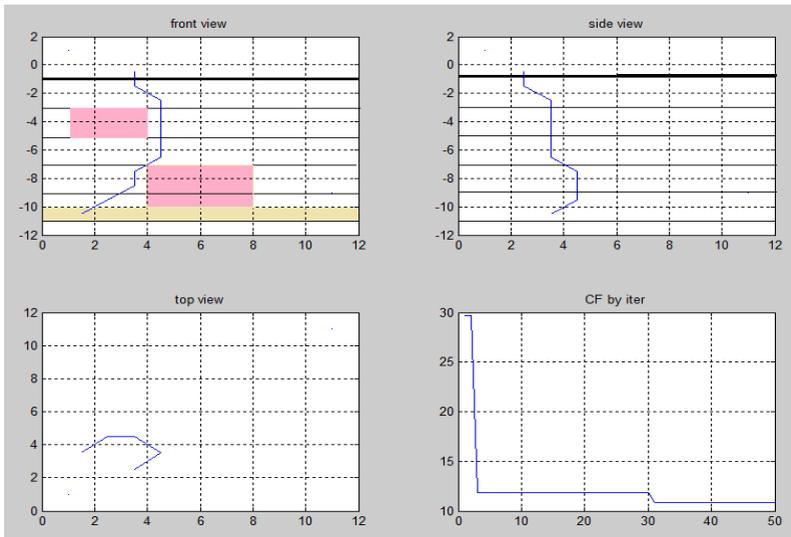


Рис. 1. Тестовый пример с двумя тяжело буримыми участками

На левом верхнем рисунке показан вид траектории спереди, на правом верхнем – сбоку, на левом нижнем – сверху, на правом нижнем – убывание (улучшение) критерия оптимальности по итерациям основного цикла. Видно, что муравьиный алгоритм для оптимизации проводки скважины нашел траекторию, которая избегает тяжело буримых участков. Данные, полученные при помощи муравьиного алгоритма, и параметры оптимизации траектории требуют дополнительной обработки, которую выполняет нейронная сеть.

Искусственные нейронные сети содержат однотипные элементы ячейки, имитирующие работу нейронов мозга, обладающие группой синапсов, образующих входные связи, и аксоном, образующих выходную связь данного элемента ячейки.

Моделирование надежности оборудования и энергоэффективности

Для обработки данных при помощи нейронных сетей система дополнительно содержит базу данных по геометрическим параметрам и эксплуатационным характеристикам бурильного оборудования за определенные промежутки времени работы в скважине, что позволяет проводить расчет диапазона отклонений геометрических параметров, проводить коррекцию эксплуатационных характеристик и технологии бурения скважин. Программное обеспечение для принятия решения выполнено с возможностью самообучения путем учета данных, полученных при бурении, производстве, контроле и эксплуатации с помощью нейронных сетей.

Данное исследование решало задачу выделения совокупности параметров, определяющих работоспособность бурового оборудования на примере винтового забойного двигателя (ВЗД) – основу системы предсказательной диагностики и ее построение. Работоспособное состояние определяется значениями совокупности параметров, которые характеризуют способность объекта выполнять заданные функции в соответствии со значениями выходных параметров, определенных требованиями нормативно-технической документации. При этом под выходными параметрами понимаются числовые показатели его технических характеристик, которые показывают состояние машины и её возможности выполнять заданные функции [3].

Для эффективного использования ВЗД необходима информация о его работоспособности в процессе эксплуатации, а также в некоторый момент времени будущего. Решение данной задачи невозможно без исходных данных о техническом состоянии оборудования путём его диагностики. К объекту диагностики относится винтовая пара рабочего органа ВЗД, состоящая из ротора и статора. Наибольшим значением для оценки технического состояния имеет изменение его геометрических параметров в период работы, которые обусловлены изнашиванием ротора и резиновой обкладки статора. В результате изменения геометрических параметров ВЗД может возникать совокупность неисправностей, являющаяся следствием нарушения его работоспособности, снижения точности проводки при бурении и т.д.

В процессе диагностики была установлена зависимость между изменяющимся диаметральным натягом и энергетическими характеристиками при помощи нейронной сети в программном продукте MatLab.

Способность нейронной сети к прогнозированию напрямую следуют из её способности к обобщению и выделению скрытых зависимостей между входными и выходными данными. После обучения сеть способна предсказать будущее значение некой последовательности на основе нескольких предыдущих значений или каких-то существующих в настоящий момент факторов.

Исходные данные представляют собой работу тридцати винтовых забойных двигателей за 20, 40, 60, 80 и 100 часов работы в скважине. Три из них были выбраны как тестовые, остальные как обучающие. Таким образом, обучающая выборка содержала 27 обучающих и 3 тестовых примеров (пар вход-выход) [4]. При моделировании нейронной сети была задана её структура, число скрытых слоев и количество нейронов в них. Приняли, что число скрытых слоев равно единице. Используя теорему Арнольда – Колмогорова – Хехт – Нильсена, определили диапазон чисел синаптических весов в многослойной сети с сигмоидальными передаточными функциями 62-73, из которого определили по методу Нелдера – Мида, что 13 нейронов в скрытом слое позволяют достичь приемлемой ошибки прогнозирования, где градиент ошибки минимален (рис. 2). Ошибка прогнозирования была принята равной 0,001.

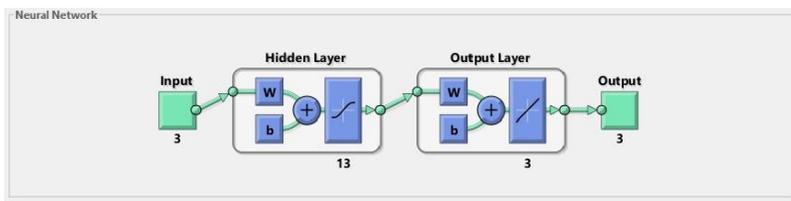


Рис. 2. Архитектура нейронной сети

Проверка на тестовых выборках обученной нейронной сети показала ошибку 0,003, что значительно лучше, чем если бы данная задача решалась методом наименьших квадратов, ошибка которого составила 0,098 [5] (рис. 3).

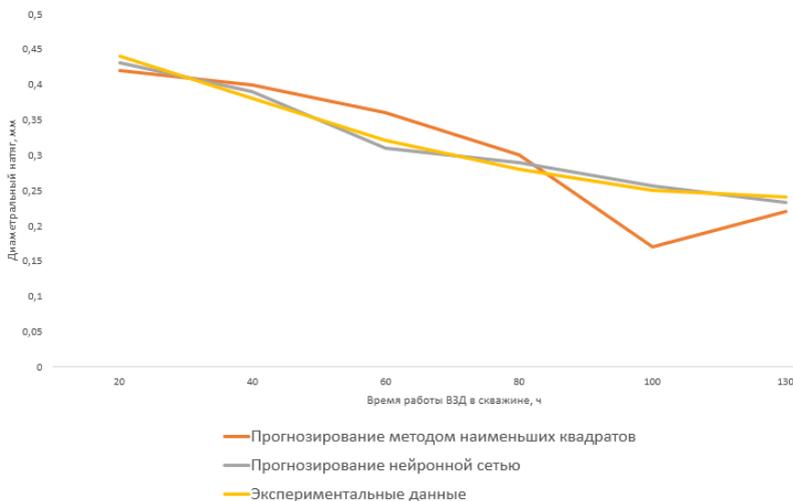


Рис. 3. Сравнение методов прогнозирования параметров по экспериментальным данным

Заключение

1. Алгоритм муравьиной оптимизации можно использовать для построения траекторий скважин. При правильном выборе параметров алгоритм находит хорошее решение, что приведет к эффективному снижению затрат и повышению коэффициента нефтеотдачи. Поэтому необходим способ переноса решения в непрерывное пространство с использованием нейронных сетей.

2. Применение полученных результатов позволит:

- создать самообучающуюся систему путем использования экспериментальных данных;
- совершенствовать технологический процесс бурения;
- эффективно использовать получаемую информацию с телеметрии;
- повысить точность проводки скважин;
- оптимизировать параметры ВЗД с заданными характеристиками;
- обеспечить предотвращение аварийных ситуаций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кочнев А. А. Концепция «интеллектуального месторождения» // Master's journal, 2015. № 2. С. 165–171.

2. *Цветков Г. А. Ширяев П. П.* Применение алгоритма муравьиной оптимизации для построения оптимальной траектории скважины // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. Пермь, ПГНИУ, 2017. С. 184-186.

3. *Русаков Д. Н., Лукина С. В., Твердохлебов А. С., Владимиров М. И.* Диагностика технического состояния и прогнозирование работоспособности технологического оборудования // Техника и технология машиностроения: материалы V Международной студенческой научно-практической конференции. Омск: Омский государственный технический университет, 2016. С. 298–304.

4. *Двойников М. В.* Технология бурения нефтяных и газовых скважин модернизированными винтовыми забойными двигателями: Автореф. дисс. доктора техн. наук. Тюмень: ООО «ТюменНИИгипрогаз», 2010. 25 с.

5. *Саймон Хайкин.* Нейронные сети: полный курс. М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. 1104 с.

6. *Дьяконов В. П., Круглов В. В.* MATLAB 6.5 SP1/7/7 SP1/7 SP2 + Simulink 5/6. Инструменты искусственного интеллекта и биоинформатики. М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2006. 456 с.

REFERENCES

1. *Kochnev. A. A.* Kontseptsiya «intellektualnogo mestorozhdeniya» [The Concept of “smart field”]. Master's journal, 2015. No. 2. Pp. 165–171. (In Russian).

2. *Shiryayev P.R., Tsvetkov G. A.* Primenenie algoritma muravinoy optimizatsii dlya postroeniya optimalnoy traektorii skvazhin [Ant colony optimization algorithm application for well trajectory build]. In: Geologiya i poleznye iskopaemye Zapadnogo Urala. Perm, Perm State University, 2017. Pp. 184–186. (In Russian).

3. *Rusakov D. N., Lukina S. V., Tverdokhlebov A. S., Vladimirov M. I.* Diagnostika tekhnicheskogo sostoyaniya i prognozirovanie rabotosposobnosti tekhnologicheskogo oborudovaniya [Technical condition diagnostics and prediction of the technological equipment operability]. In: Tekhnika i tekhnologiya mashinostroeniya. Omsk. Omsk state technical University, 2016. Pp. 298–304. (In Russian).

4. *Dvoynikov M. V.* Tekhnologiya bureniya neftyanykh i gazovykh skvazhin modernizirovannymi vintovymi zaboynymi dvigatelyami [Technology of drilling oil and gas wells by modernized screw downhole engines]. Diss. Dr. Techn. Sci., Tyumen. LLC TyumenNIIGiprogaз, 2010. 25 p. (In Russian).

5. *Simon Haykin.* Neural Networks: A Comprehensive Foundation. Prentice-Hall. 1999. 817 p.

6. *Dyakonov V. P., Kruglov V. V.* MATLAB 6.5 SP1/7/7 SP1/7 SP2 + Simulink 5/6. Instrumenty iskusstvennogo intellekta i bioinformatiki [MATLAB 6.5 SP1/7/7 SP1/7 SP2 + Simulink 5/6. Tools of artificial intelligence and bioinformatics]. Moskva. SOLON-PRESS. 2006. 456 p. (In Russian).

УДК 550.837

А. А. Тайницкий, А. В. Кичигин

Горный институт УрО РАН. 614007, Россия, г. Пермь, ул. Сибирская,
д. 78а; e-mail: tainickiy@mail.ru

РЕШЕНИЕ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ВЭЗ В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНЫХ ЗНАКОПЕРЕМЕННЫХ ПОМЕХ

Аннотация: Помехи являются неотъемлемой частью получаемых полевых данных. Метод минимизации эмпирического риска позволяет получать относительно достоверные результаты при интерпретации данных, осложненных помехой. В рамках данного подхода реализован алгоритм, когда подбирается одновременно несколько кривых ВЭЗ вдоль профиля.

Ключевые слова: электроразведка, зондирование, помеха, минимизация эмпирического риска, геоэлектрический разрез.

А. А. Tainitskiy, A. V. Kichigin

Mining Institute UB RAS. 78a Sibirskaya Str., Perm 614007, Russia,
e-mail: tainickiy@mail.ru

THE SOLUTION OF THE VES INVERSE PROBLEM UNDER THE CONDITIONS OF INTENSIVE ALTERNATE NOISE

Abstract: The alternate noise is the integral part of raw data. The method of minimizing of empirical risk allows obtaining relatively reliable results of noisy data interpretation. It is realized using the algorithm, which inverse the group of VES curves simultaneously.

Key words: electrical survey, sounding, noise, minimizing the empirical risk, geoelectrical section.

Решение обратной задачи ВЭЗ заключается в нахождении вектора параметров $\mathbf{Q} = \{\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_N, h_1, h_2, \dots, h_{N-1}\}$ геоэлектрического разреза по известному распределению параметров геофизического поля. Однако в большинстве случаев помехи являются неотъемлемой частью получаемых полевых данных, что в некоторых случаях затрудняет выделять полезную информацию из «зашумленного» сигнала, а также вынуждает выполнять предварительную подготовку данных (нормализация, сглаживание и т.д.)

Метод минимизации эмпирического риска, разработанный коллективом исследователей (П. И. Балк, А. С. Долгаль и др.), как было

показано ранее на модельных примерах [1, 2], позволяет получать относительно достоверные результаты, при интерпретации данных осложненных помехой. При этом отсутствует необходимость знания закона распределения помехи в интерпретируемых значениях поля, достаточно выполнения предположения о близости к нулю её медианного значения. На основе данного подхода успешно были реализованы алгоритмы решения обратной задачи с подбором параметров вектора сопротивлений при фиксированных значениях мощности слоев, а также подбора полного вектора параметров разреза [3].

В реальных условиях приходится иметь дело не с единичной кривой зондирования, а с серией кривых вдоль профиля. Таким образом, в рамках данного подхода предпринята попытка реализовать алгоритм, когда подбирается одновременно несколько кривых ВЭЗ. В качестве априорной информации выступают обобщенные параметры разреза, что в реальных условиях может соответствовать наличию данных бурения по скважине расположенной, где то вблизи профиля.

В качестве примера использована трехслойная модель типа H , в которой проводящий слой имеет форму симметричной «отрицательной» структуры. Для данной модели рассчитана одномерная прямая задача ВЭЗ в пяти точках (рис. 1). Рассчитанные кривые осложнены случайно сгенерированной помехой.

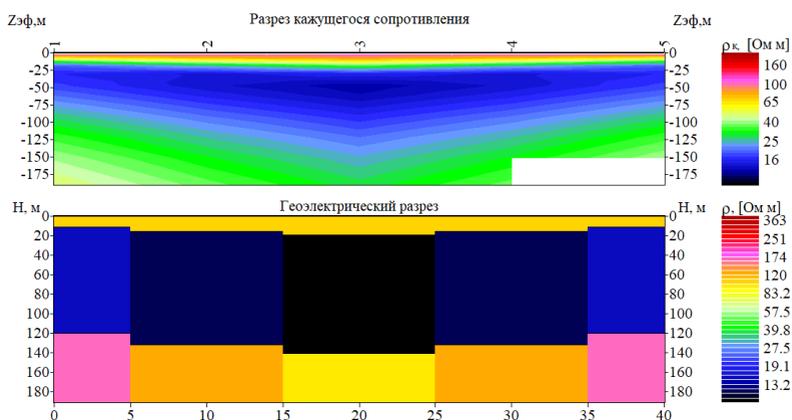


Рис.1. Модельный разрез кажущегося сопротивления и геозэлектрический разрез

В ходе эксперимента выполнены расчеты для 100 вариантов решения обратной задачи. Подробно суть эксперимента, а также гео-

ретические основы метода МЭР описаны в более ранних статьях [1–3]. При решении обратной задачи для группы зондирований используется не один, а два критерия, обеспечивающих сужение области поиска интересующего решения. В качестве первого (глобального) используется сравнение среднеквадратичного отклонения (СКО) кривой рассчитанной для случайного вектора параметров разреза от среднегеометрической кривой ВЭЗ вдоль профиля, с некоторым «пороговым» значением отклонения. Если условие выполняется, то рассчитанная теоретическая кривая сравнивается уже с каждой кривой ВЭЗ вдоль профиля. В противном случае попытка не засчитывается и генерируется новый вектор случайных параметров разреза. Следует отметить, что данный критерий также в некотором смысле обеспечивает согласованность решения для кривых вдоль профиля.

На следующем этапе, при сравнении теоретической кривой, рассчитанной для параметров случайного вектора, с конкретной кривой ВЭЗ, также в качестве критерия (локального) отбора используется СКО. При выполнении условия, значения параметров случайного вектора относятся к одному из подмножеств множества D допустимых решений для данной кривой зондирования, в противоположном случае данное решение отбрасывается и впоследствии не учитывается.

В конечном итоге рассчитывается функция плотности вероятностей на структурированном множестве допустимых вариантов решения обратной задачи для каждой кривой ВЭЗ и выбирается наилучшее решение по минимуму математического ожидания его погрешности [1, 2].

На рис. 2 представлены обобщенные результаты расчета 100 вариантов решения обратной задачи в виде геоэлектрического разреза, а также сведены в таблицу. В таблице отражены численные среднеквадратичные отклонения полученных параметров разреза от модельных по формуле

$$\delta_{\text{отн}} = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{q_{\text{мод}} - q_i}{q_{\text{мод}}} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \cdot 100 \quad ,$$

где q – параметры разреза (сопротивление, мощность). Максимальное отклонение составило 17,9 % на пикете 5, а минимальное – 8,4 % (пк 4) при условии, что исходные параметры разреза соответствовали значениям сопротивления и мощности на пикетах 2, 4.

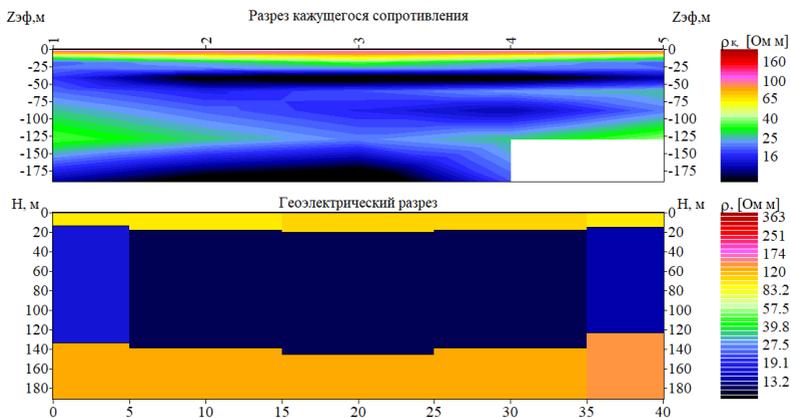


Рис. 2. Разрез кажущегося сопротивления, осложненный помехой, и геоэлектрический разрез, полученный в результате решения обратной задачи

Таблица

	1		2		3		4		5	
	Мо- дель	Ре- ше- ние								
ρ_1	103	98	103	99	103	101	103	102	103	100
ρ_2	15	16	12	11	10	11	12	12	15	14
ρ_3	165	130	130	130	100	130	130	130	165	140
h_1	11	13	15.2	18	19.3	20	15.2	18	11	15
h_2	109	120	116	120	121	125	116	120	109	107,5
$\delta_{отн},$ %		13,8		9,3		14,3		8,4		17,9

Таким образом, метод минимизации эмпирического риска позволяет получать относительно достоверные результаты даже при наличии помех в исходном поле, что дает возможность проводить интерпретацию без предварительной подготовки данных. Реализуемый подход позволяет проводить одновременный подбор серии кривых ВЭЗ вдоль профиля, что позволяет повысить оперативность проведения количественной интерпретации.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-35-00320.

ЛИТЕРАТУРА

1. Балк П. И., Долгаль А. С., Мичурин А. В. Смешанный вероятностно-детерминистский подход к интерпретации данных гравиразведки, магниторазведки и электроразведки // Доклады Академии наук, 2011. Т. 438. № 4. С. 532–537.

2. 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.

3. Тайницкий А. А., Кичигин А. В. Интерпретация данных электроразведки методом минимизации эмпирического риска // Теория и практика разведочной и промысловой геофизики. Пермь, ПГНИУ, 2017. С. 191–195.

REFERENCES

1. Balk P. I., Dolgal A. S., Michurin A. V. Smeshannyuy veroyatnostno-deterministicheskyy podkhod k interpretatsii dannykh gravirazvedki, magnitorazvedki i elektrorazvedki [Mixed probabilistic-deterministic approach to the interpretation of gravity, magnetic and electrical prospecting data]. Doklady AN RAS, 2011. T. 438 № 4. Pp. 532–537. (In Russia).

2. Balk P. I., Dolgal A. S., Michurin A. V., Taynitskiy A. A., Khristenko L. A. Podavlenie znakoperemennykh pomekh pri inversii dannykh vertikal'nogo elektricheskogo zondirovaniya [Alternating noise suppression in the vertical electrical sounding data inversion]. Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya, 2016. № 2 (31). Pp. 55–63. (In Russia).

3. Kichigin A. V., Taynitskiy A. A. Interpretatsiya dannykh elektrorazvedki metodom minimizatsii empiricheskogo riska [Interpretation of electrical survey data by the method of minimizing the empirical risk] Teoriya i praktika razvedochnoy i promyslovoy geofiziki. Perm, PGNIU, 2017. Pp. 191–195. (In Russia).

УДК 550.83

E. V. Torgashov¹, A. V. Verkholtantsev²

¹Missouri University of Science and Technology, 1400 N. Bishop Ave., Rolla, MO 65409, USA; email: evgeniy@mst.edu

²Mining Institute UB RAS. 78a Sibirskaya Str., Perm 614007, Russia; email: vercholantsev@gmail.com

LAND AND UNDERWATER ERT SURVEY FOR MAPPING INTEGRITY OF ROCK WITH THE PURPOSE OF AN UNDERGROUND TUNNEL CONSTRUCTION

Abstract. The ERT survey was conducted across a river with the objectives of mapping variable depth to top-of-rock beneath and in immediate

proximity to the river, characterize rock and soil to the extent possible, and identify potentially unfavorable bedrock conditions that could affect design or construction of the underground tunnel.

Key words: *electrical resistivity tomography, underwater resistivity, mapping bedrock, rock integrity.*

Е. В. Торгашов¹, А. В. Верхоланцев²

¹ Миссурийский институт науки и технологий, 1400 С. Бишоп Авеню, Ролла, Миссури 65409, США; e-mail: evgeniy@mst.edu

² Горный институт УрО РАН. 614007, Россия, г. Пермь, ул. Сибирская, д. 78а; e-mail: vercholancev@gmail.com

НАЗЕМНАЯ И ПОДВОДНАЯ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКА МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОТОМОГРАФИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ ПОРОД С ЦЕЛЬЮ СТРОИТЕЛЬСТВА ПОДЗЕМНОГО ТОННЕЛЯ

***Аннотация.** Данные электротомографии были зарегистрированы с целью картирования переменной глубины залегания горных пород под рекой и в ее непосредственной близости, определения основных характеристик грунтов, а также выявления возможных неблагоприятных условий залегания пород, которые могут повлиять на проектные решения строительства подземного тоннеля.*

***Ключевые слова:** подводная электроразведка, электротомография, переменная глубина залегания горных пород, прочность пород.*

INTRODUCTION

A 2.4 m-diameter (8 ft-) underground tunnel will be constructed in 2020–2025 as a part of the Metropolitan St. Louis Sewer District Project Clear, which is addressing wastewater overflows and includes construction of nine tunnels [1]. The tunnel at the study site will be drilled at an estimated elevation of 91.5 m (300 ft) to store and convey additional flow during heavy rain events until capacity is available at the nearby wastewater treatment plant.

Two-dimensional electrical resistivity tomography (ERT) data were acquired along a near-linear 509-m (1670-foot) long traverse that extended 174 m (570 ft) southwest and 213 m (700 ft) northeast of the 122-m (400-foot) wide Meramec River channel (Figure 1). The goal of the ERT survey was to map variable depth to top-of-rock beneath and in immediate proximity to the river, characterize rock and soil to the extent possible, and identify

potentially unfavorable bedrock conditions that could affect design or construction of the underground tunnel.

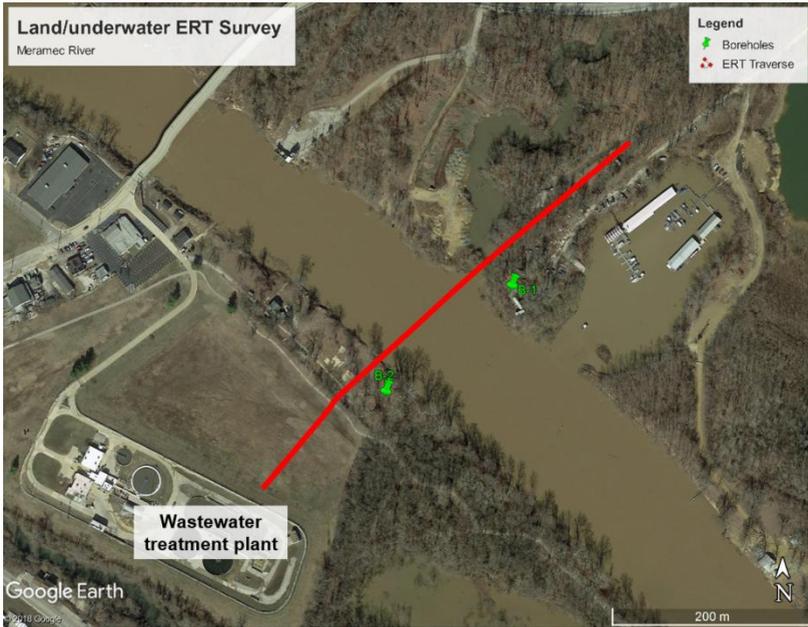


Figure 1. Aerial image of the study site. The ERT traverse highlighted as the red line. Boreholes B-1 and B-2 marked as green pins

DATA ACQUISITION

The ERT data set was obtained using an AGI SuperSting R8/IP multi-channel resistivity meter and two overlapping dipole-dipole arrays each consisting of 112 electrodes (56 marine electrodes, depicted in Figures 2a and 2b, and 56 land electrodes, depicted in Figure 2c) spaced at 3-meter (10-foot) intervals. A boat was used to install the marine electrodes across the river (Figure 2d).

The acquired field data were good to excellent quality. The ERT data were processed using commercial Geotomo Res2DInv software. The processing iteration error was 2.4 indicating the processed output ERT profile correlates very well with the acquired ERT field data. Borehole data were acquired at two locations in proximity to the ERT traverse prior to the ERT survey.

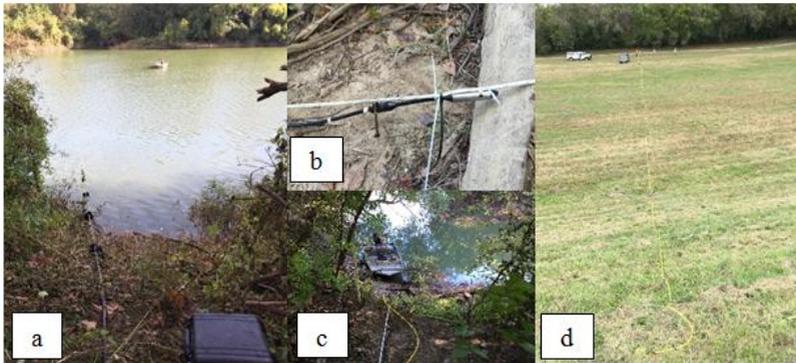


Figure 2. ERT data acquisition. a) Marine ERT cable stretched across the river using a boat, sand bags were tied to the electrodes to ensure proper coupling with the river bottom; b) electrode on the marine ERT cable, coupled with a metal stake; c) land ERT cable near the water, looking southwest; d) beginning of the ERT traverse – land ERT cable installed across the field, looking northeast

DATA INTERPRETATION

Rock resistivity generally increases as rock competency increases and moisture content decreases. Moist rock in the St. Louis area typically exhibits resistivity values greater than 125 ohm-m. Porous, moist, fractured rock containing with clay can exhibit values below 125 ohm-m. Figure 3 provides interpreted version of the processed ERT profile. The resistivity contour of 125 ohm-m is identified as top-of-rock on Figure 3.

The interpreted ERT top-of-rock on Figure 3 correlates reasonably well with the 125 ohm-m contour and is consistent with MS&T interpretations of ERT data acquired from the St. Louis area [2, 3, 4], except in the east valley floor between ERT stations 433 and 475 m (1420 and 1560 ft) (zone of anomalously low resistivity). The interpreted top-of-rock in this zone is characterized in places by resistivity values of about 50 ohm-m. This could be a paleo river channel or karst feature with top-of-rock below the anticipated top of tunnel. Another plausible interpretation is that bed-rock between stations 433 m (1420 ft) and 475 m (1560 ft) may be anomalously conductive due to a combination of enhanced porosity (more intensely fractured rock), enhanced moisture content and enhanced clay content. If so, top-of-rock between stations 433 m (1420 ft) and 475 m (1560 ft) is as shown on Figure 3, but cannot be reliably mapped using the 125 ohm-m criterion.

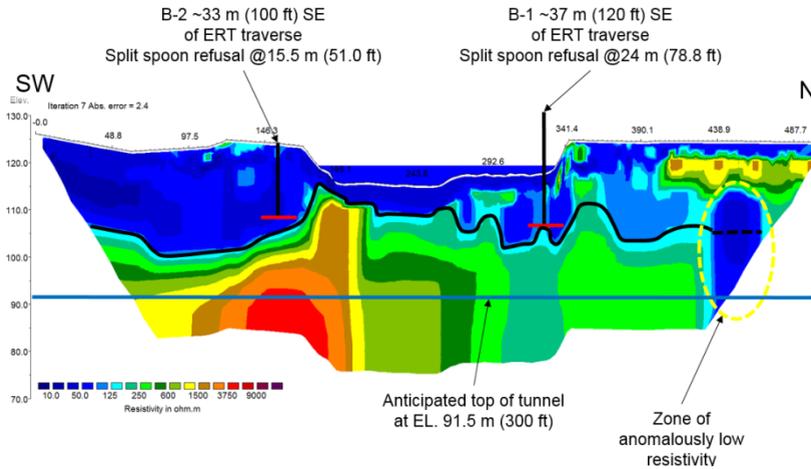


Figure 3. Interpreted ERT profile. Black solid line depicts the interpreted top-of-rock. Red horizontal lines depict auger refusal (top of rock) depths. Boring B-1 and B-2 locations are interpolated to the ERT traverse. The anticipated top of the tunnel at elevation of 91.5 m (300 ft) is depicted as the blue line. Resistivity contour value of 125 ohm·m corresponds (approximately) to interpreted top-of-rock

Moist soils around St. Louis typically exhibit resistivity less than 125 ohm·m, while dry clay-free soil can exhibit resistivity exceeding 125 ohm·m. Soil resistivity generally increases as moisture and clay content decrease. Resistivity values less than 125 ohm·m characterizes most of the soil on Figure 3. Soil from 3 to 9 m (10 to 30 feet) deep northeast of ERT station 402 m (1320 ft) is an exception with resistivity values as high as 1500 ohm·m, suggesting dry, clay-free soil and / or fill.

RESULTS AND DISCUSSION

The interpreted ERT top-of-rock (tied together via linear extrapolation) near the boring B-1 is at the elevation of 107 m (350 ft) and correlates well with boring data (auger refusal at the elevation of 107 m (350 ft)). The ERT top-of-rock estimates (tied together via linear extrapolation) near boring B-2 differ by 3 m (10 feet) vertically, very probably due to the fact the borehole data were acquired at off-line locations (Figures 1 and 3).

It was concluded that the bedrock at the elevation of 91 m (300 ft) at the site is intact at stations 0 to 280 m (0 to 920 ft), moderately weathered/fractured at stations 280 to 433 m (920 to 1420 ft) and it was recom-

mended to the client that the subsurface conditions between ERT stations 433 m and 475 m (1420 and 1560 ft) should be evaluated more fully to determine if the end-of-profile anomaly is real and the top-of-rock is anomalously deep at this location.

REFERENCES

1. *Metropolitan St. Louis Sewer District (MSD) – Project Clear*. URL: <https://www.projectclearstl.org/build-system-improvements/tunnel-bid-schedule/> (Accessed 10.08.2018)
2. *Torgashov E., Varnavina A.* (2016). Site Characterization during Bridge Foundation Construction Using Electrical Resistivity Tomography. *AIMS Geosciences*. 2. 201–213. doi: 10.3934/geosci.2016.3.201.
3. *Kidanu S., Torgashov E. V., Varnavina A. V., Anderson N.L.* (2016). ERT-based Investigation of a Sinkhole in Greene County, Missouri. *AIMS Geosciences*. 2. 99–115. doi: 10.3934/geosci.2016.2.99.
4. *Nwokebuihe S. C., Alotaibi A. M., Elkrry A., Torgashov E. V., Anderson N. L.* (2017). Dam Seepage Investigation of an Earthfill Dam in Warren County, Missouri Using Geophysical Methods. *AIMS Geosciences*. 3(1). 1–13. doi: 10.3934/geosci.2017.1.1.

УДК 550.832, УДК 550.836

Д. Г. Халилов

ОАО «Когалымнефтегеофизика». 628486, Россия, Ханты-Мансийский автономный округ (ХМАО), г. Когалым, ул. Геофизиков, д. 4;
e-mail: Adskiykrevetko@yandex.ru

ПОТЕНЦИАЛ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

***Аннотация.** Внедрение волоконно-оптических технологий в различные области производства поспособствовало их взаимному развитию и созданию множества альтернативных научных методов. Оптическое волокно активно применяется для выполнения задач скважинного мониторинга, гироскопической навигации и др. В процессе освоения новых направлений возникают проблемы, требующие применения всевозможных научных подходов. Достижение положительного результата зависит во многом от взаимодействия со стандартными технологиями.*

***Ключевые слова:** оптическое волокно, мониторинг, решётка Брэгга, термоанемометр, эффект Саньяка, интерферометр, волоконно-оптический гироскоп.*

D. G. Khalilov

JSC «Kogalymneftegeophysica». 4 Geophysikov Str., Kogalym 628486,
Khanty-Mansi Autonomous Okrug (KMAO), Russia;
e-mail: Adskiykrevetko@yandex.ru

THE OPTIC FIBER TECHNOLOGIES POTENTIAL

***Abstract.** Optical fiber technology introduction in different industry branches helped create many alternative scientific methods. Optical fiber is used actively for the well monitoring, for the gyro navigation, etc. While mastering the new development directions, the problems demanding the application of new scientific approach appear. To achieve positive result, optical fiber technologies have to interact with standard technologies.*

***Key words:** optical fiber, monitoring, Bragg grating, thermoanemometer, Sagnac effect, interferometer, fiber optical gyroscope.*

Теоретические основы любого научного принципа, особенно высокотехнологичного, заложенного в качестве ядра определённого физического метода, зачастую требуют доработок идентичного либо практического характера. Валидность метода в рамках лабораторных экспериментов не гарантирует простоту его применения на практике при внедрении в частные области производства. В свою очередь открывается вопрос о границах действия рассматриваемой теории. Одним из спорных широко используемых инструментов, способствующих развитию технологий и обеспечивающих новациями производство, является оптическое волокно. Рассмотрим в качестве примеров некоторые узкие направления, в которых оно задействовано.

Волоконно-оптический мониторинг в скважинах

Оптическое волокно активно применяется в прогрессивных нефтедобывающих регионах мира для осуществления мониторинга работы продуктивных пластов в скважинах, в том числе во время работы подземного оборудования. Основным физическим методом изучения среды является распределённая термометрия. Измерение температуры осуществляется путем регистрации спектральных компонент отражённого лазерного излучения распространяемого по волокну, заключённому в бронированный кабель либо в полимерную трубку. Пространственный охват метода (до 5000 м) и отсутствие относительно информационно-ограниченного электрического канала связи способствует упрощению технологических схем исследований и экономии производственных ресурсов для обслуживания месторождений.

Развитие оптоволокна связано с совершенствованием существующей технологии мониторинга путём повышения чувствительности измерений и с переходом на наблюдения в высокотемпературных средах (свыше 120 °С). Кроме того стоит вопрос освоения иных методов скважинной геофизики, в число которых входят барометрия и расходомертия.

Первый вопрос касается потери адекватности регистрируемых данных. Повышенная чувствительность позволяет подчёркивать локальные эффекты изучаемого поля, что в свою очередь сужает количество вариантов решения обратной задачи. Последнее прямо ведёт к достижению погрешности наблюдений, способствующей выходу метода на конкретный количественный уровень. Однако как показывает практика, значительный вклад вносят помехи, вызванные особенностями пространственного положения оптического волокна в скважине. В данном случае, помимо истинных температурных эффектов, локализируются ложные аномалии, возникающие из-за механических контактов кабеля с эксплуатационной колонной. Учёт положения кабеля в колонне при наличии спущенного оборудования сопряжен со значительным числом вариантов в выборке, что не позволяет решить данный вопрос путём применения статистического алгоритма (рис. 1).

Направление развития, связанное с применением решёток Брэгга может содержать определённые несогласия с технологическими планами и действующими методами исследований. Решёткой Брэгга называется участок оптического волокна, в котором с определённой периодичностью изменяется показатель преломления мод. Данные участки формируют при помощи лазеров. Модуляция с показателем преломления решётки вызывает определённые неоднородности с излучением, что формирует, в свою очередь, отражённый сигнал, который содержит необходимую информацию. Значение коэффициента отражения брэгговской решётки достигает 40–100 % в зависимости от химического состава волокна, что вызвало необходимость в многостороннем изучении влияния данных обстоятельств на качество получаемого отражённого лазерного сигнала, а также в свою очередь исходных данных [1]. Исследования отдельных специалистов выявили ограниченность действия решёток Брэгга по сроку использования. Следует отметить, что в ходе развития технологий записи брэгговских решёток были решены проблемы, вызванные физическими дефектами, связанными с выбором спектрально-временных характеристик оборудования, используемого для их нанесения. Также экспериментальным путём расширена теоретическая база, позволяющая провести выборку волокон по химико-физическим свойствам, соответствующим области их

применения [1]. Но на данный момент метод измерения давления при помощи волоконно-оптического датчика не получил широкого применения в скважинной геофизике ввиду получения неудовлетворительных результатов на практике.

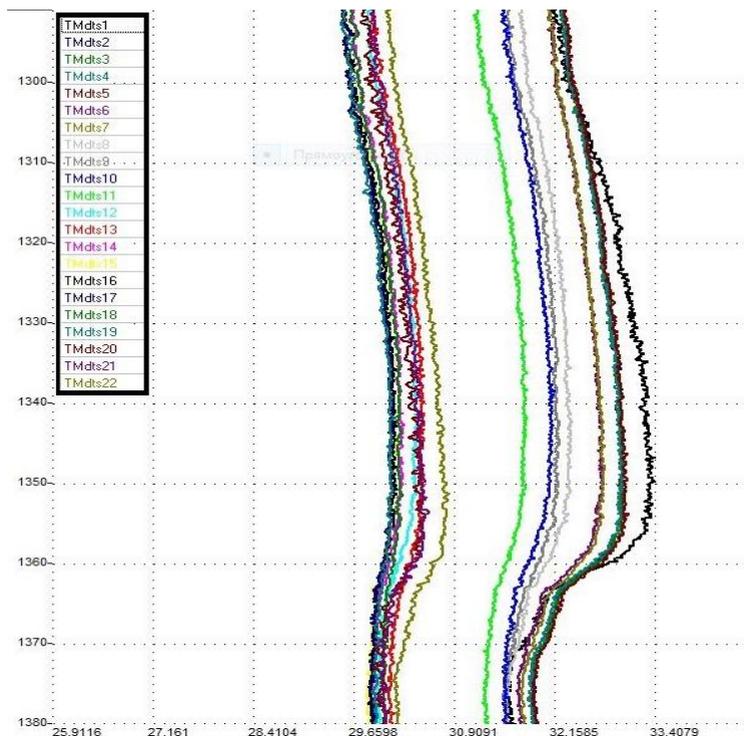


Рис. 1. Данные оптоволоконного мониторинга температуры

Волоконно-оптический термоанемометр

В конце XX века, начало внедрения волоконно-оптических датчиков и развитие применения лазерных технологий передачи информации в науке и общественной жизни закономерно привели к попыткам создать термоанемометр нового типа. Попытка воплощения отечественного волоконно-оптического термоанемометра была предпринята специалистами Всероссийского научно-исследовательского института физико-технических и радиотехнических измерений или НПО «ВНИИФТРИ» (рис. 2). Сущность работы прибора состоит в использовании двух кварцевых волоконных датчиков, одного с нагревающим элемен-

том (красный), другого (синий) без, для регистрации спектральных компонент светового излучения. По полученным данным вычисляется температурный эффект охлаждения нагреваемого волокна при учёте состояния опорного, выражающийся в воздействии газового, либо жидкостного потока, движущегося с определённой скоростью.

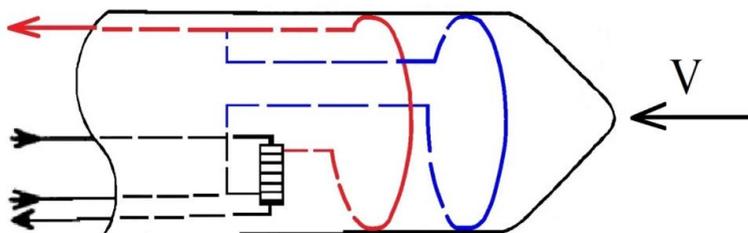


Рис. 2. Волоконно-оптический термоанемометр (модель 1993 года)

Создатели рассматривали в качестве одной из основных проблем их модели влияние температуры измеряемого потока на интенсивность излучения, на пропускные характеристики волокна и т.п. Кроме того, в работе прототипа проявлялись низкая чувствительность к изменениям в скорости потока и значительное воздействие гидроакустических шумов. Данные обстоятельства, безусловно, ставят вопрос о сомнении в практичности прибора, выражающейся в неприменимости данного прототипа к медленным потокам (около 0,35 м/с), регистрируемых термоанемометрами иных разновидностей. При этом не стоит забывать о том, что допустимые значения рабочих характеристик волоконно-оптических приборов на 1993 г. значительно уступали современным, величина коэффициента затухания для излагаемых технологий составляла 0,2 дБ/км [2].

Практика демонстрирует, что развитие технологии термоанемометра путём выхода на количественные показатели среды обстоит затруднительно. Многочисленные попытки создания лабораторных образцов привели к выводам о том, что показания температуры изучаемой среды не достаточно явно коррелируют с её искомыми динамическими параметрами. Сквжинный вариант метода, термокондуктивная дебитометрия до сих пор используется исключительно как качественный показатель характера движения жидкости в стволе (приток, покой, отток). Принципиальной проблемой данного варианта термоанемометра является отсутствие непосредственной связи между скоростью потока флюида и температурой по оптоволокну. Датчики механического, ультразвукового типа настроены на регистрацию параметров, «одно-

родно» связанных с измеряемой скоростью потока: частота вращения турбинки, скорости ультразвуковых волн.

Волоконно-оптический гироскопический инклинометр

Многопрофильность оптоволокна заметно проявляется с его использованием в навигационных системах летательных аппаратов и подводных лодок. Предприятия как ПАО «ПНППК» успешно применяют и проектируют волоконно-оптические гироскопы (ВОГ), в которых физико-теоретические основы работы исходят от эффекта Саньяка. Установка Саньяка представляет кольцевой интерферометр, в котором лазерные лучи направлены противоположно друг другу (рис. 3). В условиях покоя и равновесия фазовые сдвиги между потоками лазерного излучения отсутствуют, при колебании системы, т.е. формировании её направления (зенитный, азимутальный углы) происходят закономерные изменения параметров регистрируемого сигнала [3].

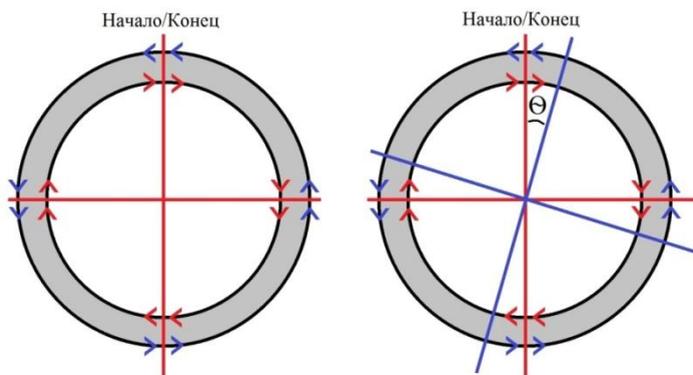


Рис. 3. Эффект Саньяка

Возможности использования приборов с ВОГ в описанных выше отраслях вызвали потребность в адаптации датчиков для скважинных инклинометров. Разработки отечественных специалистов позволили создать лабораторный вариант инклинометра, не избежав при этом определённых трудностей. При создании альтернативного гироскопического инклинометра, не использующего динамический датчик и защищённого от колебаний среды, выявились проблемы с влиянием температуры среды на регистрируемые сигналы [4, 5]. Скважинное пространство характеризуется наличием температуры до 120 °С и гидростатического давления пропорционального высоте столба жидкости. Данные усло-

вия создают осложнения для навигационных систем, что в свою очередь вынуждает разработчиков проводить дополнительные исследования и доработки, упирающиеся в иные малоизученные частные научные принципы волоконной оптики и теорию относительности.

Заключение

Частичная применимость волоконно-оптических технологий демонстрирует проявление их скрытых возможностей, предлагая использование альтернативных научно-практических принципов для решения востребованных задач. Преимущество отдельных направлений, выражающееся в экономии эксплуатационных ресурсов и достижения на выходе допустимых результатов, служит катализатором развития, включающего смежные направления. Конечный результат зависит от качества синтеза, ассимиляции научных принципов с целевыми методами, требующими воспроизводимости, надёжности и практичности систем измерения, работающих на оптическом волокне.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Варжель С. В.* Волоконные брегговские решетки. СПб: Университет ИТМО, 2015. 65 с.
2. <http://www.freepatent.ru/patents/2060504>.
3. *Гужеля Ю. А.* Неиспользованные возможности эффекта Саньяка при измерении скорости объекта // Инновации в науке и образовании – 2011: Труды IX Международной научной конференции. В 2-х частях, 2011. С. 173–176.
4. *Терешин В. Г., Иванова Г. А.* Перспективы использования волоконно-оптических гироскопов в инклинометрической технике // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета, 2011. Т. 15. № 1(41). С. 148–152.
5. *Соколов Д. А.* Перспективы использования малогабаритных волоконно-оптических гироскопов в гироинклинометрии // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики, 2007. № 44. С. 154–159.

REFERENCES

1. *Varzhel S. V.* Volokonnye breggovskie reshetki [Optical fiber Bragg gratings]. S-Petersburg: ITMO-University, 2015. 65 p. (In Russian).
2. Optiko-voikonnyy termoanemometr [Fiber thermos-anemometer]. URL: <http://www.freepatent.ru/patents/2060504>. (Accessed 15.08.2018) (In Russian).
3. *Guzhelya Y. A.* Neispolzovannyye vozmozhnosti efekta Sanyaka pri izmerenii skorosti obyektu [Unused opportunities of Sagnac effect for the object velocity measurement]. In: Innovatsii v nauke i obrazovanii – 2011. Mat. IX Mezhd. nauch. konf. 2011. Pp. 173–176. (In Russian).
4. *Tereshin V. G., Ivanova G. A.* Perspektivy ispolzovaniya volokonno-opticheskikh giroskopov v inklinometricheskoy tekhnike [Prospects of the use of

fiber-optic gyroscopes in inclinometric technology]. Vestnik Ufimskogo gos. aviat. tech. univ. 2011, T. 15. № 1(41). Pp. 148–152. (In Russian).

5. Sokolov D. A. Perspektivy ispolzovaniya malogabaritnykh volokonno-opticheskikh giroskopov v giroinclinometrii [Prospects for the use of small-sized fiber-optic gyroscopes in gyro inclinometry]. Nauch.-tech. vestnik St. Peterb. gos. univ. inform. tekhn. i optiki, 2007. № 44. Pp. 154–159. (In Russian).

УДК 550.837

Л. А. Христенко^{1,2}, Ю. И. Степанов^{1,2}

¹ Горный институт УрО РАН. 614007, Россия, г. Пермь, ул. Сибирская, д. 78а; e-mail: liudmila.hristenko@yandex.ru

² Пермский государственный национальный исследовательский университет. 614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АППАРАТА ТЕОРИИ ОЦЕНОК ПРИ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ ЭЛЕКТРОПРОФИЛИРОВАНИЯ

Аннотация. Использование процедур безэталонной классификации позволило разбить анализируемые совокупности объединенных признаков на однородные, по формальным математическим критериям, классы, пространственно отвечающие участкам возможных инженерно-геологических осложнений, что крайне затруднительно по результатам только качественного анализа полевых наблюдений методами электропрофилирования.

Ключевые слова: естественное электрическое поле, кажущееся сопротивление, статистические характеристики, классы, инженерно-геологические осложнения.

L. A. Khristenko^{1,2}, Yu. I. Stepanov^{1,2}

¹ Mining Institute UB RAS. 78a Sibirskaya Str., Perm 614007, Russia; e-mail: liudmila.hristenko@yandex.ru

² Perm State University. 15 Bukireva Str., Perm 614990, Russia

USE OF ESTIMATION THEORY FOR INTERPRETATION OF THE ELECTRICAL PROFILING DATA

Abstract. The using of non-standard classification procedures allowed deviding by formal mathematical criteria the analyzed indicators sets onto uniform classes spatially related to the areas of possible engineering-

© Христенко Л. А., Степанов Ю. И., 2018

geological complications that it is extremely difficult by results of the qualitative analysis of electrical profiling data only.

Key words: natural electric field, apparent resistivity, statistical characteristics, classes, engineering-geological complications.

Для оценки влияния выработанного пространства недр Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей на участках Свердловской железной дороги проведены профильные исследования основания железнодорожной насыпи методами естественного электрического поля (ЕП) и симметричного электропрофилирования (СЭП) (рис. 1). Изменения значений электрического сопротивления и естественной поляризации связаны с составом грунтов и их фильтрационными свойствами, что позволяет проводить картирование пространственных границ участков инженерно-геологических осложнений по данным электроразведки.

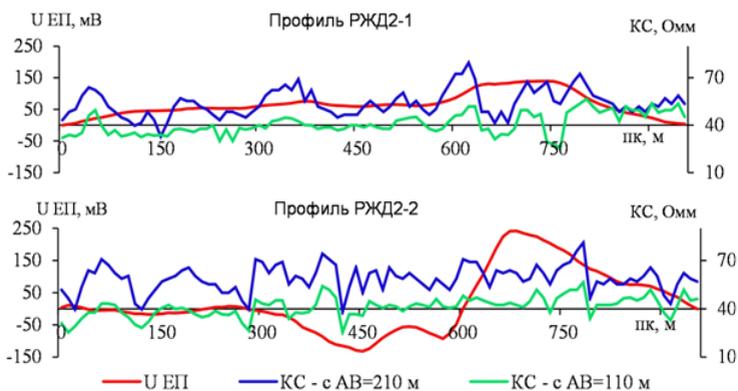


Рис. 1. Графики значений потенциала естественного поля и кажущегося сопротивления

Участок исследования относится к району шахтного поля со сложным структурно-тектоническим строением, характеризуется наличием локальных зон замещения и серий высокоамплитудных складок, которые вызывают осложнения сейсмического волнового поля. К востоку от профильных линий по сейсмическим наблюдениям протрассирована локальная дизъюнктивная дислокация субмеридионального простирания.

В качестве вспомогательных признаков для интерпретации наблюдаемых электрических полей были использованы оценки стати-

стических характеристик потенциалов U ЕП и кажущихся сопротивлений (КС). Статистические характеристики позволяют описать (в формализованном виде), сравнить, разделить на классы геологические объекты и осуществить прогнозирование их свойств.

Расчитанные в скользящем окне значения первых четырех статистических моментов содержат информацию об особенностях наблюдаемого поля, которые не всегда можно увидеть непосредственно в исходных данных. Часто взаимная независимость и объективность количественных оценок приводит к качественно иным результатам интерпретации наблюдаемых процессов. Основным интерес при интерпретации статистических параметров представляют области их экстремальных значений, выделение которых позволяет эффективно решать задачу районирования исследуемых территорий на стационарные области по геофизическим данным.

С помощью программного комплекса «КОСКАД-ПРОФИЛЬ» (Петров А.В. и др., РГГРУ) рассчитывались оценки статистических характеристик (среднего, дисперсии, асимметрии, эксцесса, коэффициента вариации) в скользящем окне для наблюдаемых геофизических параметров – потенциалов U ЕП и кажущихся сопротивлений (КС), измеренных на двух разносах питающей линии АВ (110 и 210 м).

Вычисленные статистические оценки потенциалов наблюдаемого естественного поля (всего 5 признаков) рассматривались в качестве многопризнаковых данных и разбивались методом динамических сгущений на классы. Оценки статистических характеристик КС с АВ = 110 м (5 признаков) и КС с АВ = 210 м (5 признаков) по отдельности так же разбивались на классы. На рис. 2 представлены результаты разбиения на классы по профилям РЖД2-1 и 2, полученные по оценкам статистических характеристик: потенциалов ЕП – 5 признаков (а); потенциалов ЕП и КС (АВ = 110 м) – 10 признаков (б); потенциалов ЕП и КС (АВ = 210 м) – 10 признаков (в); потенциалов ЕП и КС (АВ = 110 и 210 м) – 15 признаков (г). Количество классов определялось автоматически. При классификации по 5 и 10 признакам было выделено 4 класса, по 15 признакам – 3 класса.

На профиле РЖД2-1 области, выделенные по 5 признакам в 3-й класс (между пикетами 570–620; 740–785 м), пространственно совпали с областями, выделенными по 10 признакам в 4-й класс. Результаты классификации по 15 признакам позволили локализовать участки нарушений стационарности наблюдаемых геоэлектрических полей между пикетами 600–630; 650–670 м, вероятно вызванных фильтрационными процессами, протекающими в зонах повышенной трещиновато-

сти. Породы терригенно-карбонатной толщи участка исследований представлены неравномерным переслаиванием алевролитов, аргиллитов, трещиноватых песчаников и карбонатных пород. Отмечаются интервалы повышенной трещиноватости в карбонатных породах мощностью до 2 м. По результатам сейсмических наблюдений в пределах выделенного интервала были выявлены осложнения волнового поля.

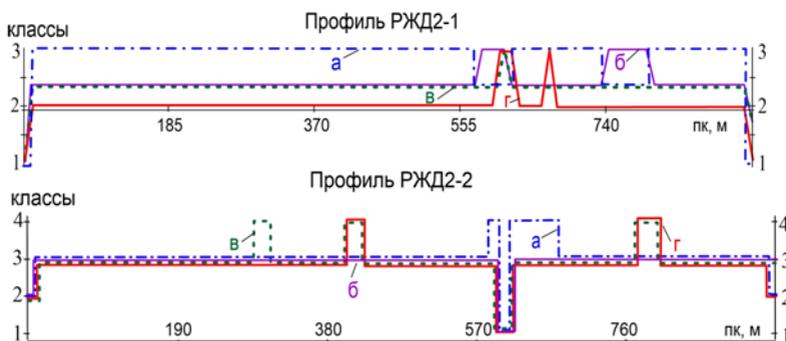


Рис. 2. Результаты классификации по оценкам статистических характеристик: а – потенциалов ЕП – 5 признаков; б – потенциалов ЕП и КС (АВ = 110 м) – 10 признаков; в – потенциалов ЕП и КС (АВ = 210 м) – 10 признаков; г – потенциалов ЕП и КС (АВ = 110 и 210 м) – 15 признаков

На профиле РЖД2-2 результаты классификации по 15 признакам позволили локализовать участок нарушения стационарности электрических полей между пикетами 590–610 м, который может являться, как продолжением зоны фильтрации профиля РЖД2-1, так и обособленной зоной с аномальными физическими характеристиками горных пород.

Разбиение на классы в ПК «КОСКАД» носит объективный характер, обусловленный количественными расчетами формальных признаков. При визуальном качественном анализе наблюдений СЭП и ЕП трудно избежать субъективности в интерпретации. Использование результатов автоматизированных классификаций помогает более обоснованно локализовать участки инженерно-геологических осложнений и сузить неоднозначность выводов о природе возникновения тех или иных изменений наблюдаемых параметров [1–4].

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 16-45-590046.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Паршаков Е. И., Ширяев К. Н.* Использование классификаций электрометрических параметров при решении инженерно-геологических задач // Теория и практика разведочной и промышленной геофизики. Пермь, ПГНИУ, 2017. С. 146–151.

2. *Христенко Л. А., Степанов Ю. И.* Интерпретация геоэлектрических данных с использованием вероятностно-статистических характеристик при решении инженерно-геологических задач // Л. А. Христенко, Ю. И. Степанов // GEOINFORMATIKA, 2015. № 4 (56). С. 29–34.

3. *Христенко Л. А., Степанов Ю. И.* Электрометрические наблюдения при оценке влияния выработанного пространства недр на основе железно-дорожной насыпи // Естественные и технические науки, 2014. № 7. С. 58–62.

4. *Христенко Л. А., Степанов Ю. И., Кичигин А. В., Паршаков Е. И., Тайницкий А. А., Ширяев К. Н.* Совершенствование интерпретации данных мониторинговых электроразведочных наблюдений с помощью аппарата теории оценок // Инженерная геофизика 2017: Материалы 13-й науч.-практ. конф. и выставки. Кисловодск, 2017. – DOI 10.3997/2214–4609.201700419. Электрон. изд. режим доступа: <http://www.earthdoc.org/publication/publicationdetails/?publication=88140>. Code 129037. DOI: 10.3997/2214-4609.201700419.

REFERENCES

1. *Parshakov E. I., Shiryayev K. N.* Ispol'zovanie klassifikatsiy elektrometricheskikh parametrov pri reshenii inzhenerno-geologicheskikh zadach [Use of classifications of electrometric parameters for the solution of engineering-geological problems]. In: *Teoriya i praktika razvedochnoy i promyslovoy geofiziki*. Perm, PGNIU, 2017. Pp. 146–151. (In Russian).

2. *Khristenko L. A., Stepanov Yu. I.* Interpretatsiya geoelektricheskikh dannykh s ispol'zovaniem veroyatnostno-statisticheskikh kharakteristik pri reshenii inzhenerno-geologicheskikh zadach [Interpretation of geoelectric data with use of probability and statistical characteristics for solution of engineering-geological problems]. *GEOINFORMATIKA*, 2015. № 4. Pp. 29–34. (In Russian).

3. *Khristenko L. A., Stepanov Yu. I.* Elektrometricheskie nablyudeniya pri otsenke vliyaniya vyrabotannogo prostranstva neдр na osnovanie zheleznodorozhnoy nasypi [Electrometric study for evaluation of the influence of the developed space of subsoil on the railway embankment]. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki*. 2014. № 7. Pp. 58–62. (In Russian).

4. *Khristenko L. A., Stepanov Yu. I., Kichigin A. V., Parshakov E. I., Taynitskiy A. A., Shiryayev K. N.* Sovershenstvovanie interpretatsii dannykh monitoringovykh elektrorazvedochnykh nablyudeniy s pomoshch'yu apparata teorii otsenok [Improvement of interpretation of the electrical monitoring data by means of the theory of estimates]. In: *Inzhenernaya geofizika 2017*. 13th Mezhd. konf. Kislovodsk, DOI: 10.3997/2214-4609.201700419. URL: <http://www.earthdoc.org/publication/publicationdetails/?publication=88140> (Accessed 05.09 2018). (In Russian).

УДК 551.24+550.931+553.98

Е. М. Шеремет¹, Т. К. Бурахович², И. Ю. Николаев¹, Л. Д. Сетая¹

¹Институт геохимии, минералогии и рудообразования
им. Н. П. Семеновко НАН Украины (ИГМР НАНУ). 03680, Украина,
г. Киев, пр. Палладина, 34; e-mail: evgsherem53@gmail.com

²Институт геофизики им. С. И. Субботина НАН Украины (ИГ НАНУ).
03680, Украина, г. Киев, пр. Палладина, 32.

ПОИСКИ ЭНДОГЕННЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ НА УКРАИНСКОМ ЩИТЕ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Аннотация. Для поисков эндогенных полезных ископаемых (прогнозирования структур, благоприятных для скопления рудопоявлений в пределах Украинского щита) впервые было применено 3D-моделирование геоэлектрических параметров.

Ключевые слова: 3D-моделирование, эндогенное оруденение, геоэлектрические исследования, АМТЗ, МТЗ, Украинский щит.

Е. М. Sheremet¹, Т. К. Burakhovych², I. Yu. Nikolaev¹, L. D. Setaya¹

¹IGMR NAS, 34 Akademika Palladina Ave., Kiev 03680, Ukraine
E-mail: evgsherem53@gmail.com

²The Institute of Geophysics n. a. S. I. Subbotin NAS of Ukraine (IG NAS).
32 Akademika Palladina Ave., Kiev 03680, Ukraine
E-mail: burahovich@ukr.net

ENDOGENOUS MINERAL RESOURCES PROSPECTING AT THE UKRAINIAN SHIELD BY GEOELECTRIC METHODS

Abstract. 3D-modeling of geoelectrical parameters was first used for endogenous minerals exploration (for predicting the mineralization potential structures within the Ukrainian Shield).

Key words: 3D-modeling, endogenous ore mineralization, geoelectrical study, AMTS, MTS, Ukrainian Shield.

В основу сообщения положены материалы исследований, направленных на поиски эндогенных полезных ископаемых в различных регионах Украины с 2002 по 2017 гг. [1–6].

Для поисков эндогенных полезных ископаемых, наряду с полевыми геоэлектрическими исследованиями методами магнитотеллурического зондирования (МТЗ) и аудимагнито-теллурического зондирования (АМТЗ), впервые было применено объемное (3D) моделирова-

© Шеремет Е. М., Бурахович Т. К., Николаев И. Ю., Сетая Л. Д., 2018

ние геоэлектрических параметров с целью прогнозирования генеральных структур, благоприятных для скопления рудопроявлений и месторождений. Объемные модели привязаны к геодинамическим обстановкам формирования мегаблоков Украинского щита (УЩ).

Предложен новый подход к прогнозированию оруденения. Главными рудоносными структурами в Украине являются шовные зоны и мегазоны активизации, имеющие разное генетическое значение.

Реконструированы геодинамические обстановки и установлено распределение рудоносных метасоматитов и дифференцированных интрузий, с которыми пространственно и генетически связаны месторождения и проявления редких, благородных, радиоактивных металлов, фосфора, титана и других полезных ископаемых, что позволило выявить металлогеническую зональность восточной, центральной и западной частей УЩ [1, 2, 3, 4, 5].

Прогнозирование основано на результатах полевых геоэлектрических исследований УЩ и анализе геоэлектрических 3D-моделей, в которые в качестве исходных данных использованы распределение индукционных векторов («типперов») и кривые МТЗ [2].

Восточная часть УЩ

Объемная модель. Наиболее наглядна трехмерная визуализация распределения электросопротивления, построенная с помощью программы 3Dsmax и реализованная с помощью сценария Maxskript. В модели сознательно проигнорированы высокие значения сопротивления (свыше 1 000 Ом·м), на фоне которых детально проанализированы низкие значения (30–300 Ом·м). В итоге получены объемные фигуры сложных очертаний, отображающие изменения электросопротивления как на глубину, так и по латерали: I – ОПШЗ – западная часть Восточного Приазовья, II – Центральное Приазовье, III – восточная оконечность Восточного Приазовья.

Металлогеническая зональность восточной части УЩ.

К первой металлогенической зоне (I) относится ареал локализации железорудных месторождений и рудопроявлений с разбивкой на подзоны – I А – западная часть ОПШЗ; I Б – юго-восточная часть ОПШЗ (западный фланг Западного Приазовья).

Зона II – область развития карбонатитовых апатит-редкоземельных месторождений и рудопроявлений – находится на переходе континентального склона в литосферу, иными словами, на границе ОПШЗ и Западного Приазовья.

Зона III – зона распыленных Мо-рудопроявлений кварц-сульфидного типа и точек минерализации REE – охватывает основную

часть Западного Приазовья с ареалом гранит-гранодиоритовых интрузий (известково-щелочной магматизм) и субщелочными ортитовыми гранитами. Ее отличие от металлогенической зоны I фанерозойского магматизма андийского типа заключается в отсутствии Au-Mo-, иногда медно-порфировых месторождений. Отсутствует также и поле развития мелких тел пород диорит-монцититового типа с полиметаллическими рудопроявлениями. Но в ней распространена REE-минерализация, связанная с ортитовыми гранитами и редкометалльными пегматитами.

Четвертая зона металлогенической зональности (IV) – зона проявления редкометалльно-редкоземельной минерализации.

Пятая зона металлогенической зональности (V) – зона REE-месторождений и рудопоявлений, связанных с сиенитами субщелочных интрузий, охватывающая все Восточное Приазовье.

Прогнозирование рудопоявлений. По результатам регионального прогнозирования Приазовский мегаблок разделен на несколько металлогенических зон, в которых возможен поиск рудопоявлений, присущих только им. В Приазовском мегаблоке выделены перспективные площади на поиски рудопоявлений первой и второй очереди поисков посредством проецирования контуров низкоомных аномалий (50 Ом·м) на глубине 500 м и контуров низкоомных аномалий 300 Ом·м на глубине 50 км [5] на поверхность (0,2–0,5 км). Этот метод основан на той гипотезе, что геоэлектрические низкоомные аномалии отражают след колонны мантийных флюидов.

Глубинные разломы являются подводящими каналами мантийных флюидов. В них часто обнаруживают эндогенные рудопоявления.

Центральная часть УЩ

Объемная модель. Глубинное геоэлектрическое моделирование показало наличие вблизи Кировоградской аномалии на глубине 10-31 км объемной аномалии электропроводности сложной конфигурации [2]. Предполагаемый состав ее проводящих пород – железистые кварциты и, возможно, графитовые гнейсы, исходные осадки которых были субдуцированы под Ингулецкий блок и локализованы в области выполаживания зоны поглощения листрического типа. Наблюдается территориальное совпадение железорудного бассейна и Кировоградской глубинной аномалии. Реконструкция континентальной зоны субдукции, обосновывающая погружение железисто-кремнистых осадков на глубину не менее 30 км, данные сверхглубокого бурения, подтверждающие выполаживание поддвиго-надвиговой зоны с глубиной и низкоомность железистых кварцитов до 8 Ом·м вдоль слоистости [2]

вполне согласуются с характеристиками Кировоградской аномалии в ее Криворожско-Кременчугской части.

Металлогеническая зональность. В центральной части УЩ выделены следующие металлогенические зоны.

I зона – область развития месторождений преимущественно железисто-кремнистой формации, реже – карбонатно-железисто-кремнистой – метабазитовой. Зона содержит месторождения графита, ураноносных конгломератов, рудопроявления W, колчеданные проявления полиметаллов и перспективные концентрации Ge.

Зона I A – зона железорудных месторождений преимущественно карбонатно-железисто-кремнистой – метабазитовой формации, реже – железисто-кремнистой. Содержит месторождения графита, Cr и Ni, месторождения и рудопроявления U и Au в щелочных метасоматитах, Co, платиноидов.

Зона II находится между глубинным Кировоградским разломом и линией, проходящей по восточным частям Новоукраинского и Корсунь-Новомиргородского массивов. Это зона ураноносных альбититов и золоторудных рудопроявлений, связанных с региональным глубинным щелочным метасоматозом. К ней приурочены дайки кимберлитов и неалмазоносных проявлений щелочно-ультраосновного магматизма.

Зона II A расположена между Первомайским глубинным разломом на западе и западным ограничением зоны II. Содержит месторождения урана K-U-формации в окварцованных пегматитовых жилах и проявления литиевых пегматитов.

Прогнозирование рудопроявлений. Геоэлектрические аномалии приурочены к известным проявлениям полезных ископаемых. Низкоомные аномалии интенсивностью 100-200 Ом·м охватывают металлогенические пояса и рудные узлы.

Западная часть УЩ (Немировско-Кочеровская шовная зона – НКШЗ)

Объемная модель. Наблюденные значения МВ-параметров и МТЗ в условиях резко неоднородной в геоэлектрическом отношении земной коры описываются известными Коростенской и Черновицко-Коростенской аномалиями электропроводности. НКШЗ расположена в пределах Черновицко-Коростенской аномалии электропроводности, на контакте участков с высоким и низким сопротивлением. Вдоль глубинных разломов проявлен приразломный метасоматоз, они сопровождаются низкоомными аномалиями на всю глубину разреза.

Металлогеническая зональность. Главную роль играют разломы, достигающие мантии и сопровождающиеся приразломным метасоматозом с редкометальным и урановым оруденением. Орогенный

магматизм завершающего этапа активизации привел к образованию редкометалльных пегматитов, месторождений Ti и P, рудопроявлений Zr, Y и REE.

Прогноз эндогенных рудопроявлений и месторождений должен быть основан, в первую очередь, на опоисковании площадей вдоль глубинных разломов: Вильшанского, Великоерчикского, Брусиловского, Погребищенского, Виленского и Кочеровского как наиболее перспективных на выявление рудопроявлений в НКШЗ.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Азаров Н. Я., Анциферов А. В., Шеремет Е. М. и др.* Геолого-геоэлектрическая модель Орехово-Павлоградской шовной зоны Украинского щита. Киев: Наук. думка, 2005. 190 с.

2. *Азаров Н. Я., Анциферов А. В., Шеремет Е. М. и др.* Геолого-геоэлектрическая модель Криворожско-Кремнчугской шовной зоны Украинского щита. Киев: Наук. думка, 2006. 196 с.

3. *Анциферов А. В., Шеремет Е. М., Глевасский Е. Б. и др.* Геолого-геофизическая модель Голованевской шовной зоны Украинского щита. Донецк: Издательство «Вебер», 2008. 308 с.

4. *Анциферов А. В., Шеремет Е. М., Есипчук К. Е. и др.* Геолого-геофизическая модель Немировско-Кочеровской шовной зоны Украинского щита. Донецк: Вебер (Донецкое отделение), 2009. 253 с.

5. *Шеремет Е. М., Кулик С. Н., Кривдик С. Г. и др.* Геолого-геофизические критерии рудоносности и металлогения областей субдукции Украинского щита. Донецк: «Ноулидж» (Донецкое отд.), 2011. 285 с.

6. *Николаев И. Ю., Шеремет Е. М., Бурахович Т. К.* Ингульский мегаблок Украинского щита (глубинная геоэлектрическая модель и полезные ископаемые). Донецк: «Ноулидж» (Донецкое отделение), 2014. 179 с.

REFERENCES

1. *Azarov N. Ya., Antsiferov A. V., Sheremet E. M. et al.* Geologogeoelektricheskaya model Orekhovo-Pavlogradskoy shovnoy zony Ukrainского shchita [Geological model of the Orekhovo-Pavlodarskaya suture zone of the Ukrainian Shield]. Kiev, Nauk. dumka, 2005. 190 p. (In Russian).

2. *Azarov N. Ya., Antsiferov A. V., Sheremet E. M. et al.* Geologogeoelektricheskaya model Krivorozhsko-Kremnchugskoy shovnoy zony Ukrainского schita [Geoelectrical model of the Krivorozhsko-Kremnchugskaya suture zone of the Ukrainian Shield]. Kiev. Nauk. dumka, 2006. 196 p. (In Russian).

3. *Antsiferov A. V., Sheremet E. M., Glevasskiy E. B. et al.* Geologogeoфизическая model Golovanevskoy shovnoy zonyi Ukrainского schita [Geological-geophysical model of the Golovanevskaya suture zone of the Ukrainian Shield]. Donetsk. Veber, 2008. 308 p. (In Russian).

4. *Antsiferov A. V., Sheremet E. M., Esipchuk K. E. et al.* Geologogeoфизическая model Nemirovsko-Kocherovskoy shovnoy zonyi Ukrainского

schita [Geological-geophysical model of the Nemirovsko-Kocherovskaya suture zone of the Ukrainian Shield]. Donetsk. Veber, 2009. 253 p. (In Russian).

5. *Sheremet E. M., Kulik S. N., Krivdik S. G. et al.* Geologo-geofizicheskie kriterii rudonosnosti i metallogeniya oblastey subdukcii Ukrainского schita [Geological-geophysical criteria of mineralization and metallogeny of subduction areas of the Ukrainian Shield]. Donetsk. Noulidzh, 2011. 285 p. (In Russian).

6. *Nikolaev I. Yu., Sheremet E. M., Burahovich T. K.* Ingul'skiy megablok Ukrainского schita (glubinnaya geoelektricheskaya model i poleznye iskopaemye) [Ingul'skiy megablock of the Ukrainian Shield (deep geoelectrical model and mineralization)]. Donetsk. Noulidzh, 2014. 179 p. (In Russian).

УДК 519.632.4, 550.371.4

М. Н. Юдин, Д. С. Даев, А. Д. Каринский, Н. А. Севостьянов
Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе. 117997, Россия, г. Москва ул. Миклухо-Маклая д. 23; e-mail: yudinmn@gmail.com

**АЛГОРИТМ ШВАРЦА. РАСЧЕТ ФУРЬЕ-СПЕКТРА
АНОМАЛЬНОГО ПОТЕНЦИАЛА В СЛОИСТОЙ СРЕДЕ,
СОДЕРЖАЩЕЙ ЛОКАЛЬНЫЕ ТЕЛА**

Аннотация. На простой модели рассмотрен алгоритм решения трехмерной задачи ВЭЗ по методу Шварца. Основное внимание уделено деталям расчета спектральной плотности источников аномального поля, локализованных в теле с кусочно-постоянной проводимостью.

Ключевые слова: Метод Шварца, математическое моделирование; метод ВЭЗ; влияние локальных проводящих объектов.

M. N. Yudin, D. S. Daev, A. D. Karinskiy, N. A. Sevostyanov
Russian State Geological Prospecting University n. a. Sergo Ordzhonikidze.
23 Miklukho-Maclay Str., Moscow 117997, Russia;
e-mail: yudinmn@gmail.com

**THE SCHWARTZ ALGORITHM. CALCULATION
THE ANOMALOUS POTENTIAL FOURIER-SPECTR
IN A LAYERED MEDIUM CONTAINING LOCAL BODIES**

Abstract. On a simple model, an algorithm for solving the three-dimensional VES problem using the Schwarz method is considered. The main attention is

paid to the details of calculating the spectral density of sources of anomalous field localized in a body with piecewise constant conductivity.

Key words: Schwarz's method; mathematical modeling; resistivity method; influence of local conductive objects.

Типичной моделью среды в геоэлектрике является локальная неоднородность, содержащаяся в относительно простой по структуре неограниченной *фоновой* среде с регулярным распределением проводимости σ_n . Будем полагать, что решение U^n для фоновой модели известно. Прямая задача относительно потенциала U сводится к вычислению аномального потенциала $U^a = U - U^n$, описывающего присутствие в фоновой модели локального включения. Постановка дифференциальной задачи, а также алгоритм ее декомпозиционного решения в горизонтально-слоистой среде на основе алгоритма Шварца [1, 2, 3] и двумерного преобразования Фурье, приведен в работе [2]. Решение общей задачи конструируется из последовательного решения двух взаимосвязанных подзадач.

1. Решения задачи в горизонтально-слоистой среде, содержащей вставку, в которой известна текущая величина полного потенциала.

2. Решения задачи Дирихле для уравнения Лапласа во вставке, предполагая известными значения потенциала на ее границе.

Подзадача 1. Рассмотрим основные элементы алгоритма на примере простой модели (рис. 1).

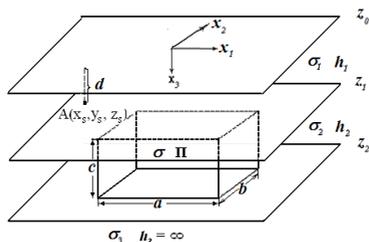


Рис. 1. Модель среды и источника

Локальное включение Π – прямоугольный параллелепипед с постоянной проводимостью σ_{Π} погружен во 2-й слой слоистой среды. Его размеры: $a \times b \times c$. $M = M(x, y, z)$. $\sigma(M) = \sigma_{\Pi}$, $M \in \bar{\Pi} \subset \mathbb{R}^3 \setminus \{z < 0\}$; $\sigma(M) = \sigma_n$, $M \notin \Pi$. $A(x_s, y_s, d)$, $d \geq 0$ – координаты точечного источника. Согласно [3], потенциал U^a удовлетворяет дифференциальному уравнению

$$\Delta U^a(M) = -f(M), \quad (1)$$

условиям сопряжения на границах разрыва проводимости и равномерно стремится к нулю на бесконечности. Функция $f(M)$ задает плотность источников аномального поля. Как известно,

$$f(M) = (\sigma_{\Pi} / \sigma_n - 1) \nabla [\chi(\Pi) \nabla U], \quad M \in \bar{\Pi} \subset \mathbb{R}^3 \setminus \{z < 0\}.$$

Здесь $\chi(\bar{\Pi})$ – характеристическая функция множества $\bar{\Pi}$, ∇ и Δ – операторы Гамильтона и Лапласа. Так как в первом и в третьем слое $\sigma = \sigma_n$ то компоненты f_1 , и f_3 вектора $f^T = (f_1, f_2, f_3)$ равны нулю, а во втором слое, содержащем вставку, величина f_2 отлична от нуля.

А. Расчет правой части уравнения (1) во втором слое. Одномерную характеристическую функцию $\chi_\tau(t)$ можно определить посредством функции Хэвисайда $\theta(t)$

$$\chi_\tau(t) := \theta(t + \tau / 2) - \theta(t - \tau / 2),$$

а ее обобщенную производную – с помощью дельта-функции

$$\chi'_\tau(t) := \theta'(t + \tau / 2) - \theta'(t - \tau / 2) = \delta(t + \tau / 2) - \delta(t - \tau / 2).$$

Очевидно $\chi(\Pi) = \chi_a(x) \chi_b(y) \chi_c(z)$, если x, y, z – координаты центра вставки, изображенной на рис. 1. Таким образом, правая часть уравнения (1) имеет три близких по структуре слагаемых

$$\operatorname{div}[\chi(\Pi) \nabla U] = (\chi_a \chi_b \chi_c U_x)_x + (\chi_a \chi_b \chi_c U_y)_y + (\chi_a \chi_b \chi_c U_z)_z. \quad (2)$$

Рассмотрим более подробно первое слагаемое

$$(\chi_a \chi_b \chi_c U_x)_x = \chi_b \chi_c (\chi'_a U_x) + (\chi_a U_{xx}) = \chi_b \chi_c \{[\delta(x+a/2) - \delta(x-a/2)] U_x + \chi_a U_{xx}\}. \quad (2_1)$$

Рис. 2 иллюстрирует содержание формулы (2₁). Цветом отмечены грани тела Π , являющиеся носителями дельта-функции $\delta(x \pm a/2)$. Соотношения, аналогичные (2₁), имеют место для всех слагаемых формулы (2) с очевидными заменами x на y или z и a на b или c .

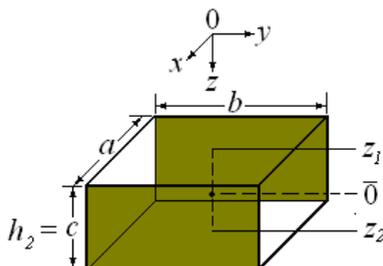


Рис. 2. Боковые грани $x = \pm a/2$ – носители дельта-функции

Б. Решение в спектральной области. Применим двумерное преобразование Фурье¹ F_2 по переменным x и y к дифференциальному уравнению (1) и дополнительным условиям [3]. На основе свойств Фурье-преобразования, получим

$$d^2 \hat{U}^a / dz^2 - \eta^2 \hat{U}^a = \psi(\alpha, \beta, z), \quad \eta^2 = (\alpha^2 + \beta^2), \quad (3)$$

где α и β – пространственные частоты,

$$\psi_2(\alpha, \beta, z) := -(\sigma/\sigma_n - 1) F_2 [\text{div}(\chi(\Pi)U_x)], \quad \eta := \sqrt{\alpha^2 + \beta^2}.$$

Используя теоремы о свойствах Фурье-спектров и формальный способ вычисления интегралов, содержащих дельта-функции², для первого слагаемого найдем

$$F_2 \{(\chi(\Pi)U_x)_x\} = \chi_c(z) \left\{ i\alpha \left[e^{-i\alpha a/2} \hat{U}(a/2, \beta, z) - e^{i\alpha a/2} \hat{U}(-a/2, \beta, z) \right] - \alpha^2 \tilde{U}(\alpha, \beta, z) \right\},$$

где $\hat{U}(a/2, \beta, z) := \int_{-b/2}^{b/2} U(a/2, y, z) e^{-i\beta y} dy$,

$$\tilde{U}(\alpha, \beta, z) := \int_{-a/2}^{a/2} \int_{-b/2}^{b/2} U(x, y, z) e^{-i\alpha x} e^{-i\beta y} dx dy.$$

По аналогии получается формула для вычисления $F_2 \{[\chi(\Pi)U_y]_y\}$. Пусть $\tilde{U}_z(\alpha, \beta, z) = F_2(U_z)$, тогда спектр третьего слагаемого равен

$$F_2 \{[\chi(\Pi)U_z]_z\} = [(\delta(z+c/2) - \delta(z-c/2))\tilde{U}_z] + \chi_c(z)\tilde{U}_{zz}. \quad (4)$$

Так как в первом и третьем слое уравнение (3) однородное, то найти в них решения не составляет труда. Во втором слое, содержащем вставку, правая часть (ψ_2) отлична от нуля, поэтому общее решение уравнения (3) является суммой решений однородного уравнения и частного решения $\varphi_2(\eta, z)$ неоднородного уравнения. Вычисление φ_2 обычно строится методом вариации произвольных постоянных или посредством функции Грина. Для уравнения (3) функция Грина $G(\bar{z}, \zeta; \eta, h_2)$ известна [1], поэтому

$$\varphi_2(\eta, \bar{z}) := -\int_0^{h_2} G(\bar{z}, \zeta; \eta, h_2) \psi_2(\zeta) d\zeta, \quad \bar{z} = z - z_1. \quad (5)$$

Согласно (4), третье слагаемое функции ψ_2 содержит дельта-функции $\delta(z \pm c/2)$, которые упрощают вычисление интеграла в формуле (5) (см. сноску 2). Опуская детали, запишем систему линейных

¹ $\hat{u}(\alpha, \beta, z) := F_2(u) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} u(x, y, z) e^{-i\alpha x} e^{-i\beta y} dx dy$

² Для любой непрерывной функции $f(x)$ имеем: $\int_{-\infty}^{\infty} \delta(x-\xi) f(x) dx = f(\xi)$

уравнений относительно величин $\tilde{U}_m = \tilde{U}_m^a(\eta, z_m)$, $m = 0, 1, 2$ аномального потенциала на границах пластов (табл., слева).

Таблица

<p>Система уравнений:</p> $\begin{cases} \tilde{U}_0 c_1 + \tilde{U}_1 b_1 = g_0, \\ \tilde{U}_0 b_1 + \tilde{U}_1 (c_1 + c_2) + \tilde{U}_2 b_2 = g_1, \\ \tilde{U}_1 b_2 + \tilde{U}_2 (c_2 + c_3) = g_2. \end{cases}$	<p>Коэффициенты системы:</p> $c_k = \eta \operatorname{cth}(\eta h_k), b_k = -\sigma_k \eta / \operatorname{sh}(\eta h_k), c_3 = \sigma_3 \eta,$ $q_{2,k}(\bar{z}) := \begin{cases} \operatorname{sh}(\eta \bar{z}) / \operatorname{sh}(\eta h_k), \eta > 0, \\ \bar{z} / h_k, \eta = 0, \end{cases}$ $q_{1,k}(\bar{z}) := q_{2,k}(h_k - \bar{z});$ <p>Правая часть системы:</p> $g_0 = 0, g_k = -\sigma_2 \int_0^{h_2} \psi_2(\eta, \zeta) q_{k,2}(\zeta) d\zeta, k = 1, 2;$
<p>Решения в слоях: $\tilde{U}_1^a(\eta, \bar{z}) = \tilde{U}_0 q_{1,1}(\bar{z}) + \tilde{U}_1 q_{2,1}(\bar{z}), 0 \leq \bar{z} \leq h_1;$</p> <p>$\tilde{U}_2^a(\eta, \bar{z}) = \tilde{U}_1 q_{1,2}(\bar{z}) + \tilde{U}_2 q_{2,2}(\bar{z}) + \varphi_2(\eta, \bar{z}); 0 \leq \bar{z} \leq h_2; \bar{z} = z - h_1;$</p> <p>$\tilde{U}_3^a(\eta, \bar{z}) = \tilde{U}_2 e^{-\eta \bar{z}}, \bar{z} > 0; \bar{z} = z - (h_1 + h_2).$</p>	

Величины g_m (см. правый столбец табл.) описывают влияние аномалиеобразующих включений в соседних слоях, примыкающих к границе $z = z_m$:

$$g_m = -\sigma_m \int_0^{h_m} \psi_m(\zeta) q_{2,m}(\zeta) d\zeta - \sigma_{m+1} \int_0^{h_{m+1}} \psi_{m+1}(\zeta) q_{2,m+1}(\zeta) d\zeta.$$

В нашей модели

$$g_1 = -\sigma_2 \int_0^{h_2} \psi_2(\zeta) q_{1,2}(\zeta) d\zeta, g_2 = -\sigma_2 \int_0^{h_2} \psi_2(\zeta) q_{2,2}(\zeta) d\zeta.$$

Прежде чем переходить к решению подзадачи 2 алгоритма Шварца необходимо обновить краевые условия на границе вставки. Для этого следует рассчитать Фурье-спектр \tilde{U} для набора частот, необходимого для реализации обратного преобразования Фурье, выполнить обратное преобразование и найти текущие величины полного потенциала U на границе локального тела.

Подзадача 2. В случае однородных по проводимости включений простой формы (типа «кирпич» или «конечный цилиндр») решения задач Дирихле для уравнения Лапласа внутри локального тела находят методом разделения переменных. В общем случае, когда проводимость тела является произвольной функцией пространственных координат, метод Шварца потребует численного решения трехмерной задачи, но только в области, занятой локальной вставкой.

Приведенная здесь иллюстрация на частном примере алгоритма вычислений по методу Шварца останется без существенного изменения для более сложных моделей фоновой среды и погруженных в нее локальных объектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Диткин В. А., Прудников А. П. Интегральные преобразования и операционное исчисление. М.: Наука, 1974. 542 с.
2. Юдин М. Н., Даев Д. С., Каринский А. Д. О декомпозиционном подходе к математическому моделированию ЭМ полей в геоэлектрике // Теория и практика разведочной и промысловой геофизики. Пермь, ПГНИУ, 2016. С. 235–238.
3. Юдин М. Н., Спасский Б. А. Об оценке сходимости модифицированного алгоритма Шварца в прямой задаче ВЭЗ // Геофизика, 2016. № 5. С. 23–31.

REFERENCES

1. Ditkin V. A., Prudnikov A. P. Integralnye preobrazovaniya i operatsionnoe ischislenie [Integral transforms and operational calculus]. M. Nauka, 1974. 542 p. (In Russian).
2. Yudin M. N., Daev D. S., Karinskiy A. D. O dekompozitsionnom podkhode k matematicheskomu modelirovaniyu EM poley v geoelektrike. [On the method of decomposition in mathematical modeling of electromagnetic fields in geoelectrics]. Teoriya i praktika razvedochnoy i promyslovoy geofiziki. Perm, PSU, 2016. Pp. 235–238 (In Russian).
3. Yudin M. N., Spassky B. A. Ob otsenke skhodimosti modifitsirovannogo algoritma Shvartsa v pryamoy zadache VEZ. [On the assessment of the modified Schwarz's algorithm convergence in VEZ forward problem]. Geofizika. 2016. № 5. Pp. 23–31. (In Russian).

УДК 550.347.29

Е. А. Овчинникова¹, И. А. Черных², Д. Ю. Шулаков³,
А. В. Шумилов¹

¹ Пермский государственный национальный исследовательский университет. 614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15; e-mail: lizagfzpsu@gmail.com, shum5011@gmail.com

² ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ». 614990, Россия, г. Пермь, ул. Ленина, д. 62, e-mail: irina.chernykh@lp.lukoil.com

³ Горный институт УрО РАН. 614007, Россия, г. Пермь, ул. Сибирская, д. 78а; e-mail: shulakov@mi-perm.ru

ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОСЕЙСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ГИДРОРАЗРЫВА ПЛАСТА НА БЫРКИНСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

Аннотация. Рассмотрены возможности использования системы микросейсмического мониторинга при проведении гидроразрыва пласта. Показано, что в результате микросейсмического мониторинга на одной из скважин Быркинского нефтяного месторождения установлено пространственное положение зон, которые по результатам интерпретации имеют отношение к системе сформировавшихся при гидроразрыве трещин.

Ключевые слова: гидроразрыв пласта, микросейсмический мониторинг, микросейсмы.

Е. А. Ovchinnikova¹, I. A. Chernykh², D. Yu. Shulakov³,
A. V. Shumilov¹

¹ Perm State University. 15 Bukireva Str., Perm 614990, Russia; e-mail: lizagfzpsu@gmail.com, shum5011@gmail.com

² LLC «LUKOIL-PERM». 82 Lenina Str., Perm 614990, Russia; e-mail: irina.chernykh@lp.lukoil.com

³ Mining Institute UB RAS. 78a Sibirskaya Str., Perm 614007, Russia; e-mail: shulakov@mi-perm.ru

THE USE OF MICROSEISMIC MONITORING FOR HYDRAULIC FRACTURING CONTROL AT THE BYRKINSKOE FIELD

Abstract. The possibility of using the microseismic monitoring system during hydraulic fracturing is considered. It is shown that in result of interpretation of microseismic monitoring data obtained at the Byrkinskoe Oil Field well,

the spatial position of zones related to the system of cracks formed during hydraulic fracturing was established.

Key words: *hydraulic fracturing, microseismic monitoring, microseism.*

Гидроразрыв пласта в течение уже многих десятков лет является одним из основных методов интенсификации добычи нефти и газа. Проведение гидроразрыва в коллекторе ставит целью максимальное увеличение его проницаемости и площади дренирования без выхода создаваемой для этого системы трещин за пределы коллектора. Ограничение системы трещин границами продуктивной части коллектора необходимо для предотвращения обводнения продуктивного пласта и обеспечения экологической безопасности. Осуществление указанных целей может быть обеспечено контролем процесса гидроразрыва и управлением его направленностью в реальном времени. Реализация такого контроля возможна лишь на основе использования информации о локализации и размерах трещин, получаемой в момент их образования. Наиболее эффективным методом, решающим эту задачу, является регистрация микросейсмов [1].

Микросейсмсы – волновые пакеты продольных и поперечных волн небольшой магнитуды, лежащие в частотном диапазоне 60–1000 Гц и возникающие при гидроразрыве пласта (ГРП) вследствие нарушений целостности горной породы, происходящих в ограниченном объеме (гипоцентре) [1].

Быркинское нефтяное месторождение расположено на юге Пермского края в 170 км к юго-западу от города Перми. Процесс ГРП на одной из скважин проходил в 2 стадии, каждая из которых включала минифрак и основной фрак. Первая стадия проводилась 15 июня, в ходе нее в пласт было закачено 11,5 т проппанта, включая 1 т на стадии мини ГРП. Процесс ГРП на этой стадии был остановлен досрочно из-за неудовлетворительной сшиваемости. Повторный ГРП проводился 19 июня, в пласт было закачено 19 т проппанта, включая 1 т на стадии мини ГРП. В процессе ГРП был проведен микросейсмический мониторинг с целью выявления направления трещинообразования при гидроразрыве пласта.

При мониторинге ГРП использовались мобильные сейсмические станции, работающие в автономном режиме и обеспечивающие непрерывную запись с частотой оцифровки 500 Гц и хранение данных на внутренних носителях в течение всего периода наблюдений. Регистрация микросейсмических сигналов проводилась непрерывно поверхностной расстановкой из 20 трехкомпонентных станций. Дополнительно на 5 пунктах были пробурены скважины глубиной от 8 до 10 м, в которые

были установлены скважные датчики. Сейсмические станции были распределены в радиусе 2 км от проекции точки пластопересечения на земную поверхность (рис. 1), обеспечивая равномерное покрытие области возможного развития трещин при ГРП. Станции размещались в сравнительно тихих открытых местах на удалении от деревьев, автодорог, населенных пунктов, нефтяных качалок и других источников, создающих значительные шумовые помехи.

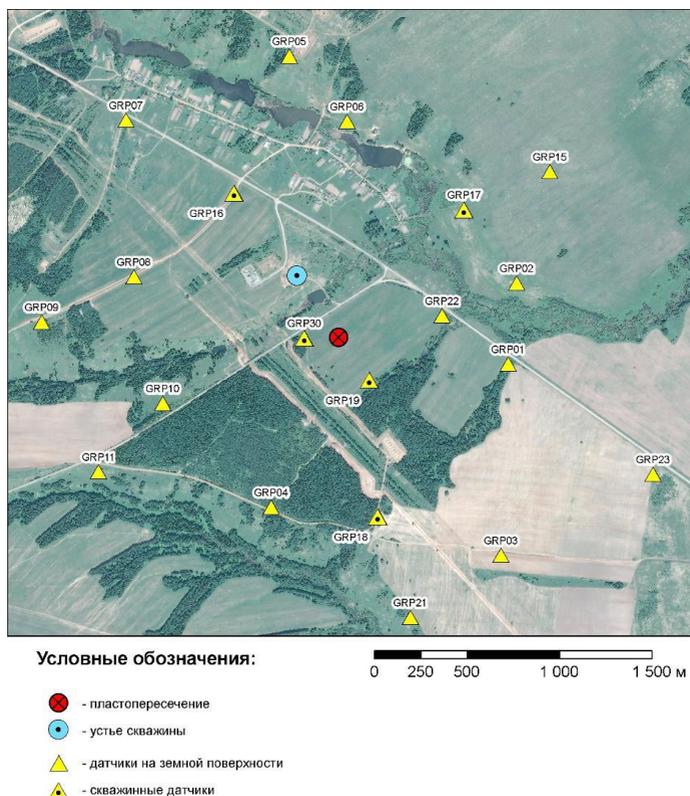


Рис. 1. Схема расположения станций

При анализе данных микросейсмического мониторинга ГРП сейсмические записи разбиваются на кадры, карты яркости рассчитываются для каждого из таких кадров. Строго говоря, рассчитываются не просто карты, а трехмерные массивы яркости, элементы которых соответствуют определенным точкам пространства в окрестности пласто-

ресечения. Длительность временного интервала, соответствующего одному кадру, составляет 1 с. Для исключения пропуска полезных сигналов, массивы яркости строятся для интервалов, перекрывающихся во времени – с шагом 0,5 с. Во время гидроразрыва пласта «пятна» в массивах яркости меняют свою интенсивность, появляются и исчезают, мигрируют в соответствии с интенсивностью и положением текущих зон микросейсмического излучения, которые являются следствием разрушения массива под воздействием высокого давления на пласт в интервале перфорации [2, 3].

Чтобы визуально отобразить данный процесс, в каждом кадре ищется точка с максимальным значением яркости. В пределах данного временного интервала можно считать, что формирование трещин происходит именно в этой точке. В ходе развития процесса трещинообразования во внимание будут приниматься только те кадры, для которых максимальное значение яркости превышает некий заранее заданный порог. Пространственное положение всех выделенных точек будет характеризовать процесс трещинообразования в целом.

Картина пространственного распределения зон микросейсмической активности во время минифрака 1-го этапа ГРП представлена на рис. 2. Рисунок отражает проекцию всех точек максимальной яркости (более 0,17) на горизонтальную плоскость, проходящую через пластопересечение. Для наглядности пластопересечение совмещено с началом координат. Пространственное распределение эпицентров сейсмических событий позволяет довольно уверенно оконтурить зону повышенной сейсмической активности протяженностью около 300 м, расположенную к юго-западу от пластопересечения и ориентированную с северо-запада на юго-восток (азимут 130°). Вторая зона выделяется менее достоверно. Она имеет протяженность около 180 м, находится в 80–120 м на северо-запад от пластопересечения и перпендикулярна первой зоне.

На рис. 3 отражено пространственное распределение зон микросейсмической активности во время основного фрака 1-го этапа ГРП. В данном случае наблюдается довольно равномерное хаотичное распределение эпицентров событий в пределах изучаемого пространства. Группирование их в какие-либо локальные зоны не наблюдается. В то же время прослеживается четкая временная связь микросейсмической активности с временем проведения ГРП. По всей видимости, это говорит о том, что наблюдаемые события действительно связаны с процессом гидроразрыва, но мы не смогли получить устойчивого определения координат их источников из-за небольшого количества используемых датчиков и низкого отношения сигнал/шум.

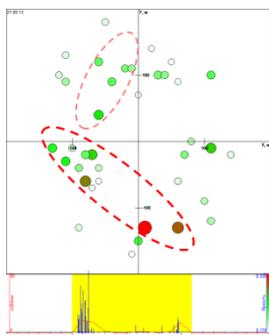


Рис. 2. Распределение зон микросейсмического излучения во время минифрака (1-й этап)

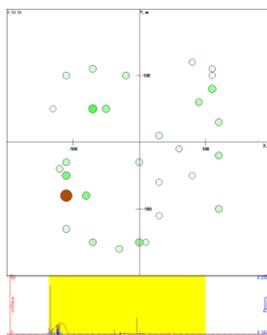


Рис. 3. Распределение зон микросейсмического излучения во время основного фрака (1-й этап)

Материалы обработки сейсмограмм повторного минифрака дали результаты, близкие к полученным при первом основном ГРП: наблюдается достаточно равномерное в пространстве распределение эпицентров сейсмических событий, однако по времени они тесно коррелируют с временем проведения минифрака (рис. 4). В поле сейсмической активности можно условно оконтурить линейную зону, вытянутую с северо-запада на юго-восток, однако достоверность ее выделения вызывает сомнения.

Результаты обработки сейсмограмм, полученные во время повторного ГРП, представлены на рис. 5. Обращает на себя внимание тот факт, что пространственное распределение эпицентров сейсмических событий близко к тому, что наблюдалось при первом мини-ГРП. Также выделяются две зоны, очень близкие по пространственным границам к наблюдавшимся ранее. Для наглядности зоны повышенной микросейсмической активности при повторном ГРП оконтурены красным цветом, а при первом мини-ГРП – серым. Как можно заметить, их границы очень близки.

Таким образом, в результате микросейсмического мониторинга на территории Быркинского месторождения установлено пространственное положение зон, которые по результатам интерпретации имеют отношение к системе сформировавшихся при гидроразрыве трещин. Во время первого минифрака были сформированы две зоны: первая в 100 м к юго-западу от пластопересечения, протяженностью 300 м и ориентированная с северо-запада на юго-восток (азимут 130°); вторая зона имеет протяженность 180 м, расположена в 100 м на северо-запад от пластопересечения и ориентирована перпендикулярно первой. Во время повторного

ГРП микросейсмическая активность регистрировалась в пределах этих же двух зон.

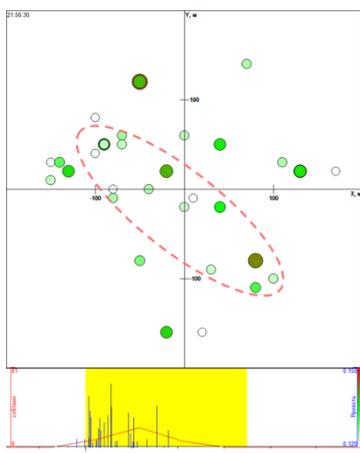


Рис. 4. Распределение зон микросейсмического излучения во время минифрака (2-й этап)

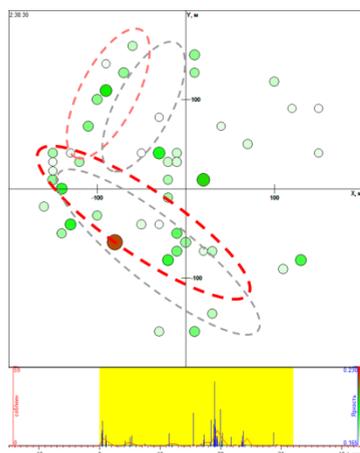


Рис. 5. Распределение зон микросейсмического излучения во время основного фрака (2-й этап)

ЛИТЕРАТУРА

1. Аксельрод С. М. Геофизический контроль гидроразрыва пласта в реальном времени: возможности, реализация и ограничения // НТВ Каротажник, 2014. Вып. 4 (238). С. 84–116.
2. Gibowitcz S. J., Kijko A. Introduction to mine seismology. Academic Press, 1994. 399 p.
3. Mendecki A. J. Seismic monitoring in mines. London: Chapman&Hall, 1997. 262 p.

REFERENCES

1. Akselrod S. M. Geofizicheskiy kontrol gidrorazryva plasta v realnom vremeni: vozmozhnosti, realizatsiya i ogranicheniya [Real-time geophysical monitoring of hydraulic fracturing: capabilities, implementation and limitations]. Karotazhnik, 2014. 4 (238). Pp. 84–116. (in Russian)
2. Gibowitcz S. J., Kijko A. Introduction to mine seismology. Academic Press, 1994. 399 p.
3. Mendecki A. J. Seismic monitoring in mines. London: Chapman&Hall, 1997. 262 p.

УДК 550.8.056

М. Се^{1,4}, А. П. Потапов², О. Л. Сальникова³, А. В. Шумилов⁴

¹ Китайский нефтяной университет. Зап. Чанцзиань Роуд 66, Хуандао, Чиндао, 266580, КНР; e-mail: yiranxjmj@gmail.com

² ВНИИГИС. 452614, Россия, г. Октябрьский, ул. Горького, д. 1; e-mail: potapov-57@bk.ru

³ ПАО «Пермнефтегеофизика» 614090, Россия, г. Пермь, ул. Лодыгина, д. 34; e-mail: Salnikovaol@pngf.com

⁴ ПГНИУ. 614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, д. 15; e-mail: shum5011@gmail.com

ПРИМЕНЕНИЕ МАГНИТОИМПУЛЬСНОЙ ДЕФЕКТΟΣКОПИИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ КОЛОННЫ

Аннотация. Рассмотрено использование метода магнитоимпульсной дефектоскопии для оценки технического состояния эксплуатационной колонны. Показано, что по результатам магнитоимпульсной дефектоскопии на одной из скважин месторождения было обнаружено нарушение стенки эксплуатационной колонны. При помощи многорычажного профилимера ПФТ-90-60 подтверждено, что выявленное нарушение колонны имеет сквозной характер.

Ключевые слова: дефекты колонны, магнитоимпульсная дефектоскопия, оценка технического состояния.

М. Xie^{1,4}, А. Р. Potapov², О. L. Salnikova³, А. V. Shumilov⁴

¹ China University of Petroleum. 66 West Changjiang Road, Huangdao, Qingdao 266580, P R China; e-mail: yiranxjmj@gmail.com

² VNIIGIS. 1 Gorkogo Str., Oktyabrskiy 452614, Russia; e-mail: potapov-57@bk.ru

³ Permneftegeofizika. 34 Lodygina Str., Perm 614090, Russia; Salnikovaol@pngf.com

⁴ Perm State University. 15 Bukireva St, Perm 614990, Russia; shum5011@gmail.com

APPLICATION OF MAGNETIC IMPULSE DEFECTOSCOPY FOR MONITORING THE TECHNICAL CONDITION OF PRODUCTION CASING

Abstract. The use of the method of magnetic pulse flaw detection to assess the technical condition of the production column is considered. In the result

of the magnetic pulse testing at one of the field wells, a damage of the production casing wall was detected. With use of the multilevel profiler PFT-90-60, it was confirmed the damage of the column has a cross-cutting character.

Key words: *damage of casing; magnetic pulse defectoscopy; evaluation of technical condition.*

Своевременное выявление деформаций и дефектов обсадных колонн актуально при разведке и разработке месторождений нефти и газа, т. к. дефекты колонн могут привести к остановке эксплуатации скважины и препятствуют непрерывному производству нефтегазовых скважин, что приводит к существенным экономическим потерям.

Каротажные методы, используемые для контроля деформаций и дефектов обсадных колонн, включают в себя: механические методы (многорычажный профилимер), акустические методы (ультразвуковая дефектоскопия), радиоактивные методы (гамма-гамма-цементометрия-дефектометрия), электромагнитные методы (магнитоимпульсная дефектоскопия) и др. Одним из наиболее значимых методов является электромагнитная дефектоскопия.

В последние несколько десятилетий, принцип измерения электромагнитной дефектоскопии прошел через три этапа. На первом этапе измерение дефектов стенок обсадных колонн основано на измерении рассеивания магнитного потока, на втором этапе – на основе измерений гармонических электромагнитных полей. И, наконец, появляется метод, основанный на импульсных электромагнитных измерениях.

В 1980-е годы на базе института ВНИИГИС под руководством доктора технических наук В.А. Сидорова были начаты работы по исследованию возможностей создания малогабаритной аппаратуры для исследования многоколонных скважин на основе электромагнитного импульсного зондирования. С развитием метода ЭМДС пришли к выводу, что в нестационарном состоянии гораздо легче отделить влияние первого (внутреннего) и второго корпусов на результаты измерений, чем в гармоническом режиме. Исходя из этого, становится возможным более точное определение толщины первой и второй труб. Так же, после выключения тока улучшается вертикальная характеристика зонда, что позволяет выделять дефекты небольших размеров [2].

Магнитоимпульсная дефектоскопия скважин является одной из модификаций электромагнитной дефектоскопии и одним из наиболее перспективных методов изучения технического состояния обсадных колонн нефтяных скважин [1]. При определении технического состояния насосно-компрессорных труб (НКТ), эксплуатационных колонн

(ЭК) и технического состояния ЭК через НКТ, данный метод может предоставлять информацию о толщине стенок, коррозии обсадных колонн и элементов конструкции скважины, а также детальную и точную характеристику дефектов скважин для правильного планирования капитального ремонта.

Так, при исследовании одной из пробуренных скважин оценка качества цементирования и технического состояния эксплуатационной колонны проведена комплексом методов АКЦ-ВС (прибор МАК-9М), СГДТ (прибор СГДТ-100М), ЭМДСТ (прибор ЭМДСТ-МП).

По данным ЭМДСТ определены толщины стенок технической и эксплуатационной колонны, обозначены различные технологические особенности колонн, такие как башмак технической колонны (рис. 1), пакер ПП-168, пакер ПДМ, центрирующие фонари. Также было обнаружено нарушение в стенке колонны на глубине 1815,5 м, которое подтверждено контрольной записью ЭМДСТ (рис. 2).

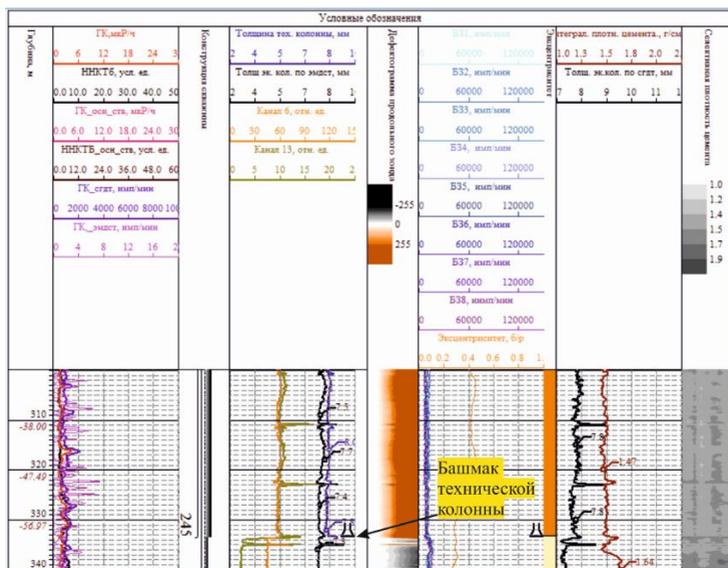


Рис. 1. Башмак технической колонны на глубине 333,5 м

Для уточнения характера нарушения стенок было принято решение провести исследования колонны при помощи многорычажного профилимера ПФТ-90-60. Установлено, что в интервале 1814,3–1821,3 м нарушение имеет сквозной характер (рис. 3).

Эксплуатация скважины в дальнейшем невозможна, поэтому проведен отстрел труб колонны ниже глубины 1810 м. С этой глубины забурен 2 ствол.

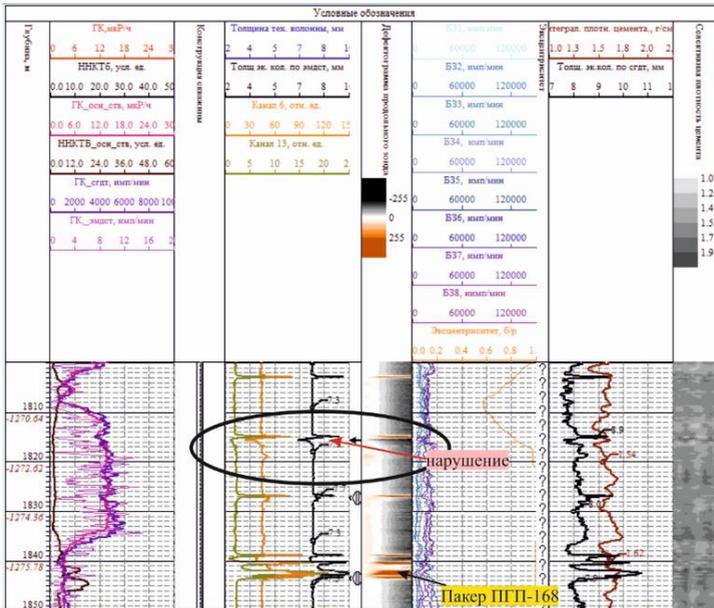


Рис.2. Нарушение стенки эксплуатационной колонны на глубине 1815,5 м

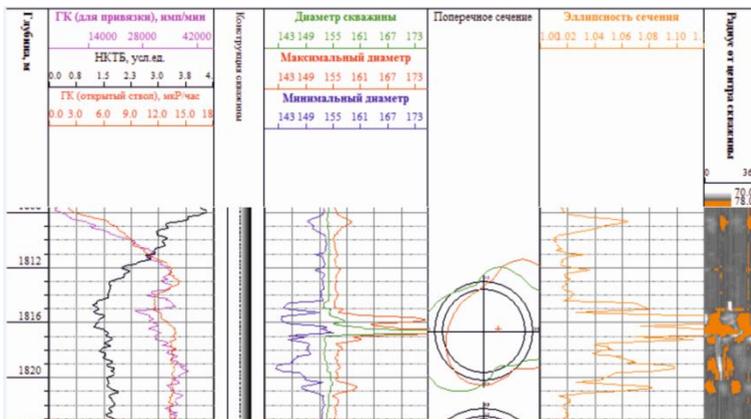


Рис. 3. Результаты измерений многорычажным профилимером (ПФТ-90-60)

При помощи электромагнитного дефектоскопа ЭМДСТ успешно выполнена оценка технического состояния обсадных колонн, определены элементы конструкции скважины, толщины эксплуатационной колонны и технической колонны, выделен интервал нарушения стенок колонны. Данные ЭМДСТ и их интерпретация позволили предупредить и с наименьшими затратами ликвидировать возможное негативное развитие последствий ввода негерметичной скважины в эксплуатацию.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Сидоров В. А. и др.* Методическое руководство по проведению магнитоимпульсной дефектоскопии-толщинометрии в нефтяных и газовых скважинах аппаратурой МИД-ГАЗПРОМ и обработке результатов измерений // Электромагнитная дефектоскопия обсадных колонн. М.: Изд. ФГУП ГНЦ РФ ВНИИгеосистем, 2010. 150 с.

2. *Потапов А. П. и др.* Магнитоимпульсная дефектоскопия-толщинометрия обсадных колонн и насосно-компрессорных труб. М.: Изд. ФГУП ГНЦ РФ ВНИИгеосистем, 2012. 22 с.

REFERENCES

1. *Sidorov V. A. et al.* 2010. Metodicheskoe rukovodstvo po provedeniyu magnitoimpulsnoy defektoskopii-tolshchinometrii v neftyanykh i gazovykh skvazhinakh apparatury MID-GAZPROM i obrabotke rezultatov izmereniy [Methodological guidelines for conducting magnetic impulse flaw detection and thickness measurement in Oil and Gas wells using MID-GAZPROM instrumentation and processing of the measurement results]. Moskva, Izd. FSUE SSC RF VNIIGeosystem, p. 148. (In Russian).

2. *Potapov A. P. et al.* 2012. Magnitoimpulsnaya defektoskopiya-tolshchinometriya obsadnykh kolonn i nasosno-kompressornykh trub [Magnetic impulse defectoscopy-thickness measurements of casing and tubing]. Moskva, Izd. FSUE SSC RF VNIIGeosystem, p. 22. (In Russian).

ЮБИЛЯРЫ КАФЕДРЫ ГЕОФИЗИКИ ПЕРМСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

PERSONS OF DEPARTMENT OF GEOPHYSICS OF THE PERM STATE UNIVERSITY CELEBRATING THEIR JUBILEE

В 2018 г. шесть преподавателей кафедры геофизики ПГНИУ отмечают юбилеи. Поздравляем наших коллег с юбилейными датами! Желаем дальнейших творческих успехов в образовательной, научной, учебно-методической деятельности, доброго здоровья и благополучия!

ГЕННАДИЮ АЛЕКСАНДРОВИЧУ ЦВЕТКОВУ – 75 ЛЕТ!

Родился 7 октября 1943 года в г. Владимире. Доктор технических наук. В 1962 г. окончил Пермский авиационный техникум по специальности «Авиационное приборостроение», в 1971 г. - Пермский политехнический институт по специальности «Авиационные двигатели». В 1963–1965 гг. - служба в Советской Армии.

С 1969 по 1993 г. работал в Пермском научно-исследовательском технологическом институте начальником лаборатории отделения точного машиностроения. В 1983 г. защитил кандидатскую диссертацию с присуждением ученой степени кандидата технических наук. С 1993 по 1997 г. работал главным инженером АО «Машстром» и директором предприятий машиностроения в г. Перми. В 1993–1997 гг. - старший научный сотрудник научно-исследовательского отдела Пермского военного института РВСН (по совместительству), где защитил докторскую диссертацию. С 1997 г. работает главным научным сотрудником ФГУП Урал НИИ «Экология». С 2000 г. – профессор кафедры геофизики ПГНИУ (по совместительству), преподает студентам дисциплину «Взрывное дело и техника безопасности». С 2005 г. – профессор кафедры «Безопасность жизнедеятельности» горно-нефтяного факультета Пермского государственного технического университета. С 2007 г. – председа-



тель Пермского отделения Международной академии навигации и управления движением, с 2012 г. – член Пермского отделения Евро-Азиатского геофизического общества. Научное направление: разработка аппаратуры в области геофизических исследований скважин, автоматизированные измерительно-вычислительные комплексы.

Член объединенного докторского совета на базе ПГНИУ и ПНИПУ. Автор более 270 научных трудов, имеет 90 авторских свидетельств и патентов в области геофизики и геонавигации, машиностроения, ракетостроения, нефтегазового комплекса, безопасности жизнедеятельности.

Лауреат ВДНХ, всесоюзных и международных конкурсов и премий. Награжден знаком «Изобретатель СССР», медалью «Ветеран труда».

АЛЕКСАНДРУ СЕРГЕЕВИЧУ НЕКРАСОВУ – 70 ЛЕТ!



Родился 5 сентября 1948 г. Доктор геолого-минералогических наук. В 1973 г. окончил вечернее отделение геологического факультета Пермского университета по специальности «Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых». Учебу в университете сочетал с работой в Камском отделении ВНИГНИ: техник, старший техник, инженер-геофизик, старший геофизик. В 1973–1975 гг. служба в рядах Советской Армии. С 1975 г. работает в институте «ПермНИПИнефть» (в настоящее время Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-

Инжиниринг» «ПермНИПИнефть» в г. Перми в должностях старшего инженера, старшего научного сотрудника, ведущего научного сотрудника. В настоящее время является главным научным сотрудником, начальником отдела промышленной геофизики и гидродинамических исследований скважин. Окончил заочную аспирантуру при кафедре промышленной геофизики Московского института нефтехимической и газовой промышленности им. И.М. Губкина (МИНИГП). В 1995 г. защитил в Пермском государственном университете кандидатскую диссертацию по теме «Использование спектрометрии естественного гамма-излучения горных пород для выделения

и оценки терригенных коллекторов (на примере отложений нижнего карбона Пермского Прикамья)», научный руководитель – профессор Р. А. Резванов. С 1996 г. по совместительству работает доцентом, а с 2007 г. – профессором на кафедре геофизики ПГНИУ. Читает лекции студентам геологического факультета по дисциплинам: «Петрофизика», «Геофизические методы исследований скважин», «Контроль за разработкой нефтяных и газовых месторождений», «Современное состояние геофизических исследований скважин», «Современные проблемы геологии». В 2007 г. защитил докторскую диссертацию по теме «Геолого-геофизическое моделирование карбонатных коллекторов нефтяных месторождений», научный консультант – профессор В. И. Костицын.

Область научных интересов: разработка, технологии прогнозирования нефтяных залежей в сложных карбонатных и терригенных коллекторах по комплексу сейсморазведки 3D, ГИС и гидродинамических исследований скважин. Опубликовано более 90 научных работ, имеет 10 разработок, внедренных в ПермНИПИнефть, КамНИИКИГС.

Являлся лауреатом Пермского университета по науке за 2007 г. Награжден Почетной грамотой Евро-Азиатского геофизического общества, грамотой Министерства топлива и энергетики Российской Федерации, медалями имени А. К. Маловичко и А. Е. Ферсмана. Заслуженный работник нефтяной и газовой промышленности РФ (2014) – единственный из преподавателей вузов Пермского края.

АНДРЕЮ ВЛАДИМИРОВИЧУ ГОРОЖАНЦЕВУ – 65 ЛЕТ!

Родился 4 ноября 1953 года в г. Ленинграде. Кандидат геолого-минералогических наук, доцент. В 1975 г. окончил Пермский государственный университет по специальности «Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых». С 1975 по 1980 г. работал инженером в отряде гравиметрического каротажа, в лаборатории математических методов обработки и интерпретации геофизического отдела Камского отделения ВНИГНИ. С 1981 г. работает на кафедре геофизики ПГНИУ (ст. лаборант, с 1983 г. – ассистент, с 1994 г. – доцент). Читает



лекции по дисциплинам: «Физика Земли» – магистрантам и геофизикам 5 курса дневного и заочного отделений; «Геофизика» – геологам 4 курса дневного отделения; «Гравиразведка» – геофизикам 3 курса дневного и 4 курса заочного отделения; «История и философия геологии» – магистрантам; является руководителем учебной специализированной геофизической практики. В 1990 г. защитил диссертацию по теме «Использование скважинной и наземной гравиразведки в комплексе геофизических исследований на нефть и газ (на примере Пермского Прикамья)», научный руководитель – профессор А.К. Маловичко. Область научной деятельности: гравиметрический метод исследований, скважинная и наземная гравиразведка. Имеет 75 опубликованных работ. Член Пермского отделения Евро-Азиатского геофизического общества. В 2012 г. награжден Почетной грамотой Министерства образования и науки Российской Федерации.

АЛЕКСАНДРУ СЕРГЕЕВИЧУ ДОЛГАЮ – 60 ЛЕТ!



Родился 16 января 1958 года в г. Свердловске. Доктор физико-математических наук. В 1980 г. окончил Свердловский горный институт им. В.В. Вахрушева по специальности «Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых».

Трудовая деятельность: с 1980 по 1983 г. работал в Центральной геофизической экспедиции Северо-Восточного территориального геологического управления (геофизик, старший геофизик, начальник отряда); с 1983 по 1986 г. – в Северо-Енисейской геофизической экспедиции производственного геологического объединения «Красноярскгеология» (старший геофизик партии); с 1986 по 1993 г. – в Норильской комплексной геофизической экспедиции (начальник отряда, ведущий геофизик, главный геофизик партии); с 1993 по 1997 г. – в Комитете по геологии и использованию недр Таймырского автономного округа (главный геофизик); с 1997 по 2002 г. – в Южной геофизической экспедиции акционерного общества «Красноярскгеология» (главный геофизик). С 2002 г. по настоящее время работает в Горном институте

Уральского отделения РАН (ведущий, главный научный сотрудник) и по совместительству – профессор кафедры геофизики Пермского университета. Преподает студентам очного и заочного отделений дисциплину «Комплексирование геофизических методов» и магистрантам дисциплину «Гравиметрия».

В 1994 г. защитил кандидатскую диссертацию на тему «Технология автоматизированной интерпретации геопотенциальных полей при подготовке геофизической основы для геологической съемки и поисков медно-никелевых руд». В 2002 г. защитил в Объединенном институте физики Земли (г. Москва) докторскую диссертацию на тему «Компьютерные технологии интерпретации гравитационного и магнитного полей в горной местности». Имеет более 250 опубликованных научных работ, в том числе монографии «Компьютерные технологии обработки и интерпретации данных гравиметрической и магнитной съемки в горной местности» (2002), «Конечноэлементные технологии моделирования в гравиразведке» (2013) и учебные пособия «Гравиразведка: способы учета влияния рельефа местности» (2010), «Комплексирование геофизических методов» (2012).

Основные труды посвящены компьютерным технологиям обработки и интерпретации геофизических полей, а также вопросам применения геофизических методов для поисков месторождений рудного золота, полиметаллических, медных, медно-никелево-платиновых руд и подготовке геофизической основы для геокартирования. Разработал комплекс программ для учета влияния рельефа местности при магнитной (RELMAG) и гравиметрической (RELGRV) съемках, а также компьютерные технологии интерпретации аномалий геопотенциальных, предназначенные для обнаружения и локализации рудоносных дифференцированных интрузий базит-гипербазитового состава.

Член диссертационных советов в Горном институте Уральского отделения РАН, Институте геофизики Уральского отделения РАН и в объединенном докторском совете на базе ПГНИУ и ПНИПУ; член Научно-методического Совета по геолого-геофизическим технологиям поисков и разведки твердых полезных ископаемых Минприроды России, член экспертного совета Уральского отделения РАН (секция по наукам о Земле); член Пермского отделения Евро-Азиатского геофизического общества, член-корреспондент Международной академии минеральных ресурсов. Награжден знаком «Отличник разведки недр», медалью «Ветеран труда», медалями имени А. К. Маловичко «За достижения в геофизике».

СЕРГЕЮ ВЛАДИМИРОВИЧУ БЕЛОВУ – 55 ЛЕТ!



Родился 30 июня 1963 года в г. Перми. Кандидат технических наук. В 1985 г. окончил геологический факультет Пермского государственного университета по специальности «Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых». С 1985 по 1992 г. работал инженером-геофизиком, ведущим геофизиком в центральной камеральной партии Турланской геофизической экспедиции (г. Чимкент). В 1992–2009 гг. – работа в ОАО «Пермнефтегеофизика»: 1992–1993 гг. – геофизик РИГ-3, обработка данных сейсморазведки; 1993–2002 гг. – руководитель группы ПО ПЭВМ, разработка программ обработки данных сейсморазведки и ВСП; 2002–2005 гг. – главный геофизик НТУ; разработка и выполнение проектов по НИОКР в области обработки и интерпретации данных ГИС; 2005–2009 гг. – начальник отдела ИТО. С 2010 г. по настоящее время работает заместителем генерального директора ООО Предприятие «ФХС-ПНГ».

С 2012 г. работает доцентом кафедры геофизики Пермского университета (по совместительству). В 2004 г. защитил кандидатскую диссертацию на тему «Моделирование параметров волнового поля при акустическом каротаже для оценки качества цементирования нефтяных и газовых скважин», научный руководитель – профессор, заслуженный деятель науки РФ В. М. Новоселицкий. Разработал с соавторами комплекс программ оценки технического состояния обсаженных скважин: «ГИС-АКЦ», «Соната». Область научных интересов: исследование технического состояния скважин акустическим и гамма-гамма методами; технология обработки и интерпретации данных ГИС, проектирование информационных систем. Автор 30 научных работ и учебного пособия «Геофизические методы контроля технического состояния скважин». Член Пермского отделения Евро-Азиатского геофизического общества. Награжден медалью имени С. Г. Комарова (2015).

АНДРЕЮ ИВАНОВИЧУ БАБКИНУ – 50 ЛЕТ!

Родился 2 января 1968 года в г. Соликамске Пермского края. Кандидат технических наук. В 1986–1988 гг. проходил срочную службу в рядах Советской Армии. В 1992 г. окончил геологический факультет Пермского государственного университета по специальности «Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых». С 1992 по 1994 г. работал в полевых партиях производственного объединения «Пермнефтегеофизика» (инженер-оператор, инженер-электроник по обслуживанию виброустановок; руководитель взрывных работ). С 1994 г. по настоящее время работает в лаборатории активной сейсморазведки Горного института Уральского отделения РАН (инженер, младший научный сотрудник, старший научный сотрудник). В 2001 г. защитил диссертацию на тему «Шахтная сейсмоакустика по методике многократных перекрытий (на примере Верхнекамского месторождения калийных солей)».



С 2003 г. по совместительству работает доцентом на кафедре геофизики ПГНИУ. Преподает для студентов дисциплину «Взрывное дело и техника безопасности», руководит курсовыми и дипломными работами. Область научных интересов: шахтные сейсмоакустические исследования; проектирование высокоинформативных технологий сбора данных на основе интерференционных систем регистрации; прогнозирование физико-механических свойств массива с целью обеспечения безопасного горного производства; комплексирование разночастотных и разнонаправленных сейсмоакустических наблюдений. Имеет более 60 публикаций в печатных изданиях. Член Пермского отделения Евро-Азиатского геофизического общества.

Составитель В. И. Костицын

Научное издание

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА РАЗВЕДОЧНОЙ И ПРОМЫСЛОВОЙ ГЕОФИЗИКИ

Сборник научных трудов

Выпуск 1(6)

Компьютерная верстка: *Н. М. Ржевитина*
Дизайн обложки: *И. В. Сибикина*

Подписано в печать 30.10.2018. Формат 60×84/16
Усл. печ. л. 19,59. Тираж 150 экз. Заказ 218

Издательский центр
Пермского государственного
национального исследовательского университета.
614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15

Типография ПГНИУ.
614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15

Scientific Publication

**THEORY AND PRACTICE
OF EXPLORATION AND PETROLEUM
GEOPHYSICS**

Collection of scientific papers

Issue 1(6)

Computer Layout Design: *N. M. Rzhevityna*

Cover Design: *I. V. Sibikina*

Assigned for Print 30.10.2018. Format 60×84/16
Nominal printed sheets 19,59. Edition size 150 cop. Order 218

Published by the Perm State University Press
15 Bukireva Str., Perm 614990, Russia

Printed in PSU Printing House.
15 Bukireva Str., Perm 614990, Russia