

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ГОУ ВПО «СИБИРСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ»

ГЕО-СИБИРЬ-2011

Т. 2

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

ч. 2

Сборник материалов
VII Международного научного конгресса

Новосибирск
СГГА
2011

Ответственные за выпуск:

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

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

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

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

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

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

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

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

С26 ГЕО-Сибирь-2011. Т. 2. Недропользование. Горное дело. Новые направления и технология поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Ч. 2: сб. матер. VII Междунар. научн. конгресса «ГЕО-Сибирь-2011», 19–29 апреля 2011 г., Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2011. – 200 с.

ISBN 978-5-87693-441-3 (т. 2, ч. 2)

ISBN 978-5-87693-445-1 (т. 2)

ISBN 978-5-87693-437-6

В сборнике опубликованы материалы VII Международного научного конгресса «ГЕО-Сибирь-2011» направления «Недропользование. Горное дело. Новые направления и технология поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых».

Печатается по решению редакционно-издательского совета СГГА

Материалы публикуются в авторской редакции

УДК 622

ISBN 978-5-87693-441-3 (т. 2, ч. 2)

ISBN 978-5-87693-445-1 (т. 2)

ISBN 978-5-87693-437-6

© ГОУ ВПО «Сибирская государственная
геодезическая академия», 2011

СОДЕРЖАНИЕ

Лужецкий В.Г. Ледниково-межледниковые слои в донных отложениях Телецкого озера	8
Монгуш Г.Р. Проблемы и перспективы развития угольной промышленности в республике Тыва.....	13
Лапин П.С. Вероятные источники проявления новейших геологических процессов в Западной Сибири и её нефтегазоносность.....	18
Данькина Т.А. Литологический состав пород-коллекторов в ботубинском нефтегазоносном горизонте венда северо-восточной части Непско- Ботубинской антеклизы	23
Бейзель А.Л. Инверсионная модель циклогенеза: интерпетация трансгрессий и регрессий.....	29
Ларионова Т.И., Мигурский А.В. Дислокации аллохтона складчато- надвигового пояса Нюйско-Джербинской впадины (Сибирская платформа)	34
Боровикова Л.В. Модель поэтапного расширения бассейна ванаварского осадконакопления на юго-западе Камовского свода	40
Скузоватов М.Ю. Влияние на характер сейсмического волнового поля строения газоносного парфеновского горизонта центральных районов Ангара-Ленской ступени	47
Плоткин В.В. Восстановление тензора электропроводности среды по данным синхронных площадных зондирований	51
Зайцева Ю.Л. Флюидодинамические и структурно-литологические критерии нефтегазогеологического районирования (Нюрольская мегавпадина, Томская область).....	57
Новиков Д.А. Вертикальная геотермическая зональность северных районов Западной Сибири и акватории Карского моря	66
Баранова М.И., Мигурский А.В. Сдвиговая природа ловушек углеводородов на Куюмбинском газонефтяном месторождении	72
Лежнин Д.С. Тектоника и нефтегазоносность мезозоя юго-западной части Енисей-Хатангской НГО	79
Неведрова Н.Н., Санчаа А.М., Шалагинов А.Е. Результаты интерпретации зондирований становлением электромагнитного поля (ЗС), выполненных в береговой зоне и на акватории оз. Большое Яровое (Алтайский край).....	87
Малышков С.Ю., Малышков Ю.П., Гордеев В.Ф., Шталин С.Г., Поливач В.И., Бажанов Ю.Ю. Использование естественных электромагнитных шумов земли в геофизической разведке, поиск нефти.....	93
Ефимова Е.С. Неоднозначность определения параметров вязкоупругих сред, возникающая при решении обратной задачи сейсмики	99
Злобина О.Н. Условия формирования отложений нижней юры в Енисей- Хатангском бассейне.....	105
Рыкова В.В., Лукьянова Е.И. Интернет-ориентированная база данных «Метан в угольных шахтах»	110

Филиппов П.А., Бурмин Г.М., Медведева Н.П. Обоснование параметров геотехнологии разработки железорудных месторождений Сибири системой поэтажного обрушения.....	114
Тапсиев А.П., Усков В.А., Устюгов М.Б. О скорости смещения породного массива на южном участке рудника «Заполярный»	119
Стажевский С.Б., Хан Г.Н., Русин Е.П. О динамике карста и применении метода дискретных элементов в решении ее задач.....	124
Скрицкий В.А. Снижение эндогенной пожароопасности и повышение эффективности отработки крутых пластов угля в шахтах Кузбасса..	129
Скрицкий В.А. К вопросу достоверности выводов о причинах взрывов метана в высокопроизводительных угольных шахтах Кузбасса	135
Савченко А.В., Чередников Е.Н. Определение оптимальных параметров скважинных имплозивных генераторов.....	141
Савченко А.В., Чередников Е.Н. Принципы построения скважинных гидроударных импульсных систем	144
Сабуров В.С., Барышников Д.В. Контроль технического состояния конструкции башенного копра клетьевого ствола	149
Рубцова Е.В., Скулкин А.А. Об определении напряжений в массиве горных пород методом направленного гидроразрыва	154
Павлов В.А., Мартынюк П.А., Сердюков С.В. Распределение напряжений в области трещины при проведении микро-гидроразрыва.....	158
Мирошниченко Н.А., Васильева Е.В. Статистический анализ вариаций параметров техногенной сейсмичности и напряженного состояния при отработке Таштагольского месторождения	163
Лобанова Т.В., Васильева Е.В. Особенности короткопериодных смещений в районе охраняемых объектов Таштагольского месторождения	169
Крамаджян А.А., Русин Е.П. О структуре насыпного объекта	175
Крамаджян А.А., Русин Е.П., Стажевский С.Б. Об исследовании связи «Усилие выдергивания – смещение» поворотных грунтовых анкеров в натуральных условиях.....	181
Качальский В.Г., Андреев Р.Ю. Оценка погрешности определения геометрических параметров измерительной скважины.....	187
Барышников В.Д., Гахова Л.Н. Напряженное состояние массива в окрестности протяженных выработок, подверженных тепловому воздействию	192
Барышников Д.В. Результаты геомеханического контроля предохранительного целика под метегеро-ичерским водоносным комплексом рудника «Интернациональный»	197
Бизяев А.А., Кривецкий А.В., Яковицкая Г.Е., Карпов А.Ю. Диагностика землетрясений, цунами и других катастрофических событий по структуре и параметрам сигналов электромагнитного излучения (ЭМИ)	202
Бизяев А.А., Кривецкий А.В., Яковицкая Г.Е. Разработка инкрементального датчика измерения перемещений в образцах горных пород в лабораторном эксперименте.....	207

Опарин В.Н., Цыганков Д.А. Разрушение хрупких материалов с применением пластичных веществ – новое направление в добыче и первичной обработке природного камня	212
---	-----

CONTENTS

Luzhetskii V.G. Glacier-interglacier layers in bottom sediments of lake Teletskoye.....	8
Mongush G.R. Problems and perspectives of coal industry in Tyva republic....	13
Lapin P.S. Probable sources of the latest manifestations of geological processes in Western Siberia and its oil and gas	18
Dankina T.A. Lithological composition of terrigenous reservoir in the petroliferous botuobinskiy horizon in north-eastern part of Nepa Botuoba anticline	23
Beisel A.L. An inversion model of the cyclogenesis applied for the transgressions and regressions interpretation	29
Larionova T.I., Migursky A.V. Allochthon dislocations in fold-thrust belt of the Nyuya-Dzherba depression (Siberian platform)	34
Borovikova L.V. A model for gradual expansion of the vanavara sedimentary basin in the south-west of the Kamo swell	40
Skuzovatov M.J. Seismic effect of gas-saturated part of horizon structure of the central part of Angara-Lensk step	47
Plotkin V.V. Recovery of the medium conductivity tensor on the data of synchronous array soundings	51
Zaitseva Yu.L. Fluidodynamic and structural-lithological criteria of petroleum geological zoning (Nyuroi megadepression, Tomsk region)	57
Novikov Dm.A. Vertical geothermal zonality at the north areas of Western Siberia and the Kara sea area	66
Baranova M.I., Migursky A.V. Shear nature of hydrocarbon traps in the Kuyumbinskoye petroleum fields	72
Lezhnin D.S. Petroleum potential and tectonics of mesozoic south-western part of the Yenisei-Khatanga oil and gas field	79
Nevedrova N.N., Sanchaa A.M., Shalaginov A.E. Results of temporal electromagnetic data interpretation (TEM), executed in the coastal zone and on water area the lake Bolshoye Yarovoye (Altay region)	87
Malyshkov S.Yu., Malyshkov Yu.P., Gordeev V.F., Shtalin S.G., Polivach V.I., Bazhanov Yu.Yu. Application of the earth's natural electromagnetic noise to geophysical prospecting and searching for oil.....	93
Efimova E.S. An ambiguity of reconstruction parameters in viscoelastic media, arising in solving the inverse seismic problem.....	99
Zlobina O.N. Formation conditions of the lower jurassic deposits of Yenisei-Khatanga Basin, Siberia.....	105
Rykova V.V., Luk'yanova E.I. Internet-oriented data base «Methane in coal mines»	110
Philippov P.A., Burmin G.M., Medvedeva N.P. Substantiation of parameters of the mining geotechnology of Siberian iron ore deposits with sublevel caving method	114
Tapsiev A.P., Uskov V.A., Ustygov M.B. On rock mass displacement rate in the south part of zapolyrny mine field	119
Stazhevsky S.B., Khan G.N., Rusin E.P. On karst dynamics and the discrete	

element method application in solving its issues.....	124
Skritsky V.A. Spontaneous fire hazard decrement and coal production enhancement in steeply pitching formations in the Kuznetsk coalfield ...	129
Skritsky V.A. Reliability of conclusions on methane explosion causes at highly productive coal mines at the Kuznetsky coal basin	135
Savchenko A.V., Cherednikov E.N. Definition of optimum parameters boreholed of implosive generators	141
Savchenko A.V., Cherednikov E.N. Principles of construction boreholed of hydroshock pulse systems	144
Saburov V.S., Baryshnikov D.V. Monitoring of tower headgear condition at the cage shaft.....	149
Rubtsova E.V., Skulkin A.A. Directional hydraulic fracturing approach to stress assessment in rocks	154
Pavlov V.A., Martynuk P.A., Serdyukov S.V. The distribution in near fracture area in micro-hydrofracturing process	158
Miroshnichenko N.A., Vasilyeva E.V. Statistical analysis of anthropogenic seismicity parameter variations and stress state while mining the Tashtagol deposit	163
Lobanova T.V., Vasilyeva E.V. Features of short-period displacements around protected objects of the Tashtagol deposit	169
Kramadjian A.A., Rusin E.P. On the structure of a poured granular object	175
Kramadjian A.A., Rusin E.P., Stazhevsky S.B. On the field study of the relation between pull force and displacement for the turning ground anchors.....	181
Kachalsky V.G., Andreev R.Yu. Geometrical error estimation in a measuring well bore.....	187
Baryshnikov V.D., Gakhova L.N. Stress state of rocks in the vicinity of extended mine workings under thermal exposure	192
Baryshnikov D.V. Geomechanical monitoring data for safety pillar under aquifer system in the internationalny mine, alrosa	197
Bizyaev A.A., Krivetsky A.V., Yakovitskaya G.E., Karpov A.Yu. Diagnostication of earthquakes, tsunami and other catastrophic phenomena based on the structure and parameters of electromagnetic emission signals	202
Bizyaev A.A., Krivetsky A.V., Yakovitskaya G.E. The development of the incremental encoder measuring movements in samples of rocks in a laboratory experiment	207
Oparin V.N., Tsygankov D.A. Destruction of fragile materials with the application of plastic substances – a new direction in the extraction and preprocessing of a natural stone.....	212

УДК 550.834 + 552.143

В.Г. Лужецкий

ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск

ЛЕДНИКОВО-МЕЖЛЕДНИКОВЫЕ СЛОИ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ТЕЛЕЦКОГО ОЗЕРА

Представлены высокоразрешающие временные разрезы одиночных трасс, полученных с помощью сейсмоакустического геопрофилографа, для трех участков озера (Яйлю, Ежон и Чорлок). На разрезах выделены области расположения осадочных слоев, соответствующих ледниково-межледниковым стадиям. Для временной датировки слоев используется температурная кривая ледового керна антарктической скважины «Восток». Еще раз подтвержден наш вывод о том, что озеро Телецкое не молодое, а древнее.

V.G. Luzhetskiy

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics of the SB
RAS (ICMMG SB RAS)

Acad. Lavrentiev Ave., 6, Novosibirsk, 630090, Russia

GLACIER-INTERGLACIER LAYERS IN BOTTOM SEDIMENTS OF LAKE TELETSKOYE

Presented high-resolution time cuts of individual traces, obtained by the seismoacoustic geoprofiler for three regions of the lake (Yaylyu, Ezhon and Chorlok). On the cuts marked the area of the sedimentary layers corresponding to glacial-interglacial stages. For the time of dating we use the temperature curve of the Antarctic ice core borehole «Vostok». Once again confirmed our conclusion that the lake Teletskoye is ancient rather than young.

Формирование донных отложений в глубоководных озерах в первую очередь обусловлено климатическими условиями, существовавшими в прошлые времена. Поэтому при изучении осадконакоплений приходится обращаться к событиям близких и далеких ледниковых и межледниковых эпох. Достоверность информации о закономерностях изменений природной среды и климата определяется состоянием стратиграфии и хронологии событий. Одним из надежных методов расшифровки палеоклиматической информации считается изотопно-кислородный метод, основанный на вариациях O^{18}/O^{16} для акваторий часто именуемый, как МИС (морская изотопная стадия). Однако мы будем пользоваться несколько другим термином, а именно «ЛМС» (ледниково-межледниковая стадия).

Осадки в озерах состоят из чередующихся слоев, относящихся к ледниковым и межледниковым стадиям. Существенное отличие ЛМС от МИС

состоит в том, что у них разные датировки времени, так как МИС фиксируют все события временных потеплений внутри циклов ЛМС. Смена циклов ЛМС происходит за время около 100 тыс. лет и это, как предполагают, обусловлено планетарными механизмами вселенной. ЛМС отражают глобальные общемировые события, тогда как МИС фиксируют региональные события и датировки для них утверждает Межведомственный стратиграфический комитет России.

Для датировки циклов ЛМС мы используем данные ледового керна антарктической скважины «Восток» [1], для которой температурная кривая представлена на рис. 1. Если на графике температур провести условно прямую линию параллельно оси X через точку, соответствующую температуре 0°C , то получим границы ЛМС. Все участки, расположенные сверху с положительными температурами мы относим к межледниковым стадиям и им присваиваем нечетные номера (ЛМС 1, ЛМС 3, ЛМС 5 и т.д.). Все участки, расположенные в отрицательных областях температур имеют четные номера, так, например, ЛМС 2 находится между ЛМС 1 и ЛМС 3. Таким образом, мы отсекаем все промежуточные потепления, находящиеся внутри ледниковых стадий.

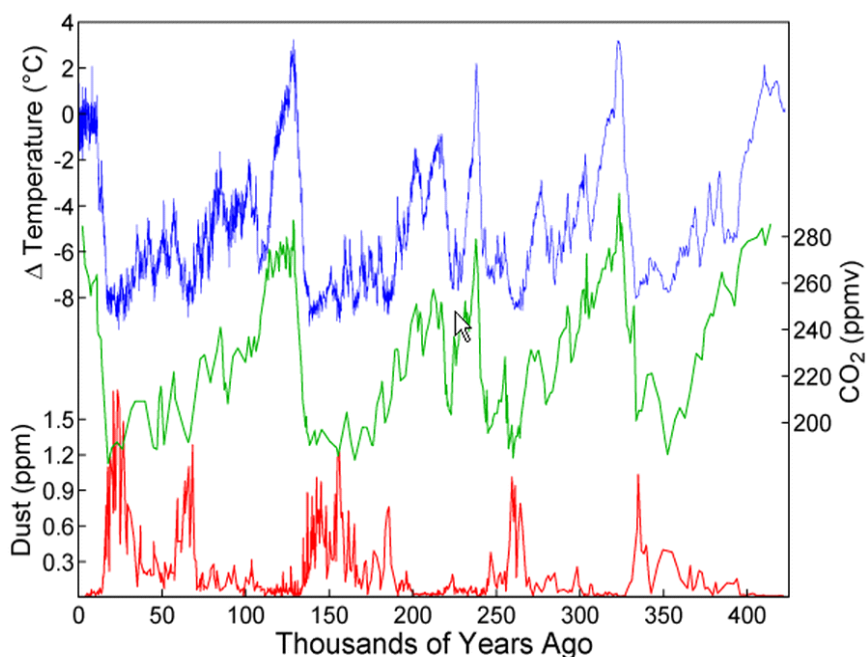


Рис. 1. Комплексные данные керна скважины «Восток» (пылевые частицы, CO_2 и температура)

Чтобы знать время формирования отдельных слоев донных отложений и их возраст обычно используют результаты аналитического анализа разрезов кернов, полученных при бурении скважин или взятых с помощью грунтозаборных трубок. Но есть еще и другой геофизический «бескерновый» метод [2], основанный на выявлении визуальном на высокоразрешающих временных разрезах последовательности границ ледниково-межледниковых стадий, для датировки которых используются временные данные ледового керна антарктической скважины «Восток». Временные разрезы профилей

получаем с помощью разработанного нами портативного высокочастотного сейсмоакустического геопрофилографа, который может использоваться на маломерных судах, яхтах, мотолодках и весельных лодках. Частотный диапазон излучаемых звуковых волн составляет 4-6 кГц, энергия излучения 100-300 Дж [3].

На рис. 2-4 приведены временные разрезы одиночных трасс для 3 участков: Яйлю, Ежон и Чорлок. Профилирование выполнялось на участках озера с различными скоростями осадконакоплений и где наблюдаются тонкие плоскопараллельные слои. На всех временных разрезах показаны последовательности расположения ЛМС. Такое чередование границ ЛМС можно объяснить следующими факторами: однотипность формы выходных сигналов приемника (не смотря на то, что трассы расположены на разных участках с удалением более 20 км); амплитуды выходных сигналов в ледниковых горизонтах существенно выше, чем в межледниковых; в спектральном составе сигналов в межледниковых стадиях присутствуют высокочастотные составляющие; последовательность циклов ЛМС соответствует циклам климатической кривой антарктической скважины «Восток».

Для тонких многослойных телец отложений присуще одно главное свойство – приемник звуковых волн регистрирует сигналы, возникающие за счет возбуждения резонансных колебаний слоев, после прихода прямой волны к их границам. Только этим можно объяснить такое явление, как генерация сигналов большой амплитуды во время прохождения звуковой прямой волны через ледниковые слои. Эти слои имеют очень плотную тонкую структуру, сформировавшуюся за время около 90 тыс. лет, при этом скорости распространения звуковых волн в них существенно выше, чем в межледниковых стадиях [4]. Время формирования межледниковых слоев значительно меньше, например, для ЛМС 3 оно составляло около 7 тыс. лет, но зато в это время существенно возрастают скорости осадконакоплений. А скорости распространения звуковых волн уменьшаются из-за неравномерного формирования слоев, уменьшения плотности осадков и изменения их химического состава. Поэтому слои становятся более рыхлыми, а иногда еще и газонасыщенными, вследствие изменчивости местных региональных климатических условий.

Рис. 2 иллюстрирует появление трех границ, где наблюдаются скопление газа (метана?) и это можно объяснить тем, что отраженная от дна полуволна 1 имеет ту же длительность, но инверсную фазу по отношению к остальным полуволнам 2, 3 и 4. Причем скопления газа наблюдается вблизи границ переходов от ледниковых стадий к межледниковым. Во время межледниковых стадий после микробной переработки биологических остатков появляется газ, который скапливается, а затем при появлении благоприятных термобарических условий происходит его превращение в твердое газогидратное состояние. Свидетельством этому является резкое появление на выходе приемника сигнала большой амплитуды. Газогидраты находятся в слое ЛМС 5, что соответствует временным событиям около 200 тыс. лет назад.

Интересен временной разрез трассы (рис. 3), в котором хорошо прослеживаются слои до ЛМС 14 (700 тыс. лет). В широтной части озера в Яйлю (рис. 4) мы наблюдаем ЛМС 10, соответствующую временным событиям около 500 тыс. лет назад. В этом случае даже не зная толщины осадков до фундамента, мы можем сказать, что возраст Телецкого озера составляет более 500 тыс. лет, тогда как для этого участка он считается 15-20 тыс. лет [5]. Мы предполагаем, что с учетом определенных нами значений скоростей осадконакоплений [6] возраст Телецкого озера может превышать 10 млн. лет и

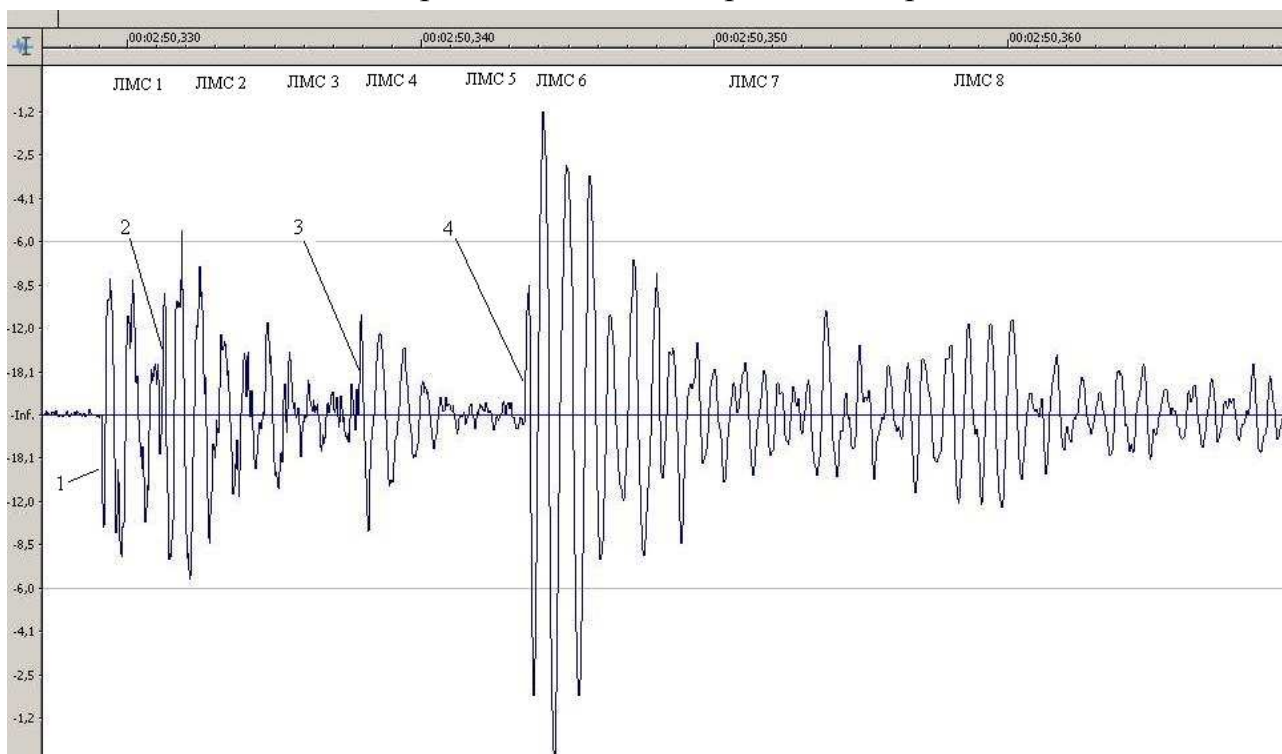


Рис. 2. Временной разрез трассы на участке Ежон (глубина 300 м)

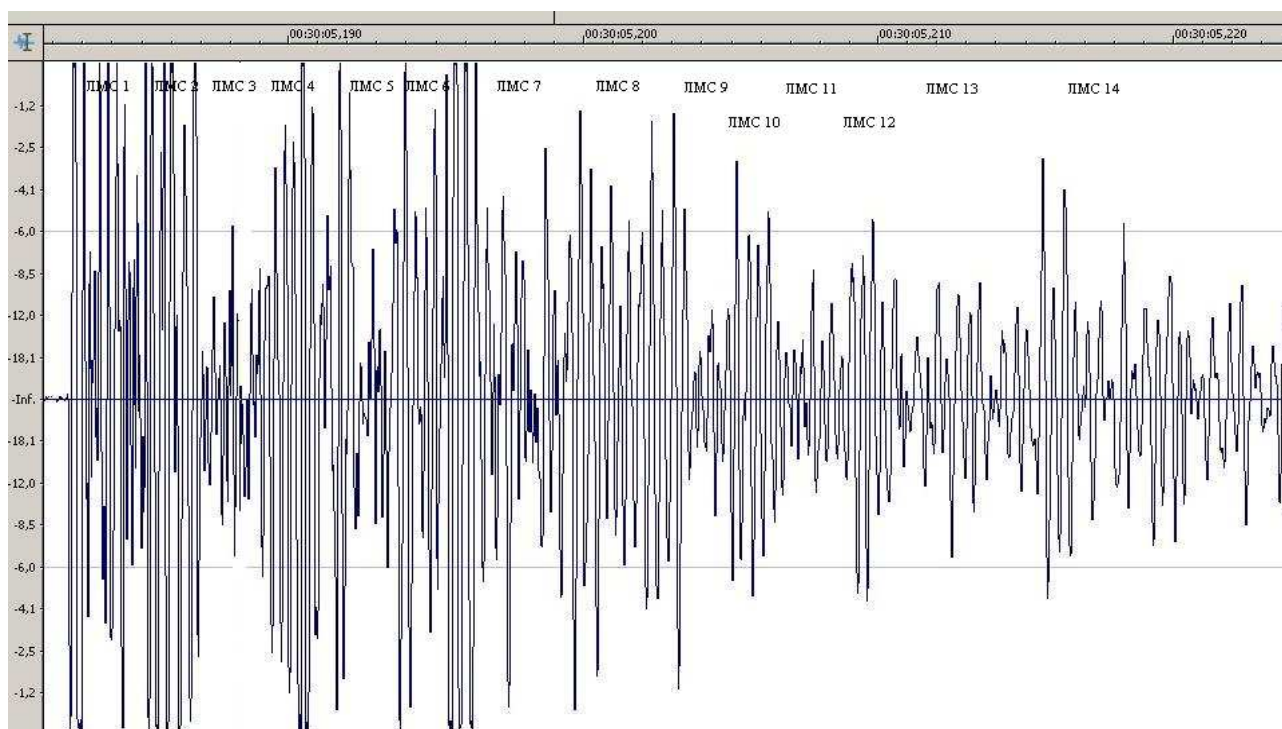


Рис. 3. Временной разрез трассы на участке Чорлок (глубина 290 м)

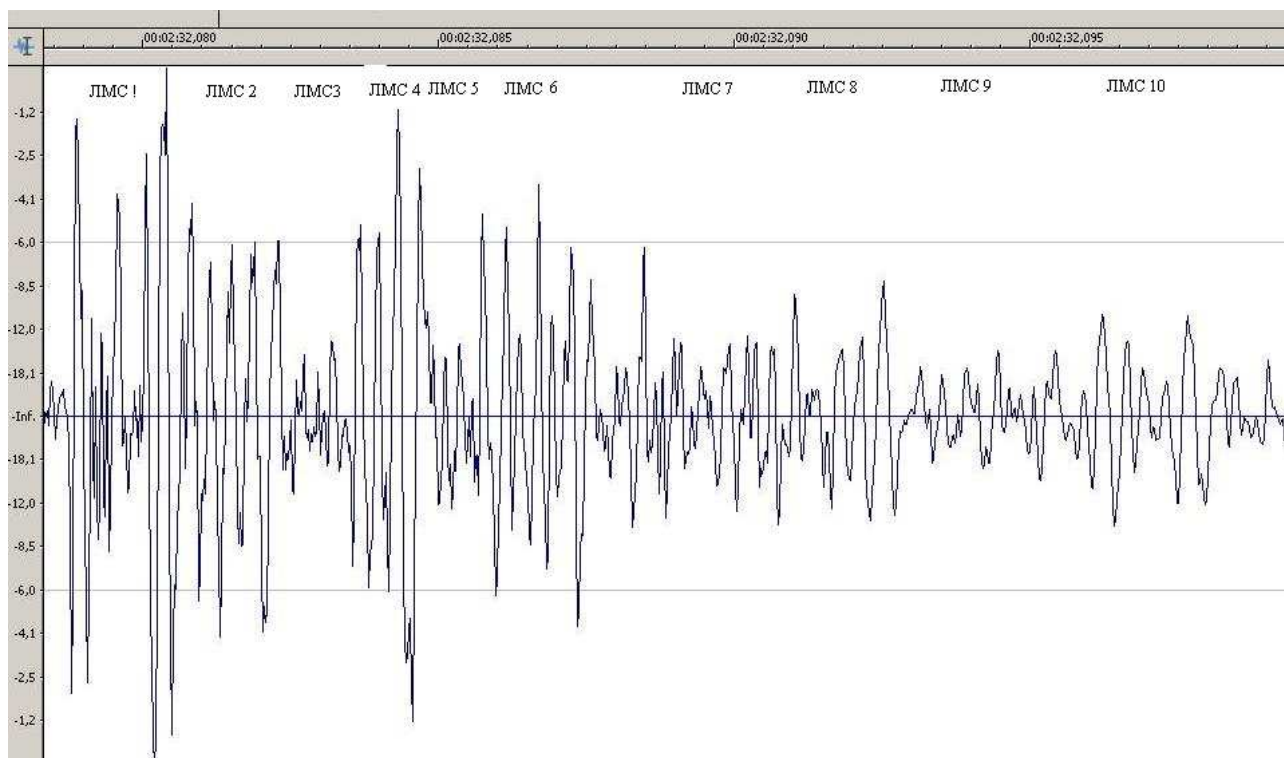


Рис. 4. Временной разрез трассы на участке Яйлю (глубина 270 м)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Petit, J.R. Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice, Antarctica [Text] / J.R. Petit, J. Jouzel, D. Raynaud, et al // Nature. – 1999, - № 399. – P. 429-436.
2. Лужецкий, В.Г. Высокора разрешающее сейсмопрофилирование Телецкого озера [Текст] / В.Г. Лужецкий // ГЕО-Сибирь-2008. Т. 5. Недропользование. Новые направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых: Сб. матер. междунар. науч. конгресса, 22-24 апреля 2008 г. – Новосибирск, СГГА, 2008. - С. 169-173.
3. Лужецкий, В.Г. Сейсмоакустический комплекс высокого разрешения [Текст] / В.Г. Лужецкий // ГЕО-Сибирь-2006. Т. 5. Недропользование. Новые направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых: Сб. матер. междунар. науч. конгресса, 24-28 апреля 2006 г. – Новосибирск, СГГА, 2006. С. 166-170.
4. Физико-географическая и геологическая характеристика Телецкого озера. / Ред. В. Селегей, Б. Дехандсхюттер, Я. Клеркс и др. Королевский музей Центральной Африки, Тервюрен, Бельгия. Тр. Департамента геологии и минералогии. - 2001. - 310 С.
5. Лужецкий, В.Г. Определение скоростей осадконакопления на озерах Байкал и Телецкое с использованием датировок ледниково-межледниковых стадий» [Текст]. / В.Г. Лужецкий // Материалы V1 Всероссийского совещания по изучению четвертичного периода «Фундаментальные проблемы квартера: итоги изучения и основные направления дальнейших исследований». – Новосибирск: Издательство СО РАН, 2009. – С. 371- 373.

© В.Г. Лужецкий, 2011

УДК 553.93+622.33 (571.51)

Г.Р. Монгуш

ТувИКОПР СО РАН, Кызыл

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В РЕСПУБЛИКЕ ТЫВА

Месторождения угля на территории Республики Тыва разведаны в Улуг-хемском каменноугольном бассейне. Добываемый каменный уголь используется исключительно в энергетических целях. В лаборатории инженерно-технологических проблем ТувИКОПР СО РАН разработаны эффективные инновационные технологии переработки каменного угля.

G.R. Mongush

Tuva Institute for Exploration of Natural Resources of the SB RAS (TuvIENR)

Internatsionalnaya str., 117a, Kyzyl, 667007, Resp. Tyva

PROBLEMS AND PERSPECTIVES OF COAL INDUSTRY IN TYVA REPUBLIC

Coal deposits in the territory of the Tyva Republic of are explored in the Ulug-Khem coal basin. Produced coal is used mainly for energy purposes. Laboratory, engineering and technological problems TuvIENR SB RAS has developed effective innovative technologies for processing of coal.

Известно, что запасы органического топлива, постоянно сокращаются. Каменный уголь является не только источником топлива для энергетики, но и ценным сырьем для металлургической промышленности. В связи с проблемами в добыче коксующихся углей в Кузбассе, появляется необходимость ввода в эксплуатацию других месторождений каменного угля, ранее не использовавшихся и находящихся в резерве. Таким источником металлургического сырья являются месторождения Улуг-Хемского угольного бассейна.

В Республике Тыва разведано несколько месторождений. Они сосредоточены в Улуг-хемском каменноугольном бассейне: Эрбекское, Элегесткое, Межегейское, Каа-хемское, Чихачевское и Юго-Восточная угленосная площадь. Всего запасов каменного угля Улуг-хемского каменноугольного бассейна 4017605 тыс. тон.

В Чаданской угленосной площади: Чаданское месторождение, Чангыз-Хадынское месторождение. Есть Актальская перспективная угленосная площадь месторождение Одегелдей. Также изучены Инитальская угленосная площадь и Онкажинская мульда. Общие запасы угля вне Улуг-Хемского бассейна составляют 68056 тыс.тон. (По состоянию 2007г.)

В составе этих месторождений обнаружены различные марки углей: Г-газовые, ГЖ-газовые жирные, Ж-жирные, КСН-коксовые слабоспекающиеся низкометаморфизованные, СС-слабоспекающиеся (отощенные), ОК энерг. каменные окисленные (окисленные каменные энергетические).

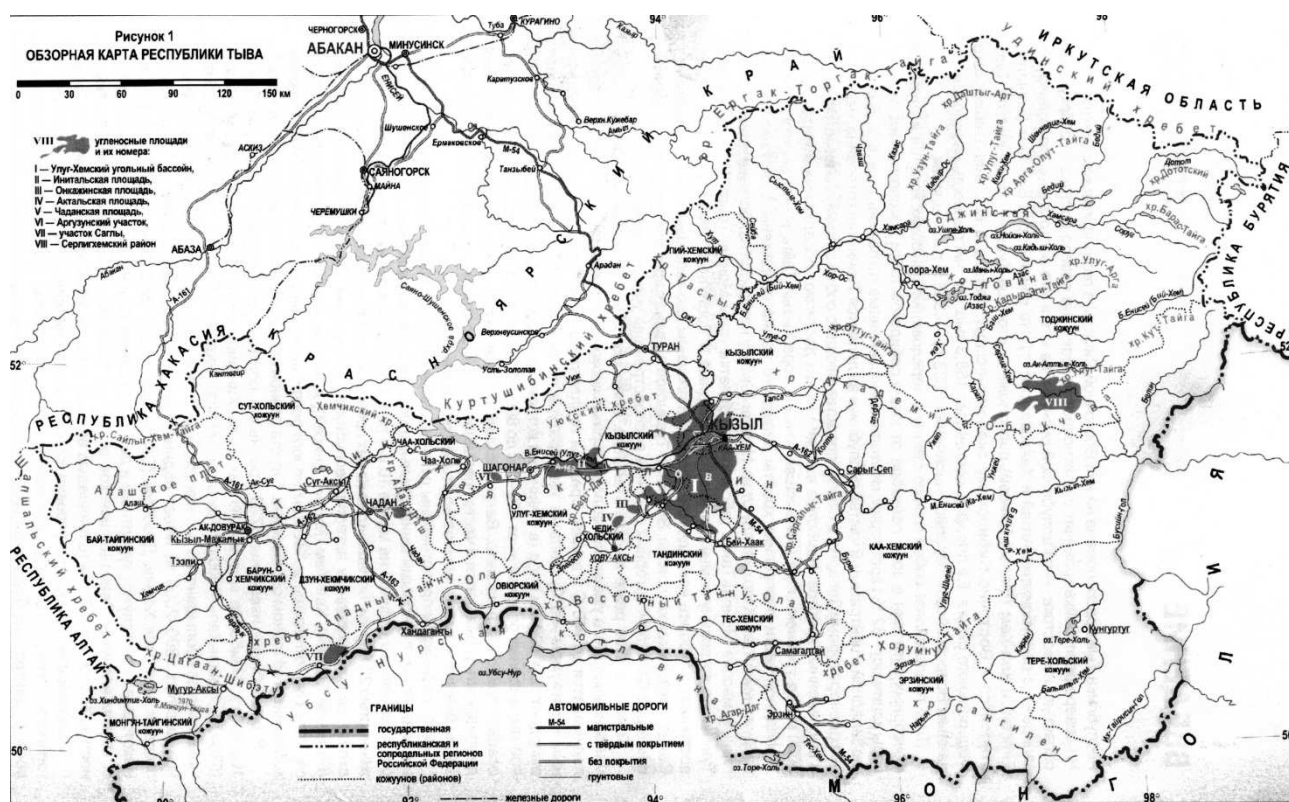


Рис. 1. Обзорная карта Республики Тыва. Угленосные площади

Применение угля

Применение угля многообразно. Уголь применяется как бытовое, промышленное энергетическое топливо, как сырье для металлургической и химической промышленности.

Применение угля в качестве топлива

Основная проблема энергетического применения угля состоит в высоком уровне выбросов от сжигания угля – газообразных и твёрдых (зола). В большинстве развитых стран, включая Россию, действуют жёсткие требования по уровню выбросов, допустимых при сжигании угля. Выходом из ситуации является использование различных фильтров (например, электрофильтров) в газоходах котлов, либо сжигание угля в виде водоугольных суспензий (Водоугольное_топливо). В последнем случае из-за более низкой температуры горения угля существенно (до 70%) снижаются выбросы оксидов NOx. Зола от сжигания углей, отходы добычи и переработки используются в производстве стройматериалов, керамики, огнеупорного сырья, глинозема, абразивов.

Уголь как сырье для металлургической промышленности

Пиролиз (Коксование, полукоксование) углей. Под коксованием в общем виде понимают сложный процесс превращения угля при нагреве до высоких

температур без доступа воздуха в кокс, полукокс. Осуществляется процесс как правило в коксовых печах (батареях).

Кокс используется как восстановитель в металлургии при выплавке железа. Из самого кокса изготавливают угольные электроды, пасты, анодную массу, блоки для алюминиевых электролизеров и др.

Сырье для химической промышленности

Каменный уголь является ценным сырьем для химической промышленности. В странах, не имеющих запасов газа и нефти, (особенно в Германии) из каменного угля получают многие химические виды сырья для промышленности, в том числе используемые для получения синтез-газа. Синтез-газ получают газификацией, а из синтез-газа получают чистые товарные продукты: бензол, толуол, ксилолы и др. Перспективным является сжижение (гидрогенизация) угля с образованием жидкого топлива. Для производства 1т нефти расходуется 2–3 тонны каменного угля. В зависимости от условий гидрогенизации (давление, температура, катализатор) органическую массу углей можно полностью перевести в жидкие углеводороды. Полученные продукты используются как искусственное жидкое топливо.

Применение угля для извлечения из него редких и рассеянных элементов

Металлургическими способами из каменного угля, в промышленных масштабах извлекают ванадий, германий, серу, галлий, молибден, цинк, свинец.

Каменный уголь также применяется для производства искусственного графита.

Его получают нагреванием смеси кокса и пека до 2800 °С.

Активированный уголь

Активированный уголь (активный уголь, «карболен») – пористое вещество, которое получают из различных углеродсодержащих материалов органического происхождения: древесный уголь, каменноугольный кокс, нефтяной кокс и др.

Исследования углей Республики Тыва

Основное применение угля в настоящее время – энергетическое. Разработка месторождений ведется открытым способом (разрезы «Каа-Хемский», «Чаданский», «Элегестинский»). Предварительная технологическая обработка угля в настоящее время отсутствует. Из-за большого содержания «летучих» (неконденсируемые газы, каменноугольная смола) и склонности к спеканию слоевое горение тувинских углей в котлоагрегатах сопровождается высоким химическим недожогом. Резко континентальный климат и географические условия – расположение населенных пунктов республики в межгорных котловинах, своеобразная «инверсионная крышка», препятствуют перемешиванию воздушных масс и очищению воздуха.

Тувинские угли марки Г, ГЖ газифицируются с высоким выходом газовых продуктов. Однако кокс, получаемый из этих углей имеет недостаточную механическую прочность, что ограничивает применение данного угля для замещения выбывающих месторождений. Улучшение прочностных характеристик кокса возможно при проведении процесса коксования при повышенных давлениях с возможностью деструкции газовой составляющей на образующемся коксе как катализаторе этого процесса.



Рис. 2. Инверсионная «крышка» над г. Кызылом концентрирует выбросы энергетических устройств в городской зоне

В лаборатории инженерно-технологических проблем ТуВИКОПР СО РАН разработаны эффективные инновационные технологии переработки каменного угля.

Создали технологию, позволяющая получать из каменных углей экологически более безопасный вид топлива угольного происхождения «бездымное топливо», для снижения ущерба окружающей среде от угольной энергетики.

Разработали модульную установку, позволяющую комплексно получать электроэнергию, тепло и кокс, т.е. вести глубокую энерготехнологическую переработку угля, что соответствует мировым тенденциям в углепереработке. Перспективными являются также исследования возможностей применения коксового газа в качестве топлива для двигателей.

Стратегия развития угольной отрасли Республики Тыва, разработанная Тувинским институтом комплексного освоения природных ресурсов СО РАН, предусматривает выбор более эффективных направлений её развития с целью более полного использования угольного потенциала республики для улучшения социально-экономической ситуации в республике. Рекомендовано создать энергохимическое производство глубокой переработки каменного угля для получения ценных товарных продуктов (адсорбентов, ферросплавов, бытовых топливных брикетов, неэтилированного автобензина, авиационного керосина, водяного пара, тепло/энергии, пропан – бутана).

Целесообразность реализации этой программы определяется необходимостью повышения рентабельности топливно-энергетического комплекса и снижения дотационности республики, уменьшения загазованности воздушного бассейна населенных пунктов.

Заключение

В ОАО «ТГРК» добычные работы производятся открытым способом по комбинированной схеме на Каа-Хемском месторождении и автотранспортной – на Чаданском. В ЗАО ЕПК уголь добывается шахтным способом. Добываемый каменный уголь на территории Тувы используется исключительно в энергетических целях. Основными потребителями являются Кызылская и Ак-Довуракская ТЭЦ (40 % от общего объема поставки), котельные РПП «Тувкоммунэнерго» (12 %) и Республиканская контора по реализации топлива, которая поставляет уголь бюджетным учреждениям и населению (до 30 %). Несмотря на наличие на территории республики больших, разведанных запасов высококачественных углей, угольная отрасль не получила достаточного развития, что обусловлено рядом проблем:

- Отсутствие необходимой транспортной инфраструктуры, в первую очередь – железной дороги, из-за чего невозможны крупнотоннажные перевозки на дальние расстояния;

- Объем добычи жестко привязан к объему потребления местных предприятий и организаций, а также ее населения. В настоящее время экономически весьма затратными являются как завоз всех видов продукции в Туву, так и вывоз добываемого каменного угля и других видов сырья за пределы республики на автотранспорте;

- Потребителями угля в Туве, которые своевременно рассчитываются с угледобывающим предприятием, являются бюджетные учреждения, организации и различные получатели социальных трансфертов (инвалиды, ветераны и др.), а структура потребления угля (25-28 % от общего объема поставки угля) является Государственным заказом Правительства Республики Тыва;

- Финансово-экономическое положение основных потребителей угля в республике находятся в кризисном состоянии.

© Г.Р. Монгуш, 2011

ВЕРОЯТНЫЕ ИСТОЧНИКИ ПРОЯВЛЕНИЯ НОВЕЙШИХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ И ЕЁ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТЬ

В статье сделано предположение о существенном влиянии за неоген-четвертичный этап активности земной коры в районах Балтийского, Анабарского и Канадского щитов на волновой характер в работе рельефообразующих процессов.

P.S. Lapin

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS (IPGG)
Acad. Koptyug av.3, Novosibirsk, 630090, Russian Federation

PROBABLE SOURCES OF THE LATEST MANIFESTATIONS OF GEOLOGICAL PROCESSES IN WESTERN SIBERIA AND ITS OIL END GAS

In this article made the assumption of significant effects for the Neogene-Quaternary phase of activity of the crust in the Baltic, Anabar and Canadian shields on the wave nature of the work of relief-forming processes.

В 60-70 годы в рамках интенсивно развивающейся в тот период антиклинальной модели развития мезо-кайнозойского чехла Западной Сибири были проведены детальные исследования рельефа Сибири и Дальнего Востока. Большое внимание уделялось установлению соответствия структурного плана рельефа земной поверхности с неоднородностями мезо-кайнозойского чехла. В пределах Западно-Сибирской равнины Ю.А. Мещеряковым [1] отмечена общность в характере деформаций поверхности

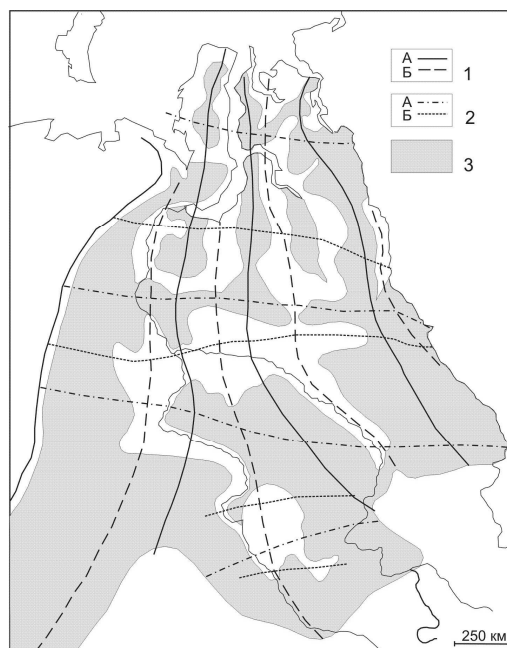


Рис. 1. Система меридиональных и широтных орографических волн Западно-Сибирской равнины [1]:

1 – поднятия (А) и прогибы (Б) субмеридионального направления; 2 – поднятия (А) и прогибы (Б) субширотного направления; 3 – плато, возвышенности и наклонные равнины

плиты и орографического плана дневной поверхности и выделена система меридиональных и широтных орографических волн (рис. 1). По его мнению, молодые волнообразные деформации широтного направления подтверждают «большой закон распределения нефтяных месторождений» И.М. Губкина.

Геоморфологические методы традиционно являются составной частью геолого-разведочных работ, и, прежде всего – их морфоструктурное направление, которое на протяжении многих лет применялось в рамках антиклинальной модели развития мезо-кайнозойского чехла. Наши исследования осуществляются в рамках системно-формационного подхода, что позволяет оценивать результат взаимодействия эндогенных и экзогенных сил. Данный подход не укладывается в рамки антиклинальной модели развития мезо-кайнозойского чехла Западной Сибири, а относится к прямым методам, на необходимость разработки которых было указано А.А. Трофимуком [2]. В настоящее время, среди геофизических методов начинают появляться разработки [3] связанные с прямыми методами поиска нефти и газа. Необходимость их определяется сложностью учета неоднородностей в верхней части разреза.

Работы Ю.А. Мещерякова для нас послужили отправной точкой в исследование неоднородности проявления геологических процессов за неоген-четвертичный этап. Наибольший интерес вызывал анализ глубинных процессов [4], которые проявляются в литодинамических потоках А.Н. Флоренсова. Глубинные процессы имеют различную природу. Они фиксируют физические, химические или биологические изменения, происходящие в глубинных слоях чехла, и, по мнению Д.А. Тимофеева [2], проявляются в формах и элементах земной поверхности.

В результате ранее проведенного исследования [5] выявлена система широтных и долготных волн, которая характеризует проявления работы современных геологических процессов. Предполагалось [5], что работа современных геологических процессов является надпорядковой характеристикой по отношению к областям денудации и аккумуляции, зонам поднятий и опусканий, а проявляющиеся в центральной части Западно-Сибирской плиты широтные и долготные волны, накладываясь, друг на друга, позволили нам выделить сегмент, в пределах которого сосредоточены почти все крупные месторождения нефти.

В настоящей работе решение одной из основных задач связано с выявлением источников колебательных движений, которые предопределяют работу рельефообразующих процессов. Выявив источники колебательных движений можно с большей степенью уверенности говорить: 1) о существовании литодинамических потоков и фиксации перемещения вещества и по вертикали и по горизонтали; 2) об их глубинной природе и влиянии на внутреннюю структуру нефтегазоносных областей; 3) о перемещении литодинамических потоков в пределах областей и формировании тел перспективных на нефть и газ, поскольку они тесным образом связаны с физико-механическими свойствами горных пород.

Осуществив региональные построения (рис. 2), и проследив фронт как широтных, так и долготных волн, можно сделать предположение об активной роли территорий, расположенных рядом со щитами (Анабарский, Балтийский и Канадский). Анабарский щит является типичным выступом кристаллического фундамента Сибирской платформы. Гравитационное и магнитное поля являются достаточно близкими по рисунку и хорошо согласуются с геологической картой. Формирование Балтийского щита как обособленной тектонической структуры началось еще в докембрии. В его пределах активно проявили себя неотектонические движения неоген-четвертичного времени, обеспечившие общее поднятие территории, которое фиксируется и современными движениями. Канадский щит занимает северо-восточную часть континента Северной Америки. Поле магнитных аномалий более контрастно и связано с геологической структурой. Однако такое сопоставление выявленных волн со щитами является субъективным из-за отсутствия достаточно объема информации.

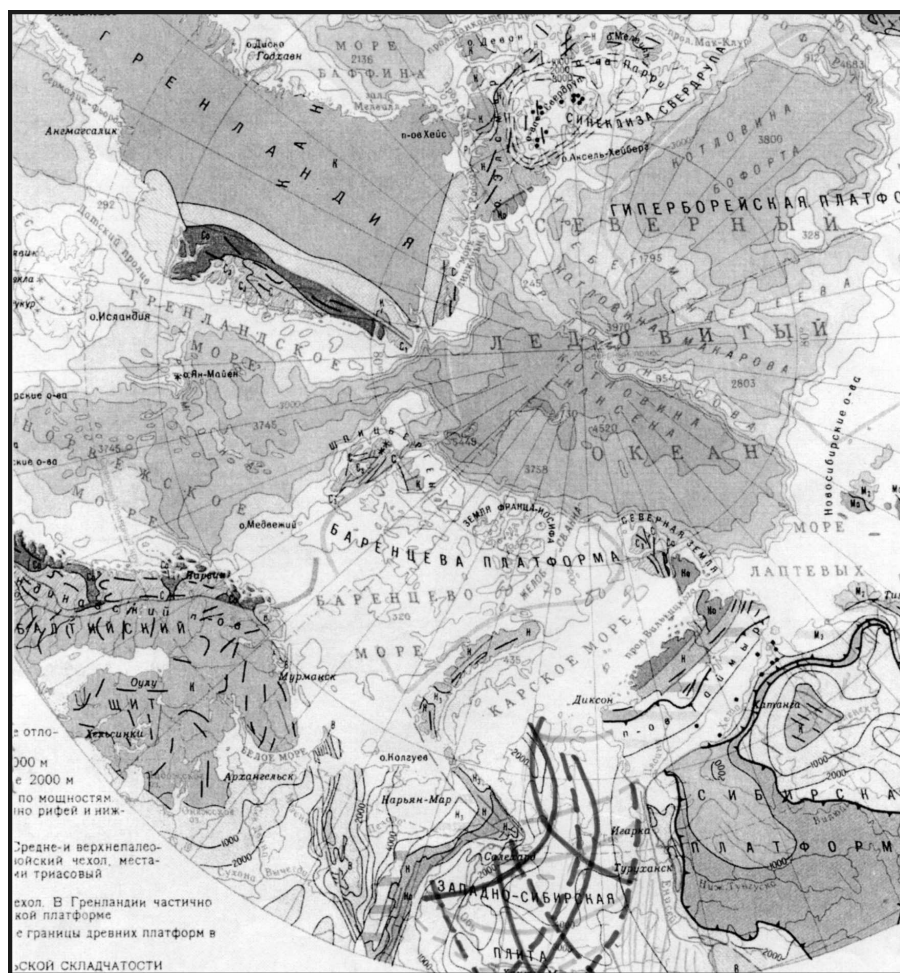


Рис. 2. Система меридиональных и широтных волн глубинных рельефообразующих процессов за неоген-четвертичный этап [5]. Пояснения в тексте

Необходимо использовать дополнительные свойства, которые в земной коре раскрывали бы источники и волновой характер проявления его элементов.

Осуществив анализ, нами установлено, что большее соответствие выявленных волн наблюдается с изменением региональных магнитных аномалий. В работе [6] проведён детальный анализ региональных магнитных аномалий на территории России и выделено две региональных магнитных аномалий: Волжская и Тунгусская. Региональные аномалии выделялись в связи с исследованием Тунгусского геокона – кольцевой мегаструктуры.

Тунгусский геоком (рис. 3) уникален масштабами своего внешнего воздействия, он характеризует фрагменты планетарных линеаментов Евразии и соизмерим с Тихоокеанским огненным кольцом. Для нас определяющими явились наличие линеаментов, совпадающих с широтными волнами, и источника, находящегося в районе Анабарского щита. При сопоставлении большее значение имеет не определение местоположения источника, а совпадение характера проявления магнитных аномалий и работы рельефообразующих процессов.

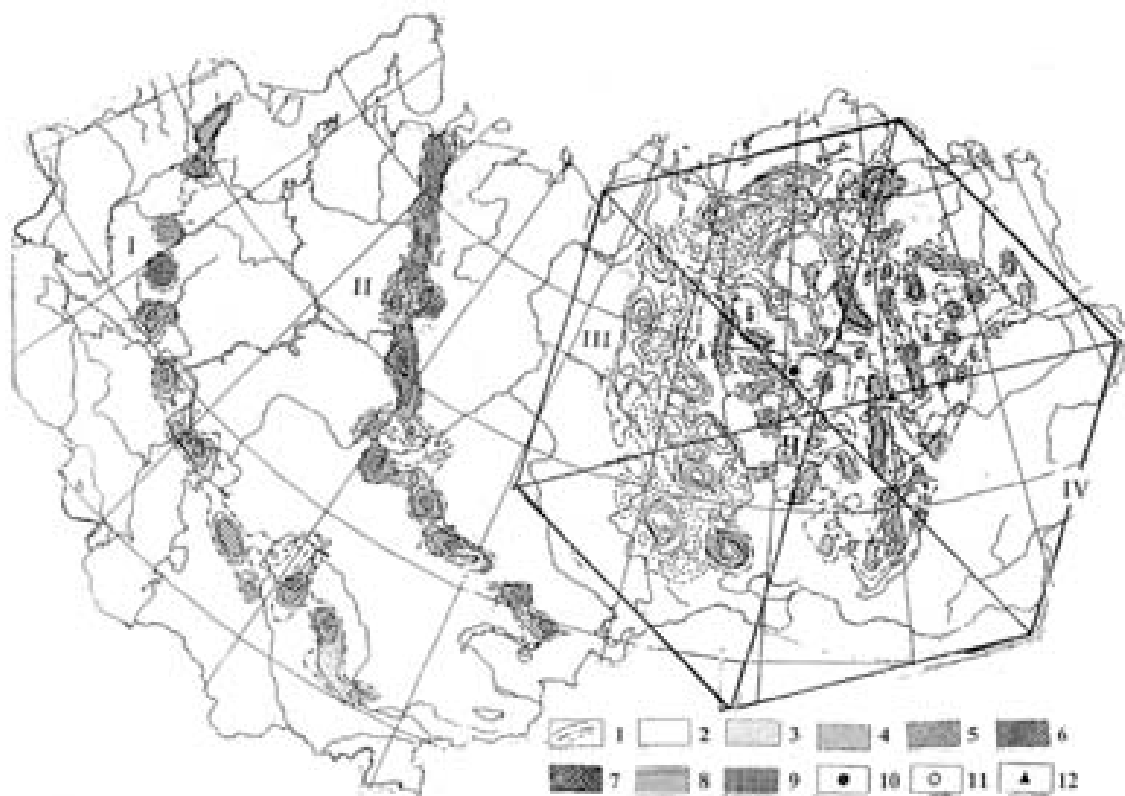


Рис. 3. Тунгусская кольцевая региональная аномалия ΔH_T ср (III) и концентрические дуги [6]:

I – Курско-Аральская, II-Канин-Балхашская; IV – Тунгусский гексагон; А и Б – Ангарский и Байкитский двойники; Ч – Чадобецкая аномалия; 1 – изодинамы ΔH_T ср (+, 0, -); 2 – 9 – градации увеличения интенсивности ΔH_T ср; 10 и 11 – центры внешнего и внутреннего колец Тунгусского геокона; 12 – центр Азиатской материковой геомагнитной аномалии

Как известно, магнитные аномалии связаны с особенностями движения вещества в ядре Земли, то есть входят в главное геомагнитное поле.

Региональные магнитные аномалии, охватывающие площадь 1–10 тысяч км², вызываются особенностями строения земной коры (главным образом кристаллического фундамента). Проявление работы рельефообразующих процессов за неоген-четвертичный этап тесным образом связано с литодинамическими потоками, которые оказывают большее влияние на развитие мезо-кайнозойского чехла. Таким образом, волновой характер работы рельефообразующих процессов за неоген-четвертичный этап отражает вертикальную и горизонтальную составляющую литодинамических потоков, и может быть использован при прогнозных оценках нефтегазоносности. В данном случае – нефтегазоносных областей. Нами осуществлен анализ Фроловской НГО и в её пределах выделен благоприятный интервал проявления нефтегазоносности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мещеряков Ю.А. Рельеф СССР. – М.: Мысль, 1972. – 520 с.
2. Трофимук А.А. Первые результаты применения методов прямых поисков и разведки нефтяных и газовых месторождений в Сибири//Вестник АН СССР. – 1981.- № 11. - С. 11-23.
3. Гик Л.Д., Конторович В.А. Изучение месторождений углеводородов по критерию декремента затухания/ Том 2. Недропользование. Горное дело. Новые направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Материалы международной конференции «ГЕО-Сибирь-2009»/ СГГА - Новосибирск, 2009. - С. 172-178.
4. Тимофеев Д.А. Принципы типизации геоморфологических процессов // Геоморфология. – 2004. - № 4. – С. 16-20.
5. Лапин П.С. Современные геологические процессы и нефтегазоносность Западной Сибири/ Том 2. Недропользование. Горное дело. Новые направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Материалы международной конференции «ГЕО-Сибирь-2009»/ СГГА - Новосибирск, 2009. - С. 24-29.
6. Жеребченко И.П. Феномен Тунгусского геоконя/ 90 лет Тунгусской проблемы. Материалы конференции, Красноярск. - 1998 - <http://tunguska.tsc.ru/ru/science/conf/1998/7/2/>

© П.С. Лапин, 2011

УДК (552.578.2.061.4:551.72):551.8(571.5)

Т.А. Данькина

ФГУП «СНИИГГиМС», Новосибирск

ЛИТОЛОГИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОРОД-КОЛЛЕКТОРОВ В БОТУОБИНСКОМ НЕФТЕГАЗОНОСНОМ ГОРИЗОНТЕ ВЕНДА СЕВЕРО- ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ НЕПСКО-БОТУОБИНСКОЙ АНТЕКЛИЗЫ

В статье приводятся данные литологического изучения и коллекторских свойств пород нефтегазоносного горизонта терригенного венда на северо-востоке Непско-Ботуобинской антеклизы.

T.A. Dankina

Federal State Unitary Enterprise «Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources» (FGUP «SNIIGGiMS»)

67 Krasny Pr., Novosibirsk, 630091, Russian Federation

LITHOLOGICAL COMPOSITION OF TERRINOUS RESERVOIR IN THE PETROLIFEROUS BOTUOBINSKIY HORIZON IN NORTH-EASTERN PART OF NEPA BOTUOBA ANTECLISE

The paper reports on the results of lithological study given to reservoir rocks in north-eastern part of the Nepa Botuoba antecline.

Район исследования расположен на северо-востоке Непско-Ботуобинской антеклизы (рис.1) и включает в себя Мирнинскую группу месторождений и зону сочленения северо-восточной части Мирнинского выступа НБА с юго-западной частью Ыгыаттинской впадины Вилуйской синеклизы (Кугасская скв. 364-0).

Объектом настоящего исследования являлись вендские алевролитопесчаные породы ботуобинского нефтегазоносного горизонта.

В задачи исследования входило определить литологический состав и распределение пород - коллекторов. В процессе выполнения работы были использован комплекс литологических методов (анализ описаний керн и пород в шлифах с привлечением данных ГИС по 28 скважинам).

Перспективы открытия в данном районе новых залежей, приуроченных к отложениям терригенного венда, весьма высоки, что и определяет актуальность их дальнейшего изучения.

Стратиграфическое положение ботуобинского нефтегазоносного горизонта в принятой МСК в 1988 г. стратиграфической схеме [3] определяется как «надразмывный» горизонт, залегающий в нижней части бюкской свиты венда. Ботуобинский горизонт формировался преимущественно в условиях прибрежного мелководья, о чем свидетельствует хорошая сортировка и

окатанность компонентов пород, а в большинстве прослоев породы имеют минимальное содержание цемента [2].

Ботуобинский горизонт в пределах Мирнинской группы месторождений имеет общую мощность от 4 до 17 м (чаще 10-12 м), эффективную от 4 до 15 м (чаще 9-11 м).

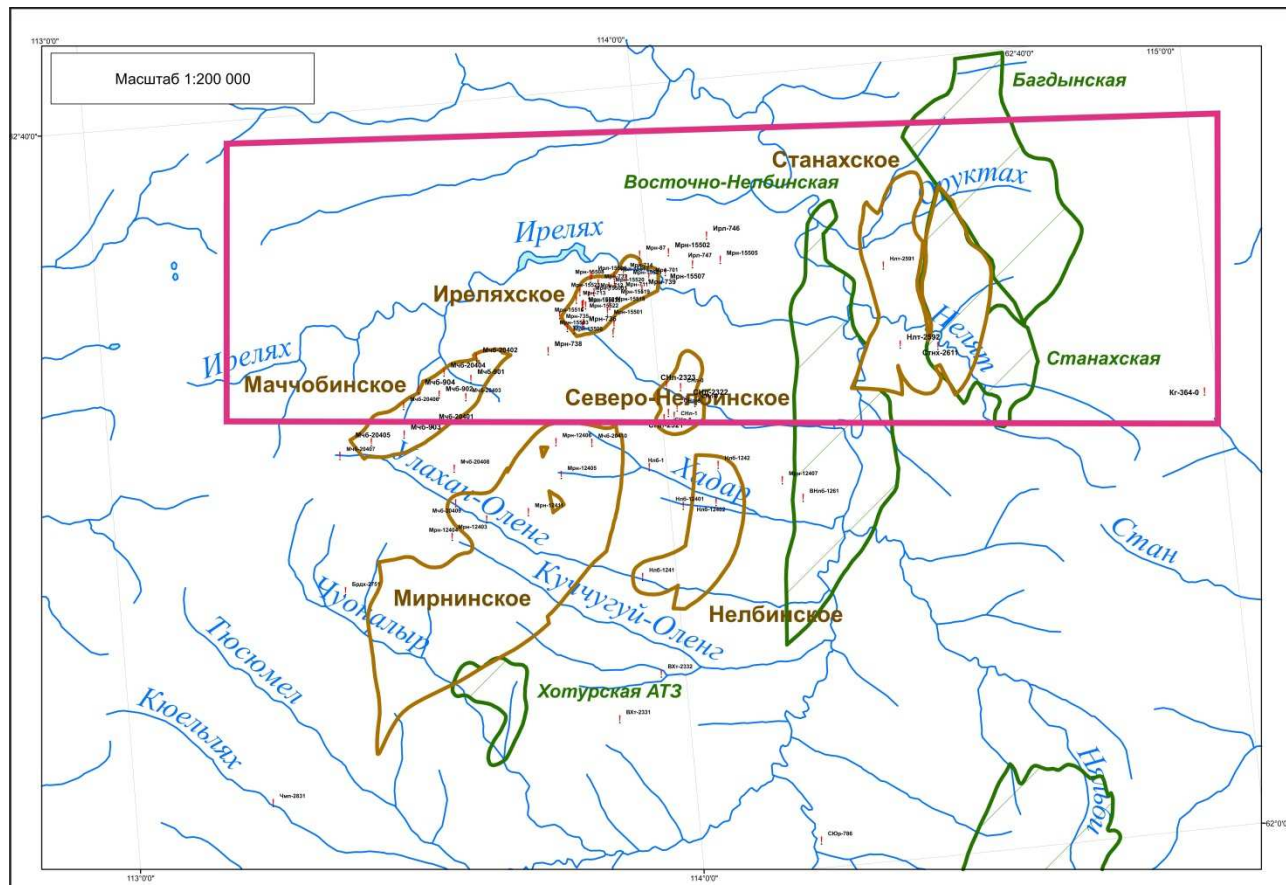


Рис. 1. Обзорная карта района исследования

Наиболее пониженные мощности (4-8м) ботуобинского горизонта фиксируются в районе Магчобинской, южной части Северо-Нелбинской площадей, увеличиваясь по мощности в восточной части Иреяхской площади, а также в зоне сочленения северо-восточной части Мирнинского выступа НБА с юго-западной частью Ыгыаттинской впадины Вилукой синеклизы (скв. Кугасская 364-0).

В пределах большей части изученных площадей горизонт имеет сравнительно однородное строение с тенденцией увеличения обломочного материала снизу вверх по разрезу. В кровле горизонта в некоторых разрезах отмечается прослой грубозернистых песчаников с гравийной примесью и кварцевой галькой до 8 мм. Сравнительно часто в нижней части горизонта появляются прослои алевролитов до 1-3м с тонкими прослоями аргиллитов.

По вещественному составу песчаники полевошпат-кварцевые, прослоями мономинеральные (кварцевые). Зерна кварца (87-92%), в основном, прозрачные, иногда с точечными минеральными включениями, хорошо окатанные, спорадически полуокатанные, послойно с регенерационными

каемками. По морфологическим особенностям встречаются зерна сферической, удлинённо - эллипсоидальной, овальной формы, реже изометрической. Среди полевых шпатов (2-13%) доминируют калиевые (в основном, микроклин), в подчинённом количестве присутствуют плагиоклазы кислого состава. Обломки пород встречаются редко (до 1-2%) представлены преимущественно микрокварцитами массивной и сланцеватой структуры, спорадически гранофирами (скв. 711).

Для ботубинского горизонта характерен устойчивый набор компонентов терригенно - минералогического комплекса тяжелой фракции. Он представлен магнетит, ильменит-гранат- турмалин-цирконовым комплексом со шпинелью, минералами группы эпидота. Показатель фациально-динамических условий осадконакопления и гидроаэродинамический коэффициент зрелости терригенно - минералогических ассоциаций (ТМА) пород ботубинского горизонта по М.Т. Бергеру [1] колеблется от 6 до 14, что по шкале гидроаэродинамической зрелости ТМА отнесен к высокой и очень высокой. Отношения циркона к турмалину (гидравлический коэффициент) колеблется от 1,5 до 4, локально 10, что позволяет предполагать, что степень удаления источников сноса не была значительной, а повышенное количество минералов группы граната в породе, которые преимущественно концентрируются в мелко-среднезернистых песчаниках, свидетельствует об активных денудационных процессах в области сноса. На исходные породы источников сноса (питающих провинций) в значительной мере оказывали влияние тектонические процессы, которые контролировали распределение областей размыва и осадконакопления, интенсивность протекания этих процессов, глубину эрозионного среза в пределах областей сноса и выход на дневную поверхность пород того или иного состава. В последующем осуществлялся перенос обломочного материала различными путями (водным, эоловым, и другими). На минеральном комплексе тяжелой фракции сказались такие факторы как степень удаленности областей аккумуляции от питающих провинций и условия захоронения их в бассейне осадконакопления. Выявленные в тяжелых фракциях минералы-индикаторы позволяют говорить, что в питающих провинциях разрушались петрографические типы пород гранитоидного, базитового, метаморфического ряда, роль которых весьма существенна.

Ботубинский горизонт сложен, преимущественно, песчаниками крупно-среднезернистыми и мелко-среднезернистыми, до разномасштабных с гравелистой составляющей и тонкими прослоями гравелитов в верхней половине разреза. Характерной особенностью гравелито-песчаных пород кровли - их оолитообразный облик. Нижняя часть горизонта складывается, преимущественно, мелко -, реже среднезернистыми песчаниками, в отдельных разрезах с прослоями алевролитов и аргиллитов.

При детальном изучении литологических типов разрезов на Мачобинской, Иреляхской и Северо-Нелбинской площадях по гранулометрическим показателям пород в ботубинском горизонте выявлено, что наиболее грубозернистое строение с повышенным количеством фракций более 0,25 мм отмечается в северо-западной части Мачобинского

месторождения (скв. 904, 20404). Для юга Маччобинского, северной половины Иреляхского и восточного склона Северо-Нелбинского месторождений характерно уменьшение грубо- и крупнозернистых фракций в породах (1,0-0,25мм) с 70% до 45%, повышена роль мелкозернистых песчаных и, в значительной мере, алевритовых крупнозернистых фракций. Послойно отсортированность пород увеличивается до 4. На западе Северо-Нелбинского месторождения в литологических разрезах скважин породы имеют высокое содержание мелкозернистых фракций (в среднем более 55%, локально до 80%), иногда с повышенным количеством мелкоалевритовой составляющей до 25%, при значениях крупноалевритовой фракции до 30-60%.

Особенностью песчаников ботубинского горизонта являются почти полное отсутствие, либо невысокое содержание первичного глинистого цемента (не более 2%) контактово-порового, реже порового типов. В нижней половине горизонта изредка встречаются единичные песчано-алевролитовые прослои с базально-поровым, поровым цементом хлорит-гидрослюдистого состава. В песчаниках ботубинского горизонта доминируют хомогенные типы цементов: кальцитово-доломитовый и гипс-ангидритовый, иногда в сочетании с пиритом и регенерационным полевошпат-кварцевым. Породы, имеющие наименьшее количество в цементе кальцита (менее 3%), ангидрита 3-5%, выделяются полосообразно в южной половине Маччобинской и узкой полосой на Иреляхском месторождении. Ангидрит призматический, таблитчатой и неправильной формы с размером зерен 0,2-0,3мм с пятнистым заполнением пор в породе. В ассоциации с ангидритом в породах присутствует в виде отдельных зерен или мелких скоплений пирит. Имеются микротрещины, залеченные ангидритом. Кальцит мелко-, крупнозернистый, более позднего образования, заполняет поровое пространство участками, имея лишь локальное распространение. В северной и южной части Маччобинского, Иреляхского месторождений и южной части Северо- Нелбинской площади (скв. 903, 713, 737, 2323, 2321) в цементе содержание кальцита варьирует от 2% до 5%, доломита- около 3%, ангидрита до 5%. В песчаниках центральной части Маччобинской (скв. 902), Северо- Нелбинской площади (скв.2322), центральной и восточной части Иреляхской (скв. 736,714,15507 и т.д.) выявлено содержание доломитового цемента от 3 до 8%, ангидритового до 10%. Повышенное содержание кальцита до 5%, доломита более 10%, ангидрита 5-10% характерно для пород северной части Маччобинской площади (скв.904). При региональном распространении в верхней части горизонта (в основном кровля) отмечаются плотные песчаники и гравелито-песчаные разности с базальным, базально-поровым цементом. Часто карбонатно-сульфатный цемент встречается в сочетании с пиритом и битумом, иногда с глинистым материалом. Полевошпат-кварцевый цемент наблюдается обычно в виде прерывистых и сплошных регенерационных каемок шириной 0,1мм вокруг обломочных зерен.

На основании анализа по литологическим, коллекторским параметрам и постседиментационным преобразованиям выявлено, что лучшие породы-коллекторы преимущественно II-III классов с прослоями IV-VI с открытой пористостью 15-20% локально фиксируются в юго-западной части Иреляхской

площади (скв. 738). Они сложены песчаниками средне-, крупнозернистыми до разномзернистых с почти полным отсутствием или незначительным количеством хемогенных цементов. Свободных пор много (около 15%), часто сообщающихся с помощью узких каналов. Форма пор овальная, треугольная, сложно изрезанных контуров. Для большей части пород Маччобинского, Иреляхского месторождений и северной части Северо - Нелбинской площади характерно преобладание коллекторов III с прослоями IV-V классов проницаемости, с открытой пористостью от 12 до 20%. ФЕС песчаников однотипны по разрезам, с равномерным распределением коллекторов близкой емкости и проницаемости. Лишь в кровле пласта повсеместно прослеживается резкое снижение класса коллекторов до VI. В отдельных случаях (скв. 2322) отмечается понижение класса коллекторов в нижней части разреза, что обусловлено содержанием в породах повышенного количества вторичного цемента (10-15%), полностью запечатывающего поровое пространство. Максимально низкими ФЕС (коллекторы V-VI с прослоями III- IV классов и непроницаемых), с пониженной пористостью от 5% до 10% обладают породы в северо-западной и западной частях Маччобинской площади, что также обусловлено повышенным содержанием доломитового, в меньшей степени ангидритового цементов.

Кугасская параметрическая скважина пробурена в северо-восточной части Непско-Ботубинской антеклизы и административно входит в состав Республики Саха Якутия [2].

Ботубинский горизонт имеет мощность 21м и подразделяется на три пачки. В составе нижней пачки (интервал 2714-2717,0м) песчаники все алевритистые и алевролиты песчаные, крупно-мелкозернистые кварцевые. Отличительной особенностью в ней является наличие более мелкозернистых типов пород, в которых послойно повышено содержание цемента. В алевролитах появляется слюдистость. В средней пачке (2697-2714,0м) отмечается минимальное количество цемента (2-5%) и наличие пленок глинисто-органического вещества. Доминируют песчаники мелко-среднезернистые до разномзернистых. Отмечено, что лучшие коллекторские свойства имеют песчаники средней пачки (пористость 5-23%). В верхней пачке (2696-2697,0м) преобладают разномзернистые и средне-крупнозернистые песчаники с повышенным содержанием в них вторичного цемента (18-31%). Он доломитового и гипс-ангидритового состава. По вещественному составу это преимущественно кварцевые песчаники с доминирующим содержанием кварца 98-100%. Минералогический состав тяжелой фракции песчаников ботубинского горизонта характеризуется биотит-турмалин-цирконовым комплексом с содержанием циркона до 55%, турмалина- 18,3%, биотита 9%. В подчиненном количестве присутствуют зерна сфена, ильменит, магнетита, шпинели, рутила, граната.

Выводы

Литологические критерии выявления улучшенных пачек пластов-коллекторов являются важнейшей задачей. Фильтрационно-емкостные свойства пород-коллекторов ботубинского горизонта в пределах изученных площадей

сравнительно высокие, а их ухудшение в ряде случаев обусловлено послойным повышением содержания хемогенных цементов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бергер М.Г. Терригенная минералогия. – М.:Недра, 1986. – 225 с.
2. Солодовникова А.В., Данькина Т.А., Чернова Л.С. Литолого-минералогическая характеристика и качество коллекторов терригенного комплекса Кугасской параметрической скважины 364-0 [Текст] / / III Всероссийская научная конференция молодых ученых и специалистов” Молодые в геологии нефти и газа”, 21-23.03.11 года: Тез. докл. / ВНИГНИ. – Москва, 2011. – в печати.
3. Решения четвёртого Межведомственного регионального стратиграфического совещания по уточнению и дополнению стратиграфических схем венда и кембрия внутренних районов Сибирской платформы. Новосибирск, 1989. 64 с.

© Т.А. Данькина, 2011

УДК 552.578.2061.4(571.1)

А.Л. Бейзель

ИНГГ СО РАН, Новосибирск

ИНВЕРСИОННАЯ МОДЕЛЬ ЦИКЛОГЕНЕЗА: ИНТЕРПЕТАЦИЯ ТРАНСГРЕССИЙ И РЕГРЕССИЙ

На основе разработанной ранее инверсионной модели циклогенеза пересматривается интерпретация морских трансгрессий и регрессий (ТР). Они делятся на две группы, соответствующие первой и второй фазам географического цикла. Эти группы ТР принципиально различаются между собой и совершенно по-разному ведут себя во времени и пространстве.

A.L. Beisel

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS (IPGG)

Acad. Koptyug av. 3, Novosibirsk, 630090, Russian Federation

AN INVERSION MODEL OF THE CYCLOGENESIS APPLIED FOR THE TRANSGRESSIONS AND REGRESSIONS INTERPRETATION

An inversion model of cyclogenesis based on the concept of a geographical cycle (GC) has been developed. The cycle is presented by phases of relief rejuvenation due to tectonic movements and its subsequent alignment under action of surface factors. Transgressions and regresses are subdivided on two groups connected with first or with second phases of GC. They have essentially different nature and absolutely differently behave in time and space.

В последние годы автором разрабатывается инверсионная модель циклогенеза, основанная на концепции географического цикла (ГЦ). Они представлены фазами омоложения рельефа (изменения структурного плана) за счет тектонических движений и последующего его выравнивания под действием экзогенных факторов. Эти две фазы различаются на глубоком термодинамическом уровне – первую можно представить себе как стадию поступления эндогенной энергии в экзосферу, а вторую – как стадию диссипации этой энергии. Трансгрессии и регрессии (ТР), равно как и большинство других геологических процессов и явлений, разделяются на две группы, связанные с первой либо со второй фазами ГЦ. Соответственно, они глубоко различаются между собой по своей природе и совершенно по-разному ведут себя в геологическом времени и пространстве. Вслед за Н.Б. Вассоевичем эти группы ТР можно назвать мутационными и миграционными. Тектонически обусловленные (мутационные) ТР происходят очень быстро, в геологическом масштабе времени мгновенно, и они выражаются в разрезах в виде разнообразных поверхностей несогласий. Иначе говоря, они не представлены в

разрезах слоями, пачками или системными трактами, т.е. имеют «нулевую» мощность. Отсюда следует, что «мутационные уровни» будут изохронными поверхностями. На континентах им отвечают поверхности выравнивания, а в морских разрезах – аналоги поверхностей выравнивания, совпадающие с подошвами регионально выдержанных глинистых толщ. Миграционные регрессии и трансгрессии развиваются в течение всего цикла и образуют литологические границы, скользящие от подошвы до кровли цикла. Вместе с тем, миграционные тренды состоят из наборов циклов низшего порядка, т.е. миграции при ближайшем рассмотрении состоят из последовательностей тектонических «микрособытий», однако здесь данный аспект не рассматривается.

Самая общая схема формирования мутационных ТР показана на рис. 1. Здесь представлен исходный немасштабный высотно-батиметрический профиль (а) и три варианта его преобразования дифференцированными тектоническими движениями. Это и есть омоложение рельефа: область источников сноса испытывает подъем, а осадочный бассейн опускается. Данные движения происходят одновременно, и их можно рассматривать как взаимно компенсационные. Во всех трех случаях направленность и амплитуда тектонических движений одинаковы, они различаются только положением шарнира наклоняющейся поверхности относительно береговой линии. Если шарнир находится между береговой линией и воздымающимся источником сноса (1б), то происходит трансгрессия; если шарнир расположен в пределах морского бассейна (1в), то имеет место регрессия; если же шарнир примерно совпадает с береговой линией (1г), то она смещаться не будет.

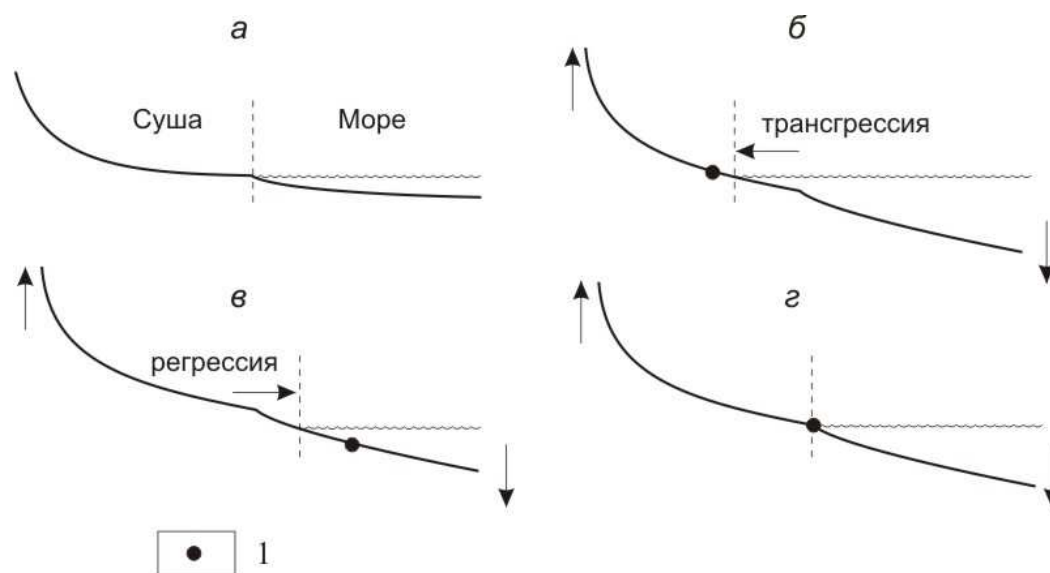


Рис. 1. Принципиальная схема образования событийных трансгрессий и регрессий при подъеме горной страны в сочетании с компенсационным погружением прилегающей территории (объяснения в тексте).

1 - шарнир наклоняющейся поверхности

Для всех перечисленных на рис. 1 вариантов имеются геологические примеры на материале Западной Сибири и за ее пределами. Тектонически

обусловленная трансгрессия имела место, например, в подошве васюганского горизонта, аналогичная регрессия – в подошве китербютского горизонта, а «нейтральный» вариант – это так называемая баженовская трансгрессия, когда углубление бассейна произошло при неизменных контурах бассейна. Следует заметить, что в таком крупном осадочном бассейне как Западносибирский все три варианта могут иметь место одновременно. Тектонические движения в разных источниках сноса могут происходить в разное время и иметь противоположную направленность. Хорошим примером такого рода может служить также Енисей-Хатангский прогиб. Разными исследователями отмечалось, что Таймыр и Сибирская платформа часто работали в «противофазе» - оживление сноса с одного источника сноса сопровождалось его затуханием на другом и наоборот.

Колебания уровня моря имеют самое непосредственное отношение к трансгрессиям и регрессиям. При наличии вертикальных тектонических движений в прибрежной зоне относительный уровень моря изменяется по определению. Однако, в случае «в» на рис. 1 возникает вопрос – где брать точку отсчета для определения колебаний? Слева от шарнира происходит падение уровня моря, а справа – его повышение. Игнорирование этих соотношений приводит к противоречиям при разработке кривых колебания уровня моря конкретных бассейнов и особенно при межбассейновых сравнениях.

Миграционные ТР формируются на стадии выравнивания рельефа и в целом обусловлены балансом материала в береговой зоне. Общая схема формирования этих ТР представлена на рис. 2.

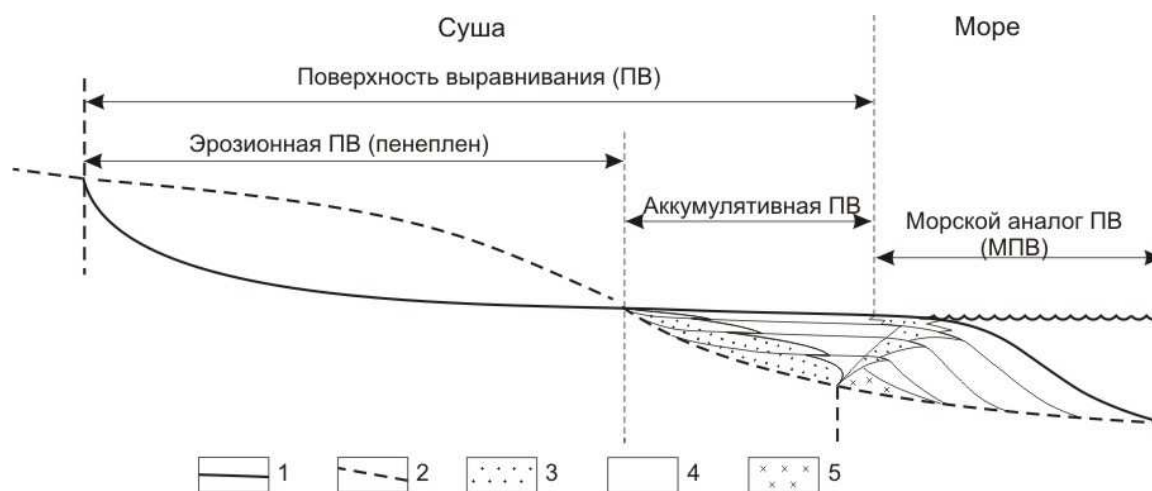


Рис. 2. Схема географического цикла в конечной стадии развития и осадочный комплекс, соответствующий эрозионному циклу. В прибрежной зоне миграционная регрессия сменяется трансгрессией.

1 - поверхность выравнивания, 2 - поверхность выравнивания предшествующего цикла, 3 - преимущественно песчаные осадки, 4 - преимущественно глинистые осадки, 5 - пласт типа Ю₂⁰

Балансовые соотношения тесно связаны со стадиями второй фазы ГЦ. В начальной стадии ГЦ обычно имеет место положительный баланс, что приводит к формированию берегов аккумулятивного типа, проградации дельт и береговых линий, т. е. к отступанию моря – регрессии. В ходе выравнивания рельефа снос осадков неуклонно сокращается и в конечной стадии ГЦ привнос осадков может оказаться меньше, чем его распределение по бассейну, т.е. баланс изменяется на отрицательный. В этом случае начинает развиваться миграционная трансгрессия.

Следует отметить, что миграционные ТР происходят при неизменном уровне моря, если рассматривать циклы данного порядка и не принимать во внимание колебания низших порядков. Если же брать их в расчет, то получится, что в условиях морской регрессии уровень моря будет повышаться, т.к. точка отсчета в процессе накопления осадочной толщи будет погружаться.

Рассмотрим возможные варианты последовательностей трансгрессивных и регрессивных событий. В настоящее время широко принято, что они чередуются между собой, и при этом наиболее «массовым» является вариант так называемого «трансгрессивно-регрессивного цикла». На самом деле данный вопрос оказывается сложнее. Прежде всего, в каждом конкретном случае необходимо определить, с какого типа событием мы имеем дело – мутационным или миграционным. Типы циклов как осадочных тел (циклитов) нужно определять на основе только миграционных трендов, поскольку мутационные события, как отмечено выше, представлены поверхностями, определяющими границы циклов. Осадочный цикл (циклит) – это тело, заключенное между двумя тектоническими событиями изменения структурного плана одного порядка.

С указанных позиций, можно выделить всего два типа циклов – регрессивный и регрессивно-трансгрессивный (рециклиты и репроциклиты по Ю.Н. Карогадину). Тем самым, мы приходим к выводу, что трансгрессивно-регрессивных осадочных циклов не существует. Трансгрессивными бывают только пачки, т.е. неполные циклы. Каждый цикл начинается с регрессии, которая может продолжаться до конца цикла, но иногда сменяется финальной трансгрессией.

Особого рассмотрения заслуживают базальные грубозернистые слои сравнительно небольшой мощности, залегающие в основании рециклитов и создающие впечатление трансгрессивных пачек. На самом деле они таковыми не являются, поскольку при их формировании не происходит «наступления моря на сушу», т.е. не соблюдается критерий трансгрессии. Грубый материал в самом начале цикла поступает в бассейн либо с резко возросшим речным стоком, либо формируется за счет подводных размывов и перераспределения ранее отложившегося материала после изменения рельефа морского дна.

Могут играть роль и некоторые другие факторы образования базальных слоев. Кроме осадков, в бассейн поступает резко увеличенный водный сток, происходит вынос озерно-болотных вод, обогащенных железом, органикой и другими компонентами. В результате происходит формирование пластов типа Ю₂⁰, широко известных в литературе по Западной Сибири и обычно

рассматривающихся как свидетельства морских трансгрессий. На рис. 2 показано, что эти пласты не являются трансгрессивными. Их можно использовать не только для вертикального расчленения разрезов, но и для латерального разграничения областей морской и неморской седиментации при палеогеографических построениях.

© А.Л. Бейзель, 2011

ДК (551.243.4:551.248.1):553.98(571.5-12)

Т.И. Ларионова, А.В. Мигурский

ФГУП «СНИИГГиМС», СГГА, Новосибирск

ДИСЛОКАЦИИ АЛЛОХТОНА СКЛАДЧАТО-НАДВИГОВОГО ПОЯСА НЮЙСКО-ДЖЕРБИНСКОЙ ВПАДИНЫ (СИБИРСКАЯ ПЛАТФОРМА)

В статье рассматривается строение складчато-надвиговых дислокаций Нюйско-Джербинской впадины. Приводятся модели строения Улугурской и Бетинчинской антиклинальных структур.

T.I. Larionova, A.V. Migursky

Siberian Research Institute Geology, Geophysics Mineral Resources (FGUP
«SNIIGGiMS»)

Krasnii Prospekt, 67, Novosibirsk, 630091, Russian Federation

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plakhotnogo Ul., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

ALLOCHTON DISLOCATIONS IN FOLD-THRUST BELT OF THE NYUYA- DZHERBA DEPRESSION (SIBERIAN PLATFORM)

The paper deals with the structure of fold-thrust dislocations in the Nyuya-Dzherba depression. Models of Ulugur and Betinche anticlinal structures are given.

Одним из главных регионов прироста ресурсов углеводородов (УВ) на Сибирской платформе является Нюйско-Джербинская впадина. Она расположена в северной части Предпатомского регионального прогиба (рис. 1). Запад-северо-западная граница впадины проведена вдоль Вилуюско-Мархинской разломной зоны, отделяющей её от Непско-Ботубинской антеклизы и более западных районов Предпатомского регионального прогиба. На севере и востоке Нюйско-Джербинская впадина граничит с Вилуючанской седловиной и Джеюктинским выступом. Южная граница уходит под аллохтон Байкало-Патомского нагорья, совершенно не изучена и поэтому не отражена на рисунке 1.

Осадочный чехол в районе исследований сложен галогенно-терригенно-карбонатным комплексом отложений рифея, венда, кембрия, ордовика, силура, девона и юры. По характеру дислоцированности чехол делится на два основных структурных комплекса – рифейско-нижневендский и верхневендско-нижнесилурийский.

Деление происходит по уровню торсальных солей венда и связано с резко выраженным несогласием структурных планов подсолевой и соленосно-надсоленосной толщами разреза из-за усложненности верхней части разреза контрастными складчато-надвиговыми дислокациями [\[1\]](#).

Нижний комплекс, автохтон, представляет собой слабо деформированную моноклираль, погружающуюся к юго-востоку с градиентом наклона 20-30 м/км. По базальному надвигу (детachment), происходило смещение и смятие верхнего комплекса (аллохтона), представленного отложениями карбонатного венда и нижнего палеозоя. Более мелкие локальные срывы надвигового типа на исследуемой территории приурочены в основном к соленосным горизонтам нижнего кембрия.

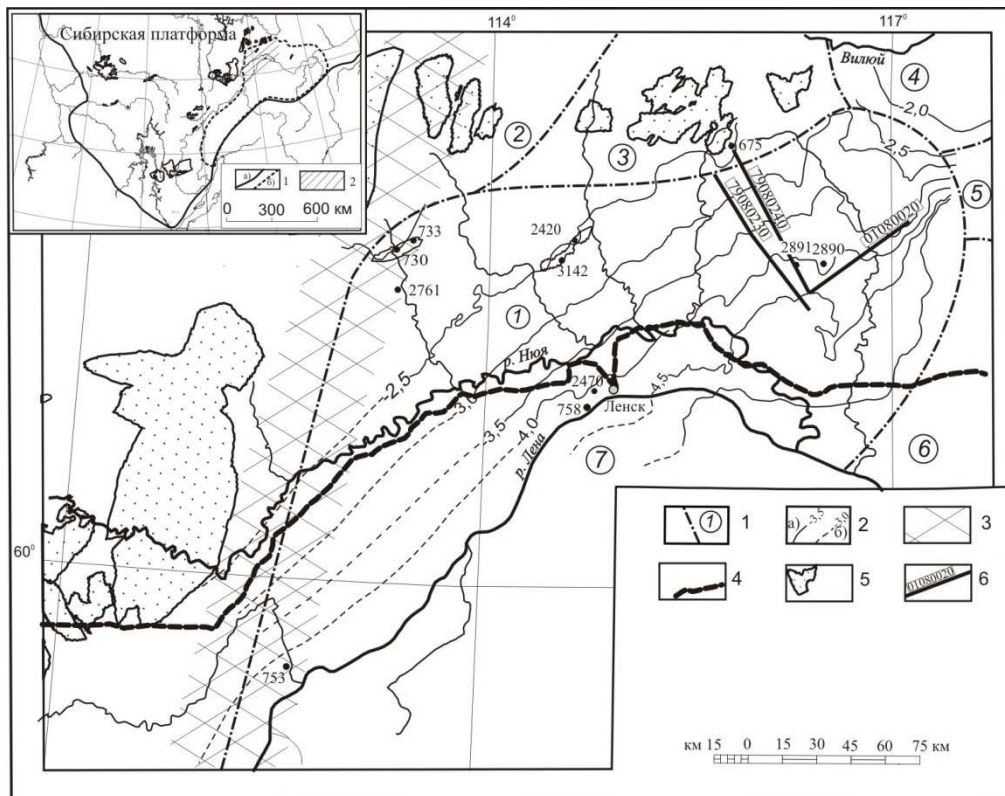


Рис. 1. Обзорная карта района исследований:

1 – границы основных структурных элементов (1 – Нюйско-Джербинская впадина, 2 – Непско-Ботуобинская антеклиз, 3 – Вилючанская седловина, 4 – Сунтарский свод, 5 – Кемпендяйская впадина, 6 – Джеюктинский выступ, 7 – Байкало-Патомская складчатая область); 2 – изогипсы подошвы венда (км): а - по данным ОАО «Хантымансийскгеофизика», 2008 г., б – предполагаемые; 3 – зона Вилюйско-Мархинского разлома; 4 – нефтепровод Восточная Сибирь-Тихий океан; 5 – месторождения углеводородов; 6 – линии профилей, изображенные на последующих рисунках. На врезке: 1 – границы: а) Лено-Тунгусской НГП, б) Предпатомского регионального прогиба; 2 – района исследований

Наличие мощной толщи рифейских и вендских отложений [2], способных генерировать углеводороды, а также положение района исследований на пути миграции углеводородов из основного Байкало-Патомского очага генерации в сторону Непско-Ботуобинской антеклизы и Вилючанской седловины [3], позволяют рассматривать Нюйско-Джербинскую впадину, как весьма перспективную территорию для поисков скоплений нефти и газа [4]. Скважины, пробуренные на исследуемой территории указывают на то, что на большей

части Нюйско-Джербинской впадины детачмент надвиговой системы приурочен к торсальским солям.

Материалы бурения свидетельствуют о том, что при приближении к Непско-Ботубинской антеклизе происходит переход детачмента с уровня торсальских солей на более молодые соленосные уровни. Опускание детачмента на более нижний уровень (рифейские отложения) предполагается в пределах Мухтуйской антиклинальной зоны (в долине р. Лены между скважинами Мухтуйская - 758 и Ленская - 2470).

Складчато-надвиговое строение участка осадочного чехла Нюйско-Джербинской впадины отражено на блок-схеме (рис. 2), на которой показано строение северо-восточной части впадины. Профиль северо-восточного простирания пересекает Улугурскую и Бетинчинскую антиклинальные структуры. Бетинчинская антиклиналь, находящаяся в составе Мурбайской антиклинальной зоны, имеет относительно простую форму. Её структура классифицируется как взбросо-складка амплитудой порядка 250 м. В своде складки на дневной поверхности развиты отложения ичерской ($\text{Є}_{1-2\text{ic}}$) и метегерской ($\text{Є}_{2\text{mt}}$) свит, а на крыльях – верхоленской свиты ($\text{Є}_{2-3\text{vl}}$). По кровле билярской свиты ($\text{Є}_{1\text{bl}}$) структура разбита на четыре купола, простирающихся в северо-восточном направлении, общей протяженностью 40 км (рис. 3).

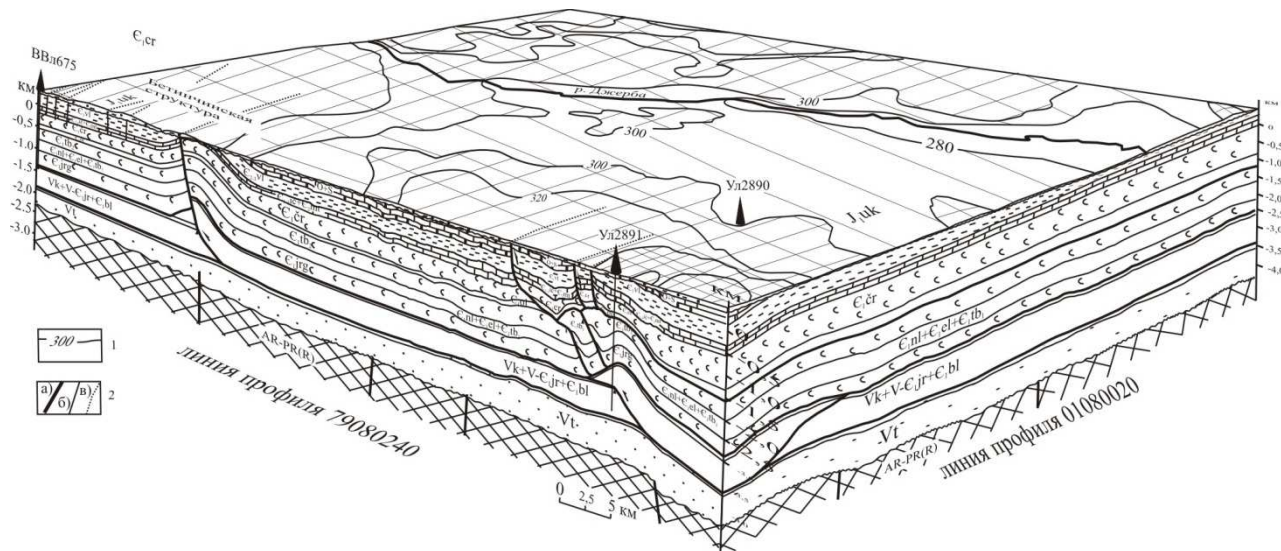


Рис. 2. Блок-схема совмещения профилей (по материалам ОАО Якутскгеофизика, 2008):

1 – изолинии рельефа; 2 – разрывные нарушения: незаполненные (а), дайки (б), предполагаемые (в)

Бетинчинская антиклиналь сформировалась в результате развития надвига, ответвляющегося от детачмента. На начальной стадии произошел переход срыва с торсальских солей венда на юрегинские соли нижнего кембрия. В ходе дальнейшего развития надвига произошла трансформация рамповой антиклинали во взбросо-складку. Укорочение по слоям карбонатного венда составляющее около 3 км, в перекрывающих отложениях компенсировано за

счет уплотнения пород, образования мелкой складчатости и по взбросу, фиксируемому в форланде Бетинчинской структуры, при интерпретации сейсмического профиля. Возможной причиной образования Бетинчинской структуры послужило наличие нарушений в фундаменте, которые отмечаются при интерпретации сейсмического профиля.

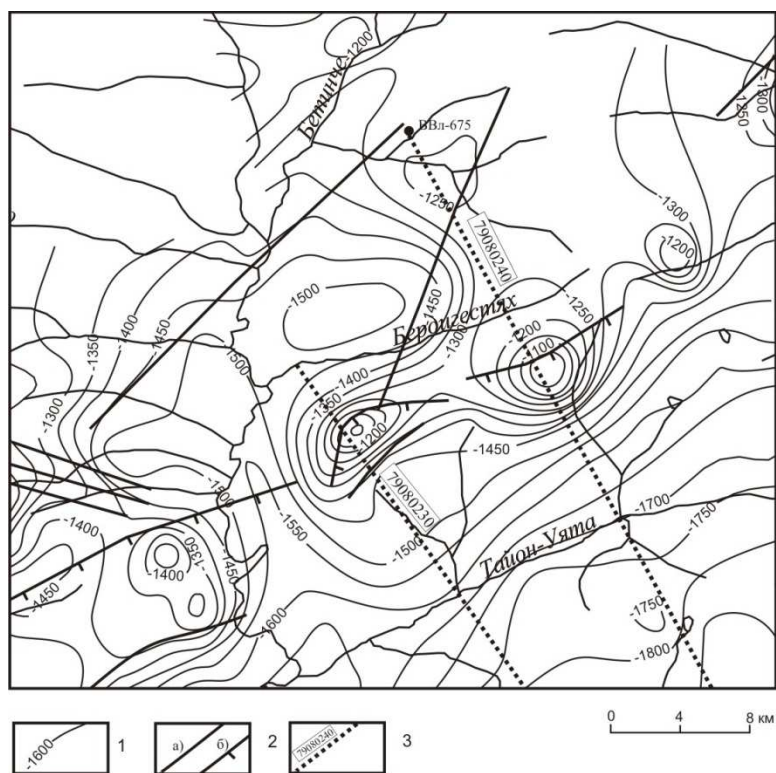


Рис. 3. Структурная карта Бетинчинской антиклинали по кровле билирской свиты (нижний кембрий) (по материалам ОАО Якутскгеофизика, 2008):

1 – изогипсы кровли билирской свиты; 2 – разрывные нарушения: а – неустановленной кинематики, б – надвижки; 3 – линии профилей

На юго-восточном окончании профиля, в пределах Дабанско-Улугурской антиклинальной зоны выделяется Улугурская антиклинальная структура. На дневной поверхности она перекрыта чехлом отложений укугутской свиты юры. В её пределах пробурено две скважины и пройдены ряд сейсмопрофилей. Скважины до автохтона не добурены. Здесь намечаются рамповые складки, дуплексы, взбросо-складки. Детачмент приурочен к торсальским солям и находится на глубине 3500 м. Горизонты срыва установлены также по отложениям юрегинской (ϵ_{1jr}), толбачанской (ϵ_{1tb}) и чарской (ϵ_{1cr}) свит. Возможны небольшие смещения по аргиллитам верхоленской свиты (ϵ_{2-3vl}) [5]. Смещение пакета отложений карбонатного венда по торсальским солям составило около 2,5-3 км. В результате ответвления оперяющего срыва от детачмента сформирован рампа. Существование рампа подтверждается данными бурения. По результатам ГИС в скважине Улугурская-2891 наблюдается сдвоение разреза билирской, юряхской и кудулахской свит. Компетентные отложения нелбинской, эльганской и толбачанской свит образовали дуплексы,

путем перехода скольжения с уровня срыва по солям юрегинской свиты на соли верхнетолбачанской подсвиты. Формирование дуплексов компенсировало горизонтальное сокращение вышеуказанного пакета отложений. В вышележащих слоях горизонтальное сокращение реализуется за счет образования складчатости, разрывных нарушений, в том числе и надвигов, а так же уплотнения пород. Бетинчинская и Улугурская структуры отражены так же и на соседнем профиле (рис. 4).

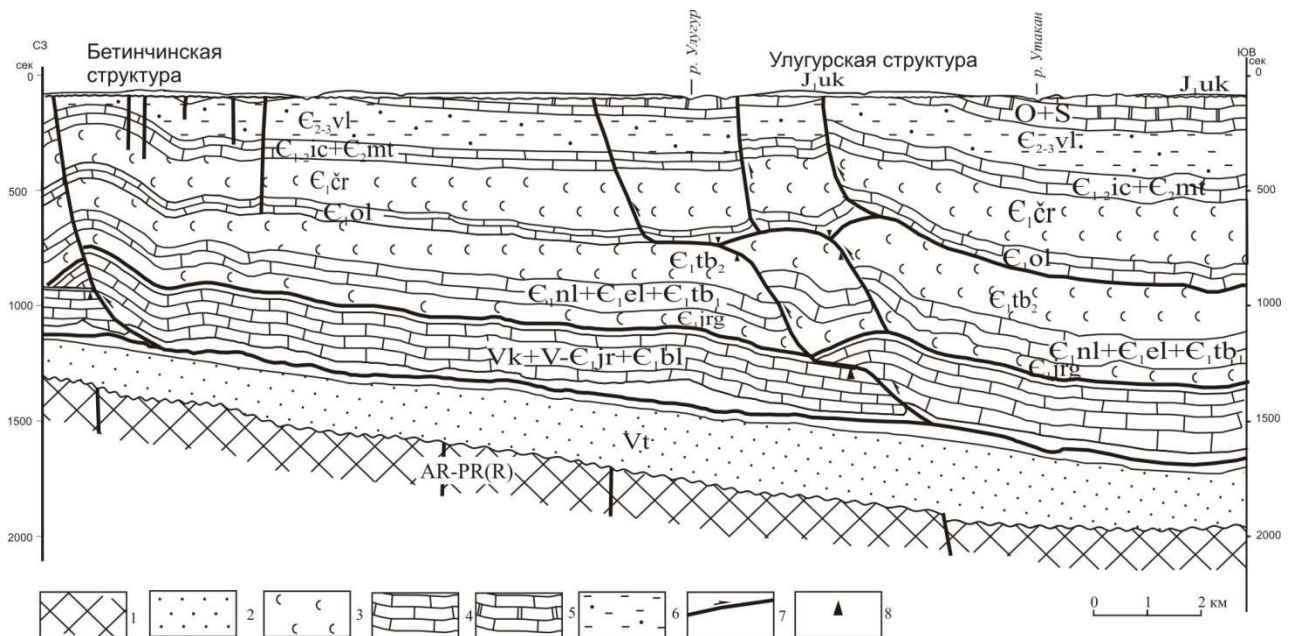


Рис. 4. Геологический разрез по линии профиля 79080230 (по материалам ОАО Якутскгеофизика, 2008):

1 – фундамент; преобладающий состав отложений: 2 – терригенный, 3 – солевой; 4 – карбонатный, 5 – карбонатно-доломитовый, 6 – песчано-глинистый; 7 - горизонты срыва; 8 – разрывные нарушения (стрелка показывает направление перемещения); 9 – точка отсечки надвига

В поперечном разрезе слоистые толщи имеют практически не нарушенное субгоризонтальное залегание. Изученность структур сжатия низка из-за сложности соотношений структурных планов между под-, над- и соленосных толщ пород. Перспективность аллохтонных структур в отношении нефтегазоносности подтверждена на примере Пилюдинского месторождения. Распространение продуктивных горизонтов рифейского, вендско-терригенного и верхневендско-нижнекембрийского нефтегазоносных комплексов на территории развития дислокаций повышает перспективы. В связи с высокой степенью дислоцированности отложений главенствующее значение приобретают трещинные карбонатные коллектора. Улугурская структура располагается в низкоперспективной зоне нефтегазоносности [6]. Бетинчинская антиклиналь расположена в перспективной зоне нефтегазоносности.

В мировой практике нефтегазодобычи залежи углеводородов в структурах подобных вышеописанным установлены в Волго-Уральской нефтегазоносной провинции, Персидском заливе и др.. Рассматриваемые структуры можно

считать перспективными в отношении нефтегазоносности, заслуживающими дальнейшего изучения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мигурский А.В., Ларионова Т.И. / Перспективы нефтегазопроисковых работ в аллохтоне Предпатомского прогиба (Сибирская платформа) // ГЕО-Сибирь-2009. Т. 2. Недропользование. Горное дело. Новые направления и технология поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых: сб. матер. V Междунар. Научн. Конгресса «ГЕО-Сибирь 2009», 20-20 апреля 2009 г., Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2009. – 332 с.
2. Геология нефти и газа Сибирской платформы. / Под ред. Конторовича А.Э., Суркова В.С., Трофимука А.А. – М.: Недра, 1981. – 550 с.
3. Соболев П.Н., Шиганова О.В., Дыхан С.В. Перспективы увеличения нефтегазового потенциала докембрийских отложений Лено-Тунгусской провинции // Геология нефти и газа. – 2009. – № 6. – С. 62-70.
4. Мигурский А.В., Старосельцев В.С. Шарьяжное строение зоны сочленения Сибирской платформы с Байкало-Патомским нагорьем // Советская геология. – 1989. – № 7. – С. 9-15.
5. Гайдук В.В., Прокопьев А.В. // Методы изучения складчато-надвиговых поясов. – Новосибирск: Наука. Сиб. Предприятие РАН, 1999. – 160 с.
6. Рябкова Л.В. Перспективы нефтегазоносности зоны сочленения Непско-Ботуобинской и Предпатомской нефтегазоносных областей // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2002. – № 9. – С. 32-35.

© Т.И. Ларионова, А.В. Мигурский, 2011

УДК (551.3.051:550.834):551.72(571.5-14)

Л.В. Боровикова

ФГУП «СНИИГГиМС», Новосибирск

МОДЕЛЬ ПОЭТАПНОГО РАСШИРЕНИЯ БАСЕЙНА ВАНАВАРСКОГО ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ НА ЮГО-ЗАПАДЕ КАМОВСКОГО СВОДА

В статье рассмотрена модель поэтапной трансгрессии морского бассейна ванаварского времени на юго-западе Камовского свода. Модель построена на основе прослеживания уступов в поверхности рифея. Показано последовательное прилегание нижних пачек ванаварской свиты к уступам и залегание разных пачек на террасах рифея. Эти уступы ограничивают площади трансгрессивно-регрессивных пачек ванаварской свиты и зон фациальных замещений континентальных отложений прибрежно-морскими, в том числе дельтовыми.

L.V. Borovikova

Siberian Research Institute Geology, Geophysics Mineral Resources (FGUP
«SNIIGGiMS»)

Krasnii Prospekt, 67, Novosibirsk, 630091, Russian Federation

A MODEL FOR GRADUAL EXPANSION OF THE VANAVARA SEDIMENTARY BASIN IN THE SOUTH-WEST OF THE KAMO SWELL

A model for gradual transgression of the Vanavarian sea basin in the south-west of the Kamo swell is considered. The model is based on tracing benches in the Riphean surface. It is shown that the lower members of the Vanavara Formation are sequentially adjacent to the benches and various members occur on Riphean terraces. These benches bound areas of transgressive-regressive members of the Vanavara Formation and zones of facies replacements of continental deposits with offshore-marine ones, deltaic deposits included.

Введение

Результаты глубокого бурения на юго-западе Камовского свода (Оморинская, Камовская, Платоновская и Верхнетайгинская площади) и сейсморазведки (плотность проведенной здесь сейсморазведки МОГТ 0,5-0,7 км/км², а плотность сейсморазведки обработанной в системе РеапакРД составляет 0,2 км/км²), позволяют полагать, что открытие новых залежей углеводородов на изучаемой территории ожидается как в карбонатах рифея так и в пластах песчаников нижнего венда. Перспективы открытия залежей нефти и газа в вендском НГК юго-запада Камовского свода связаны с литологическими и структурно-литологическими ловушкам в песчаных коллекторах.

Анализ истории формирования ванаварской свиты венда и закономерностей распределения фациальных обстановок и связанных с ними отложений, даст основу для прогноза резервуаров и ловушек УВ.

История формирования ванаварской свиты на юго-западе Камовского свода

Ванаварское время на юго-западе Камовского свода характеризуется трансгрессией моря со смещением береговой линии с юго-запада на северо-восток. Смещение береговой линии проходило поэтапно. Этапы стояния береговой линии моря чередовались с этапами быстрого погружения территории, быстрого продвижения береговой линии на северо-восток. К концу ванаварского времени на Байкитской НГО бассейн осадконакопления уже превосходил по площади области сноса.

Последовательность расширения бассейна воссоздана на основе детальной корреляции разрезов ванаварской свиты. На исследуемой территории по скважинам в ванаварской свите выделено 7 пачек. Пачки, выделенные по скважинам, удалось проследить на сейсмопрофилях ОГТ дообработанных в системе РеапакРД. На сейсмопрофилях выявлены уступы в поверхности рифея, к которым прилегают нижние пачки ванаварской свиты (рис. 1).

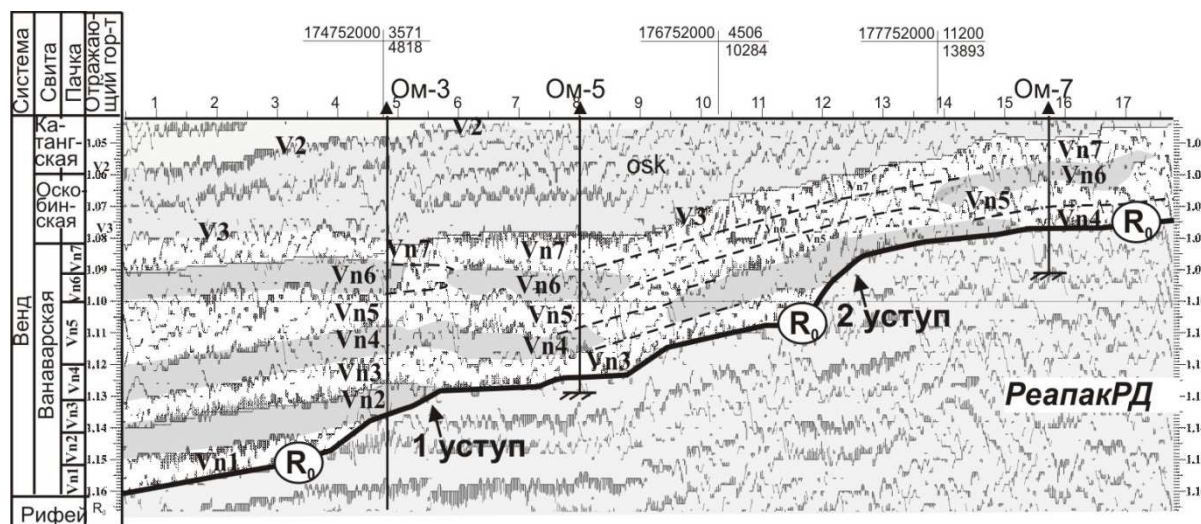


Рис. 1. Фрагмент стратифицированного сейсмического разреза ЭКО по профилю 173752000

Имеющиеся данные позволили построить схему истории формирования прибрежно-морской части седиментационного бассейна на юго-западе Камовского свода Байкитской антеклизы (ванаварское время) (рис. 2).

На исследуемой территории показаны формирование уступов в рифейском основании, проградация береговой линии на северо-восток, глубина дна бассейна на конец времени формирования пачек ванаварской свиты.

Одновременно с первой и второй пачками формировался уступ в поверхности рифея (рис. 1). Затем начинается быстрое погружение дна бассейна и быстрое продвижение берега моря на северо-восток. В последующее время стабилизации уровня моря формировалась третья и четвертая пачки в зоне низких прибрежно-континентальных равнин, где отлагались средне-мелкозернистые пески и алевроиты.

Перед накоплением пятой пачки бассейн седиментации проградировал дальше на северо-восток (рис. 1, 2), перекрывая второй уступ. Осадконакопление шестой пачки ванаварской свиты происходило в прибрежно-морских условиях. Здесь фиксируются узкие вытянутые в северо-восточном направлении врезы, заполненные терригенными отложениями.

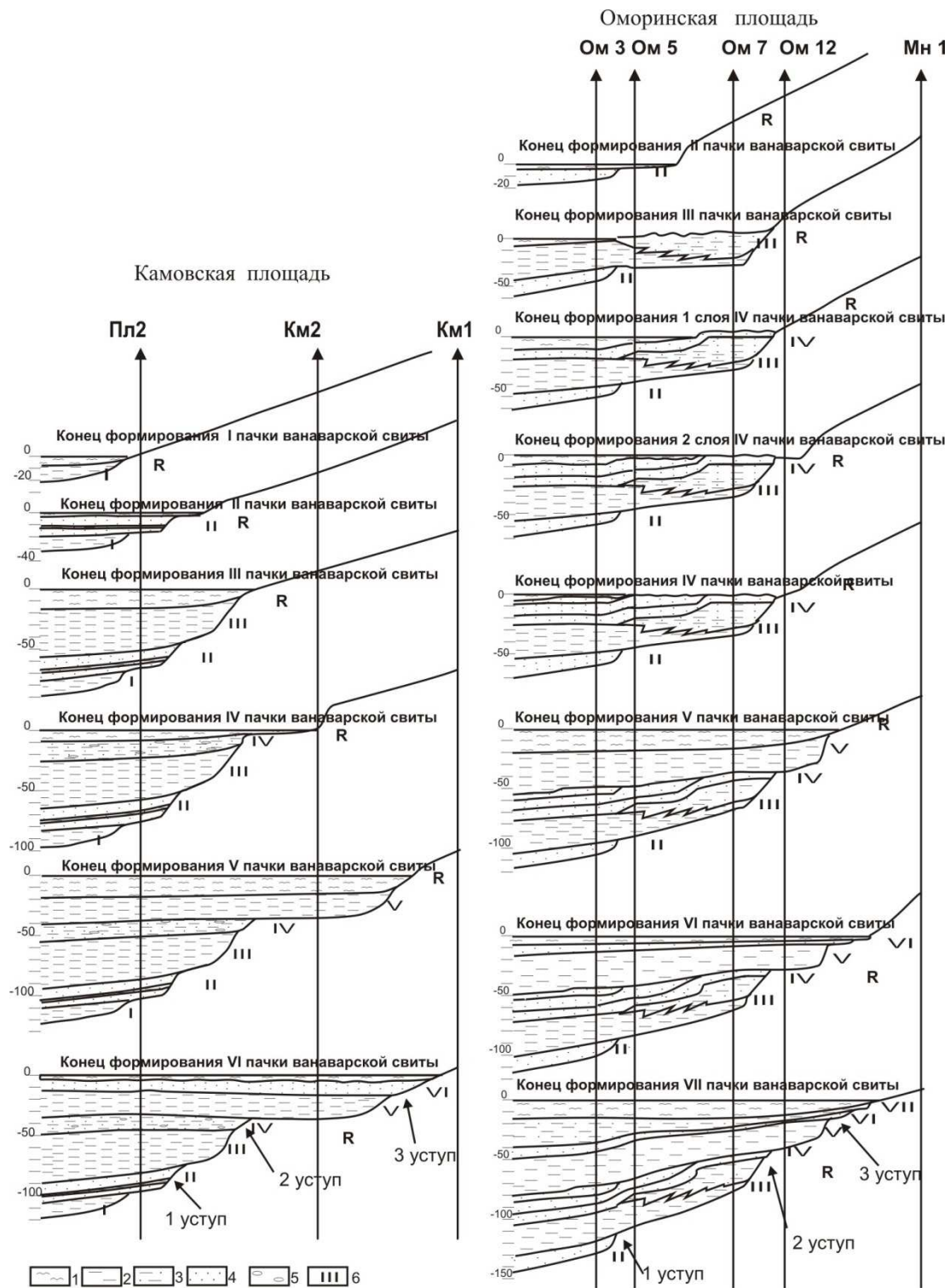


Рис. 2. История развития осадочного бассейна ванаварского времени (Камовская, Оморинская площади):

1 - вода, 2 - глина, 3 - алевроиты, 4 - пески, 5 - конгломерат, галька, 6 - пачки ванаварской свиты

Итак, на юго-западе Камовского свода во время вендского длительного опускания дна бассейна в ванаварское время этапы быстрого опускания дна бассейна сменялись малоамплитудными кратковременными его поднятиями. Возможно, такое сочетание стояния и быстрого продвижения береговой линии моря связано с колебательными движениями (Мельников, 2009). В ходе трансгрессии морского бассейна в ванаварское время на исследуемой территории по сейсмопрофилям выявлено три этапа стояния береговой линии (рис. 3).

На Камовской и Оморинской площадях зафиксирована последовательность чередования быстрого и медленного продвижения береговой линии на северо-восток. Прослежены уступы в поверхности рифея, к которым прилегают различные пачки ванаварской свиты (Мельников, Боровикова, 2010).

На Камовской площади выделена и закартирована проградация береговой линии на северо-восток (рис. 3).

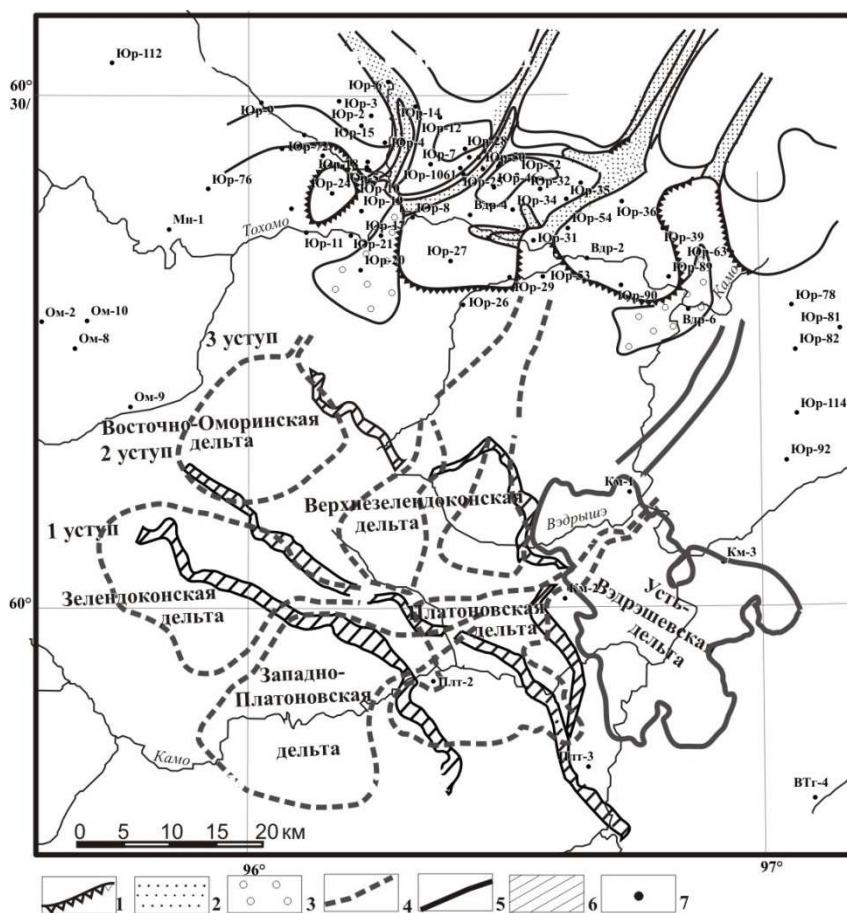


Рис. 3. Резы (долины) и дельты, сформированные в ванаварское и оскобинское время на юго-западе Камовского свода Байкинской антеклизы (Составили: Мельников Н.В., Боровикова Л.В.)

Юрубченская площадь: 1 - уступ конца ванаварского времени; 2 - отложения в долинах (врезах); 3 - дельты ванаварской свиты; Камовская площадь: 4 - врезы и дельты предполагаемые по сейсмопрофилям в ванаварской свите; 5 - врез и дельта в оскобинской свите; 6 - уступы в поверхности рифея; 7 - пробуренные скважины

Если береговая зона трансgressирует в связи с циклическим (прерывистыми) прогибаниями дна бассейна (или эвстатическим подъемом уровня моря), то создаются идеальные условия для образования нескольких рядов песчаных тел (дельт) на участках последовательной стабилизации береговой линии. Этапы быстрого перемещения береговой линии также создают условия для сохранения дельт. Модели песчаных тел в ванаварской свите по результатам изучения сейсморазведки и бурения.

На Камовском своде в предванаварское время существовало плато, которое расчленено рядом врезов (долин). На исследуемой площади по разрезам РеапакРД намечены продолжения этих врезов. Врезы заполнены терригенными осадками, в составе которых по эффективным коэффициентам отражения (ЭКО) - образам выделяются песчаные линзы. Предполагается, что врезы (долины) образованы руслами долговременных водотоков. В вендское время эти водотоки протягивались на несколько десятков километров. В долинах водотоков накапливались аллювиальные отложения. На окончаниях этих водотоков вполне могли формироваться протодельты (Сели, 1980, Коннибир, 1979).

Подтверждением сказанному выше служит срез-сечение волнового поля по горизонту R0, Юрубченской площади (Антоненко и др., 2006). На сечении R0 срезающим куб амплитуд по интервалу 954 мс (эрозионная поверхность рифея) хорошо заметны линейные объекты – палеоруслы. Они дают существенное представление о расчлененности эрозионной поверхности рифея ЮТЗ (Антоненко и др., 2006).

Выделенные по разрезам РеапакРД площади распространения песчаных тел позволяют представить условия их формирования. Так, в плане по форме площадей некоторые выделенные песчаные тела напоминают треугольники, обращенные острым углом на север, по направлению к суше, к устью палеодолины. На юго-западном продолжении этих водотоков, в зоне распространения переходных отложений, закартированы песчаные тела лопастевидной формы, что дает основание считать их дельтами ванаварского времени (своеобразными конусами выноса водами долговременных палеопотоков) (рис. 3).

Поскольку несколько дельт, формировались одновременно в устьях рек, которые впадали в залив, то вдоль береговой линии могло образоваться несколько перспективных резервуаров (Буш, 1977).

Дельты, несмотря на различие их размеров, редко представляют собой какое-то изолированное явление вдоль современных побережий. Прибрежно—морские условия, благоприятные для формирования в устьях рек дельт, обычно простираются вдоль побережий. Одним из условий, необходимых для того, чтобы образовалась дельта, является стабильное положение береговой зоны. Таким образом, если относительно стабильная береговая зона благоприятна для развития дельты в устье какой-либо одной реки, то она также должна быть благоприятной для развития дельт в устьях большинства других рек, впадающих в этот залив (рис. 3).

Примером является расположение дельт в третичной формации Уилкокс на прибрежной равнине Мексиканского залива в Техасе (Петтиджон, и др 1976).

Проверка этого предположения проведена по скважинам, вскрывшим ванаварскую свиту на юго-западной окраине Юрубченского месторождения, где в двух скважинах (Юр-17 и 20) присутствуют песчаники, а в остальных четырех (Юр-11, 19, 21, 23) - разрез составляют аргиллиты и мелкозернистые алевролиты. Скважины Юр-17 и 20 расположены южнее двух врезов (долин) в рифейское плато. Один врез вытянут в субмеридианальном направлении от скважины Юр-17 на скв. 14 и 6, второй врез - от скв. Юр-17 к скв. 50 и 55. В этих врезях скважинами вскрыта нижняя пачка оскобинской свиты, а в скв. Юр50 - и 9 м ванаварской свиты. (Мельников и др., 1996) (рис. 3).

По результатам интерпретации сейсмических разрезов ЭКО (эффективных коэффициентов отражений), полученных в системе РеапакРД, продолжение этих долин подтверждено на Камовской площади (Мельников и др., 2009).

Врез ванаварской свиты в породы рифея, фиксируется в скважинах Юр-31 и 53, продолжение вреза – водотока предполагается на юго-западе, где по сейсмопрофилям выделены Верхнезелендоконская и Зелендоконская дельты (рис. 3).

Восточнее, в районе скважин Вдр-6, Юр-63, расположен еще один врез ванаварской свиты в породы рифея. От скв. Вдр-6 продолжение вреза предполагается на юго-запад в Усть-Вэдрэшевской, Платоновской и Западно-Платоновской дельтах (Мельников и др., 2009) (см. рис. 3). В юго-западном направлении на окончании вреза – водотока от скв. Юр-17, 20 фиксируется по сейсмопрофилям Восточно-Оморинская дельта (рис. 3).

На продолжении вреза от скв. Вдр-6 в южном направлении выделена в 1998 г. Усть-Вэдрэшевская дельта. В контуре Усть-Вэдрэшевской дельты была пробурена Камовская поисковая скважина 1. Предполагалось, что скважина вскрыет нефтегазонасыщенные песчаные отложения ванаварской свиты. Камовская скважина 1 вскрыла залежь нефти в песчаном пласте Б-VIII¹ оскобинской свиты. Дельта оказалась стратиграфически выше, в оскобинской свите.

Таким образом, при проградации берегов ранневендского морского бассейна дельтовые песчаниковые тела, установленные в устьях водотоков ванаварского и оскобинского времени, ступенчато смещались на северо-восток (см. рис. 3.). Выявлено 3 этапа стояния береговой линии, приведшие к формированию песчаных тел дельтового типа:

– Во время 1 были сформированы Зелендоконская и Западно-Платоновская дельты в ванаварской свите;

– Во время 2 были сформированы Восточно-Оморинская, Верхнезелендоконская и Платоновская дельты в ванаварской свите;

– Во время 3 была сформирована Усть-Вэдрэшевская дельта в оскобинской свите венда.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Антоненко А.В., Ефимов А.С., Конторович А.А. Анализ технологии 3D спозиции прогноза фильтрационных свойств карбонатных коллекторов ЮТЗ// Материалы всероссийской научно-практической конференции «Пути

повышения эффективности геолого-разведочных работ на нефть и газ в Восточной Сибири и республики Саха (Якутия)» - Новосибирск: СНИИГГиМС, 2006. -С.195-198.

2. Буш Д.А. Стратиграфические ловушки в песчаниках. - М.: Мир, 1977.- 21с.

3. Коннибир Ч.Э.Б. Палеоморфология нефтегазоносных песчаных тел. – М.: Мир, 1979. –255 с.

4. Мельников Н.В., Исаев А.В., Константинова Л.Н. Сейсмогеологические модели строения терригенного венда Юрубчено-Тохомской зоны /Геологическое строение, нефтегазоносность и перспективы освоения нефтяных и газовых месторождений Нижнего Приангарья. Сборник докладов. Красноярск, 1996. - С. 92-100.

5. Мельников Н.В. Венд-кембрийский соленосный бассейн Сибирской платформы. Стратиграфия, история развития. Новосибирск, 2009, 148с.

6. Мельников Н.В., Боровикова Л.В., Смирнов Е.В., Худорожков В.Г. «Вендский нефтегазоносный комплекс - второй объект поисков нефти на юго-западе Камовского свода» / Перспективные на нефть зоны и объекты Сибирской платформы/Сборник научных трудов. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 2009 –С 301-309.

7. Мельников Н.В., Боровикова Л.В. «История развития ванаварского седиментационного бассейна на юго-западе Камовского свода». / Сборник материалов научно-практической конференции 22 - 26 ноября 2010 г./ Нефтегазогеологический прогноз и перспективы развития нефтегазового комплекса Востока России». С-Пб.: ВНИГРИ, 2010. –С. 165-172.

8. Селли Р. Дельтовые фации и геология нефти и газа / Р. Селли // Достижения в нефтяной геологии; под ред. Г. Д. Хобсона. - М.: Недра, 1980.-С. 201-228.

9. Петтиджон Ф., Поттер П., Сивер Р. Пески и песчаники. - М.: Мир, 1976.-536 с.

© Л.В. Боровикова, 2011

УДК 550.81.:553.3/9
М.Ю. Скузоватов
ИНГГ СО РАН, Новосибирск

ВЛИЯНИЕ НА ХАРАКТЕР СЕЙСМИЧЕСКОГО ВОЛНОВОГО ПОЛЯ СТРОЕНИЯ ГАЗОНОСНОГО ПАРФЕНОВСКОГО ГОРИЗОНТА ЦЕНТРАЛЬНЫХ РАЙОНОВ АНГАРО-ЛЕНСКОЙ СТУПЕНИ

В статье проанализированы характерные особенности строения парфеновского горизонта центральных районов Ангаро-Ленской ступени (Ковыктинское и Ангаро-Ленское месторождения) и их проявление на синтетических и реальных сейсмических временных разрезах.

M.J. Skuzovatov
Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS (IPGG)
Acad. Koptyug av.3, Novosibirsk, 630090, Russia

SEISMIC EFFECT OF GAS-SATURATED PARFEN HORIZON STRUCTURE OF THE CENTRAL PART OF ANGARA-LENSK STEP

In this article specific features of parfen horizon structure of the central part of Angara-Lensk step (Kovykta and Angara-Lensk fields) and its display on synthetic and real seismic sections are analysed.

Парфеновский горизонт в настоящее время представляется одним из наиболее перспективных в плане нефтегазоносности объектов вендкембрийского разреза центральных районов Ангаро-Ленской ступени. С ним связана гигантская залежь Ковыктинского газоконденсатного месторождения, по запасам являющегося наиболее крупным на Сибирской платформе, а также залежи Атовского, Братского и Ангаро-Ленского месторождений.

Парфеновский горизонт выделяется в объеме верхнечорской подсвиты венда и представлен преимущественно песчаными отложениями с прослоями алевролитов и аргиллитов, реже – гравелитов. Флюидоупором для него служит мощная толща карбонатно-терригенных пород катангской свиты, в основании которой повсеместно прослеживается пачка «чистых» доломитов (преображенский горизонт). Коллекторские свойства парфеновских песчаников заметно варьируются как по латерали, так и по вертикали, что связано, прежде всего, со значительной фациальной изменчивостью отложений и степенью их вторичной преобразованности.

Анализ геолого-геофизических данных по Ковыктинскому ГКМ и ряду смежных с ним площадей (Ангаро-Ленская, Правобережная, Чиканская и др.) дает основание говорить о существенных различиях в строении парфеновского

горизонта. Для Ковыктинской площади характерно разделение песчаной пачки на пласты П1 и П2, различные по литологическим характеристикам, что ярко проявлено на диаграммах ГК, НГК и АК (рис. 1). Ниже пласта П2 залегает Алеврито-глинистая пачка. Коллектор приурочен в основном к пласту П2; пласт П1 продуктивен лишь в скважинах 30 и 31, где при совместном испытании с пластом П2 получен приток газа. В западном и юго-западном направлениях при сохранении низких показаний ГК различия акустических свойств нивелируются. При этом толщины песчаников сокращаются до 15-20 м. Алеврито-глинистая пачка, залегающая ниже песчаников, по своим литолого-акустическим свойствам ничем не отличается от аналогичной пачки на Ковыктинской площади.

Характерные различия проявляются также и в волновом поле. Результаты одномерного математического моделирования с использованием данных АК показали, что резкое изменение акустических свойств на границе карбонатной (преображенский горизонт) и терригенной (парфеновский горизонт) части вендского разреза напрямую связано с амплитудными характеристиками волнового пакета М. Для разреза Ковыктинской площади наибольший интерес представляет положительный экстремум, образующийся на границе пласта П2 и подстилающей его глинистой пачки. Перепад скоростей продольных сейсмических волн в разрезе ряда скважин здесь достигает 1000 м/с.

На западе территории (скв. Ангаро-Ленские, Левобережные) различия акустических свойств песчаных и глинистых отложений становятся менее контрастными, а иногда практически нивелируются, что четко отражено как на модельных трассах, так и на реальных разрезах. В результате моделирования волнового поля для скважин Ангаро-Ленской площади, в разрезе которых парфеновский горизонт характеризуется пониженными скоростями продольных волн, сделан вывод о незначительном изменении амплитудных характеристик при частичном и полном замещении песчаников на алеврито-глинистые разности.

Такие существенные различия в строении и, как следствие, в характере волновых полей, вероятно, связаны со значительной фациальной изменчивостью.

Рядом исследователей ранее сделано заключение о том, что, в частности, парфеновский горизонт на Ковыктинском и Ангаро-Ленском месторождениях представлен отложениями разных фациальных обстановок, что предполагает различный подход к прогнозу коллекторских свойств в пределах данной территории [1,2]. Смена обстановок осадконакопления также является, вероятно, основной причиной значительной дифференциации по разрезу фильтрационно-емкостных характеристик парфеновских отложений. Установлено, что пласт П2 Ковыктинского месторождения формировался преимущественно в дельтовых обстановках, наибольший интерес среди которых представляют русловые и прирусловые каналы, устьевые бары. Последующее изменение условий на преимущественно морские, где главную роль уже играли приливно-отливные процессы, привело к формированию отложений со значительно более низкими коллекторскими свойствами.

В западной части территории формирование парфеновских песчаников происходило в обстановках аллювиальной равнины, где улучшенные коллекторы могут быть связаны прежде всего с фациями русел, прирусловых валов, меандровых отмелей [3].

Таким образом, использование для оценки коллекторских свойств горизонта в пределах Ангаро-Ленской, Левобережной и ряда других площадей критериев, выявленных при изучении строения Ковыктинского ГКМ, вероятно, не является правомерным.

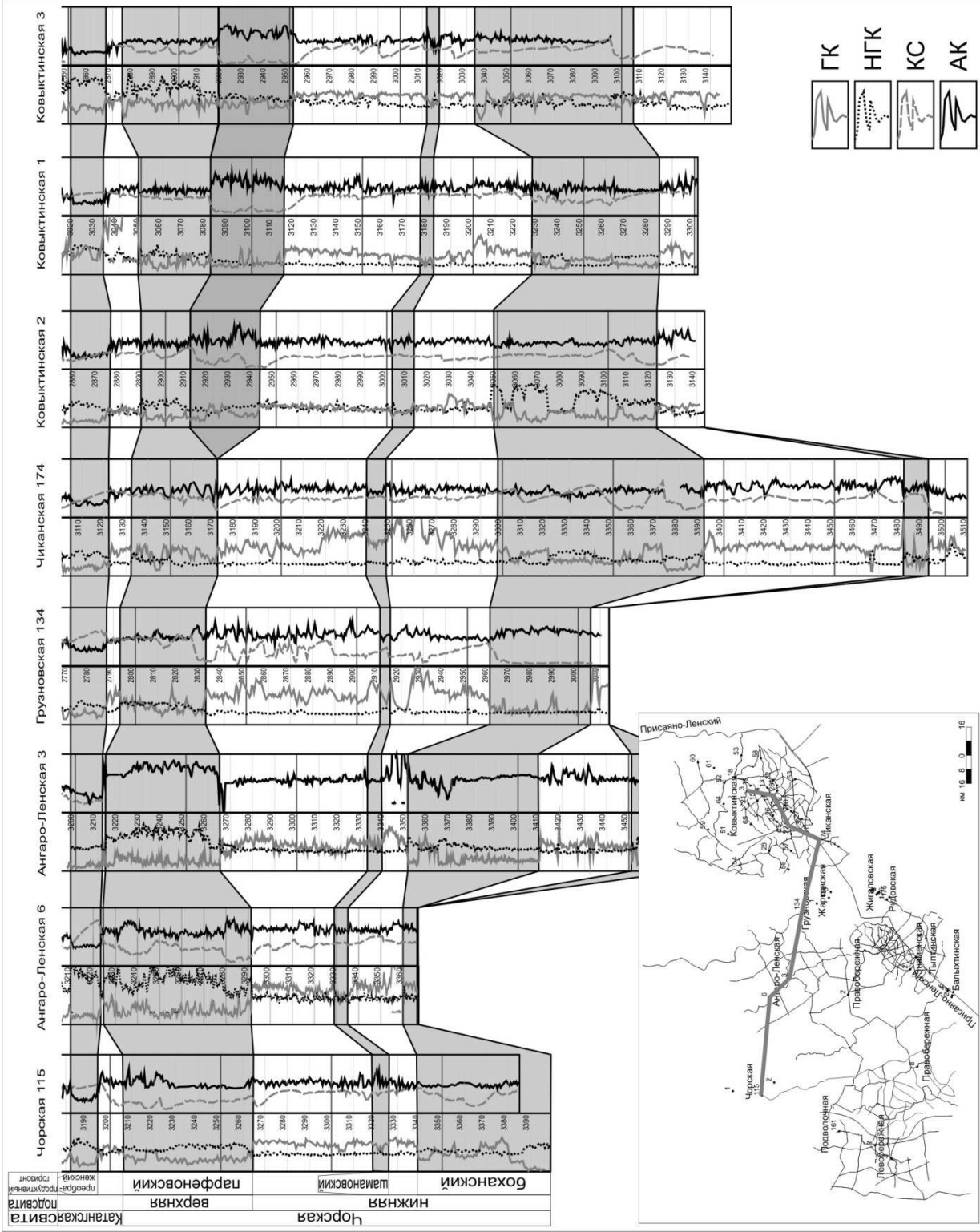


Рис. 1. Корреляция продуктивных горизонтов вендского терригенного комплекса

Для повышения достоверности прогноза улучшенных коллекторов на основе данных сейсморазведки и ГИС необходимо использование в полной мере данных литолого-фациальных исследований, поскольку условия осадконакопления в данном случае являются важнейшим фактором, контролирующим распределение потенциально продуктивных отложений.

Работа выполнена при поддержке НШ-6244.2010.5.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ахияров, А.В., Орлов, В.И., Бондарев, А.Н. Зависимость продуктивности терригенных коллекторов от их фациальной принадлежности на примере парфеновского горизонта Ковыктинского газоконденсатного месторождения // Геофизика. - 2007. - № 6. - С. 60-67.
2. Советов, Ю.К. Верхнедокембрийские песчаники юго-запада Сибирской платформы. Н.: Наука. - 1977. - 228 с.
3. Вакуленко, Л.Г., Миткарев, В.А. Связь фильтрационно-емкостных свойств алеврито-песчаных пород с обстановками их формирования (на примере горизонта Ю₂ Юганского Приобья) // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. - 2006. - № 1. - С. 12-18.

© М.Ю. Скузоватов, 2011

УДК 550.386 + 551.594

В.В. Плоткин

ИНГГ СО РАН, Новосибирск

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ТЕНЗОРА ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ СРЕДЫ ПО ДАННЫМ СИНХРОННЫХ ПЛОЩАДНЫХ ЗОНДИРОВАНИЙ

Проведены численные эксперименты по восстановлению тензора электропроводности анизотропной среды с помощью данных синхронных площадных электромагнитных зондирований. Показано, что на основе анализа л а т е р а л ь н о й н е о д н о р о д н о с т и к о м п о н е н т э л е к т р о м а г н и т н о г о п о л я в о з м о ж н о п о л н о е в о с с т а н о в л е н и е т е н з о р а э л е к т р о п р о в о д н о с т и .

V.V. Plotkin

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS (IPGG)

Acad. Koptyug av. 3, Novosibirsk, 630090, Russian Federation

RECOVER OF THE MEDIUM CONDUCTIVITY TENSOR ON THE DATA OF SYNCHRONOUS ARRAY SOUNDINGS

Numerical experiments on the conductivity tensor recover of the anisotropic medium are carried out using data of synchronous array soundings. It is shown that the complete recover of the conductivity tensor is possible to make on the basis of the analysis of the lateral heterogeneity of electromagnetic field components.

Анизотропия пород литосферы, в том числе на мантийных глубинах, наблюдалась сейсмическими методами неоднократно [см., напр., 1, 2]. Исследования сейсмической анизотропии необходимы для решения проблемы происхождения и развития континентальной литосферы и построения ее геодинамической модели. Поскольку анизотропия физических свойств пород сказывается и на электропроводности, для построения достоверных геодинамических моделей дополнительная информация о параметрах анизотропии электропроводности весьма важна.

В случае возбуждения анизотропной горизонтально слоистой среды вертикально падающей на нее плоской волной в систему уравнений электромагнитного поля входят лишь некоторые комбинации компонент тензора электропроводности. Поэтому при решении обратной задачи и таком способе возбуждения среды полностью определить все компоненты тензора электропроводности невозможно [3]. Это означает необходимость учета в эксперименте отклонений от плоскостойкого поля.

С этой целью в данной работе привлекаются данные синхронных площадных электромагнитных зондирований, и для их обработки используется предложенный ранее метод согласования регистрируемых распределений компонент поля на поверхности изучаемого региона между собой [4, 5]. В соответствии с теоремой единственности решение задачи об электромагнитном поле полностью определяется значениями тангенциальных компонент либо магнитного, либо электрического полей на поверхности исследуемого объема среды. Это дает способ решения обратной задачи – определения тензора электропроводности по пяти компонентам электромагнитного поля, зарегистрированным на поверхности исследуемого полигона. Например, если задать на поверхности компоненты электрического поля E_x и E_y по экспериментальным данным, то для текущей модели среды можно вычислить теоретические значения трех компонент магнитного поля. Сравнивая их с измеренными в эксперименте значениями компонент магнитного поля, можно так скорректировать модель среды, чтобы добиться лучшего согласования экспериментальных данных по всем компонентам поля. Возможен и другой вариант, по экспериментальным данным на поверхности задавать компоненты магнитного поля, и по текущей модели среды вычислять теоретические значения компонент электрического поля. В работе изучались все такие варианты с целью оценить и повысить достоверность решения обратной задачи, в том числе эффективность использования данных скважинных измерений вертикальной электрической компоненты поля. Для расчетов электромагнитного поля в анизотропной среде нами применялся метод, основанный на переходе к решению матричного уравнения Риккати для адмитанса, предложенный в работе [6]. Существенным моментом здесь явился корректный учет условия на границе с непроводящей атмосферой - равенства нулю вертикального тока.

В произвольно анизотропной среде тензор электропроводности в системе координат его главных осей описывается диагональной матрицей $\hat{\sigma}'$, а в лабораторной системе координат имеет вид $\hat{\sigma}$:

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

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

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

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

Внутри анизотропной среды на границе с атмосферой возможно появление отличной от нуля вертикальной компоненты электрического поля. Без априорных знаний о свойствах среды и при отсутствии экспериментальных данных по вертикальной компоненте электрического поля, трудно сделать вывод, чем вызвано появление электрического поля ТМ-моды – латеральными изменениями электропроводности или ее анизотропией. Еще более сложна ситуация, когда среда неоднородна также по вертикали, и анизотропные прослойки перекрыты изотропными слоями. Поскольку измерения вертикальной компоненты электрического поля достаточно сложно осуществить, возникает настоятельная необходимость проведения площадных синхронных магнитотеллурических зондирований, чтобы в процессе обработки экспериментальных данных решить обратную задачу определения тензора электропроводности.

Решение обратной задачи сводится к минимизации методами оптимизации следующего функционала Φ :

$$\Phi = \sum \Phi(F_p), \quad \Phi(F_p) = \left\{ \sum_{m,n} |F_{p0}(x_m, y_n) - F_{pj}(x_m, y_n)|^2 \right\} / \left\{ \sum_{m,n} |F_{p0}(x_m, y_n)|^2 \right\}, \quad (3)$$

в котором слагаемые $\Phi(F_p)$ учитывают вклады выбранных компонент ($p = x, y, z$) магнитного ($F = H$) или электрического ($F = E$) полей. F_{p0} и F_{pj} обозначают “экспериментальные” значения p -ой компоненты этих полей и ее значения после j -ой итерации соответственно в точках поверхности с координатами x_m, y_n . В данной работе применялись различные варианты использования входных экспериментальных данных: на поверхности задавались экспериментальные значения как компонент H_x и H_y , так и компонент E_x и E_y . По этим компонентам для текущей модели среды вычислялись теоретические значения остальных компонент поля, которые и сравнивались с их экспериментальными значениями при минимизации функционала (3). Стартовая модель среды задавалась произвольно. Если для разных стартовых моделей среды и при всех указанных вариантах использования экспериментальных данных в процессе минимизации получается одна и та же итоговая модель среды, это может служить основанием, что полученное решение обратной задачи с большой долей вероятности достоверно.

Численные эксперименты проводились для моделей анизотропной среды и тензора электропроводности вида (1-2). Синтетические “экспериментальные” значения компонент поля для тестируемой модели среды получались по результатам расчета с заданными на поверхности входными данными компонент магнитного поля H_x и H_y , взятыми либо случайным образом, либо из экспериментальных данных, доступных через Интернет. В обоих случаях для расчетов использовались только такие данные компонент H_x и H_y , которые на

поверхности земли удовлетворяли условию $(rot \vec{H})_z = 0$ равенства нулю вертикального тока на границе с непроводящей атмосферой.

В процессе минимизации функционала (3) отыскивались все независимые компоненты симметричного тензора электропроводности. С этой целью вводилось шесть независимых переменных $\xi_1, \dots, \xi_6$ для описания диагональных элементов тензора электропроводности в системе координат его главных осей в (1) и углов поворота в (2):

$$\begin{aligned} \sigma_{x'} &= \sigma_0 \exp(\xi_1), & \sigma_{y'} &= \sigma_0 \exp(\xi_2), & \sigma_{z'} &= \sigma_0 \exp(\xi_3), \\ \vartheta &= 90^\circ [1 + \sin(\xi_4)], & \psi &= 180^\circ [1 + \sin(\xi_5)], & \varphi &= 180^\circ [1 + \sin(\xi_6)], \end{aligned} \quad (4)$$

где σ_0 - базовое значение электропроводности. Такой выбор продиктован ограничениями в диапазоне изменений этих величин.

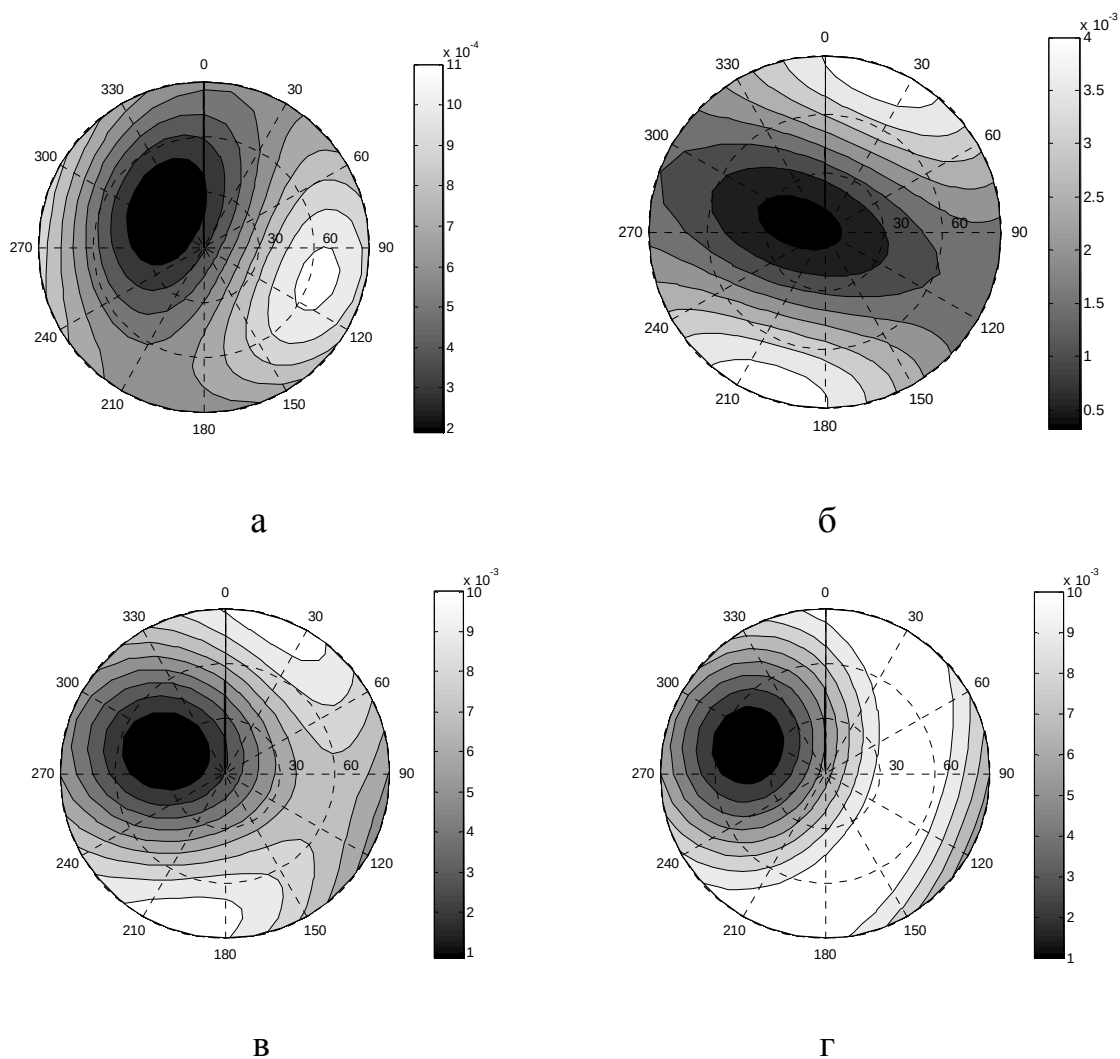


Рис. 1. Изолинии эффективной электропроводности σ_{ef} (в полярных координатах, в См/м) в зависимости от направления $\vec{e}$, задаваемого зенитным углом (радиальная координата) и азимутом (угловая координата). Ось OX – азимут 0° , ось OY – азимут 90° , ось OZ – вниз. (а) – стартовая модель однородного анизотропного полупространства, (б) и (в) – промежуточные модели, (г) – итоговая и тестируемая модели

Графически тензор электропроводности удобно отображать в виде полярной диаграммы угловой зависимости эффективного значения электропроводности $\sigma_{ef} = \vec{e}(\hat{\sigma}\vec{e})$ от направления электрического поля, задаваемого произвольным единичным вектором $\vec{e}$. Диаграмму будем представлять в полярных координатах, в которых радиальная координата соответствует зенитному углу $\vec{e}$ относительно оси OZ , а угловая – азимуту направления $\vec{e}$ относительно оси OX . Подобные угловые диаграммы позволяют наглядно судить о качестве восстановления тензора электропроводности при решении обратной задачи. Кроме того, такое представление удобно для сопоставления с аналогичными данными по анизотропии упругих параметров среды, получаемых сейсмическими методами [7].

В качестве примера на рис. 1 приведено несколько таких полярных диаграмм тензора электропроводности, отражающих процесс минимизации функционала Φ для однородного анизотропного полупространства. В данном примере при расчетах поля использовался вариант с заданием на поверхности компонент H_x и H_y . Размеры полигона $L_x=1440$ км и $L_y=1620$ км. Для аппроксимации латеральной зависимости компонент поля на полигоне учитывались все двухмерные пространственные гармоники Фурье до третьего порядка включительно. Предполагалось, что анизотропия среды описывается следующими значениями параметров: $\sigma_{x'} = \sigma_{y'} = 0.01$ См/м, $\sigma_{z'} = 0.001$ См/м, $\vartheta = 45^\circ$, $\psi = 20^\circ$ и $\varphi = 0^\circ$. Тензор электропроводности $\hat{\sigma}$ в лабораторной системе координат для тестируемой модели имеет вид:

$$\hat{\sigma} = \begin{pmatrix} 0.0095 & 0.0014 & -0.0015 \\ 0.0014 & 0.0060 & 0.0042 \\ -0.0015 & 0.0042 & 0.0055 \end{pmatrix}$$

В таблице 1 приведены значения отдельных слагаемых в функционале Φ (3), отражающие процесс минимизации для некоторых его итераций, показанных на рис 1а (начало минимизации, стартовая модель), 1б, 1в (промежуточные итерации) и 1г (конец минимизации, итоговая и тестируемая модели).

Таблица 1

	$\Phi(E_x)$	$\Phi(E_y)$	$\Phi(H_z)$	$\Phi(E_z)$
А	0.306	0.166	0.0125	0.288
Б	0.0467	0.0331	0.00397	0.0151
В	0.819e-3	3.78e-3	9.09e-5	0.0598
Г	5.14e-7	4.06e-7	3.83e-8	8.26e-7

Величина $\Phi(E_z)$ не включалась в функционал при его минимизации, поскольку обычно данные по вертикальной компоненте электрического поля отсутствуют. Она приведена лишь для сведения и показывает, насколько существенна связь E_z с параметрами анизотропии электропроводности. Можно

видеть, что для полного восстановления тензора электропроводности необходимо весьма точное знание всех пяти компонент электромагнитного поля, регистрируемых на практике при магнитотеллурическом зондировании. Важно также, что такое восстановление стало возможным лишь в результате анализа латеральной неоднородности регистрируемого электромагнитного поля.

Следует отметить, что изменение стартовой модели в рассматриваемой ситуации практически не сказывается на результатах минимизации. Малое отличие итоговых диаграмм соответствует и малым изменениям горизонтальных компонент H_x и H_y , однако оно сопровождается заметно большим изменением вертикальной компоненты E_z . Это означает повышенную чувствительность обсуждаемого метода к данным по вертикальной компоненте E_z .

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 11-05-00001).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Babuska V., Montagner J.P., Plomerova J., Girardin N. Age-dependent Large-scale Fabric of the Mantle Lithosphere as Derived from Surface-wave Velocity Anisotropy // Pure appl. geophys. - 1998. - V. 151. - N 2-4. - P. 257–280.
2. Eken T., Plomerova J., Roberts R., Vecsey L., Babuska V., Shomali H., Bodvarsson R. Seismic anisotropy of the mantle lithosphere beneath the Swedish National Seismological Network (SNSN) // Tectonophysics. - 2010. - V. 480. - N 1-4. - P. 241–258.
3. Pek J., Santos F.A.M. Magnetotelluric inversion for anisotropic conductivities in layered media // Phys. Earth Planet. Inter. - 2006. - V.158. - N 2-4. - P. 139-158.
4. Плоткин В.В. Метод согласования компонент для исследования латеральных неоднородностей по данным глобального МВЗ и МТЗ // Геология и геофизика. - 2005. - Т.46. - № 5. - С. 568-578.
5. Плоткин В.В., Белинская А.Ю., Гаврыш П.А, Губанов А.И. Эффект нелокальности электромагнитного отклика при региональном магнитотеллурическом зондировании // Геология и геофизика. - 2008. - Т. 49. - № 11. - С. 1152-1160.
6. Карчевский А.Л. Аналитическое решение уравнений Максвелла в частотной области для горизонтально-слоистых анизотропных сред // Геология и геофизика. - 2007. - Т.48. - № 8. - С. 889-898.
7. Plomerova J., Babuska V., Kozlovskaya E., Vecsey L., Hyvonen L.T. Seismic anisotropy – A key to resolve fabrics of mantle lithosphere of Fennoscandia // Tectonophysics. - 2008. - V.462. - N 1-4. - P. 125-136.

УДК 553.98:551.762.1/2.02(571.16)

Ю.Л. Зайцева

ФГУП «СНИИГГиМС», Новосибирск

ФЛЮИДОДИНАМИЧЕСКИЕ И СТРУКТУРНО-ЛИТОЛОГИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ НЕФТЕГАЗОГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ (НЮРОЛЬСКАЯ МЕГАВПАДИНА, ТОМСКАЯ ОБЛАСТЬ)

В данной статье рассматриваются, дополнительные критерии нефтегазogeологического районирования, такие как пластовое давление, температура и литологическое описание пород разрезов скважин исследуемого района. Использование данных критериев позволяет картировать внутри нефтегазоносных районов перспективные земли с более высоким ресурсным потенциалом углеводородного сырья.

Yu.L. Zaitseva

Federal State Unitary Enterprise «Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources» (FGUP «SNIIGGiMS»)

67 Krasny Pr., Novosibirsk, 630091, Russian Federation

FLUIDODYNAMIC AND STRUCTURAL-LITHOLOGICAL CRITERIA OF PETROLEUM GEOLOGICAL ZONING (NYUROL MEGADEPRESSION, TOMSK REGION)

The paper deals with additional criteria of petroleum geological zoning, such as formation pressure, temperature and lithologic rock description of well sections in the region studied. The criteria application allows mapping promising lands with higher hydrocarbon resource potential within petroleum regions.

Район исследования в административном отношении находится на юго-западе Томской области. Нюрольская мегавпадина является отрицательной структурой первого порядка [2].

Нефтегазogeологическое районирование, как правило, проводится на тектонической основе, на которой выделены структуры первого порядка: своды, мегавалы, мегавпадины, мегапрогибы второго порядка: валы, структурные носы, впадины прогибы; третьего порядка: локальные поднятия и прогибы. Прогибы, впадины и желоба рассматриваются, как структуры нефтегазогенерации, которые способствуют образованию залежей углеводородов на сводах, валах, структурных носах и локальных поднятиях.

В Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции районирование, выполнено на основе структурной карты по региональному сейсмическому горизонту Б (IIa) и распространяется на все нефтегазоносные комплексы (НГК). При таком подходе районирование может частично или полностью не совпадать

со структурным планом одного или нескольких нефтегазоносных комплексов, поэтому их целесообразно рассматривать в качестве самостоятельных объектов нефтегазогеологического районирования.

На территории Томской области выделяются следующие нефтегазоносные комплексы: в нижней юре зимний, шараповский, надояхский; в средней юре вымский и малышевский. Нефтегазоносные комплексы состоят из резервуара и регионального экрана (флюидоупора) [3].

Сотрудниками СНИИГГиМСа (В.С. Сурковым, В.П. Девятовым, А.М. Казаковым, Л.В. Смирновым, А.Е. Еханиным), ИХН СО РАН (О.В. Серебренниковой) и Томскгеолкома (А.В. Комаровым, Г.И. Тищенко) [4] произведено нефтегазогеологическое районирование территории Томской области отдельно для нижней и средней юры с учетом основных признаков, характерных непосредственно для этих объектов. В Томской области для средней юры выделено 11 нефтегазоносных районов. Район исследования входит в Нюрольско-Колтогорский нефтегазоносный район.

В качестве дополнительных критериев нефтегазогеологического районирования для Нюрольско-Колтогорского нефтегазоносного района были проанализированы пластовое давление, пластовая температура и литологическое описание пород по разрезу скважин.

Пластовое давление. Вопросами связанными с пластовыми давлениями на территории Томской области занимались Иванов В.Г., Назаров А.Д., Манылова Л.С.

Необходимыми и достаточными условиями формирования высоких пластовых давлений является во первых, изолированность резервуара, и затрудненная связь с областями разгрузки, во вторых увеличение объема флюидов (повышение температуры, газообразование) в резервуаре или уменьшение объема (вторичная цементация пор) резервуара, или то и другое одновременно [1].

Была выявлена зависимость в значениях пластового давления от глубины. Анализ пластового давления проводился в скважинах по профилям широтного простирания. Для прогноза распределения зон повышенных пластовых давлений на исследуемой территории были выбраны разрезы скважин: Западно-Карайская 1, Северо-Фестивальная 1, Тамратская 1, Восточно-Моисеевская 1, Игольская 2, Поселковая 4, Глуховская 1. Замеры были проведены на нескольких нефтегазоносных горизонтах. Выявлен градиент нормального пластового давления для данной территории от глубины залегания. Нормальное гидростатическое давление увеличивается с глубиной 10 атм. на 100 м.

Зафиксированное повышенное пластовое давление на нижних горизонтах, к вышележащим, а именно к пласту Ю₁, заметно выравнивается (в Игольской скв.2 на глубине 3198 м (пласт Ю₆) давление 338 атм., а на глубине 2748 м (пласт Ю₁) давление 280,5 атм.

Проведенный анализ (построение литологических колонок, с учетом каротажных диаграмм ПС, КС, НКГ, ГК, привлечение данных по скважинам ИП и замеров пластового давления показал, что центральная часть Нюрольской мегавпадины характеризуется повышенными пластовыми давлениями т.е.

подчиняются зависимости повышенного пластового давления $1,3 \geq P_{пл.} / P_{гидр} > 1,0$ [1].

Повышенные пластовые давления отмечены на Поньжевой площади в скважине 301, Глуховской площади в скважине 1 коэффициент равен - 1,12, в скважине 2 Игольской площади – 1,06, и в скважине Поселковая 4 - 1,03.

Восточная и западная части Нюрольской мегавпадины характеризуются нормальным пластовым давлением (рис. 1).

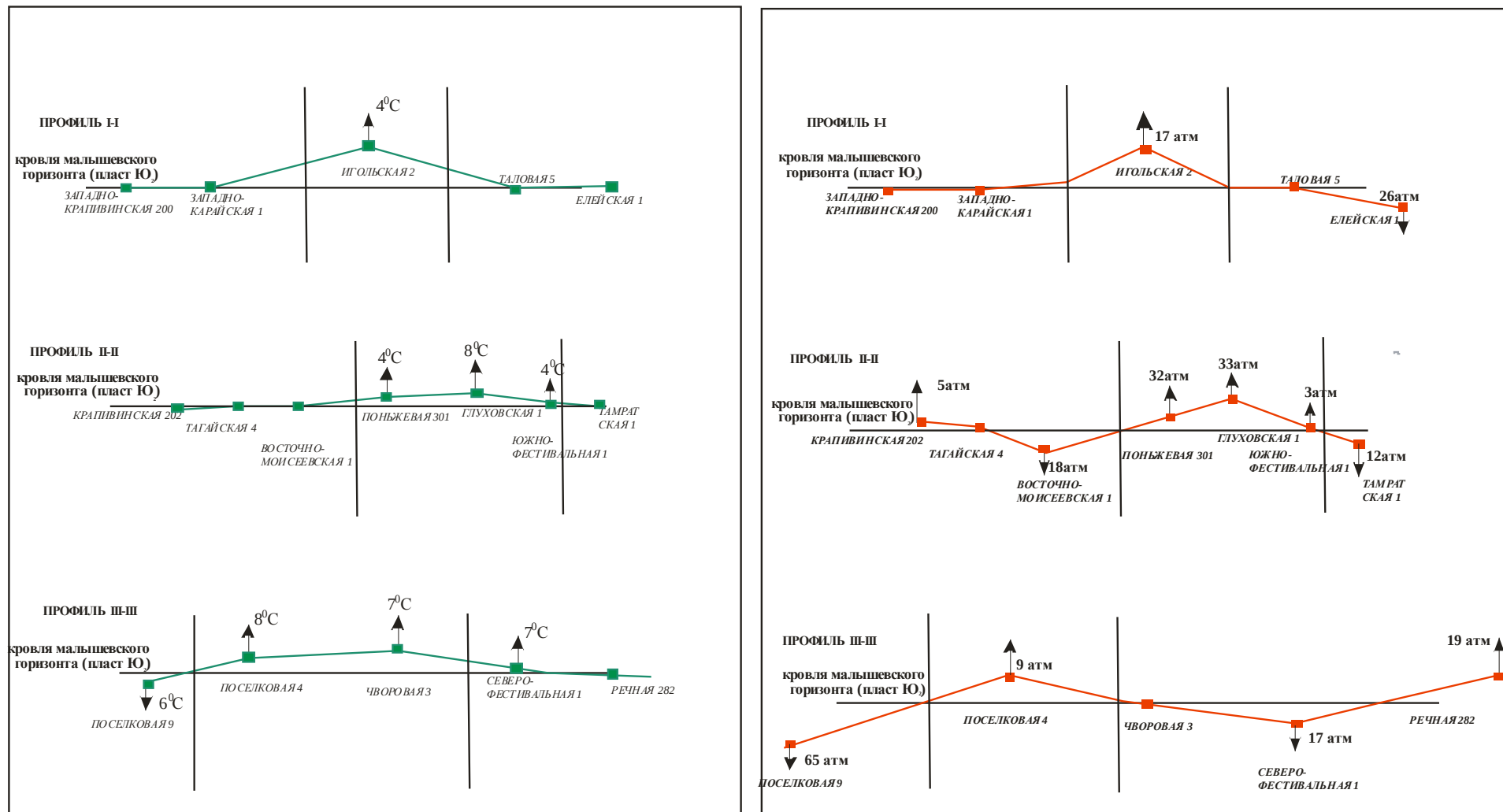


Рис.1 Графики распределения приведенных значений пластовых давлений и температур (средняя юра, кровля пласта Ю₂) в пределах Нюрольско-Колтогорского нефтегазоносного района.

Анализ изменения геотермического градиента для мезозойского чехла в центральных районах Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна, свидетельствует, что в юрских отложениях его значения составляют 3,0-4,0°С/100 м. Для исследуемой территории температурный градиент был установлен 3,4°С/100 м.

На графиках показано, что пластовая температура в центральной части Нюрольской мегавпадины выше нормальной пластовой температуры на 4-11 °С. Восток и крайний запад впадины характеризованы нормальными и незначительно пониженными пластовыми температурами.

По температурным показателям, как и по значениям пластовых давлений, отмечена одна и также закономерность, т.е. в центральной части Нюрольской мегавпадины зафиксированы высокие температурные отметки (рис. 1).

Анализ литологического состава пород свидетельствует, что разрезы в Нюрольской мегавпадины характеризуются преимущественно крепкоцементированными, средне-мелкозернистыми песчаниками. В средней юре отмечено присутствие большого числа угольных пластов, углистых алевролитов и аргиллитов. Пласты средней юры отличаются, низкой пористостью и проницаемостью, эти показатели характерны для центральной части Нюрольской мегавпадины (табл. 1).

По данным флюидодинамической характеристики пластов, а также по литологическим показателям обособляются в Нюрольско-Колтогорском нефтегазоносном районе, два подрайона Колтогорский на севере граница его проходит по Южно-Черемшанскому локальному поднятию и Нюрольский.

В свою очередь Нюрольский нефтегазоносный подрайон по приведенным характеристикам целесообразно разделить на две зоны: Западно-Нюрольскую и Восточно-Нюрольскую. Граница между зонами протягивается по Фестивальной, Северо-Черталинской и Таловой площадям (рис. 2).

Таким образом, использование дополнительных критериев для нефтегазогеологического районирования позволяет оконтуривать внутри нефтегазогеологических районов, выделенных на тектонической основе, более дробные подразделения. В данном случае, описанная Восточно-Нюрольская зона характеризуется более высоким ресурсным потенциалом углеводородного сырья, в отличие от Западно-Нюрольской.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Белонин М.Д. Аномально высокие пластовые давления. Происхождения, прогноз, проблемы освоения залежей углеводородов / Белонин М.Д., Славин В.И., Чилингар Д.В; Под ред. Н.С. Окновой. – СПб.: Недра, 2005. - 324 с.
2. Конторович В.А. Тектоника и нефтегазоносность мезозойско-кайнозойских отложений юго-восточных районов Западной Сибири. - Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «ГЕО», 2002. - 253 с.
3. Геологическое строение и нефтегазоносность нижней-средней юры Западно-Сибирской провинции. /Гурари Ф.Г., Девятов В.П., Дёмин В.И. [и др.] - Новосибирск: Наука, 2005. – 156 с.+вкл.

4. Нефтегазоносные комплексы и нефтегазогеологическое районирование нижне-среднеюрских отложений Томской области. /В.С.Сурков, В.П.Девятов, А.М. Казаков [и др.] // Геология нефти и газа. – 1997. - №11. – С. 4-14.

Таблица 1. Характеристика коллекторских свойств пород по пласту Ю2 в пределах Нюрольской мегавпадины

Зона нормального пластового давления $P_{пл}/P_{гидр} \leq 1$				Зона повышенного пластового давления $1,3 \geq P_{пл}/P_{гидр}$			
скв.№	литология	пористость (пласт Ю2), %	проницаемость, (пласт Ю2), мД	скв.№	литология	пористость, (пласт Ю2), %	проницаемость, (пласт Ю2), мД
Крапивинская 202	Средне-мелкозернистые песчаники с прослоями алевролита, мощностью до 10 м	14	0,8	Игольская 2	Средне-мелкозернистые песчаники с большим кол-вом углистого материала, крепко-сцементированные, до 10 м	10,2	0,01
Тагайская 4	Средне-мелкозернистый песчаники, мощность 4-8 м	10	0,5	Поселковская 4	Средне-мелкозернистые песчаники, с прослоями аргиллита, углистого детрита, мощность в среднем 7 м	8	0,01
Восточно-Моисеевская 1	Средне-мелкозернистые песчаники с прослоями алевролита, мощность до 10 м	14	0,7	Поньжевая 301	Песчаные пласты плохо выделяются по ГИС, сложены алевролитами с прослоями темно-серого аргиллита	7	0,01
Тамратская 1	Однородные средне-мелкозернистые песчаники, мощность до 15 м.	12	0,6	Глуховская 1	Переслаивание аргиллитов, алевролитов и песчаников с включениями пирита, мощность в среднем 5-8 м	8-10	0,1
Западно-Карайская 1	Крупно-средне-мелкозернистые песчаники, крепкосцементированные, мощность 5-8 м	12	0,25	Южно-Фестивальная 1	Песчаные пласты полностью заглинизированны. Породы представлены светло-серыми алевролитами	5-8	0,01
Западно-Крапивинская 200	Средне-мелкозернистые песчаники, мощность 5-7 м	10	0,6				
Таловая 5	Крупно-средне-мелкозернистые песчаники, среднесцементированные, мощность до 10 м	17,5	13,6				
Елейская 1	Средне-мелкозернистые песчаники, с прослоями алевролитов, до 10 м.	10	0,5				

Поселковая 9	Средне-мелкозернистые песчаники, с прослоями алевролитов, до 10 м	12	0,8				
Чворовая 3	Средне-мелкозернистые песчаники, с небольшой долей алевролитистого материала, мощность 11 м	12	0,7				
Северо- Фестивальная 1	Средне-мелкозернистые песчаники, однородные с прослоями алевритов, до 11 м	10	0,65				

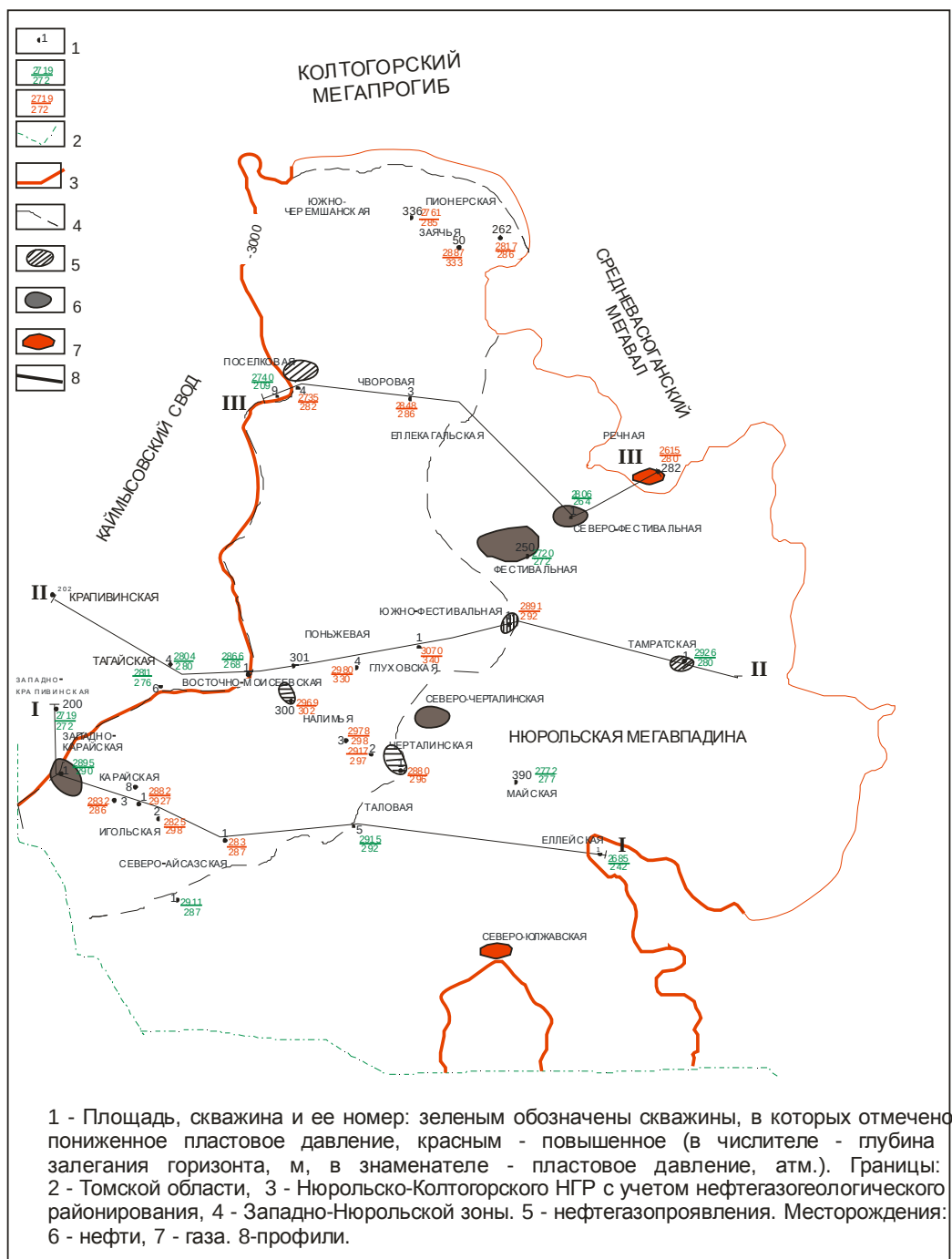


Рис.2 Данные по замерам пластового давления в пласте Ю₂ (малышевский горизонт) в пределах Нюрольско-Колтогорского нефтегазоносного района.

УДК 553.98:556.3 (571.1)

Д.А.Новиков

ИНГГ СО РАН, Новосибирск

ВЕРТИКАЛЬНАЯ ГЕОТЕРМИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ СЕВЕРНЫХ РАЙОНОВ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ И АКВАТОРИИ КАРСКОГО МОРЯ

В работе приводятся результаты комплексного изучения геотермических условий северных районов Западной Сибири и акватории Карского моря. Установлены закономерности изменения геотермических характеристик разреза по основным стратиграфическим уровням. Выявлены области фоновых ($3,0 - 3,5$ °C/100 м), пониженных ($2,0 - 3,0$ °C/100 м) и повышенных (более $3,5$ °C/100 м) значений среднего геотермического градиента и особенности вертикальной геотермической зональности основных геологических структур.

Dm.A. Novikov

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS (IPGG)

Acad. Koptyug av.3, Novosibirsk, 630090, Russian Federation

VERTICAL GEOTHERMAL ZONALITY AT THE NORTH AREAS OF WESTERN SIBERIA AND THE KARA SEA AREA

This work presents results of comprehensive study of geothermal conditions at the north areas of Western Siberia and the Kara Sea area. There are regularities in change of cross-section geothermal characteristics in the main stratigraphic levels. There are areas of background ($3,0 - 3,5$ °C/100 m), low ($2,0 - 3,0$ °C/100 m) and high (more than $3,5$ °C/100 m) values of the average geothermal gradient and features of vertical geothermal zonality in the main geological structures.

Геотермические исследования в Западной Сибири ведутся более 50 лет. За этот период выполнено значительное число исследований, как теоретического характера, так и с целью прикладного использования геотермической информации для решения различных проблем гидрогеологии, тектоники и нефтяной геологии региона. Их результаты отражены в многочисленных трудах Э.Э. Фотиади, Б.Ф. Маврицкого, В.А. Кошляка, Л.М. Зорькина, Г.А. Череманского, Н.М. Кругликова, Б.П. Ставицкого, Ю.Г. Зимина, А.Э. Конторовича, Г.Д. Гинсбурга, А.Д. Дучкова, А.Р. Курчикова, И.И. Нестерова и многих других [1]. В целом Западная Сибирь может считаться вполне изученным регионом, в плане геотермических исследований, за исключением шельфовых областей и акватории Карского моря.

В рамках настоящей работы был проанализирован каталог геотермических данных представленных сведениями по более 100 месторождениям по Гыданской, Надым-Пурской, Пур-Тазовской и Ямальской нефтегазоносным

областям (НГО) северной части Западной Сибири. Детальный анализ имеющихся материалов позволил установить области фоновых, пониженных и повышенных значений средних геотермических градиентов. За фоновые величины были приняты значения от 3,0 до 3,5 °C/100 м, пониженные ниже 3,0 и повышенные более 3,5 °C/100 м. Были выявлены детали геотермических характеристик разреза на региональном, зональном и локальном уровне, что позволило построить ряд геотермических карт (теплового потока, пластовых температур и др.) по основным стратиграфическим уровням: кровле апт-альб-сеноманского, неокомского, верхнеюрского и подошве ниже-среднеюрского гидрогеологических комплексов (рис. 1). Далее в тексте приведены краткие сведения по изменению пластовых температур по основным стратиграфическим уровням и геотермическим особенностям разреза изученных НГО.

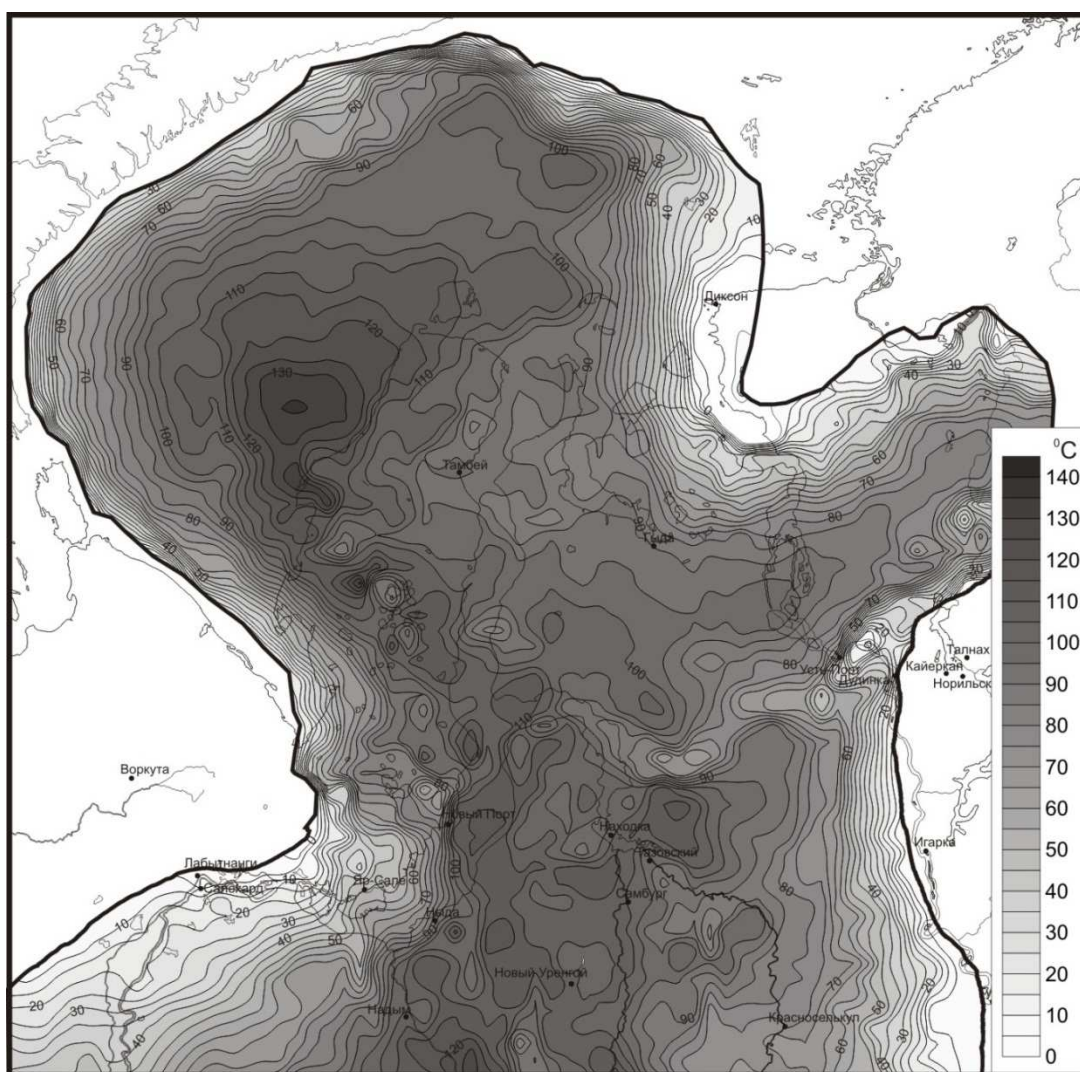


Рис. 1. Карта пластовых температур в кровле верхнеюрского гидрогеологического комплекса северных районов Западной Сибири и акватории Карского моря

Интервал изменения пластовых температур в кровле апт-альб-сеноманского гидрогеологического комплекса составляет 0 до 50 °C. Околонулевые и отрицательные температуры связаны с прибортовыми частями осадочного

бассейна, и влиянием криолитозоны. Локальные уменьшения пластовых температур с 25 до 5 °С приурочены к Харасавэйскому, Бованенковскому куполовидному поднятиям (кп), Северо- и Южно-Арктическим валам, осложняющие Северо-Гыданский межавыступ, Малоямальскому кп и Новопортовскому валу, осложняющим Южно-Ямальский мезовал, и Русскому и Южно-Русскому валам, осложняющим Часельский наклонный мегавал. Температурным фоном для изучаемых отложений является вариация пластовых температур от 20 до 30-35 °С. Области с повышенными значениями температур (более 35 °С) занимают две обширные области. Одна из них связана с Северо-Таймырским наклонным мегавалом (I порядок), Южно-Карской мегавпадиной (I порядок), осложняющей Карскую мегасинеклизу и Северо-Карскую моноклизу. Вторая расположена на самом юге исследуемой территории и приурочена, главным образом, к Нерутиской мегавпадине, осложняющей юго-западную часть Большехетской мегасинеклизы, и к Верхнетанловской мегавпадине, осложняющей северо-восточную часть Надымской гемисинеклизы. Очевидно, что на локальные увеличения или уменьшения пластовых температур, в первую очередь влияет структурный фактор и характер дизъюнктивной тектоники.

Распределение пластовых температур в кровле неокомского комплекса составляет от 0 до 100 °С. Температуры от 0 до 25 °С зафиксированы в районах, прилегающих к обрамлению Западной Сибири, и на структуре II-ого порядка – Рассохинском мезовыступе. Для этого стратиграфического уровня фоновыми являются температуры в диапазоне 30-75 °С. Присутствует несколько аномалий пониженных температур до 40 °С, связанных с положительными структурами разного порядка – Русский и Южно-Русский валы, осложняющие Часельский наклонный мегавал, Ярудейский межавыступ, Новопортовский вал, осложняющий Южно-Ямальский мезовал, и Среднемессояхский мезовал. Область высоких значений пластовых температур – выше 75 °С – совпадает с этой же областью для апт-альб-сеноманских отложений. Помимо Северо-Таймырского наклонного мегавала, Карской мегасинеклизы и Северо-Карской моноклизы, в эту область также входит Бованенковско-Нурминский наклонный мегавал.

Распределение пластовых температур в кровле верхнеюрского комплекса имеет много общего с неокомским комплексом в плане распределения температурного поля. Максимальные температуры в изучаемом комплексе достигают 140 °С. Температуры близкие к нулевым значениям также приурочены к районам, прилегающим к обрамлению Западной Сибири. Заметно понижение температуры на Рассохинском мезовыступе. Для верхнеюрского комплекса фоновыми являются температуры 40 – 100 °С. С одной стороны, менее выраженным становится Русский и Южно-Русский валы, на них значения пластовых температур составляют 80-90 °С, с другой – более выраженным на общем фоне стал Ярудейский межавыступ, со значениями более 55 °С (район г. Надым) до

0°C (прибортовая часть). Что касается повышенных значений пластовых температур, то обширная зона по-прежнему располагается в Карской мегасинеклизе, при этом зона максимальных температур – до 140°C – располагается в Глубоком прогибе, Южно-Карской мегавпадины. В целом, центральная часть изучаемого региона характеризуется относительно небольшим интервалом изменения значений пластовых температур (90 – 110°C) (см. рис. 1).

Распределение пластовых температур в подошве юрского комплекса является в большей мере результатом прогноза. Для этого стратиграфического уровня максимальные температуры составляют 200°C. Температурный максимум приурочен к той же области, что и в кровле верхнеюрского комплекса, Глубокий прогиб, Южно-Карской мегавпадины. Не смотря на это, Карская мегасинеклиза по-прежнему характеризуется повышенными значениями температур – более 130°C, отличающие ее от фоновых, которые для подошвы юры составляют 60 – 120°C. Установлена еще одна зона повышенных температур (от 155 до 170°C), которая связана с Беловской мезовпадиной, осложняющая Енисейскую мегавпадину, Чугорной мезовпадиной (Яптыксалинская мегавпадина), и Внутренней мезовпадиной Агапского прогиба. Эти три структуры I-ого порядка осложняют Антипаютинско-Тадебеяхинскую мегасинеклизу. Красноленинская и Зауральская мегамоноклизы характеризуются относительно невысокими значениями пластовых температур, для этой части исследуемой территории с максимальными значениями около 100°C.

Изменение геотермических градиентов в разрезе по изученным НГО также является весьма разнообразным. Так, для Гыданской НГО характерны геотермические градиенты от 3,16 до 3,4°C/100 м. Исключением являются Восточно-Мессояхское и Салмановское месторождения, со средними геотермическими градиентами 2,56 и 2,95°C/100 м, которые отнесены к локальной аномалии пониженных градиентов. По территории НГО имеется 132 надежных точечных замера пластовых температур, приуроченных к трем комплексам. Для апт-альб-сеноманского интервал изменения температур составляет от 15 до 70°C, при глубине замеров от 750 до 2200 м. В пределах неокомского комплекса пластовые температуры изменяются от 45 до 84°C, при глубине от 1800 до 3400 м. По нижне-среднеюрскому комплексу на данной территории есть только один замер пластовой температуры, равный 89°C, замер произведен на Геофизическом месторождении (Напалковский НГР) на глубине 3260 м.

Границы Надым-Пурской НГО практически полностью входят в рамки исследуемого района. На территории НГО расположены уникальные газовые месторождения Западной Сибири – Ямбургское и Уренгойское, которые могут быть выделены в самостоятельные геотермические зоны. Для области характерны пониженные и нормальные геотермические градиенты. Максимальные значения средних геотермических градиентов установлены на Ямсовейском месторождении (3,5°C/100 м), а минимальные – на

Комсомольском ($2,45^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$). В пределах Ямбургского месторождения установлена геотермическая аномалия с пониженными геотермическими градиентами. Для апт-альб-сеноманского комплекса интервал изменения пластовых температур составляет от 20 до 60°C , при глубине замеров от 1000 до 2000 м. В пределах неокомского комплекса пластовые температуры изменяются от 64 до 110°C в интервале глубин от 2300 до 3800 м. В нижне-среднеюрском комплексе пластовые температуры варьируют от 80 до 110°C , при изменении глубины замера от 3500 до 4200 м.

Месторождения, расположенные в пределах западной части Пур-Тазовской НГО весьма разнообразны по своим геотермическим характеристикам. Вариации среднего геотермического градиента составляют от $2,46$ до $3,36^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$. В аномалии пониженных геотермических градиентов входят Береговое ($2,8$), Заполярное ($2,93$), Русское и Южно-Русское ($2,88$ и $2,81^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$, соответственно) и Южно-Хадыряхинское ($2,46$) месторождения. В апт-альб-сеноманском комплексе интервал изменения температур варьирует от 20 до 68°C , при изменении глубины замера от 750 до 2300 м. В неокомском комплексе от 30 до 100°C в интервале глубин от 1700 до 3700 м. В верхнеюрском комплексе от 70 до 95°C (глубины замеров от 2600 до 3100 м). Нижне-среднеюрский комплекс – от 78 до 97°C , при изменении глубины от 2900 до 3700 м.

Ямальская НГО максимально представлена в базе качественным геотермическим материалом. На ее территории установлена наиболее сложная картина в распределении типов вертикальной геотермической зональности. Наряду с областями аномалий понижений значений геотермического градиента, выявлены аномалии повышенных значений. В последнюю зону входят Тасийское, Ростовцевское, Бованенковское, Крузенштернское и Харасавэйское месторождения со средними геотермическими градиентами $3,53$, $3,72$, $3,7$, $3,87$ и $3,72^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$ соответственно. К аномалии пониженных значений относится Западно-Сеяхинское месторождение ($2,87^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$). Для апт-альб-сеноманского комплекса интервал изменения температуры составляет от 15 до 74°C , при глубине замеров от 600 до 2600 м. В пределах неокомского комплекса пластовые температуры изменяются от 50 до 98°C , при изменении глубины от 1700 до 2800 м. В нижне-среднеюрском комплексе пластовая температура варьирует от 40 до 120°C , изменение глубины замера составляет от 2000 до 3700 м.

Отсюда следует, что Гыданская НГО характеризуется как зона развития нормальных и фоновых значений геотермического градиента. На территориях Надым-Пурской и Пур-Тазовской НГО в равной степени развиты, как зоны с фоновыми значениями (от $3,0$ до $3,5^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$), так и области с пониженными значениями. В свою очередь, Ямальскую НГО следует характеризовать как зону развития преимущественно нормальных геотермических градиентов, осложненную присутствием локальных аномалий с повышенными значениями.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 10-05-00442) и гранта Лаврентьевского конкурса молодежных проектов СО РАН.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Курчиков А.Р., Ставицкий Б.П. Определение глубинного теплового потока в сложных геотермических условиях [Текст] / А.Р. Курчиков, Б.П. Ставицкий // Изв. АН СССР. Сер. Геологич. – 1986. – № 11. – С. 121-127.
2. Курчиков А.Р. Гидрогеотермические критерии нефтегазоносности [Текст] / А.Р. Курчиков. - М.: Недра, 1992. – 231 с.
3. Сергиенко С.И. Аномалии теплового потока в нефтегазоносных структурах [Текст] / С.И.Сергиенко // Изв. АН СССР. Сер. геологич. – 1988. – № 2. – С. 115-124.

© Д.А. Новиков, 2011

УДК (551.3.051:550.834):551.72(571.5-14)

М.И. Баранова, А.В. Мигурский

ФГУП «СНИИГГиМС», Новосибирск

СДВИГОВАЯ ПРИРОДА ЛОВУШЕК УГЛЕВОДОРОДОВ НА КУЮМБИНСКОМ ГАЗОНЕФТЯНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

В статье рассмотрен парагенез структур зон сдвигов в районе Куюмбинского газонефтяного месторождения, выделены ловушки углеводородов, показана их сдвиговая природа.

M.I. Baranova, A.V. Migursky

Federal State Unitary Enterprise «Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources» (FGUP «SNIIGGiMS»)

67 Krasny Pr., Novosibirsk, 630091, Russian Federation

SHEAR NATURE OF HYDROCARBON TRAPS IN THE KUYUMBINSKOYE PETROLEUM FIELDS

Paragenesis of shear zone structures in the Kuyumbinskoye petroleum field is considered in the paper, hydrocarbon traps are defined, and their shear nature is shown.

Введение

В настоящее время важная роль горизонтальных движений блоков в развитии земной коры является общепризнанной. Сдвиговый контроль таких характеристик тектонических процессов, как морфология и пространственное распределение структур, история аккумуляции и последующего преобразования вещества в осадочных бассейнах позволяет считать изучение сдвиговой тектоники актуальным направлением в общем ряду наук, связанных с онтогенезом углеводородов.

Зоны сдвигов включают в себя как структуры сжатия, в виде складок и надвигов, так и растяжения. Сложность и разнообразие этих структур характеризуются двумя важными свойствами сдвигов [6]: 1 - *изгибы сдвигов в плане, которые создают локальные структуры растяжения и укорочения*; 2 - *кулисообразная природа разломов и складок*. Структуры обычно имеют кулисообразное размещение в относительно узких зонах.

Дж.Муди [5] выделил 4 типа ловушек, связанных со сдвигами: 1) *пликативные (складки волочения)*; 2) *тектонически экранированные пересекающимися разломами*; 3) *блоковые, горстообразные структуры*; 4) *литолого-стратиграфические*.

Проявление сдвиговой тектоники в районе Куюмбинского месторождения

В соответствии со схемой распространения сдвигов на Сибирской платформе, Куомбинское газонефтяное месторождение находится в зоне пересечения правостороннего Ангаро-Катангского сдвига северо-западного простирания и левостороннего - Большепитско-Кислоканского [3] (рис. 1).

Залежи углеводородов здесь приурочены к верхней части рифейских отложений, представляющих нижнюю, наиболее дислоцированную часть осадочного чехла. Эта толща перекрыта венд-палеозойскими породами, залегающими субгоризонтально с угловым и стратиграфическим несогласием на отложениях рифея. Ловушки УВ связаны с коллекторами каверново-трещинного и трещинно-кавернового типа, в основном, контролируемые разрывными нарушениями.

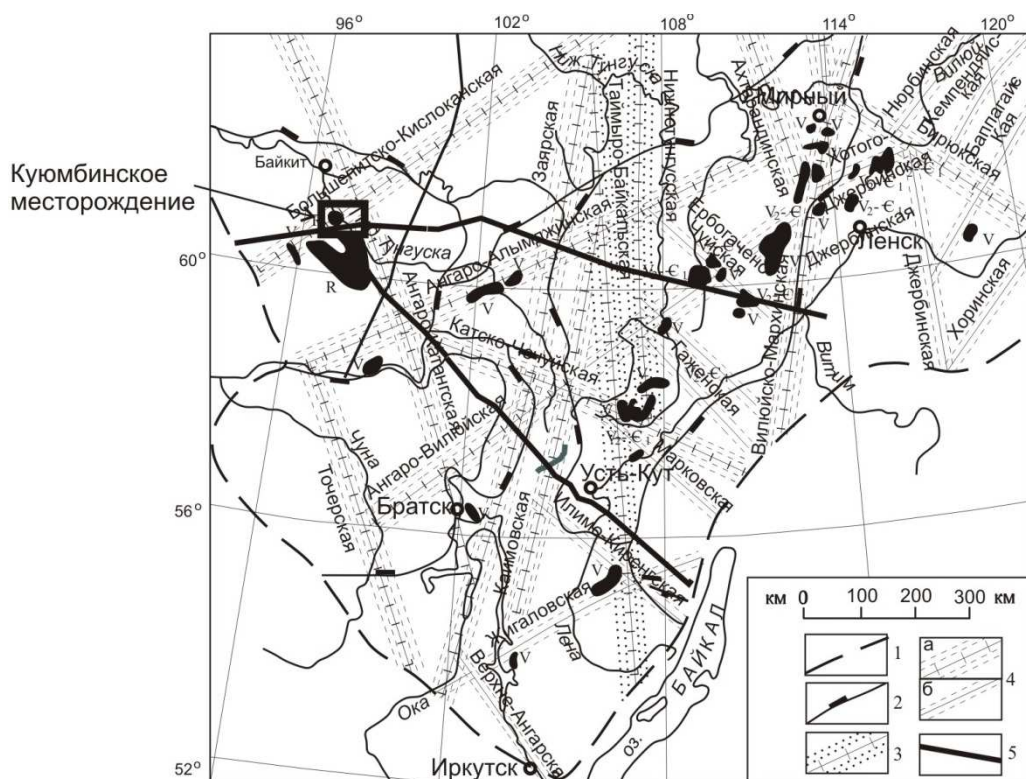


Рис. 1 Основные сдвиговые зоны юга Сибирской платформы [3]

Границы: 1 - Лено-Тунгусской НПП; 2 - надпорядковых структур (антеклиз, синеклиз, региональных прогибов, ступеней). Сдвиговые зоны: 3 - доседиментационные; 4 - кон- и постседиментационные генеральные (а); региональные (б); 5 - региональные профили

Анализ структурной карты, построенной по нижнему рифейскому отражающему горизонту R4, показывает (рис. 2), что Куомбинское месторождение находится в рифейском тектоническом блоке, отличном по строению от смежной с юго-запада Юрубчено-Тохомской зоной нефтегазонакопления. Это выражается в его приуроченности к рифейской депрессии ромбовидной формы, вытянутой в северо-восточном направлении и называемой геологами Мадринским прогибом. В фациальном отношении отложения рифея здесь заметно отличаются от подобных на Юрубченском месторождении и корреляция их до сих пор неоднозначна. Первые относятся к Мадринской фациальной площади, вторые – к Тохомской. Осадконакопление в

пределах Мадринской фациальной площади происходило более длительное время, при, предположительно, одновременном с Тохомской площадью, начале накопления осадков [2].

Граница между блоками проходит по разрыву, проявляющему себя как сдвиг-надвиг и зафиксированному в скважине Юрубченской 66 по сдвоению фундамента [1].

1-ое свойство заключается в том, что при отклонении от прямолинейного движения сдвиги способны создавать структуры растяжения или сжатия на крыльях в зависимости от поворота основной оси сдвига. Так, при изгибе осевой поверхности левостороннего сдвига налево образуется зона растяжения в виде пулл-апарта [6]. Аналогичным образом ведет себя Большепитско-Кислоканский сдвиг. В районе западных скважин Юрубченского месторождения (Юр 2, 4, 5) ветвь сдвига начинает отклоняться налево, в то время как основное направление стремится к субширотному простиранию. В результате образуется впадина, в нашем случае она представлена Мадринским прогибом. Контур Мадринского пулл-апарта контролируется отрицательной гравиметрической аномалией (см. рис. 2).

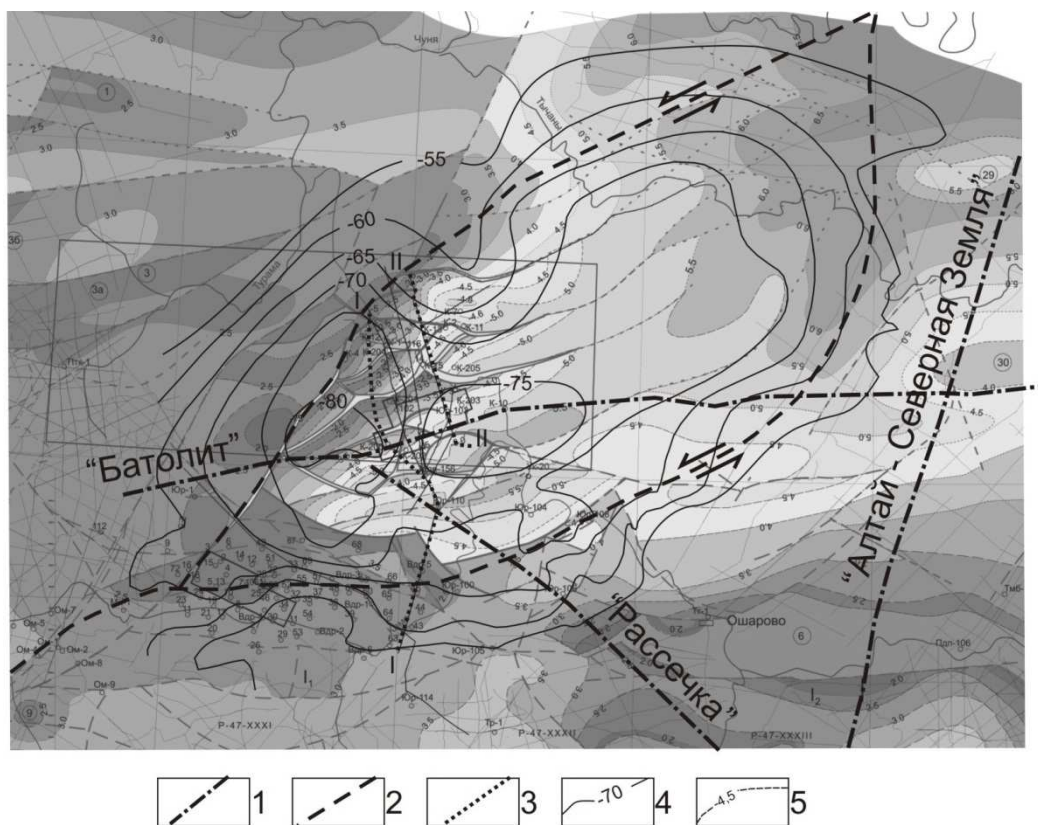


Рис. 2 Фрагмент структурной карты по рифейскому отражающему горизонту R4 (кровля вздрешевской свиты), (по Кощуку Е.П. и др., 2001), с дополнениями

1 - региональные профили; 2 - контур предполагаемого пулл-апарта; 3 - линии сейсмических профилей; 4 - гравитационное поле в усл. ед.; 5 - изолинии отражающего горизонта R4

2-ое свойство сдвигов проявлено в районе Куюмбинского месторождения на различных структурных иерархических уровнях. На микроуровне это кулисное положение трещин, зафиксированное на керновом материале, на макроуровне – кулисное положение разрывов, видимое на космоснимке в районе скважины Куюмбинской 200 в месте выхода на поверхность траппов пермо – триасового возраста. Этот факт говорит о широком возрастном диапазоне проявления Большепитско-Кислоканского сдвига.

На карте индекса открытой трещиноватости пород рифея, составленной недропользователями, отчетливо видна кулисность в расположении аномальных зон, причем намечается следующая закономерность: к западу от главной зоны смещения Ангаро-Катангского сдвига аномальные зоны трещиноватости вытягиваются вдоль субмеридиональных разрывов, а к востоку – вдоль разрывов северо-восточного простирания (рис. 3).

На сейсмических профилях выделенные аномальные зоны трещиноватости пространственно совпадают с валообразными поднятиями обычно изометричной, слабо вытянутой формы размером от 1 до нескольких километров и амплитудой до 250 м. Кулисное положение в плане по поверхности рифея указывает на их сдвиговую природу, а положительные формы – на принадлежность к присдвиговым складкам (складкам волочения).

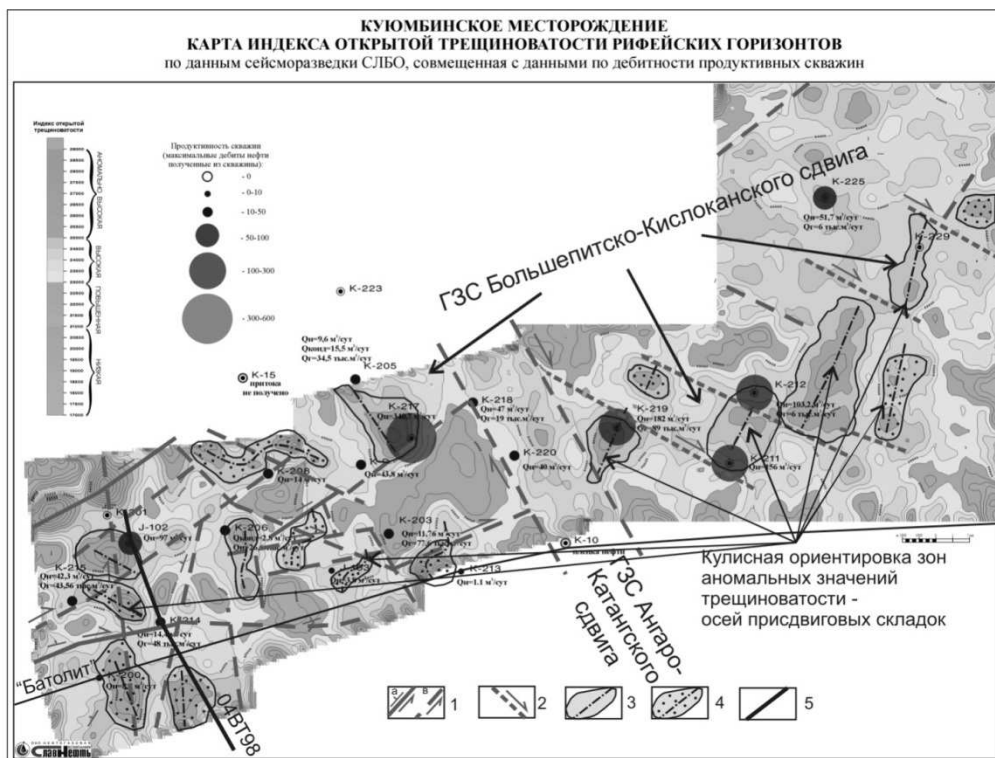


Рис. 3 Схема распространения открытой трещиноватости в породах рифея (по данным ОАО "НГК "Славнефть", 2010, с интерпретацией автора).

- 1 - сбросо-сдвиги: а - уверенные, б - предполагаемые; 2 - предполагаемые антитетические разрывы для Большепитско-Кислоканского сдвига; 3 - предполагаемые оси присдвиговых складок и их контуры;
- 4 - рекомендуемые ловушки для разведочного бурения; 5 - линия профиля

В районе скважин Куюмбинская 200, 214, Юрубченская 102 разрыв, вдоль которого расположены брахиантиклиналы, имеет север-северо-западное

направление по азимуту 350^0 (см. рис. 3). Оси складок расположены кулисно таким образом, что видна правосторонняя сдвиговая компонента разрыва, который составляет угол с предполагаемым Ангаро-Катангским сдвигом в первые градусы. В соответствии с теоретическими основами сдвиговой тектоники [6], это могут быть синтетические сколы для сдвига северо-западного простирания. В районе скважины К-214 и Юр-102 на сейсмопрофиле 04ВТ98 [4] присдвиговые складки видны как малоамплитудные поднятия, контролируемые субвертикальными разрывами (рис. 4).

Не менее интересной является интерпретация аномальных зон трещиноватости к востоку от главной зоны смещения Ангаро-Катангского сдвига в районе скважин К-211, К-212, К-235, К-229. Здесь кулисно расположенные брахиантиклинали смещаются одна относительно другой также по разрывам северо-западного простирания, но с азимутом около 300^0 . Ориентировка разрыва, вдоль которого расположена цепочка поднятий, имеет северо-восточное простирание и соответствует, на наш взгляд, Большепитско-Кислоканскому сдвигу, а поперечные этому направлению разрывы, возможно, являются антитетическими для этого сдвига, так как ориентированы к нему под углом около 70^0 и имеют правую сдвиговую компоненту [6].

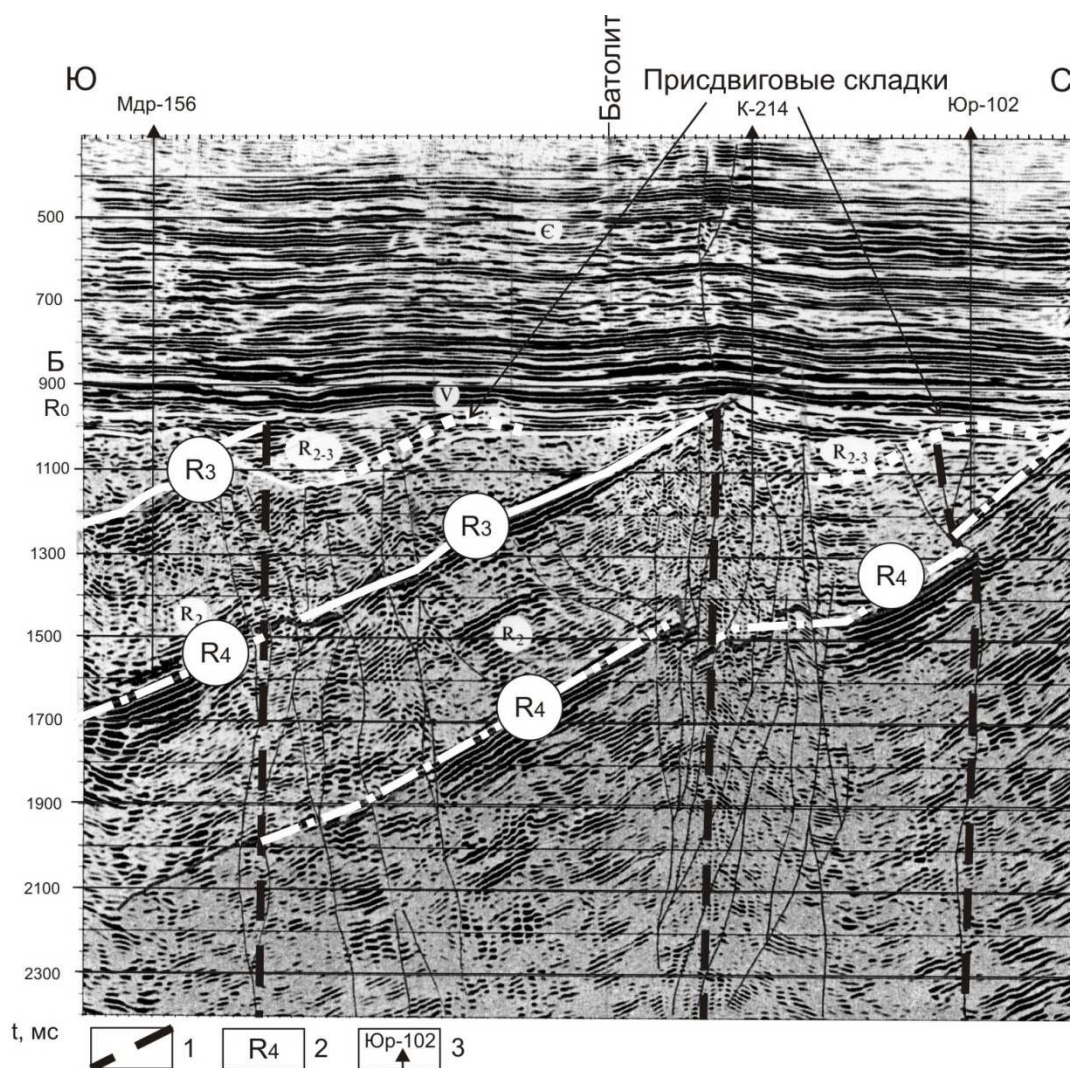


Рис. 4 Сейсмогеологический разрез по профилю 04BT98
1 - предполагаемые сбросо-сдвиги; 2 - рифейские отражающие горизонты; 3 - глубокая скважина и ее номер. Положение профиля см. на рис. 3

Таким образом, анализ аномальных зон трещиноватости в сопоставлении с интерпретацией сейсмических профилей указывает на генетическую связь ловушек УВ со структурами зон сдвигов. Еще не опосредованные ловушки углеводородов являются, с нашей точки зрения, первоочередными объектами разведочного бурения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баранова М.И. Сдвиговая тектоника и нефтегазоносность Куюмбинского месторождения (Сибирская платформа) // Нефтегазогеологический прогноз и перспективы развития нефтегазового комплекса Востока России: сб. материалов научно-практической конференции. 22-26 ноября 2010., Санкт-Петербург. – СПб.: ВНИГРИ, 2010. – 456 с.: ил.
2. Краевский Б.Г. Проблемы стратиграфии нефтегазоносных рифейских отложений юго-западной части Сибирской платформы [Текст] / Б.Г. Краевский // Проблемы стратиграфии и региональной геологии Сибири: Сб. науч. тр. / Под.ред. И.В. Будникова. – Новосибирск: Наука. – 2006. – С. 13-23.

3. Мигурский А.В., Старосельцев В.С. /Дизъюнктивная тектоника и нефтегазоносность юга Сибирской платформы // Доклады секции Всероссийского съезда геологов и научно-практической геологической конференции «Состояние и перспективы развития сырьевой базы углеводородов России». Санкт-Петербург, ВНИГРИ, 2000. – С. 159-168.

4. Новые данные о геологическом строении Куюмбинского месторождения Юрубчено-Тохомской зоны нефтегазонакопления / В.В. Харахинов, В.Н. Нестеров, Е.П. Соколов, С.И. Шленкин // Геология нефти и газа. – 2000. - № 5. – С. 12-20.

5. Moody J.D. Petroleum Exploration Aspects of Wrench-Fault Tectonics // Bull. AAPG, 1973. – V.57. – No 3. – P.449-476.

6. 6 Sylvester A.G. Strike-slip faults // Bull. Geol. Soc. Am., 1988. - V. 100. – No 11. – P. 1666-1703.

© М.И. Баранова, А.В. Мигурский, 2011

УДК (552.578.2.061.4:551.72):551.8(571.5)

Д.С. Лежнин

ФГУП «СНИИГГиМС», Новосибирск

ТЕКТОНИКА И НЕФТЕГАЗОНОСНОСТЬ МЕЗОЗОЯ ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЕНИСЕЙ-ХАТАНГСКОЙ НГО

В статье приводятся краткая история тектонического развития юго-западной части ЕХРП и ее влияние на формирование нефтегазоносных комплексов в позднеюрско-раннемеловое время.

D.S. Lezhnin

Federal State Unitary Enterprise «Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources» (FGUP «SNIIGGiMS»)

67 Krasny Pr., Novosibirsk, 630091, Russian Federation

PETROLEUM POTENTIAL AND TECTONICS OF MESOZOIC SOUTH-WESTERN PART OF THE YENISEI-KHATANGA OIL AND GAS FIELD

The paper reports on the brief of tectonic history development of south-western part of the EHRD and its influence in the oil and gas complexes in the late jurassic-early cretaceous time.

Енисей-Хатангский региональный прогиб (ЕХРП) расположен на севере Сибирской платформы. Его формирование происходило одновременно с Западно-Сибирской плитой и Таймырской складчатой системой. В тектоническом отношении он, с одной стороны, разделяет Сибирскую платформу и Таймырскую покровно-складчатую область, а с другой – является составной частью зоны мезозойско-кайнозойской депрессии, начинающейся на западе Западно-Сибирской плиты и протягивающейся через Енисей-Хатангский региональный прогиб в Вилуйскую гемисинеклизу [3]. По сути, северная часть плиты и ЕХРП по сходству геологического строения и истории развития, составляют единый крупный блок земной коры, обособившийся в результате раннетриасовых рифтогенных процессов, широкого проявления вулканизма и нисходящих тектонических движений.

Границы регионального прогиба с Сибирской платформой и Таймырской покровно-складчатой областью проводятся по линии выклинивания выполняющих прогиб осадочных меловых отложений. Граница с Западно-Сибирской плитой условна и может быть проведена по смене субширотных простираний структур, свойственных региональному прогибу, на субмеридиональные, характерные для структур севера плиты. На востоке граница с Анабаро-Хатангской седловиной проведена по глубинному Таймыро-Котуйскому разлому фундамента.

Формированием Енисей-Хатангского регионального прогиба происходило на фоне раннетриасового вулканизма, а позднее, одним из основных факторов осадконакопления являлись эвстатические колебания уровня моря [1].

Оба они являются тектоническими и в разной степени определяющими для особенностей осадконакопления платформенного чехла разных районов прогиба.

Основными причинами структурообразования ЕХРП служили дизъюнктивные нарушения субширотного плана, обусловившими накопление мощной вулканогенно-терригенной толщи, вскрытой глубокими скважинами и изученной в естественных выходах [3].

На базе комплексной интерпретации временных сейсмических разрезов и данных ГИС по 39 глубоким скважинам, был создан 3-D геологический проект в интерпретационном комплексе PETREL.

Первоначально в процессе работы осуществлялась корреляция разрезов юры и мела, близких по литологическому составу и, соответственно, облику на каротажных диаграммах (рис. 1, рис. 2).

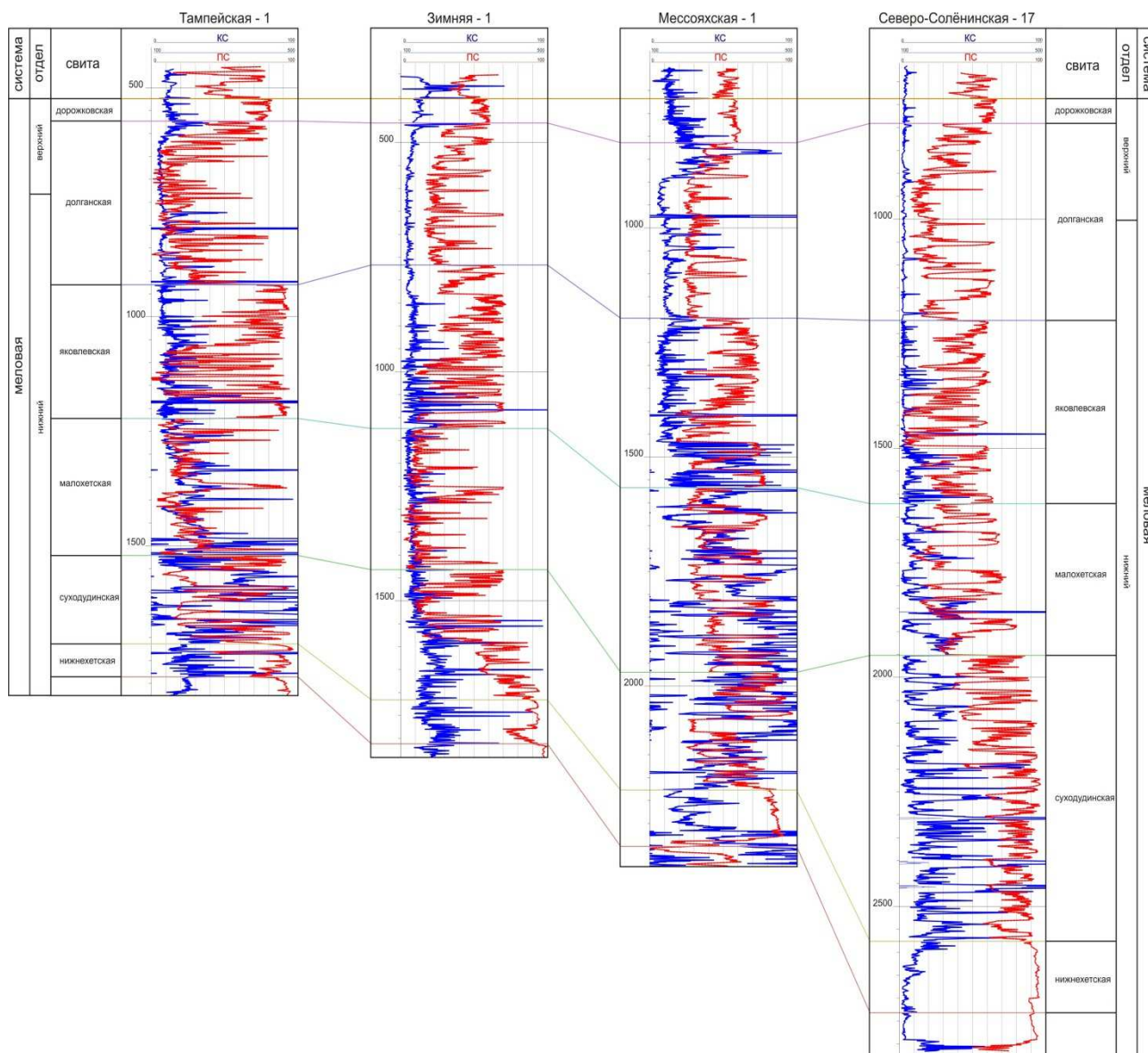


Рис. 1. Корреляционная схема меловых отложений юго-западной части ЕХРП

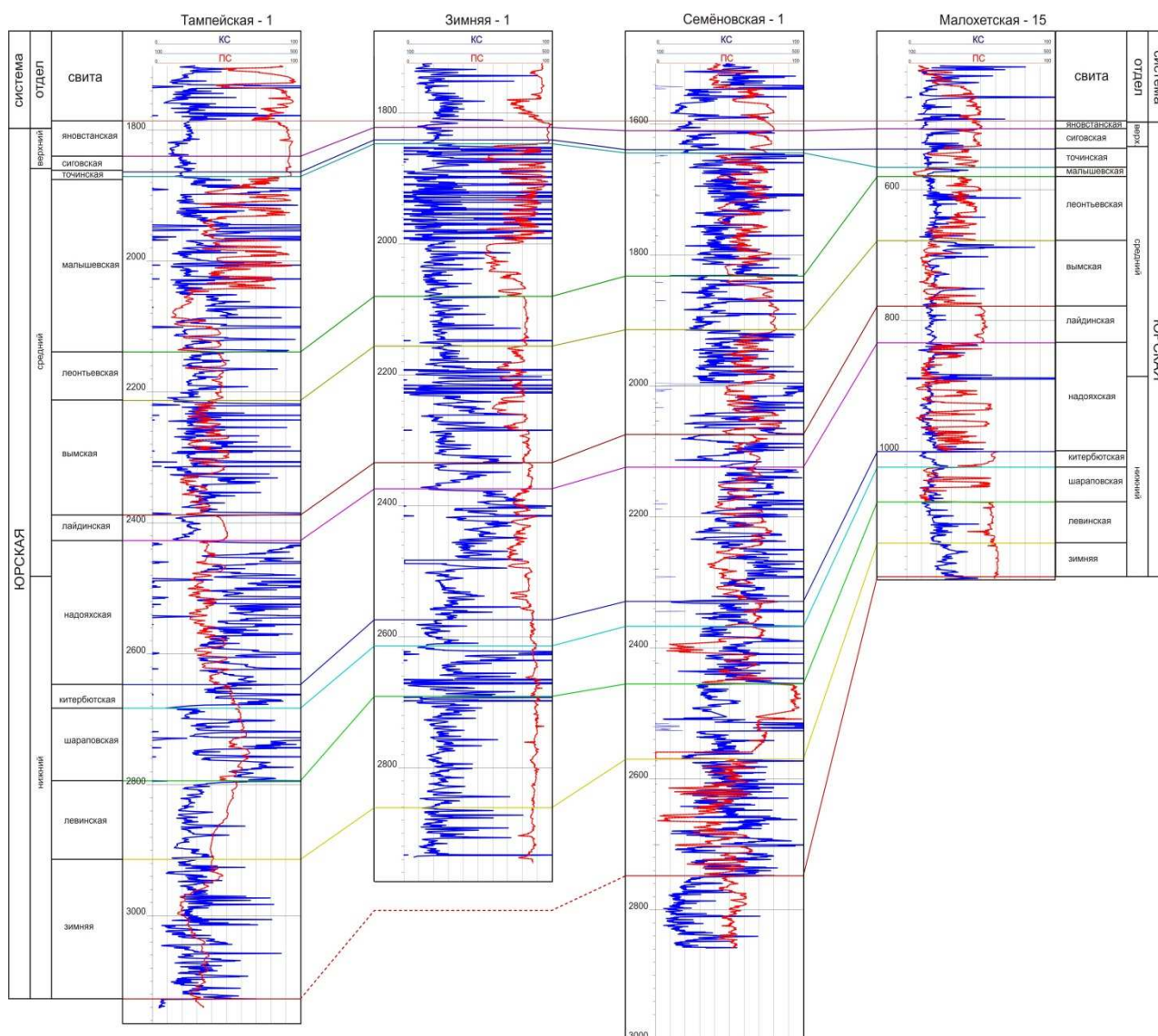


Рис. 2. Корреляционная схема юрских отложений юго-западной части ЕХРП

Основой для построения региональных структурных карт послужили значения T_0 , полученные в результате корреляции отражающих горизонтов по временным разрезам, и скоростные законы по скважинам.

При расчете карт средних скоростей были использованы следующие процедуры:

- Определение T_0 ОГ в точках всех скважин, вскрывших целевые отражающие границы;
- Определение значений V_{cp} в точках скважин и построение с помощью интерпретационного комплекса PETREL методом линейной интерполяции сеточных моделей V_{cp} с шагом 500x500 м;
- Построение карт средних скоростей.

Результирующие структурные поверхности рассчитывались как произведение сеточных моделей изохрон и средних скоростей.

В качестве базовых использовались карты по отражающим горизонтам Па и М, приуроченным, соответственно, к низам яновстанской и яковлевской свит [2].

Так же наиболее выдержанными, обладающими реперными свойствами в пределах региона работ являются отражающие горизонты Id и Ig, которые приурочены соответственно к верхам нижнехетской и средней части суходудинской свит [2].

При уверенной корреляции границ по разрезам, уточнялись и стратиграфические разбивки по скважинам.

Далее, для построения ряда структурных поверхностей и восстановления истории тектонического развития территории в процессе проведенных исследований использовался регрессионный анализ.

На рис. 3 приведены зависимости абсолютных глубин залегания сиговской, точинской, малышевской и леонтьевской свит от абсолютных отметок горизонта Па.

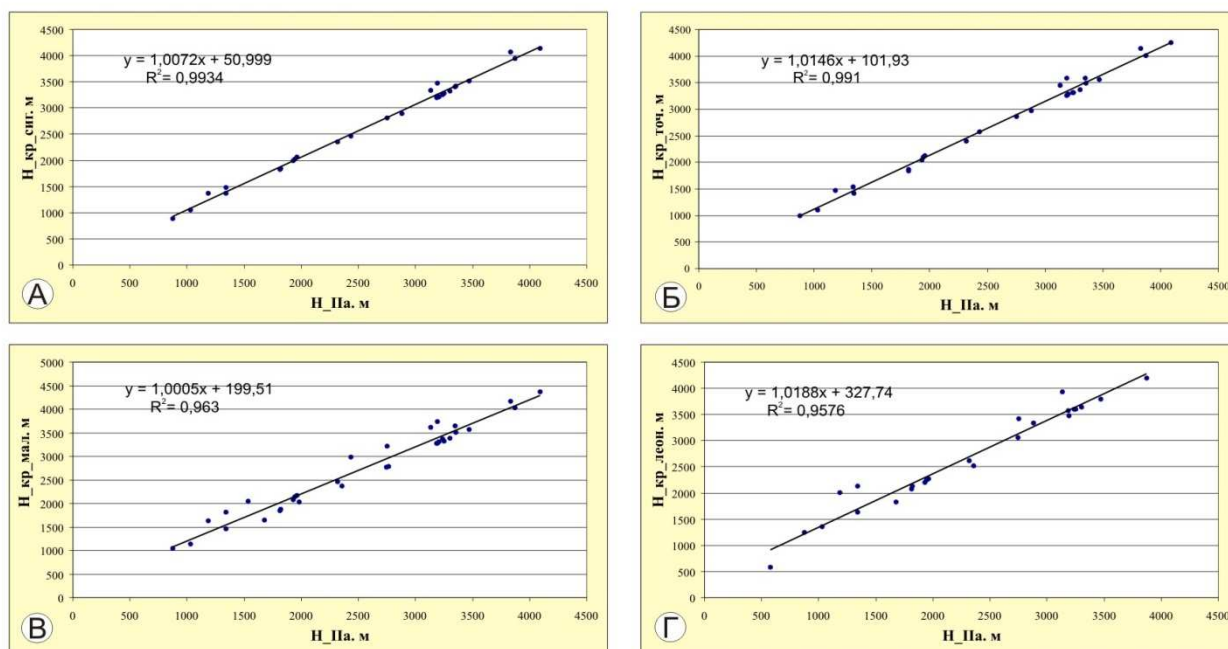


Рис. 3. Зависимость абсолютных глубин залегания кровли сиговской (А), кровли точинской (Б), кровли малышевской (В) и кровли леонтьевской (Г) свит от абсолютных отметок низов яновстанской свиты

Анализ приведенных графиков позволяют утверждать, что абсолютные глубины залегания байос-батских и верхнеюрских структурных поверхностей тесно связаны между собой (коэффициент корреляции этих поверхностей составляет 0,95–0,99). Коэффициенты регрессии в уравнениях, связывающих поверхности сиговской, точинской, малышевской и леонтьевской свит с абсолютными отметками волжских отложений очень незначительно увеличиваются от верхних горизонтов к нижним, поверхности практически параллельны, а мощности комплексов незначительно увеличиваются в направлении современных депрессий. Увеличение коэффициентов регрессии вниз по разрезу показывает, что на рассматриваемой территории байос-батские

тектонические процессы унаследовали юрские тектонические движения, а их высокие значения говорят об отсутствии значительных структурных перестроек на средне-позднеюрском этапе формирования осадков.

На рис. 4 приведены зависимости абсолютных глубин залегания малохетской, суходудинской и нижнехетской свит от абсолютных отметок низов яновстанской свиты, которые свидетельствует о том, что эти поверхности связаны между собой.

График зависимости (А) несет информацию о тектонических процессах, имевших место в берриас-аптское время, (Б) – в берриас-готеривское и (В) – в берриас-валанжинское время. Зависимость, приведенная на графике (Г) – о апт-альбских тектонических движениях.

В этом случае наличие взаимосвязи между абсолютными отметками кровли неокома и юры свидетельствует, что берриас-аптские процессы оказали существенное влияние на тектоническое строение рассматриваемой территории, в том числе и на строение юрского структурного яруса. Большой разброс значений позволяет делать вывод, что неокомские и апт-сеноманские тектонические процессы характеризовались своими особенностями и протекали не унаследованно.

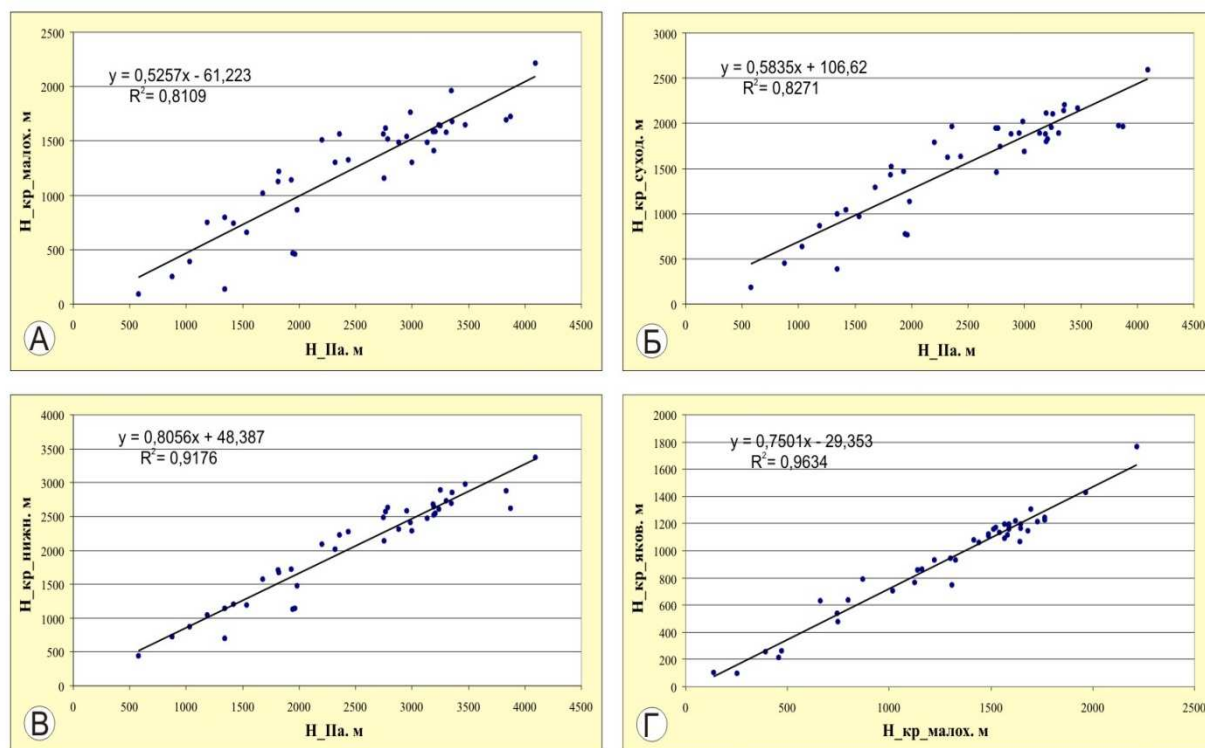


Рис. 4. Зависимость абсолютных глубин залегания кровли малохетской (А), кровли суходудинской (Б) и кровли нижнехетской (В) свит от абсолютных отметок низов яновстанской свиты. Зависимость абсолютных глубин залегания кровли яковлевской (Г) от абсолютных отметок кровли малохетской свит

Наиболее значительные изменения палеорельефа происходили в валанжинское (ранненеокомское) время.

В то же время, приведенная на рис. 4 зависимость (Г) свидетельствует о том, что верхнемеловая поверхность яковлевской свиты практически аналогична структурному плану малохетской свиты (коэффициент корреляции этих поверхностей составляет 0,97). Это говорит об отсутствии значительных тектонических подвижек в сеномане.

В результате интерпретации временных разрезов и с учетом данных регрессионного анализа были построены региональные структурные карты по кровле юрских отложений, кровле суходудинской и нижнехетской свит.

Путем вычитания структурных поверхностей, была получена карта толщин суходудинской свиты, которая характеризует собой палеорельеф на время формирования свиты (рис. 5, А).

Анализ структурной поверхности кровли нижнехетской свиты (рис. 5, Б) и карты толщин суходудинской свиты позволяет сделать вывод, что наиболее значительные изменения структурного плана происходили в центральной части района исследования. Основное осадконакопление происходило на Пайяхской, Паютской, Яровской, и Казанцевской площадях.

Как известно, пеляткинская пачка глин валанжин-готеривского возраста, залегающая в кровле нижней подсвиты суходудинской свиты, служит региональным флюидоупором практически на всей территории ЕХРП. Таким образом, наибольший интерес в отношении нефтегазоносности в ранненеокомское время, охарактеризованное значительным изменением структурного плана, представляет нижняя подсвита суходудинской свиты.

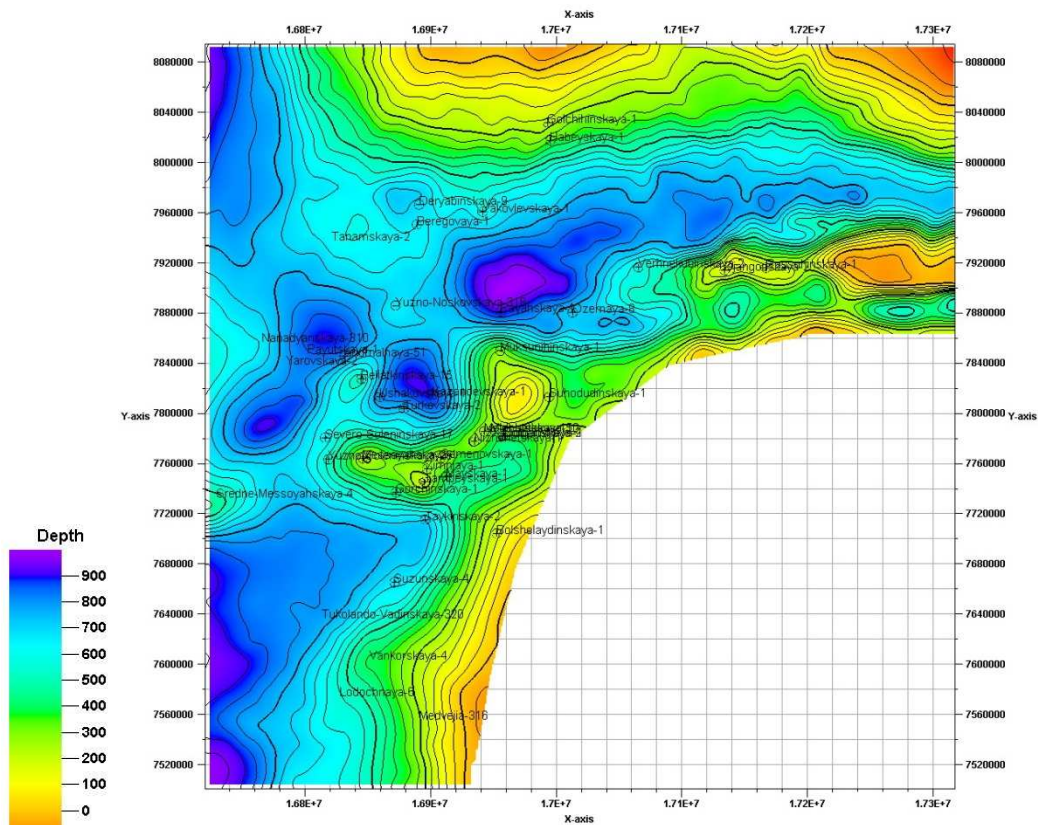
Анализ нефтегазоносности юрско-меловых НГК Енисей-Хатангской НГО Хатангско-Вилуйской НГП и прилегающих районов Западно-Сибирской НГП, подтвердил, что **нижненеокомский НГК** один из основных в котором в настоящее время выявлены залежи УВ в исследуемом районе и с которым связываются перспективы дальнейшего прироста запасов.

На большинстве месторождений западных районов Енисей-Хатангской НГО залежи УВ выявлены именно в пластах нижней подсвиты суходудинской свиты. Всего в разрезе нижней подсвиты суходудинской свиты залежи выявлены на девяти месторождениях. Еще на пяти площадях (Малохетской, Озерной, Среднеяровской, Пайяхской и Яровской) отмечаются нефтегазопроявления.

Выводы

С учетом данных регрессионного анализа и полученных структурных поверхностей, проанализирована история тектонического развития мезозойской части разреза юго-запада Енисей-Хатангской НГО. Наибольший интерес в отношении нефтегазоносности в ранненеокомское время, охарактеризованное значительным изменением структурного плана, представляет нижняя подсвита суходудинской свиты.

А)



Б)

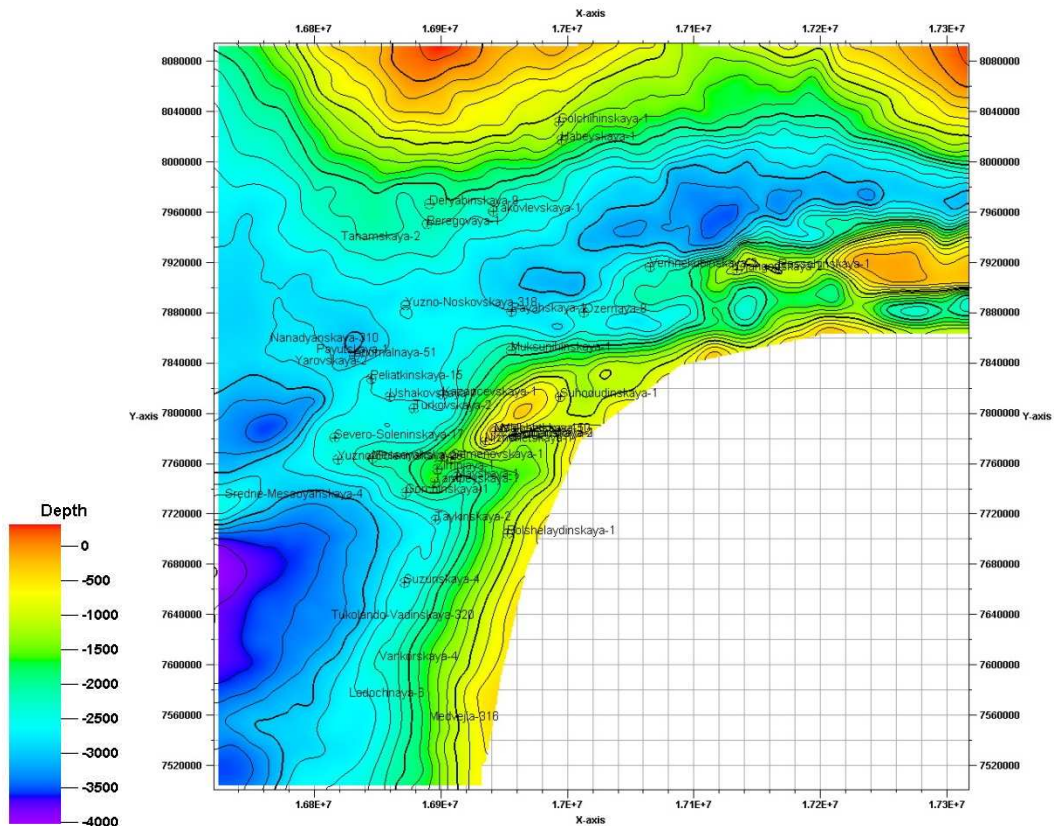


Рис. 5. Карта изопакит суходудинской свиты (А), структурная карта по кровле нижнехетской свиты (Б)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Балдин В.А., Кунин К.Н., Кунин Н.Я. Новые представления о строении и генезисе диагональной системы мегавалов в Енисей-Хатангском прогибе / Геология нефти и газа, 1997, №3, с. 26-34.
2. Байбародских Н.И., Бро Е.Г., Гудкова С.А., Карцева Г.Н., Накаряков В.Д., Ронкина З.З., Сапир М.Х., Сороков Д.С. Расчленение юрских и меловых отложений в разрезах скважин, пробуренных в Усть-Енисейской синеклизе в 1962–1967гг. // Уч. зап. НИИГА. Региональная геология, 1968. Вып.12. С.5–24.
3. Гурари Ф.Г. Геология и перспективы нефтегазоносности Обь-Иртышского междуречья. Л.: Гостоптехиздат, 1959. 174с.

© Д.С. Лежнин, 2011

УДК 550.37

Н.Н. Неведрова, А.М. Санчаа, А.Е. Шалагинов

ИНГГ СО РАН, Новосибирск

РЕЗУЛЬТАТЫ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ЗОНДИРОВАНИЙ СТАНОВЛЕНИЕМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ (ЗС), ВЫПОЛНЕННЫХ В БЕРЕГОВОЙ ЗОНЕ И НА АКВАТОРИИ ОЗ. БОЛЬШОЕ ЯРОВОЕ (АЛТАЙСКИЙ КРАЙ)

В работе представлены результаты опытно-методических работ методом зондирования становления электромагнитного поля (ЗС) в условиях, приближенных к северному шельфу.

N.N. Nevedrova, A.M. Sanchaa, A.E. Shalaginov

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS (IPGG)

Acad. Koptyug av. 3, Novosibirsk, 630090, Russian Federation

RESULTS OF TEMPORAL ELECTROMAGNETIC DATA INTERPRETATION (TEM), EXECUTED IN THE COASTAL ZONE AND ON WATER AREA THE LAKE BOLSHOYE YAROVOYE (ALTAY REGION)

Results of skilled-methodical works by a method of temporal electromagnetic (TEM) in the conditions approached to northern shelf are presented.

В настоящее время особенно актуальны исследования континентального шельфа и транзитных зон северных морей, где имеются хорошие перспективы для поисков новых месторождений углеводородов. По предварительным оценкам только на шельфе Северного Ледовитого океана содержится 25% мировых запасов нефти и газа. В морской геофизической разведке достаточно широко используются электромагнитные методы, для которых первоочередной задачей является разработка новых теоретически обоснованных источников и технологий. Необходимые натурные экспериментальные электромагнитные измерения непосредственно в арктических условиях крайне дорогостоящи. Поэтому было решено осуществить опытно-методические работы одним из методов электромагнитных зондирований с контролируемым источником - зондированиями становлением электромагнитного поля (ЗС) в условиях приближенных к северному шельфу. Измерения методом ЗС были выполнены в береговой зоне и на акватории соленого озера Большое Яровое. На рис. 1 показана обзорная карта района исследования. Озеро расположено в Кулундинской степи Алтайского края. Его общая площадь составляет 90 кв. км, средняя глубина 6-8 м. Работы проведены в зимнее время 2010 г. в прибрежной зоне и на акватории озера при толщине ледового покрова в 60-70 см.

Основной целью выполненных работ являлась оценка эффективности систем "возбуждения-регистрации" на основе многокомпонентных измерений

5) Профильные измерения от закрепленного гальванического источника - заземленной линии АВ длиной 453 м, для регистрации были использованы одновитковые рамки со стороной в 50 м.

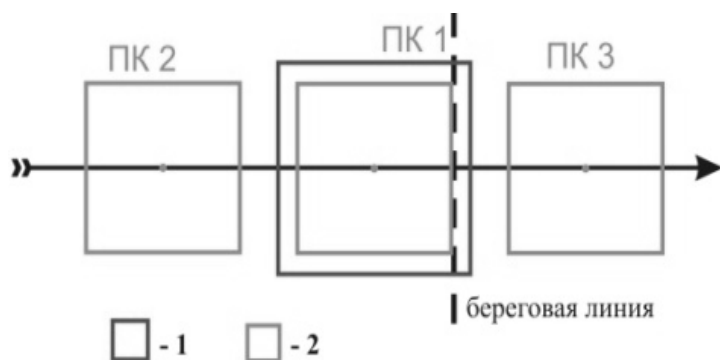
Ток в генераторном контуре и линии достигал 50 А. Измерения на участке исследования были выполнены с использованием двух систем регистрации сигнала:

- а) «СФ ГС» - система регистрации разработанная СФ ГС СО РАН, г. Новосибирска;
- б) «Байкал» - аппаратура, созданная в Институт лазерной физики СО РАН, г. Новосибирска.

На первом этапе интерпретации были рассмотрены трансформации всех кривых зондирования по профилям наблюдений, отдельно анализировалась каждая кривая ρ_{τ} . При этом оценивалось качество измерений, возможные искажения экспериментальных данных, рассматривался характер изменения кривых по профилю, их корреляция между собой, выявлялись основные закономерности процесса становления на различных участках.

В результате выполненного анализа было установлено, что по полевым данным ЗС, полученным с индуктивным возбуждением поля с использованием соосных и разнесенных установок больших размеров, можно уверенно определить глубину до опорного электрического горизонта и его удельное электрическое сопротивление (УЭС). Именно на основе этих кривых и априорных данных была сформирована предварительная геоэлектрическая модель разреза, которая затем дорабатывалась и уточнялась на следующем этапе интерпретации. Установки с индуктивным возбуждением и регистрацией на этапе качественного анализа кроме высокой глубинности и локальности исследования наименее подвержены влиянию приповерхностных и глубинных неоднородностей.

Далее на втором этапе интерпретации для получения количественных оценок весь объем полевых данных ЗС был обработан в интерактивных



программных комплексах «Эра» и EMS, предназначенных для моделирования и инверсии с использованием горизонтально-слоистой модели. Программные системы разработаны в ИНГГ СО РАН и являются универсальными диалоговыми системами для

Рис. 2. Схема измерений по профилю № 1

работы с данными электроразведки методом ЗС.

В качестве примера, рассмотрим данные для профиля № 1, на котором измерения выполнены с контурами больших размеров. Сторона генераторного

контура составляла 500 м, стороны приемных рамок равнялись 400 м. На рис. 2 представлена схема измерений по этому профилю, выполненному в береговой зоне и на акватории озера. На рисунке отмечено положение береговой линии. Измерительный контур пикета 2 и большая часть генераторного контура находятся на суше, приемный контур пикета 3 расположен на акватории озера.

Измерения по профилю № 1 были выполнены с соосными (ЗС 1) и разнесенными установками (ЗС 2, 3) (на рисунке: 1 – генераторный контур площадью 500×500 (м²), 2 – приёмные контуры с площадью 400×400 (м²), разность разнесенных установок составляли 550 м).

Рассмотрим подробнее геоэлектрические данные для этого профиля (рис. 3). Полевая кривая, полученная в пикете 2, не имеет восходящей правой ветви, поэтому граница с опорным горизонтом определена в рамках эквивалентности моделей с учетом априорных данных и отмечена на рис. 3 пунктиром. Но, в общем, можно отметить, что выбранные размеры установки позволили получить полный разрез осадочного чехла и характеристики опорного электрического горизонта, как на суше, так и на акватории озера. Получены дифференцированные по сопротивлению кривые, характеризующие на суше семислойный разрез ($\rho_1 > \rho_2 < \rho_3 > \rho_4 < \rho_5 > \rho_6 < \rho_7$). В акватории озера (пикет 3) получено восемь геоэлектрических горизонтов, в верхней части разреза добавлен тонкий низкоомный горизонт, характеризующий объединенный слой льда и высоко минерализованной воды с сопротивлением порядка 1 Ом·м. Присутствие этого горизонта для больших установок не влияет на глубинность исследования.

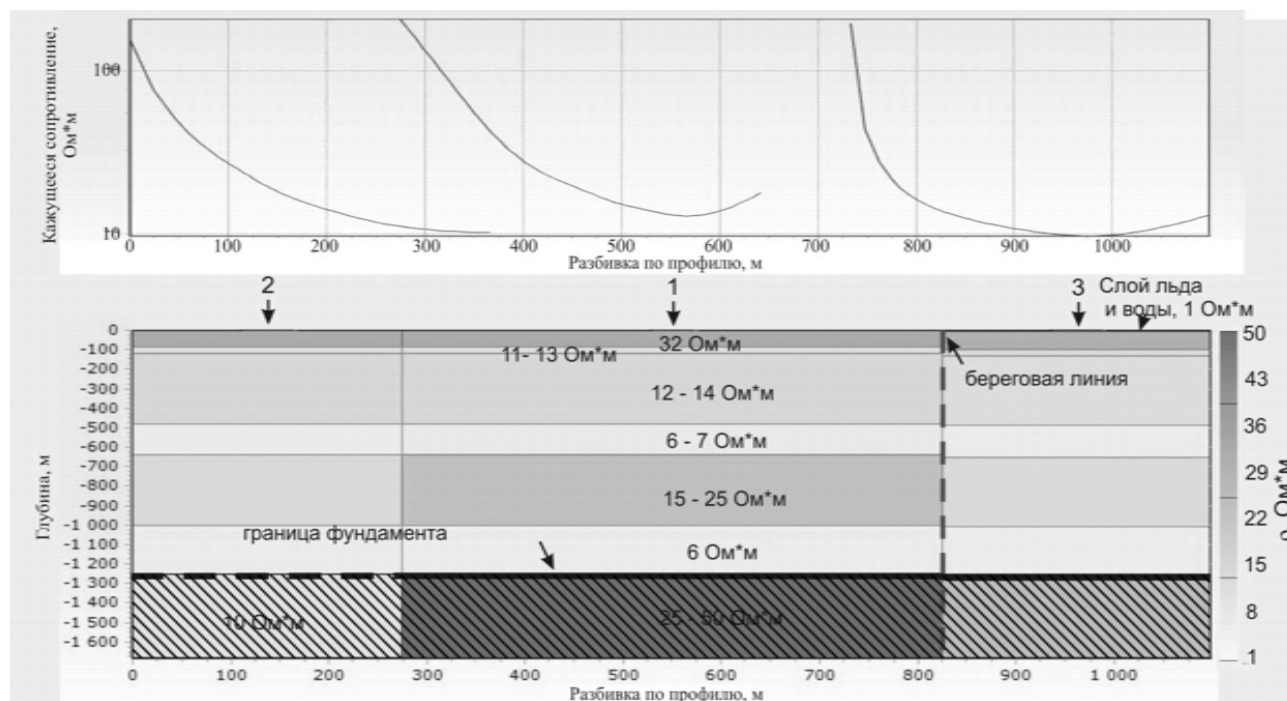


Рис. 3. Полевые кривые ЗС и геоэлектрический разрез по профилю № 1

Все полевые кривые ЗС профиля № 1 отражают присутствие в разрезе слоев с низкими значениями электросопротивлений. У двух кривых (ЗС 2, 3) имеется восходящая правая ветвь, наличие которой позволяет уверенно

определить глубины до палеозойского основания и судить об его удельном электрическом сопротивлении. Значения УЭС опорного электрического горизонта (основания) в несколько раз выше сопротивления осадочных горизонтов разреза и составляет 25-50 Ом·м. Но, в общем, все слои разреза при различных толщинах имеют достаточно низкие и малоконтрастные значения удельного электрического сопротивления. Это связано с тем, что по геологическим данным осадочный чехол однообразен и основные литологические комплексы представлены песчано-алевролитовыми и глинистыми породами. Такой тип геоэлектрического разреза характерен для территории всей Западной Сибири.

Далее с целью детализации строения верхней части разреза были проведены измерения с индукционными соосными установками небольших размеров. Стороны генераторного и измерительного контуров равняются соответственно 20 и 10 метрам. Эти измерения дают возможность более детально охарактеризовать самую верхнюю часть осадочного чехла с присутствием тонкого слоя с аномально низкой электропроводностью, в частности, геоэлектрические характеристики имеющих слоев льда и воды.

В последнюю очередь были рассмотрены полевые данные ЗС и выполнена интерпретация для установок с гальваническим возбуждением поля. Для этих измерений были получены наиболее сложные кривые становления, для части которых интерпретации с использованием горизонтально слоистой модели не корректна.

Имеющийся опыт интерпретации данных с гальваническим возбуждением, полученных ранее на территории Горного Алтая, показал, что на измерения радикально влияют неоднородности, как в осадочном чехле, так и в опорном горизонте, а также явление поляризации горных пород под воздействием электромагнитного поля.

По результатам интерпретации можно сделать вывод, что измерения с гальваническим возбуждением поля при использовании приемных рамок небольших размеров позволяет в береговой зоне по кривым с большими разносами, наименее искаженным, получить параметры осадочного чехла до глубин в 600 м, что соответствует результатам с измерениями с этой установкой для больших приемных рамок. Ограниченная глубинность исследования связана с искажениями кривых зондирования.

Для ЗС на акватории озера левые ветви кривых ρ_T искажены менее, чем на суше, приповерхностным неоднородностями и достаточно хорошо интерпретируются с использованием горизонтально-слоистой модели. Но из-за искажений правой ветви глубинность не превышает 500 м. Если сравнить геоэлектрические модели, то следует отметить, что на акватории практически для всех слоев разреза получены более низкие значения УЭС по сравнению с сушей. Отчасти это можно объяснить влиянием слоя высокоминерализованной воды и другим типом проводимости в этих геологических условиях.

Таким образом, по результатам выполненных работ были сделаны методические выводы о возможности наиболее экономичной площадной съемки в транзитных зонах: генераторная петля на берегу либо на акватории, измерения

выполняются многоразносными петлевыми установками относительно небольших размеров. Причем, размеры приемных установок на акватории озера необходимо увеличивать по сравнению с установками на суше. Сравнивая результаты, полученные с различными генераторными установками, следует отметить, что измерения с гальваническим возбуждением поля должны контролироваться измерениями с индуктивными соосными установками. Установки АВ-q более экономичны при выполнении полевых работ, поэтому часто привлекают внимание геофизиков. Но существенные искажения полевых данных этих установок затрудняют интерпретацию и снижают достоверность результата.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пискарев, А.Л., Шкатов, М.Ю. Энергетический потенциал Арктических морей России: выбор развития [Текст] / А.Л. Пискарев, М.Ю. Шкатов. – М.: ООО «Геоинформмарк». – 2009. – 307 с. – ISBN 978-5-98877-034-3.
2. Хабинов, О.Г., Чалов, И.А., Власов, А.А., Антонов, Е.Ю. Система интерпретации данных зондирований методом переходных процессов EMS [Текст] / О.Г. Хабинов, И.А. Чалов, А.А. Власов, Е.Ю. Антонов // ГЕО-Сибирь-2009: сб. науч. ст. / Новосибирск, 2009. – С. 108-113.
3. Эпов, М.И., Дашевский, Ю.А., Ельцов, И.Н. Автоматизированная система интерпретации электромагнитных зондирований [Текст] / М.И. Эпов, Ю.А. Дашевский, И.Н. Ельцов. – Новосибирск, 1990. – 29 с.

© Н.Н. Неведрова, А.М. Санчаа, А.Е. Шалагинов, 2011

УДК 550.83+553.981/982

С.Ю. Малышков^{1,2}, Ю.П. Малышков^{1,2}, В.Ф. Гордеев^{1,2}, С.Г. Шталин^{1,2}, В.И. Поливач^{1,2}, Ю.Ю. Бажанов²

¹Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск

²ООО «Эмисшен», Томск

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЕСТЕСТВЕННЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ШУМОВ ЗЕМЛИ В ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ РАЗВЕДКЕ, ПОИСК НЕФТИ

В работе обоснован и предложен способ выделения пространственных вариаций естественного импульсного электромагнитного поля Земли, учитывающий особенности пространственно-временных вариаций полей, пригодный для обнаружения структурных и литологических неоднородностей земной коры, включая месторождения углеводородов.

Удаление временных вариаций полей и сортировку импульсов местного и далекого происхождения осуществляли с помощью системы из нескольких синхронно работающих регистраторов ЕИЭМПЗ. Одни устройства являются неподвижными (реперными) и регистрируют только временные вариации электромагнитных полей. С помощью других - маршрутных регистраторов, проводят измерения параметров импульсов, связанных как с временными, так и пространственными вариациями ЕИЭМПЗ по маршрутам, пересекающим исследуемую территорию. Наличие или отсутствие геофизических аномалий определяется по пространственным вариациям электромагнитных полей после удаления из показаний маршрутных регистраторов временных вариаций полей и импульсов, не относящихся к данной территории.

*S.Yu. Malyshkov^{1,2}, Yu.P. Malyshkov^{1,2}, V.F. Gordeev^{1,2},
S.G. Shtalin^{1,2}, V.I. Polivach^{1,2}, Yu.Yu. Bazhanov²*

¹Institute of Monitoring of Climate and Ecosystems, Siberian Branch of the Russian Academy of Science, Tomsk, Russia

²«Emission» Ltd., Tomsk, Russia

APPLICATION OF THE EARTH'S NATURAL ELECTROMAGNETIC NOISE TO GEOPHYSICAL PROSPECTING AND SEARCHING FOR OIL

This article covers a method of recording spatial variations of the Earth's natural pulse electromagnetic fields which is able to take due account of spatial and temporal variations of EM fields and suits to reveal crustal structural and lithologic heterogeneities including hydrocarbon pools.

We use a system of several stations recording the ENPEMF concurrently to erase the temporal variations from ENPEMF records and to sort out the pulses of local and remote origin. Some stations are fixed (reference) and record only temporal

variations of EM fields. While the other stations are mobile and measure pulse characteristics related to both spatial and temporal ENPEMF variations along measurement routes crossing the area investigated. Spatial variations of EM fields left after having deleted the temporal variations and pulses generated out of the area investigate show the availability or the lack of geophysical anomalies.

Задача применения метода регистрации ЕИЭМПЗ в геофизической разведке значительно усложняется наличием явно выраженного суточного хода. Несмотря на шумовой характер сигнала, в спектральных характеристиках ЕИЭМПЗ присутствуют шести-, восьми часовые, полусуточные и суточные компоненты, полугодовые и годовые периодичности. Казалось бы, что при таком наборе влияющих факторов получение качественного геофизического материала невозможно. Незначительное число публикаций по применению методов ЕИЭМПЗ в геофизической разведке подтверждает эти выводы.

Однако, на наш взгляд, главная причина всех неудач при использовании естественных импульсных электромагнитных полей для целей геофизической разведки была заложена в самой основе предлагаемых методов, в исходных физических предпосылках. Считалось, что главным источником ЕИЭМПЗ являются грозовые атмосферные разряды.

В наших предыдущих работах сделано предположение и приводятся доказательства справедливости гипотезы о том, что главным источником шумовой компоненты естественных электромагнитных полей Земли являются глубинные деформационные волны. Они возникают вследствие эксцентричного вращения твердого ядра и оболочки Земли. Распространяясь из нижней мантии и выходя на поверхность, эти волны активизируют механоэлектрические преобразования энергии в горных породах, являются главным источником регистрируемого приборами потока импульсов. Именно такие физические представления о существовании постоянно действующих приповерхностных литосферных источников поля положены в основу рассматриваемых ниже способов геофизической разведки.

Очевидно, что наиболее ценную информацию о геофизическом строении определенного участка территории содержат импульсы, непосредственно зародившиеся в данной точке пространства.

В предлагаемом нами способе из регистрируемого потока импульсов удаляются импульсы атмосферного происхождения и импульсы, источники которых находятся за пределами интересующей территории. Очистка сигнала от «посторонних» импульсов осуществляется на стадии регистрации и обработки полученной информации путем:

- Использования системы из нескольких разнесенных в пространстве маршрутных и стационарных регистраторов электромагнитных полей;
- Настройки регистрирующих устройств на оптимальную чувствительность, тщательной регулировки идентичности различных регистраторов;
- Сортировкой импульсов на импульсы от удаленных источников и импульсы «местного» происхождения.

Итак, регистрируемый поток импульсов определяется пространственно-временными вариациями. В случае выполнения геофизических работ из зарегистрированного сигнала должны быть удалены временные вариации полей и все импульсы от удаленных источников. Это достигается с помощью системы из нескольких синхронно работающих регистраторов ЕИЭМПЗ. Одни регистраторы являются неподвижными (реперными) и измеряют только временные вариации электромагнитных полей. С помощью других - маршрутных регистраторов, измеряют как временные, так и пространственные вариации ЕИЭМПЗ по маршрутам, пересекающим исследуемую территорию. В нашем способе число регистраторов не может быть меньше двух, а точность выделения аномалий быстро возрастает с увеличением числа используемых приборов.

Различить местные и удаленные источники сигнала можно по времени прихода и разнице в амплитуде импульсов на регистраторах, разнесенных в пространстве. Импульсы от удаленных источников, например, атмосферники, будут распространяться в волноводе земля-ионосфера, и достигать регистраторов, расположенных на небольшом удалении друг от друга, практически одновременно, иметь равные амплитуды. Сигналы от мощных удаленных литосферных источников, вышедшие на поверхность земли, далее будут распространяться земным лучом со скоростью близкой к скорости света и слабым затуханием. Поэтому такие импульсы также будут зарегистрированы всеми регистраторами практически одновременно, с близкими значениями амплитуды.

Иная картина будет наблюдаться для импульсов местного литосферного происхождения, зародившихся в земной коре на относительно небольшом расстоянии от регистрирующей аппаратуры. Основная часть их трассы до приемника поля будет проходить по горным породам. Сильное затухание электромагнитных полей в земной коре приведет к тому, что даже небольшая разница в длине трассы приведет к заметной разнице в амплитудах сигналов над источником и в более удаленных точках. В регистраторах с пороговой системой регистрации и с отсечкой импульсов малой амплитуды возникнет ситуация, когда более удаленный регистратор за некоторый промежуток времени зафиксирует меньшее число импульсов по сравнению с регистратором, расположенным непосредственно над излучающей геофизической аномалией. Если же отдельные импульсы от местного источника имеют достаточно большую амплитуду и регистрируются всеми разнесенными в пространстве регистраторами, то амплитуда регистрируемых импульсов будет также заметно различаться в зависимости от удаленности источника и приемника поля. Эти различия в проявлении местных и удаленных источников поля положены в основу разработанной нами специализированной аппаратуры и методики измерений.

Приведем пример использования предлагаемых нами способа и аппаратуры для определения границ двух нефтяных месторождений в Удмуртии. Работы проводились в ноябре 2008 года. При выполнении данных

исследований использовали одновременно двадцать регистраторов естественного импульсного электромагнитного поля Земли «МГР-01».

Десять регистраторов функционировали в качестве реперных (неподвижных) и десять в качестве маршрутных. Реперные регистраторы находились на непродуктивной территории. Результаты измерений представлены на рис. 1. Видно, что по мере приближения к продуктивным территориям месторождений 1 и 2 наблюдается снижение интенсивности сигнала по сравнению с непродуктивными территориями. Следовательно, по результатам данных измерений можно оценивать не только границы месторождений, но и продуктивность отдельных участков месторождения. В качестве меры продуктивности в данном случае можно использовать глубину снижения интенсивности ЕИЭМПЗ.

Так в данном примере суммарная толщина нефтяных пластов на первых пикетах (месторождение 1) составляла 15-18 метров, а на втором месторождении в конце профиля составляла порядка 10 метров. Границы водонефтяных контактов (ВНК) на рис. 1 показаны вертикальными линиями.

Более детальные измерения были выполнены в центральной части второго месторождения. Месторождение в данном примере представляло собой два близкорасположенных купола, разделенных непродуктивным участком (рис. 2). После проведения площадных измерений (профили и точки измерения ЕИЭМПЗ показаны на рис. 2, обработки исходных данных, карта аномалии ЕИЭМПЗ была наложена на структурную карту кровли



Рис. 1. Изменение интенсивности потока импульсов вдоль профиля, пересекающего два месторождения нефти

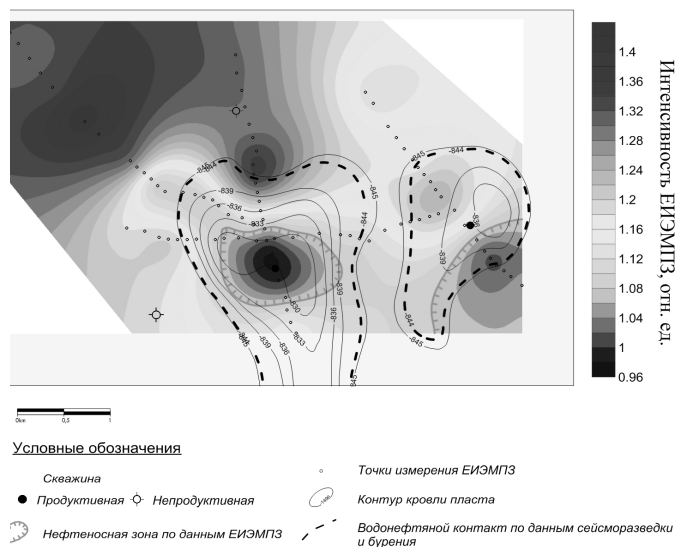


Рис. 2. Результаты измерений ЕИЭМПЗ на территории одного из месторождений нефти в Удмуртии

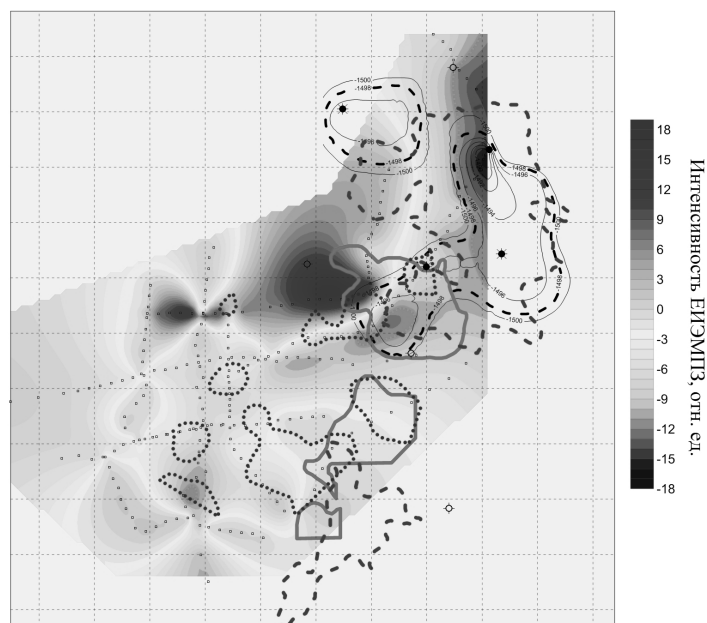
продуктивного пласта для визуального анализа и дальнейшей интерпретации полученной информации. Площадные вариации ЕИЭМПЗ по каналу север-юг показаны в виде пятен разного цвета. Цвет пятен соответствует определенной интенсивности электромагнитных шумов и показывает отношение интенсивности сигнала в некоторой точке пространства к интенсивности сигнала, зарегистрированного в этот же момент времени в некоторой неподвижной (реперной) точке территории. Полученные значения были также пронормированы от 0 до 1 и сглажены. Для повышения точности измерений регистрация импульсов, как в реперной точке, так и на пикетах велась одновременно не менее, чем 7-8 приборами. Спустя год (конец ноября – начало декабря 2009 г.) на территории этого же месторождения были проведены аналогичные измерения, что позволяет оценить воспроизводимость полученных ранее данных. Отметим, что реперные регистраторы, относительно которых оцениваются профильные вариации интенсивности электромагнитных шумов Земли в 2008 и 2009 годах располагались в разных точках, как на продуктивных, так и на непродуктивных территориях. Различались также схемы профилей и способы обработки результатов. Информация, полученная в разные годы, не противоречит друг другу. Следовательно, предлагаемый нами метод ЕИЭМПЗ демонстрирует хорошую воспроизводимость результатов измерений. Стоит отметить, что в обоих случаях полученные результаты практически точно совпадают с контуром нефтенасыщенного пласта (изолинией с абсолютной отметкой: - 844 метра). Небольшие расхождения в правой части рис. 2, по-видимому, связаны с малой эффективной толщиной нефтенасыщенного пласта, которая едва достигала 2 м и малым числом точек измерений на данном участке территории. Отметим, что эффективная толщина ловушки слева была более 10 м. Важно подчеркнуть и тот факт, что относительная интенсивность пространственных вариаций ЕИЭМПЗ минимальна над наиболее продуктивными участками месторождения.

В заключение этого раздела статьи проведем сопоставление предлагаемого нами способа геофизической разведки с другими традиционными методами на примере нефтяного месторождения в Татарстане. В процессе этих работ решалась также задача поиска новых продуктивных территорий, прилегающих к известным продуктивным участкам месторождения.

Схема профилей и точки измерения ЕИЭМПЗ показаны на рис. 3. Измерения проводились в феврале 2010 г. Обработанные результаты площадных измерений электромагнитных шумов Земли показаны в виде пятен разного цвета. Здесь же на рисунке показаны водонефтяные контакты, выявленные до проведения наших работ на основе бурения и сейсморазведки. Видно, что районы, перспективные по содержанию углеводородов, определенные методом регистрации ЕИЭМПЗ, и показанные на рисунке в виде темно синих пятен, находятся в северо-восточной части площади работ. Аномалии ЕИЭМПЗ четко совпадают с контурами нефтенасыщенных толщин пласта достигающих 2 и более метров. Прилегающие к месторождению территории, судя по результатам наших измерений менее перспективны на обнаружение углеводородов.

Сопоставим наши результаты с материалами, полученными на основе других геофизических методов разведки: зондирование вертикальными токами (ЗВТ), геохимическими методами разведки, гравиметрии, по геологии, бурению, ЗВТ, геохимии и гравиметрии.

Как мы видим, предлагаемый нами метод наиболее точно совпадает данными сейсмической разведки и бурения. В северо-восточной части работ



Условные обозначения

- | | | | |
|---|----------------|------------------|---|
| Скважина | ● Продуктивная | ○ Непродуктивная | • Точки измерения ЕИЭМПЗ |
| Нефтеносная зона по данным геохимии (Gore Sorber) | | | Контур кровли пласта |
| Нефтеносная зона по данным ЗВТ | | | Водонефтяной контакт по данным сейсморазведки и бурения |
| Нефтеносная зона по данным гравиразведки | | | Нефтеносная зона по данным ЕИЭМПЗ |

Рис. 3. Результаты измерений ЕИЭМПЗ на территории месторождения нефти в Татарстане

аномалия ЕИЭМПЗ связанная с наличием углеводородов имеет хорошее совпадение с контуром по данным гравиразведки, а также есть некоторые совпадения по данным методов ЗВТ и геохимии. Данный комплексный анализ позволяет сделать вывод, что планирование эксплуатационного бурения по данным ЕИЭМПЗ представляется более оптимистичным, и по отношению к другим малозатратным геофизическим методам разведки имеет наименьший риск бурения «сухих» скважин.

© С.Ю. Малышков, Ю.П. Малышков,
В.Ф. Гордеев,
С.Г. Шталин,
В.И. Поливач,
Ю.Ю. Бажанов, 2011

УДК 550.834

Е.С. Ефимова

НГУ, ИНГГ СО РАН, Новосибирск

НЕОДНОЗНАЧНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВЯЗКОУПРУГИХ СРЕД, ВОЗНИКАЮЩАЯ ПРИ РЕШЕНИИ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ СЕЙСМИКИ

В работе рассматривается обратная задача для двумерно-неоднородной вязкоупругой среды. Наличие поглощения в среде учитывается с помощью обобщённой стандартной линейной модели твёрдого тела на основе τ -метода. Анализируется сингулярное разложение линеаризованного оператора обратной задачи относительно искомых параметров (добротности и скорости для продольных и поперечных волн) в сравнении с диаграммами рассеяния на точечных объектах. Анализируются различные параметризации.

E.S. Efimova

Novosibirsk State University (NSU)

Pirogova Street, 2, Novosibirsk, 630090, Russian Federation

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS (IPGG)

Acad. Koptyug av. 3, Novosibirsk, 630090, Russian Federation

AN AMBIGUITY OF RECONSTRUCTION PARAMETERS IN VISCOELASTIC MEDIA, ARISING IN SOLVING THE INVERSE SEISMIC PROBLEM

This paper is about inverse problem for viscoelastic media in 2D case. Attenuation properties of media are involved in equation with generalized standard linear solid model and τ -method. Singular value decomposition and diffraction patterns were considered for determination of ambiguity of parameters of viscoelastic media: density, impedances and attenuation properties for pressure and shear waves.

Введение

Флюидонасыщенные породы, такие, как резервуары углеводородов, можно с достаточно высокой точностью описать с помощью вязкоупругих сред. Поглощающие свойства среды напрямую зависят от состава флюида, в частности в газовых резервуарах могут наблюдаться аномально высокие поглощающие свойства. В связи с этим разработка эффективных численных методов для определения параметров вязкоупругих сред является актуальной проблемой, рассматриваемой многими авторами.

При разработке численных методов важным шагом является анализ возможности независимого восстановления параметров по данным сейсмических наблюдений. Для определения плотности среды по отраженным волнам необходимы данные с очень низким уровнем помех, недоступным на

данный момент, этот факт [9] иллюстрирует важность этого шага. В представленной работе проведено исследование возможности восстановления плотности, импедансов и поглощающих свойств среды. Все вычисления проводились с рассмотрением обобщенной стандартной модели твердого тела. С целью определения возможности восстановления параметров среды, рассматривались диаграммы направленности рассеяния [7], а так же изучение было основано на анализе сингулярного разложения возникающего оператора прямой задачи [4, 6, 9]. При этом использовалось усечение сингулярного спектра и были построены проекция искомого решения на старшие сингулярные векторы. Это позволяет проанализировать качество получаемого численного решения в зависимости от уровня помех во входных данных.

Теория

Некоторые материалы обладают свойственным поглощением, вызванным их "памятью". Наличие их памяти означает, что состояние напряжения в какой-то момент t определяется "историей" деформирования. Таким образом вязкоупругие среды могут быть определены следующей системой уравнений([8]):

$$\begin{aligned}\rho \frac{\partial \vec{u}}{\partial t} &= \text{div} \sigma + \vec{f} \\ \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} &= \frac{1}{2} (\nabla u + \nabla u^*) \\ \sigma_{ij}(x, t) &= \int_{-\infty}^t G_{ijkl}(x, t - \tau) \frac{\partial \varepsilon_{kl}(x, \tau)}{\partial \tau} d\tau,\end{aligned}$$

где ρ - плотность, $\vec{u}$ - вектор скоростей, σ - тензор напряжений, ε - тензор деформаций, G_{ijkl} - тензор релаксаций.

В частотной области в двумерном случае с использованием стандартной модели твердого тела [1,3,5] и τ -метода [2], данная система переписывается:

$$\left\{ \begin{aligned} i\omega \rho u_x &= \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{xz}}{\partial z} \\ i\omega \rho u_z &= \frac{\partial \sigma_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} \\ i\omega \sigma_{xx} &= \text{div} \vec{u} (\lambda + 2\mu) (1 + (L - S)\tau^P) - 2\mu (1 + (L - S)\tau^S) \frac{\partial u_z}{\partial z} + f(t) \delta(\vec{x} - \vec{x}_s) \\ i\omega \sigma_{xz} &= \left(\frac{\partial u_x}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial x} \right) \mu (1 + (L - S)\tau^S) + f(t) \delta(\vec{x} - \vec{x}_s) \\ i\omega \sigma_{zz} &= \text{div} \vec{u} (\lambda + 2\mu) (1 + (L - S)\tau^P) - 2\mu (1 + (L - S)\tau^S) \frac{\partial u_x}{\partial x} + f(t) \delta(\vec{x} - \vec{x}_s), \end{aligned} \right.$$

где λ, μ - параметры Ламе, τ^P, τ^S - параметры поглощения, L - количество механизмов, используемых в обобщенной стандартной модели твердого тела

(далее считалось, что $L = 2$) и $S = \sum_{l=1}^L \frac{1}{i\omega\tau_{\sigma l} + 1}$. Далее будем рассматривать обратную задачу: по информации о режиме колебаний, записанной в приемниках, расположенных на поверхности земли, $\vec{u}|_{z=0} = \vec{u}^{obs}(x, \omega)$, восстановить параметры поглощения τ^P, τ^S .

Для линеаризации системы, параметры среды рассматривались в следующем виде: $\rho = \rho_0 + \delta\rho$; $\lambda_0 = \lambda + \delta\lambda$; $\mu = \mu_0 + \delta\mu$; $\tau^P = \tau_0^P + \delta\tau^P$; $\tau^S = \tau_0^S + \delta\tau^S$, где нижний индекс 0 означает постоянные составляющие, а δ обозначает малые возмущения параметров. При этом параметры поглощения в начальной среде считаются равными нулю: $\tau_0^P = \tau_0^S = 0$. Тогда волновое поле можно представить в следующем виде: $\vec{u} = \vec{u}_0 + \delta\vec{u}$, где $\vec{u}_0$ - волна, распространяющаяся в однородной среде, а $\delta\vec{u}$ - компонента, порожденная малыми возмущениями параметров среды.

С учетом линеаризации систему можно переписать в таком операторном виде: $\delta u(\omega, x_r) = DB(\omega, x_r, \vec{\xi}) < (\delta\rho(\vec{\xi}), \delta\lambda(\vec{\xi}), \mu(\vec{\xi}), \delta\tau^P(\vec{\xi}), \delta\tau^S(\vec{\xi})) >$, где DB - линеаризованный оператор. Для определения параметров вязкоупругой среды нужно решить интегральное уравнение. В представленной работе рассматривались диаграммы рассеяния и анализ сингулярного разложения численного оператора. При решении обратных задач, ставится целью получить информацию, соответствующую действительности. Но при численном решении восстановленные параметры могут отображать не истинные возмущения в среде, а, например, неоднородность другого параметра. Такие параметры называются "связанными". Связанность параметров может привести к абсолютно неверному решению задачи. Далее будет приведен анализ связанности параметров.

Численные эксперименты

Диаграмма направленности отображает амплитуду рассеянной от точечной области падающей волны в зависимости от угла рассеяния. Отличия диаграмм для разных параметров будут указывать на их несвязанность. В этой работе были рассмотрены три различные параметризации, наиболее приемлемой оказалась следующая: плотность, импедансы и поглощения $\rho, I^P, I^S, \tau^P, \tau^S$. Но при рассмотрении диаграмм рассеяния, оказывается, что формы диаграмм направленности параметров поглощения и импедансов, соответствующих отдельно Р- и отдельно S-волне, совпадают. Но если рассматривать диаграммы для разных частот, то видно, что зависимости от частоты для поглощений и для импедансов отличаются. Итак, используя различия в зависимостях от частот можно попробовать добиться несвязанности импедансов и поглощений на диапазоне частот.

Для анализа связанности параметров также использовался SVD-анализ. Отметим, что линеаризованный оператор задачи компактен, поэтому у него не

существует ограниченного обратного. Известно, что число обусловленности такого численного оператора стремится к бесконечности с возрастанием размерности задачи. Поэтому предлагается рассматривать r -решения, проекции искомого решения на линейную комбинацию старших r сингулярных векторов, соответствующих большим сингулярным числам. При этом число r , привлекаемых сингулярных векторов контролирует число обусловленности оператора и позволяет построить решение с приемлемой точностью.

На рис. 1 изображена модель среды, для которой строились численные результаты. Квадратная целевая область 1000×1000 м покрывалась сеткой с шагом h , рассматривались $h=100, 50, 33, 25$. На поверхности располагались приемники и источник Р-волны. В качестве зондирующего сигнала использовался импульс Рикера с доминирующей частотой 15 Гц. Параметры однородной вмещающей среды: $V_p = 3000$ м/с, $V_s = 2000$ м/с, $\rho = 2200$ кг/м³.

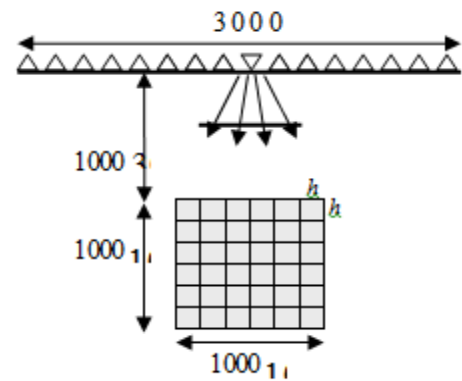


Рис. 1. Модель среды, используемая при анализе сингулярного разложения

Сингулярные числа оператора DB для разных шагов и разных диапазонов частот изображены на рис. 2. Поведение графиков отображает тот факт, что линеаризованный оператор компактен. С увеличением частотного диапазона графики выглядят более полого. Далее рассматривались проекции на 1500 сингулярных векторов, что соответствует числу обусловленности 10^{-3} . На рис. 3 представлена истинная модель среды – есть возмущение только поглощений, на рис. 4 – проекции на старшие сингулярные вектора. Таким образом, видно, что поглощения и импедансы являются связанными. Связанность проявляется отдельно на параметрах, соответствующих Р-волне и S-волне.

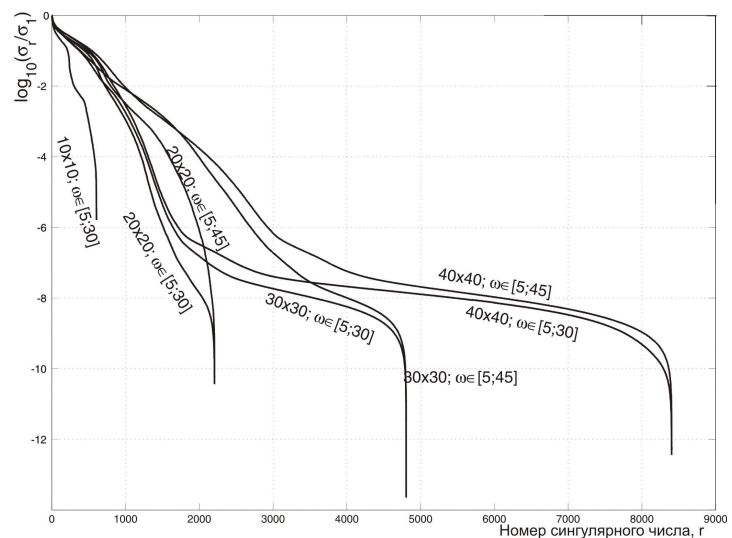


Рис. 2. Сингулярное разложение оператора в логарифмической шкале

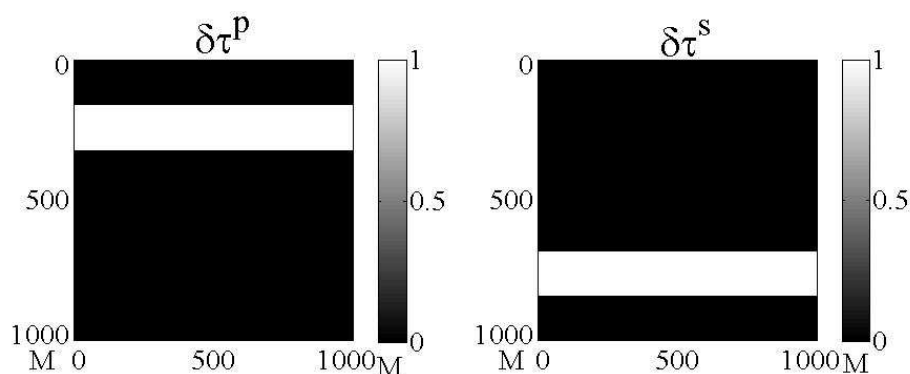


Рис. 3. Истинная модель среды, возмущение в плотности и импедансах отсутствует

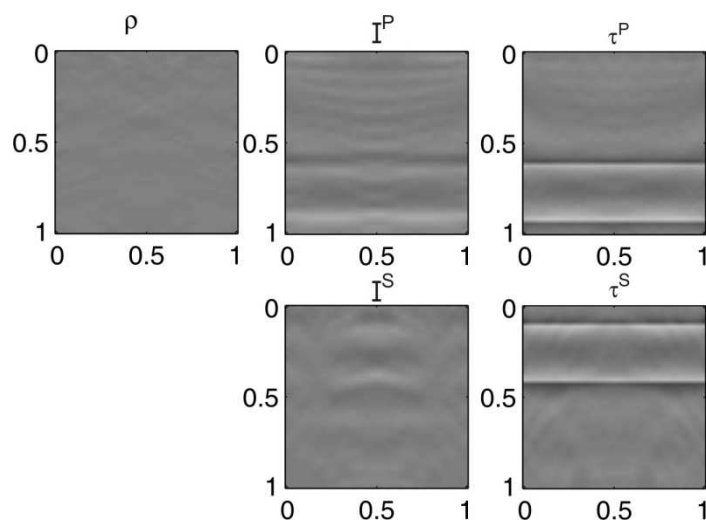


Рис. 4. Проекции неоднородности, изображенной на рис. 3 (в той же цветовой шкале), на 1500 старших сингулярных векторов

Заключение

Было проведено детальное исследование линейризованного оператора динамической теории упругости для случая сред с поглощением. На основе анализа диаграмм направленности рассеяния и сингулярного разложения оператора в двумерном случае наблюдалась связанность параметров среды. Но при увеличении диапазона частот и уменьшении числа обусловленности связанность параметров существенно уменьшается.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Asvadurov, S., Knizhnerman, L., and Pabon, J. Finite-difference modeling of viscoelastic materials with quality factors of arbitrary magnitude [Text] /S. Asvadurov, L. Knizhnerman, J. Pabon //Geophysics. – 2004. - Vol 69. – P. 817-824.
2. Blanch, J.O., Robertsson, J.O.A., and Symes, W.W. Modeling of a constant Q: Methodology and algorithm for an efficient and optimally inexpensive viscoelastic technique [Text] / J.O. Blanch, J.O.A. Robertsson, W.W. Symes // Geophysics. – 1995. – Vol. 60. – P. 176-184.

3. Carcione, J.M. Seismic modeling in viscoelastic media [Text] / J.M. Carcione // Geophysics. – 1993. – Vol. 58. – P. 110-20.
4. Cheverda, V.A., Clement, F., Khaidukov, V.G., Kostin, V.I. Linearized inversion of multioffset data for vertically-inhomogeneous background [Text] / V.A. Cheverda, F. Clement, V.G. Khaidukov, V.I. Kostin // Journal of Inverse and Ill-Posed problems. – 1998. – Vol. 6. – P. 455-477.
5. Liu, H.P., Anderson, D.L., and Kanamori, H. Velocity dispersion due to anelasticity: implications for seismology and mantle composition [Text] / H.P. Liu, D.L. Anderson, H. Kanamori // Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society. – 1976. – Vol. 47. – P. 41-58.
6. Kostin, V.I., Tcheverda, V.A., r-Pseudoinverse for compact operators in Hilbert space: existence and stability [Text] / V.I. Kostin, V.A. Tcheverda // Journal of Inverse and Ill-Posed problems. – 1995. – Vol. 3. – P. 131-148.
7. Tarantola, A. A strategy for nonlinear elastic inversion of seismic reflection data [Text] / A. Tarantola // GEOPHYSICS. – 1986. – Vol.51. – No. 10. – P. 1893-1903.
8. Кристенсен, Р. Введение в теорию вязкоупругости [Текст] / Р. Кристенсен // Москва: Мир. – 1974. – С. 338.
9. Сильвестров, И.Ю. Прогнозирование строения среды ниже забоя скважины с помощью многокомпонентного обращения данных ВСП с выносным источником / И.Ю. Сильвестров // Технологии сейсморазведки. – 2007. – № 3. – С. 44-50.

© Е.С. Ефимова, 2011

УДК 552.08:549.08

О.Н. Злобина

ИНГГ, Новосибирск

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ НИЖНЕЙ ЮРЫ В ЕНИСЕЙ-ХАТАНГСКОМ БАССЕЙНЕ

В данной работе представлены результаты литологических исследований юрских отложений Енисей-Хатангского бассейна, полученные автором в рамках научных проектов Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А. Трофимука СО РАН. Комплексное изучение разрезов, вскрытых скважинами, позволило детализировать геологическое строение и установить петрохимические особенности толщ нижней юры.

O.N. Zlobina

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS

Koptyug, 3, Novosibirsk, 630090, Russian Federation

FORMATION CONDITIONS OF THE LOWER JURASSIC DEPOSITS OF YENISEI-KHATANGA BASIN, SIBERIA

This paper presents the results of lithological studies of the Jurassic sediments - Yenisei Khatanga basin obtained by the author in the research projects of the Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS. Comprehensive study of the cuts, exposed wells, allowed to refine the geological structure and to establish petrochemical features of the lower Jurassic deposits.

Многие исследователи считают, что в нижней юре бассейновые фации на территории Западной Сибири формировались, главным образом, за счёт проникновения моря с севера Средней Сибири через Енисей-Хатангский прогиб. На профиле, построенном от восточного борта Западно-Сибирской плиты (ЗСП) (район оз. Большое Советское) до северо-восточной части Енисей-Хатангского бассейна (южный участок оз. Таймыр), выделяются две части. Восточная простирается от междуречья р.р. Агапы и Енисея до бассейна р. Большая Балахня. Западная часть охватывает бассейн р. Большая Хета (вплоть до её устья), а также право- и левобережья р. Енисей. Самые древние юрские отложения (зимняя свита) вскрыты в восточной части на Тундровой, Волочанской, Балахнинской и Владимирской площадях. Предполагается, что бассейновые осадки формировались во впадине северо-восточного простирания (с глубиной до 1000-1500 м) в течение геттанга, синемюра и низов нижнего плинсбаха. Максимальные толщины свиты (более 720 м) зафиксированы на Балахнинской площади. Следует отметить, что подошва зимней свиты вскрыта лишь некоторыми скважинами, в большинстве случаев забой приходится на

разные уровни нижнеюрского разреза, который также включает левинскую, шараповскую, китербютскую и надояхскую свиты. На запад, к Приенисейской части территории зимняя свита выклинивается или значительно сокращается по мощности. Например, в скважине Суходудинская №1 вскрывается разрез, где на породах доюрского основания залегает надояхская свита толщиной 20 м. По данным сейсморазведки в междуречье р.р. Агапы и Енисея мощность нижнеюрских осадков (в их полном стратиграфическом объёме) составляет не более 100 м. В северо-западном направлении выклиниваются не только нижнеюрские, но и часть среднеюрских отложений (Джангодская, Хабейская площади). К востоку от предполагаемой оси впадины, на правобережье р. Хатанги зимняя свита замещается стратиграфическим аналогом – толщей (мощностью до 160 м) сформировавшейся в прибрежно-морских условиях. Таким образом, в ранней юре в восточной части Енисей-Хатангского бассейна существовал морской залив, который раскрывался в северную акваторию. В пределах залива формировались зимняя (максимальной толщиной до 769 м), а затем левинская (561 м), шараповская (544 м), китербютская (49 м) и надояхская (359 м) свиты. Вероятно, компенсированное прогибание впадины контролировалось структурами, сопряжёнными с предполагаемым рифтогенным разломом, отделяющим Енисей-Хатангский прогиб от Сибирской платформы (Ланда, 2005).

В западной части профиля (в бассейне р. Большая Хета, вдоль 83-86° в. д.) нижнеюрские отложения выполняют структуру Худосейского надрифтового жёлоба (Сурков и др., 2004). Здесь толщины свит значительно меньше, чем на востоке Енисей-Хатангского бассейна. Часть осадков нижнеюрского разреза выклинивается на бортах жёлоба. Например, на Нижнехетской площади эффузивные комплексы триаса перекрываются левинской свитой (верхи нижнего плинсбаха) толщиной 67 м. Более древние отложения (зимняя свита) достоверно установлены только в 4-х скважинах. В целом, максимальные толщины зимней свиты составляют не более 230 м, левинской – 159 м, шараповской – 111 м, китербютской – 40 м, надояхской – 273 м.

Литологическая характеристика зимней, левинской и шараповской свит приводилась автором ранее (Злобина, 2010). Основные типы пород представлены на рисунках 1-3. Для определения условий формирования нижнеюрских отложений использовались результаты рентгеноструктурного, атомно-абсорбционного и рентгенофлуоресцентного анализов. Исследовалось содержание в породах CO₂, серы общей, сульфидной и сульфатной, оксидов железа в 2% вытяжке HCl, а также количество органического углерода (C_{орг}). Вычислены литолого-геохимические индикаторы фиксирующие присутствие эксталяционных компонентов ((Fe+Mn)/Ti), палеосоленость (Sr/Ba) и окислительно-восстановительную обстановку придонных слоев воды (Ni/Co, V/(V+Ni), V/Mn, Mo/Co, V/Co, V/Cr). Полученные данные для восточной и западной частей профиля представлены в таблице 1. Средние значения указаны в числителе, вариации - в знаменателе. В зимней и левинской свитах восточной части Енисей-Хатангского бассейна часть элементов содержится в концентрациях ниже кларковых (по Ведеполю): Cu (22–66 г/т), Ni (58–101 г/т),

Co (15–24 г/т), Cr (86–145 г/т), V (78–131 г/т), Sr (70–120 г/т), Ba (154–226 г/т). Значительные вариации наблюдаются в содержании Cd (0,041–0,29 г/т), Mn (421–1900 г/т) и Mo (от менее 1 до 7,8 г/т). На некоторых уровнях количества Cd и Mn превышают кларковые значения более чем в два раза, а Mo – более чем в семь раз. В западной части в осадках шараповской свиты содержания Cu (6,1–47 г/т), Ni (14–80 г/т), Co (1,6–34 г/т) и Cr (74–139 г/т) не превышают кларковых значений. Количества Cd (от менее 0,02 до 0,14 г/т), Mn (39–914 г/т), V (42–163 г/т), Sr (36–169 г/т), Ba (131–513 г/т) и Mo (от менее 1 до 5 г/т) варьируют в широком диапазоне, иногда незначительно превышая кларковые значения (кроме Ba и Mo). Концентрация Ba в большинстве проб превышает кларк (на некоторых уровнях в 2 раза).

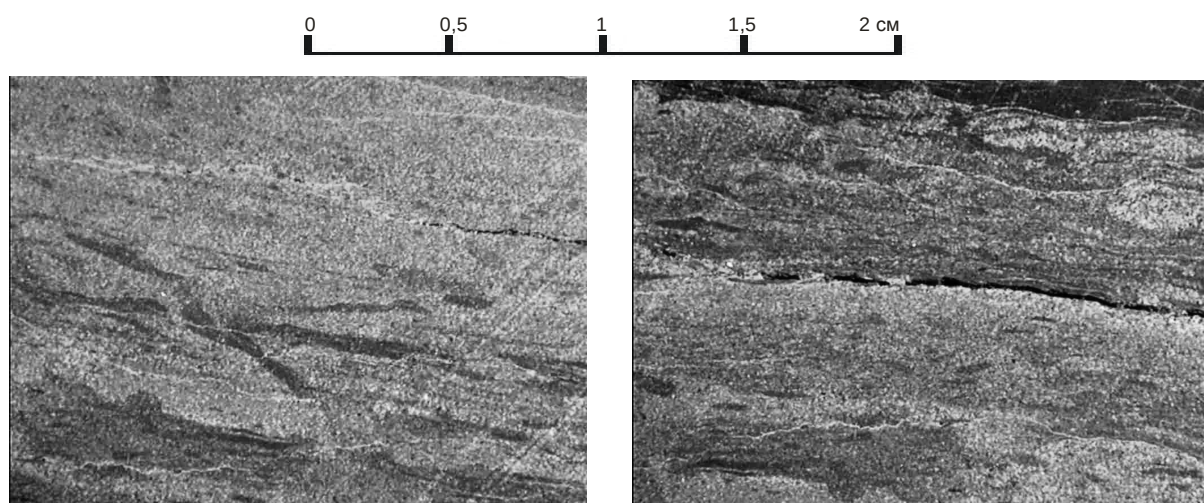


Рис. 1 Зимняя свита в скв. Балахнинская № 2, интервал 2792,4-2800,4 м.

Переслаивание алевролитов светло-серых мелкообломочных, участками разнообломочных и алевролитов темно-серых мелкообломочных глинистых. Отмечаются включения глинистых интракластов, на плоскостях напластования углефицированный растительный детрит. Слойчатость неравномерная, субгоризонтальная, линзовидная, нарушенная следами жизнедеятельности бентосных организмов.

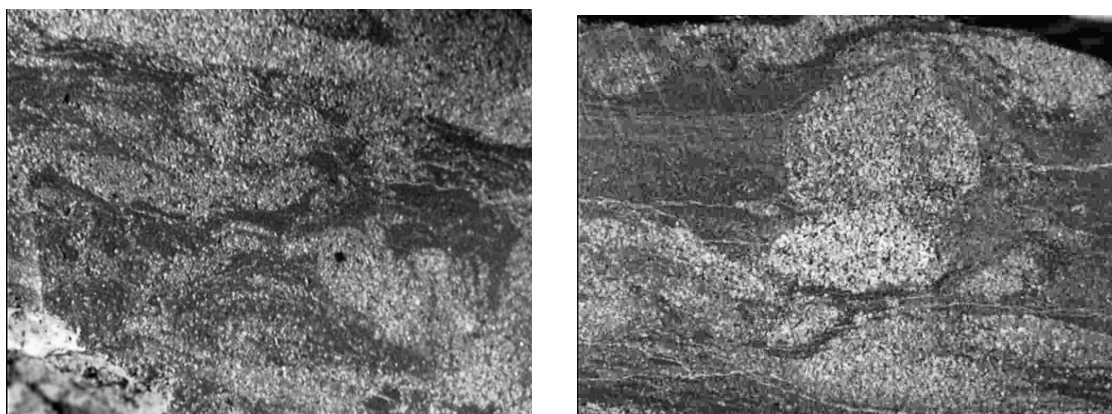
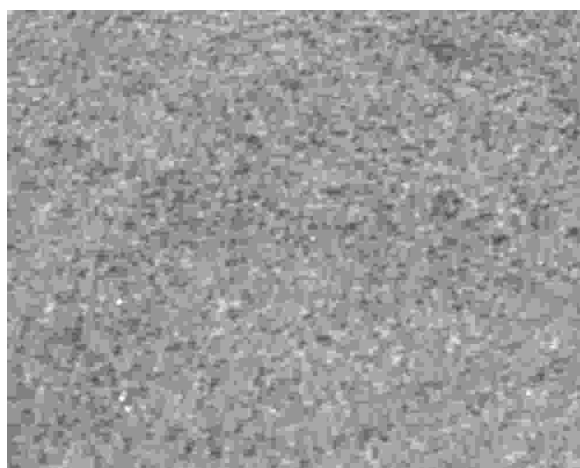
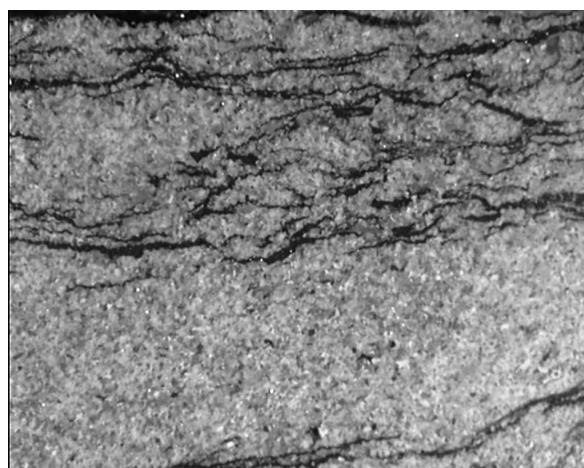


Рис. 2 Деформативные текстуры в породах зимней и левинской свит, вскрытых скв. Балахнинская № 2, (интервал 3100-3120 м). Первичная слойчатость полностью нарушена следами жизнедеятельности бентосных организмов



А



Б

Рис. 3 Песчаники светло-серые средnezернистые с каолиновым цементом массивные (А), волнисто-линзовиднослойчатые (Б):

А – Зимняя свита в скв. Волочанская №1, интервал 1469-1480 м;

Б – Надояхская свита в скв. Медвежья № 316, интервал 2350-2360,1 м

Таблица 1. Геохимические показатели условий формирования нижнеюрских отложений Енисей-Хатангского бассейна

Геохимический индикатор		Восточная часть	Западная часть
Присутствие компонентов эксгалаций	(Fe+Mn)/Ti	10,79	7,35
		7,36-14,87	1,49-15,37
Палеосолёность	Sr/Ba	0,46	0,28
		0,34-0,71	0,20-0,36
Окислительно-восстановительная обстановка придонных слоёв воды	Ni/Co	3,70	4,45
		3,11-4,81	2,35-10
	V/(V+Ni)	0,60	0,63
		0,52-0,69	0,34-0,92
	V/Mn	0,13	0,68
		0,06-0,26	0,09-2,92
	Mo/Co	0,07	0,17
		0,02-0,37	0,03-0,43
	V/Co	5,52	16,90
		4,00-6,89	1,24-71,25
	V/Cr	0,95	0,87
		0,68-1,24	0,33-1,96

Все значения соотношения Sr/Ba оказались меньше 1 (0,20-0,71), что указывает на опреснённые обстановки осадконакопления, как в восточной, так и в западной частях профиля. Наличие большого количества следов жизнедеятельности, а также значения индикаторов окислительно-восстановительной обстановки придонных слоёв воды свидетельствуют о присутствии растворённого кислорода в верхней части осадка и

преимущественно окислительных условиях. Содержание Сорг. выше кларкового значения (до 1,8%) связано с привносом гумусового вещества с континента. Сера в сульфидной форме (0,26%) была зафиксирована только в одном образце из скв. Волочанская №1, где количество серы общей составило 0,28%. В остальных пробах установлены ещё более низкие концентрации общей серы (0,01-0,11%), поэтому индикатор Сорг./S сульфидной, как показатель солёности не применялся.

Анализ строения разрезв и толщин свит показал, что в зимнее и левинское время поступление водных ресурсов с восточной части Енисей-Хатангского бассейна на территорию Западной Сибири было возможно только в виде ингрессий, связанных с кратковременными эвстатическими повышениями уровня моря. Аномально низкая солёность в этой части бассейна обусловлена значительным привносом пресных вод временными и/или постоянными потоками с суши. Однако, после ингрессий на отдельных участках Худосейского надрифтового жёлоба могли создаваться обстановки изолированных лагун с условиями благоприятными для жизнедеятельности эвригалийных организмов. Невысокие значения коэффициента $(Fe+Mn)/Ti$ свидетельствуют о низкой активности эксгальвативных процессов, характерных для рифтогенных структур.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ланда Э.А. О некоторых особенностях эволюции рифтогенеза // Литосфера. 2005. № 1. с. 3-15.
2. Сурков В.С., Смирнов Л.В., Гурари Ф.Г., Девятков В.П., Еханин А.Е. Нижнесреднеюрский комплекс Западно-Сибирской плиты – особенности его строения и нефтегазоносность // Геология и геофизика. 2004. Т. 45. № 1. с. 55-58.
3. Злобина О.Н. Литология и палеогеография нижней юры Енисей-Хатангского бассейна.// Материалы VI Международной выставки и научного конгресса «ГЕО-Сибирь-2010» - Новосибирск, СГГА, 2010. Т.2. с. 81-85.

© О.Н. Злобина, 2011

УДК 622 + 004.91

В.В. Рыкова, Е.И. Лукьянова

Государственная публичная научно-техническая библиотека СО РАН,
Новосибирск

ИНТЕРНЕТ-ОРИЕНТИРОВАННАЯ БАЗА ДАННЫХ «МЕТАН В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ»

В статье показаны особенности и этапы формирования проблемно-ориентированной базы данных собственной генерации ГПНТБ СО РАН «Метан в угольных пластах», приведены характеристики документов, поисковые возможности.

V.V. Rykova, E.I. Luk'yanova

State Public Scientific-Technological Library of the Siberian Branch of the Russian
Academy of Sciences (SPSTL SB RAS)
15 Voskhod St., Novosibirsk, 630200, Russian Federation

INTERNET-ORIENTED DATA BASE «METHANE IN COAL MINES»

Peculiarities and stages of problem-oriented database of SPSTL SB RAS own generation "Methane in coal mines" are represented in the article, besides documents characteristics and information retrieval are given.

Опасным побочным явлением угледобычи является рудничный газ, который в соединении с воздухом может образовывать взрывные смеси. Основной составляющей рудничного газа является метан (25 – 60%) [1]. Проблема его утилизации приобретает все большее значение не только в связи с необходимостью обеспечения безопасности работы горняков, но и для решения экологических проблем, требующих адекватного информационного сопровождения. Отдел научной библиографии Государственной публичной научно-технической библиотеки Сибирского отделения Российской академии наук (ГПНТБ СО РАН) занимается информационной поддержкой научных программ институтов СО РАН путем создания проблемно-ориентированных баз данных (ПОБД).

ГПНТБ СО РАН является одним из участников Международного интеграционного проекта № 60 «Комплексные междисциплинарные исследования факторов прогноза и генезиса внезапных выбросов и взрывов метана в угольных шахтах России и Украины», работа по которому ведется в соответствии с Приоритетным направлением РАН VII.60 (7.7) «Комплексное освоение недр и подземного пространства Земли, разработка новых методов освоения природных и техногенных месторождений». В рамках выполнения проекта библиотека должна создать ПОБД «Метан в угольных шахтах» с

глубиной ретроспективы 30 лет, а также подготовить аналитический обзор по заявленной тематике. Выполнение поставленных задач складывается из 3 этапов: 2009 г. – подготовительный этап; 2010 г. – формирование реферативной БД, 2011 г. – окончательная редакция ПОБД и создание обзора, представление материалов в Интернете.

В ходе подготовительного этапа создания библиографической ПОБД (2009 г.) шло тщательное знакомство с литературой по данному вопросу: выяснялась библиографическая обеспеченность темы, велись консультации со специалистами [1]. Из репертуара отечественных и зарубежных БД по теме были выявлены следующие:

а) БД ВИНИТИ «Горное дело» – в разделе «В» отражены отечественные и зарубежные публикации, патентная литература, депонированные рукописи с 1981 г.;

б) БД Информрегистра – 4 ведомственные БД, свободный доступ через Интернет к которым невозможен: «Качество углей России с использованием компьютерной ГИС-технологии»; «Угольная промышленность в Российской Федерации»; «Угольная промышленность России»; Серия «Презентация-лекция» и «Угольные ресурсы России»;

в) Зарубежные БД, включающие информацию по горному делу, – «Current Contents: Engineering, Computing & Technology» и «Journal Citation Reports - Science Edition».

Анализ и систематизация собранных сведений позволили определить хронологические рамки и создать предварительный вариант рубрикатора будущей ПОБД:

1. Состояние проблемы метана на угольных шахтах.
2. Факторы, влияющие на метано(газо)выделение.
 - 2.1. Природные.
 - 2.2. Производственные.
3. Процессы метано(газо)выделения на угольных шахтах.
4. Внезапные взрывы и выбросы метана на угольных шахтах.
5. Методы контроля метано(газо)выделения на угольных шахтах.
6. Способы управления метано(газо)выделения на угольных шахтах.
 - 6.1. Вентиляция.
 - 6.2. Дегазация.

В 2010 году шло формирование информационного массива ПОБД. Основой для создания ПОБД послужили РЖ ВИНИТИ «Горное дело», прикнижная и пристатейная библиография, доступные ресурсы Интернет. Текущее пополнение осуществляется путем обследования обязательного экземпляра, получателем которого является ГПНТБ СО РАН; зарубежных изданий, получаемых по подписке и международному книгообмену, удаленных БД. Для реферирования документов, большую их часть пришлось просматривать *de visu*.

Каждый документ вышеозначенной ПОБД включает полное библиографическое описание, расширенную аннотацию или реферат, рубрики ГРНТИ, предметную и тематическую. Монографические издания снабжены индексами УДК и ББК. Информационный массив включает самые разнообразные виды документов: монографии, статьи из журналов и научных сборников, материалы конференций, симпозиумов, конгрессов, словари, справочники, учебные пособия, авторефераты диссертаций, обзоры, методические рекомендации, патенты, депонированные рукописи, отчеты.

Осуществление ретроспективного поиска в ПОБД возможно по разделам вышеназванных рубрикаторов, авторам, редакторам, составителям, году, месту издания, словам и словосочетаниям из заглавий и аннотаций (рефератов), издающим организациям, географической ссылке (при ее наличии в документе), виду и языку публикации. При необходимости, возможно, объединить поисковые поля и осуществить «сложный» поиск по нескольким параметрам одновременно. Например, можно найти работы какого-либо автора за определенные годы, или монографии по заданной теме за какой-либо период, или публикации по нужному региону по заданной тематике.

Работа с имеющимся информационным массивом и просмотр новой литературы, консультации с учеными показали необходимость внесения корректив в тематический рубрикатор, в результате чего он дополнился новыми рубриками, детализировались его отдельные разделы. В настоящее время БД насчитывает свыше 4500 документов, систематизация документов проводится по переработанной схеме, представленной ниже:

1. Состояние проблемы метана на угольных шахтах. Нормативно-правовые акты.
2. Факторы, влияющие на метано(газо)выделение.
 - 2.1. Природные.
 - 2.2. Производственные.
3. Процессы метано(газо)выделения на угольных шахтах.
4. Внезапные взрывы и выбросы метана на угольных шахтах.
5. Методы прогноза и контроля метано(газо)опасности на угольных шахтах.
 - 5.1. Приборы для прогноза и контроля.
 - 5.2. Геофизические методы прогноза и контроля.
6. Способы управления (предотвращения) метано(газо)опасности на угольных шахтах.
 - 6.1. Вентиляция.
 - 6.2. Дегазация.
 - 6.2.1. Биотехнологии.
 - 6.2.2. Гидрорасчленение.
 - 6.2.3. Скважинная.
 - 6.3. Увлажнение.
 - 6.4. Прочие.
7. Использование (утилизация) метана(газа) угольных месторождений.

В 2011 гг. планируется ввод в промышленную эксплуатацию ПОБД «Метан в угольных шахтах» (предполагаемый объем около 5000 документов за период с 1980 по 2010 гг.), библиометрический анализ БД в целом или отдельных направлений исследований по данной проблематике и подготовка аналитического обзора. Средства программной поддержки ПОБД обеспечат ее функционирование в локальных и глобальных сетях передачи данных и возможность переноса информации на компактные оптические диски.

ПОБД представлена в свободном доступе для пользователей Интернета на сайте библиотеки по адресу www.spsl.nsc.ru (опции «Базы данных» или «Электронная библиотека»). Войти можно зарегистрировавшись или как «Гость» без регистрации, режим «Стандарт», далее выбрать опцию «Библиографические БД ГПНТБ СО РАН», которые выставлены по алфавиту (рис. 1).

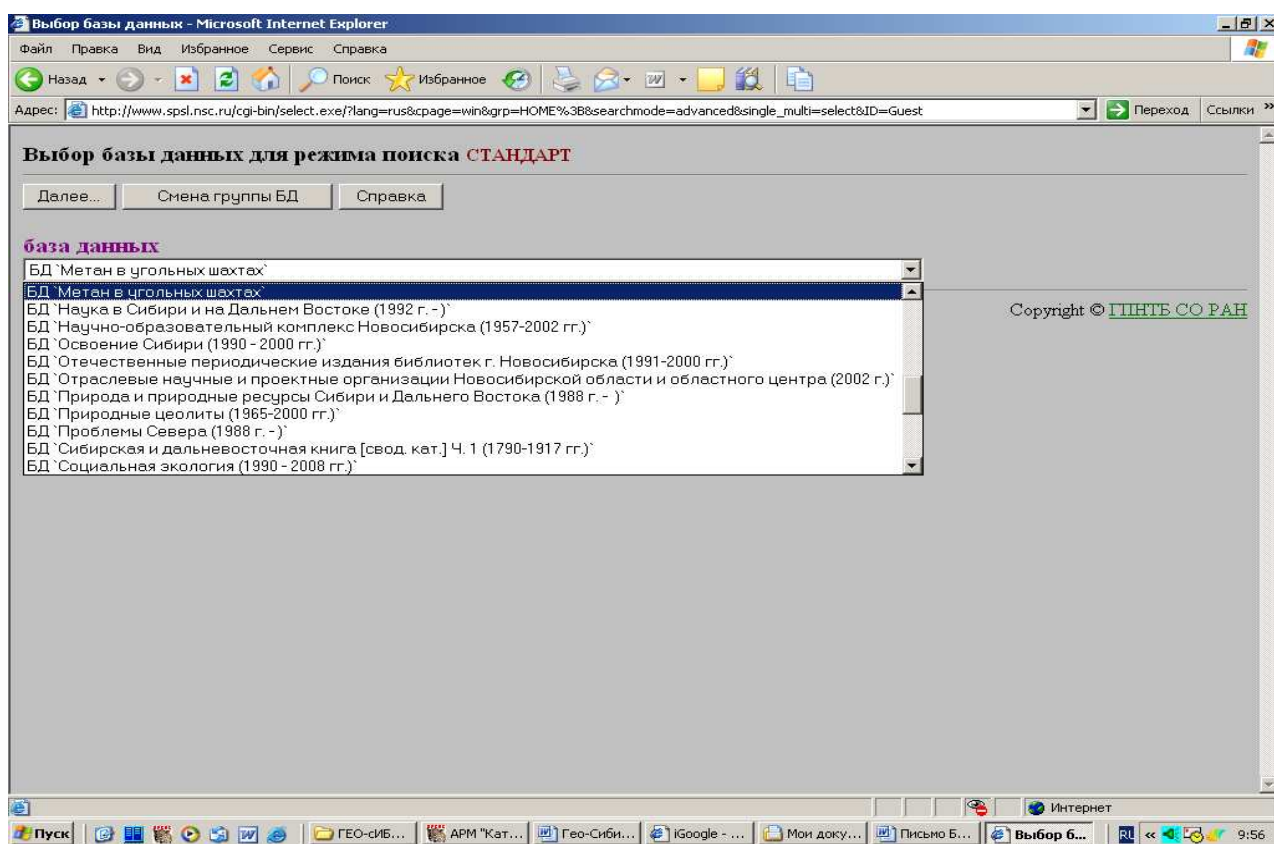


Рис. 1. Сайт ГПНТБ СО РАН
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шахтный газ [Электронный ресурс]. – Киев, 2006. – Режим доступа: http://www.cogeneration.com.ua/img/zstored/8_app_coal_mine_ru.PDF.

2. Рыкова, В.В. Создание научного задела для формирования новых информационных ресурсов (на примере проблемно-ориентированных баз данных геологической тематики) [Текст] / В.В. Рыкова, Е.И. Лукьянова // Библиосфера. – 2010. – № 4. – С. 61 – 64.

УДК 622.271

П.А. Филиппов

ИГД СО РАН, Новосибирск

Г.М. Бурмин

Восточный научно-исследовательский горнорудный институт (ВостНИГРИ),
Новокузнецк

Н.П. Медведева

НГТУ, Новосибирск

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГЕОТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СИБИРИ СИСТЕМОЙ ПОДЭТАЖНОГО ОБРУШЕНИЯ

Изложены результаты исследований выпуска руды при подэтажном обрушении и слоевой отбойки руды, установлена зависимость качественных показателей извлечения от конструктивных технологических параметров.

P.A. Philippov

Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk
Krasny Prospekt 54, 630091, Russian Federation

G.M. Burmin

Vostochnyy scientific-research mining institute (VostNIGRI), Novokuznetsk

N.P. Medvedeva

Novosibirsk State Technical University (NSTU), Novosibirsk

SUBSTANTIATION OF PARAMETERS OF THE MINING GEOTECHNOLOGY OF SIBERIAN IRON ORE DEPOSITS WITH SUBLEVEL CAVING METHOD

The research results of the analysis of the iron ore drawing with the use of the sublevel caving and layering ore crushing are presented, the relationship between the quantitative parameters of ore extraction and the constructive technological parameters is established.

Современная концепция геотехнологии подземной добычи минерального сырья для условий железорудных месторождений Западной Сибири предусматривает следующие основные принципы [1,2,3]:

- Адаптация технологии к породному массиву и внешней среде с учетом необходимости утилизации отходов производства, ресурсосбережения, воспроизводства природных ресурсов и экологической безопасности;

- Повышение качества и полноты извлечения запасов, комплексное использование всех продуктов добычи и переработки;

- Простота конструкции системы разработки, многозабойность, возможность совмещения проходческих и очистных работ;
- Снижение издержек производства с минимизацией оборотных средств на добычу сырьевых ресурсов, увеличение производительности и безопасности труда горнорабочих.

Анализ отечественного опыта разработки полиметаллических месторождений и мировая практика добычи руд черных и цветных металлов технологией подэтажного обрушения показывает перспективность применения технологии

с использованием комплексов самоходного оборудования для разработки железорудных месторождений [4, 5, 6].

Применительно к условиям отработки мощных и весьма мощных крутопадающих железорудных залежей, проведены исследования по обоснованию основных параметров системы подэтажного обрушения, которые определяют эффективность системы разработки. Взаимосвязь параметров дает рациональные пределы их соотношений, удовлетворяющих требования по качественному извлечению полезного ископаемого, безопасной и эффективной выемки руды из недр.

Основными параметрами технологии подэтажного обрушения руды с использованием самоходного оборудования являются (рис. 1): толщина отбиваемого слоя ($t_{сл}$); высота отбиваемого слоя ($h_{сл}$); угол наклона отбиваемого слоя ($\alpha_{сл}$).

Существенное влияние на качественные показатели извлечения руды оказывает толщина отбиваемого слоя. При послойном выпуске она выбирается в зависимости от типа применяемого погрузочно-доставочного оборудования. Значительная номенклатура выпускаемых промышленностью самоходных машин, имеющих различные способы захвата и глубину внедрения в обрушенную руду, обуславливает необходимость выбора оптимальной толщины отбиваемого слоя для получения высоких показателей извлечения руды.

Влияние толщины слоя на показатели выпуска иллюстрируют результаты исследований, представленных в табл. 1.

Установлено (табл. 1 и рис. 1), что наилучшие показатели выпуска при фронтальном расположении забоя достигаются при толщине слоя 2,0÷2,9 м в зависимости от глубины внедрения заборного органа погрузочной машины. Изменение толщины

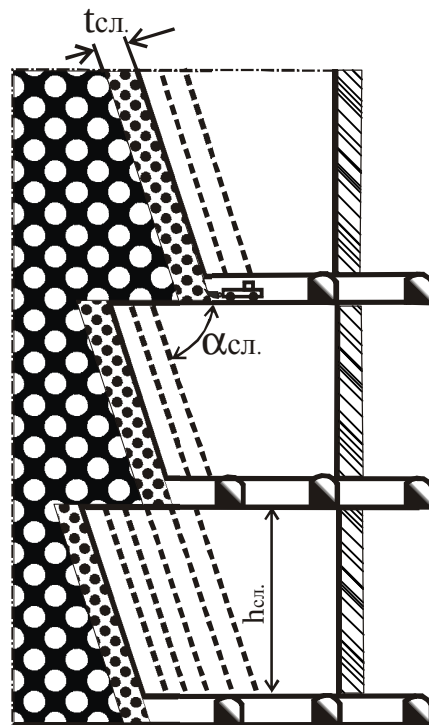


Рис. 1. Фрагмент очистного блока к расчету параметров выпуска руды технологией с подэтажным обрушением и послойной отбойкой руды

слоя в сторону увеличения или уменьшения относительно оптимальной приводит к ухудшению показателей выпуска.

Таблица 1. Влияние толщины отбиваемого слоя на результаты выпуска

Толщина отбиваемого слоя, м	Извлечение чистой руды (И), %				Потери руды (П) (при R=20%), %				Разубоживание (R) (при П=20%), %			
	Глубина внедрения рабочего органа машины, м											
	0,5	0,7	1,0	1,5	0,5	0,7	1,0	1,5	0,5	0,7	1,0	1,5
1,5	37,5	35,0	33,7	33,0	9,0	11,8	10,0	11,6	6,0	7,5	6,8	7,8
2,0	66,3	60,0	52,5	51,1	6,2	10,0	9,4	10,0	3,3	5,0	5,2	6,4
2,5	66,8	60,6	57,6	57,0	9,4	9,4	8,6	9,3	4,2	3,4	2,4	4,4
3,0	67,5	58,4	58,5	57,8	12,4	11,2	9,0	8,8	6,6	3,9	3,0	3,2
4,0	65,6	58,3	54,4	54,8	19,3	18,0	16,6	13,4	13,0	11,7	10,4	8,7

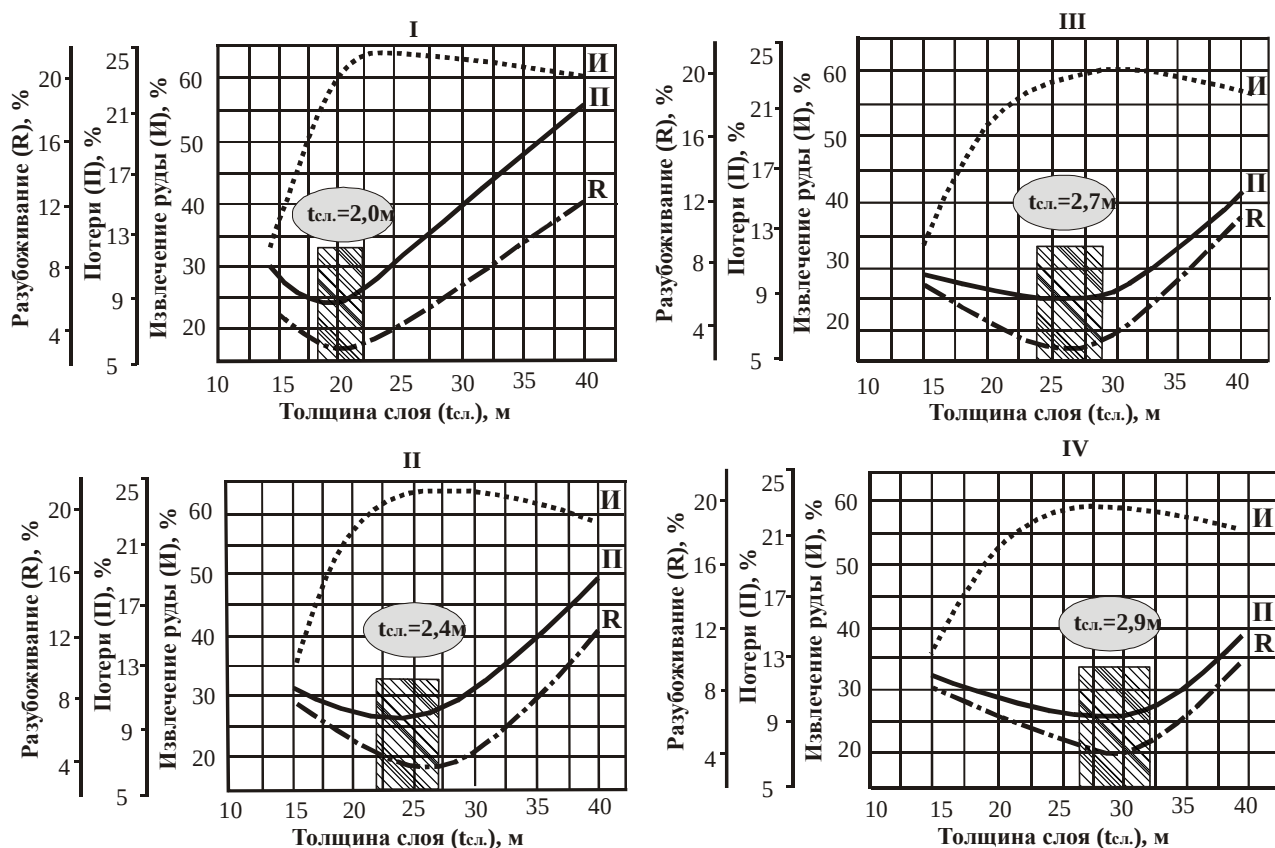


Рис. 2. Влияние толщины отбиваемого слоя руды на показатели выпуска при различной глубине внедрения ковша машины: I – глубина внедрения ($l=0,5$ м), II – ($l=0,7$ м), III – ($l=1,0$ м), IV – ($l=1,5$ м)

При толщине слоя меньше оптимального ($t_{сл.}=2\div3$ м), разубоживание руды от боковых пород превышает значения разубоживания от налегающих пород. При увеличении толщины отбиваемого слоя выше оптимального значения, конечные результаты выпуска ухудшаются за счет возрастания разубоживания руды от налегающих пород и увеличения потерь руды на почве выработки выпуска и в граничной зоне «руда–порода». В общем виде зависимость показателей выпуска от толщины отбиваемого слоя руды описывается математическим выражением:

$$Y = a + bt_{\text{сл.}} + ct_{\text{сл.}}^2, \quad \% \quad (1)$$

Для условий проведения опытов при следующих постоянных факторах - угле наклона отбиваемого слоя ($\alpha_{\text{сл.}}=80^\circ$) и глубине внедрения ковша ($l=0,7$ м) показатели выпуска описываются следующими формулами:

потери руды при $R=20$ %:

$$П_t = 26,4 - 14,3t + 3,06t_{\text{сл.}}^2, \quad \% \quad (2)$$

разубоживание руды при $\Pi=20$ %:

$$R_t = 28,9 - 20t + 3,92t_{\text{сл.}}^2, \quad \% \quad (3)$$

извлечение чистой руды до начала разубоживания:

$$И_t = 65,4 - 35t - 10,5t_{\text{сл.}}^2, \quad \% \quad (4)$$

При изучении влияния толщины отбиваемого слоя выявлено, что с увеличением глубины внедрения ковша погрузочной машины в навал руды рациональная толщина слоя возрастает. Характер изменения глубины внедрения (l) от толщины слоя ($t_{\text{сл.}}$) представлен на рис.3 и может быть выражен формулой:

$$t = 2,75l^{0,23} \quad (5)$$

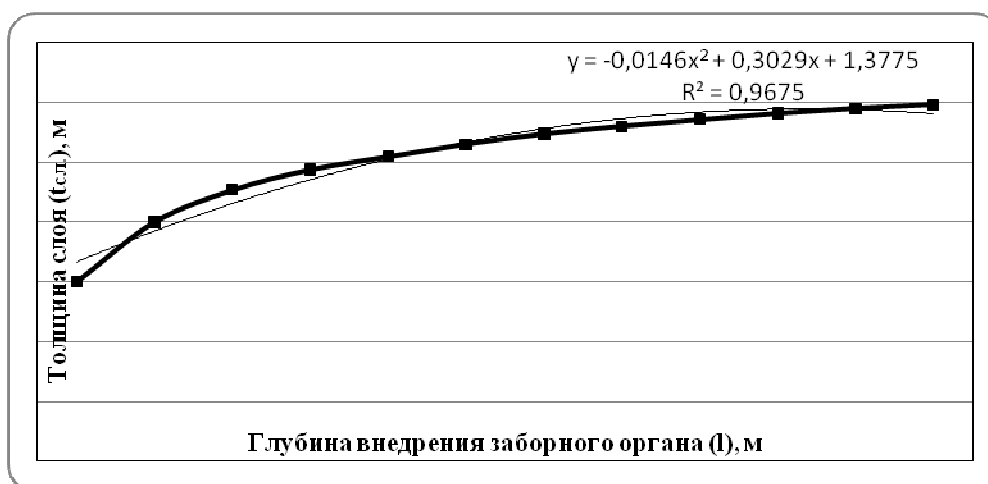


Рис. 3. Зависимость толщины отбиваемого слоя от глубины внедрения заборного органа погрузочной машины в навал руды

Отклонение от среднего значения рациональной толщины слоя, определяемой по формуле (5) целесообразно допускать не более $\pm 10\%$, когда показатели выпуска остаются практически постоянными. Заменив в формулах (2,3,4) значение (t) на величину из выражения (5) получим расчетные формулы для определения показателей выпуска в зависимости от глубины внедрения (l) заборного органа машины в навал руды.

Потери руды при $R = 20$ %:

$$П_l = 26,4 - 39,4l^{0,23} + 23,1l^{0,58}, \quad \% \quad (6)$$

разубоживание руды при $\Pi=20$ %:

$$R_l = 28,9 - 55l^{0,23} + 29,5l^{0,58}, \quad \% \quad (7)$$

извлечение чистой руды до начала разубоживания:

$$И_l = 180l^{0,23} - 35,8 - 79,2l^{0,58}, \quad \% \quad (8)$$

Рациональные технологические параметры конструктивного оформления очистных блоков, к которым относится толщина отбиваемого слоя руды,

позволили использовать научные результаты для технико-экономического обоснования проекта подземной разработки Белорецкого и Инского железорудных месторождений системой подэтажного обрушения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Каплунов Д.Р. Развитие производственной мощности подземных рудников при техническом перевооружении [Текст] / Д.Р. Каплунов // М.: Наука. – 1989.
2. Фрейдин А.М. Концепция развития технологии на подземных рудниках Сибири и Дальнего Востока [Текст] / А.М. Фрейдин // ФТПРПИ. –1999.- №3. – с. 85 – 96.
3. Гайдин А.П. О концепции развития технологии добычи руды на Шерегешском руднике [Текст] / А.П. Гайдин, П.А. Филиппов, А.М. Фрейдин, Э.Н. Кореньков / Сб. «Научный и технический прогресс – основа развития Шерегешского рудника // Кемерово: СИНТО; Новосибирск; ЦЭРИС. – 2002. – с. 117 – 122.
4. Стажевский С.Б. На подземных рудниках Швеции [Текст] / С.Б. Стажевский, А.М. Фрейдин, Е.П. Русин // Горный журнал. – 1991. – №10. – с.55 – 59.
5. A.Freidin. PERSPECTIVE OPNION OF THE TECHNIQUE OF SUBLEVEL CAVING WITH AREA-FRONTAL DRAWING OF ORE [Текст] / A.Freidin, P.Filippov, S.Neverov, A.Neverov. В сб. «ADVANCES IN GEOTECYNICAL AND STRUCTURAL ENGINEERING» международной конференции «Proceedings of the Fifth China – Russia Symposium on Underground and Building Engineering of City and Mine» // China, Qingdao, China University of Mining and Technology Press, 2008. – с.15 –18.
6. Опарин В.Н. Современное состояние, проблемы и стратегия развития горного производства на рудниках Норильска [Текст] / В.Н. Опарин, А.П. Тапсиев., М.Н. Богданов и др. – Новосибирск: Изд-во СО РАН. – 2008. – 372 с.

© П.А. Филиппов, Г.М. Бурмин, Н.П. Медведева, 2011

УДК 622.834

А.П. Тапсиев, В.А. Усков, М.Б. Устюгов

ИГД СО РАН, Новосибирск

О СКОРОСТИ СМЕЩЕНИЯ ПОРОДНОГО МАССИВА НА ЮЖНОМ УЧАСТКЕ РУДНИКА «ЗАПОЛЯРНЫЙ»

На основе исследования природно-технической системы рудника «Заполярный», в статье предложена формула для описания скорости смещения породного массива на шахтах Сибири.

A.P. Tapsiev, V.A. Uskov, M.B. Ustygov

Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk

Krasny Prospekt 54, 630091, Russian Federation

ON ROCK MASS DISPLACEMENT RATE IN THE SOUTH PART OF ZAPOLYRNY MINE FIELD

Based on calculation a result of the Zapolyrny Mine natural and technical system, this paper describes the method of forecasting rock mass displacement rates in terms of Siberian mines.

Рудник «Заполярный» ведет добычу вкрапленных сульфидных медно-никелевых руд подземным способом с применением буровзрывных работ. Залежь вкрапленных руд месторождения Норильск-1 приурочена к интрузии габбро-долеритов [1]. Она имеет мощность от 2 до 60 м и погружается на юго-запад под углом $5\div 8^\circ$ на глубину до 500 м. Сульфидная медно-никелевая минерализация в большей части представлена нормально-вкрапленными рудами.

Вскрытие Южного фланга месторождения Норильск-1 на действующем рудном поле рудника «Заполярный» осуществляется по комбинированной схеме двумя наклонными стволами-уклонами (автотранспортным и конвейерным) из карьера «Медвежий ручей». Выработки уже введены в эксплуатацию. Предполагается также проходка дополнительного вертикального вентиляционного ствола в районе безрудного окна на юго-западном фланге месторождения Норильск-1. Со стороны действующего рудника предполагается [2] (в соответствии с проектом) также вскрытие Южного фланга месторождения Норильск-1 вентиляционным и конвейерным уклонами, которые соединят подземные горные работы непосредственно с новой обогащательной фабрикой.

Основное направление в решении проблем повышения производительности труда по отдельным технологическим операциям и объемов добычи в целом по руднику «Заполярный» намечено общей концепцией развития ОАО «ГМК «Норильский никель»» [2]. Для обеспечения

рентабельности производства в условиях разработки бедных по содержанию вкрапленных руд системами разработки с использованием комплексов самоходного оборудования (рис. 1) необходимо увеличение объемов добычи в 2–3 раза. Особое внимание при этом должно уделяться совершенствованию технологии добычи руды.

Основа роста производительности труда – реконструкция производства, внедрение комплексов современного высокопроизводительного оборудования, механизация и автоматизация.

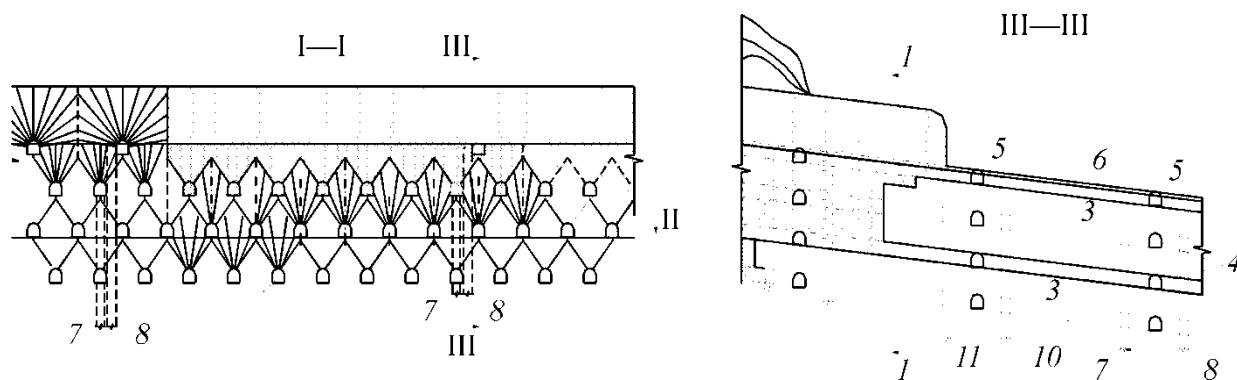


Рис. 1. Система разработки подэтажным обрушением с торцовым выпуском руды:

- 1 – транспортный штрек; 2 – транспортный уклон; 3 – транспортный орт; 4 – транспортно-доставочный штрек; 5 – штрек горизонта обрушения; 6 – орт горизонта обрушения; 7 – рудоспуск; 8 – вентиляционно-ходовой восстающий; 9 – погрузочный орт; 10 – транспортно-доставочный орт; 11 – транспортно-доставочный штрек

Проектным решением АО «Институт «Гипроникель»» предусмотрено применение на Южном участке рудника «Заполярный» системы разработки подэтажным обрушением с торцовым выпуском руды ([2], рис. 1).

Параметры системы при мощности рудной залежи $m = 40$ м следующие: ширина панели 50 м, длина панели 100 м, расстояние между ортами – 12,5 м, высота подэтажа 11,5 м, высота обрушения налегающих пород – $h = 16$ м.

Проблемы контроля и управления процессами сдвижения традиционно исследовались на руднике «Заполярный» специалистами ГМОИЦ, ВНИМИ, что позволило разработать ряд нормативных документов [3,4]. Минимальные значения угловых параметров для рудника Заполярный по экспериментальным данным ВНИМИ [2] приведены в табл.

Таблица. Значения угловых параметров сдвижения для рудника «Заполярный»

Название углового параметра	Обозначение	Значение
Угол сдвижения по падению	β	65°
Угол сдвижения по восстанию	γ	70°
Угол сдвижения по простиранию	δ	70°
Угол разрывов по падению	β''	68°
Угол разрывов по восстанию	γ''	73°
Угол разрывов по простиранию	δ''	73°
Угол обрушения по падению	β'''	85°
Угол обрушения по восстанию	γ'''	90°
Угол обрушения по простир.	δ'''	90°

Однако, до сих пор не предлагалось формул для расчета скорости V_0 вертикального оседания дневной поверхности подрабатываемого массива.

Особенности развития процессов сдвижения на руднике «Заполярный» связаны с параметрами применявшейся длительное время при отработке пологой рудной залежи системы этажного принудительного обрушения с одностадийной выемкой. На месторождении Норильск-1 обрушение вышло на поверхность.

Устойчивость породной консоли, представленной оливиновыми габбро-долеритами, для условий рудника «Заполярный» анализировалась Н.З. Галаевым. Им предложена формула для расчета шага обрушения породной консоли в зависимости от глубины разработки [2]:

$$l_0 = \frac{c(H - 2c \times \frac{tg\beta}{\gamma}) + Q_x \sin^2 \beta \tan \phi}{\gamma H \sin \beta (\sin \beta - \cos \beta \tan \phi)} \quad (1)$$

где H – глубина отработки; c – удельное сцепление в массиве; γ – удельный вес налегающих пород; β – угол сдвижения массива; ϕ – угол трения пород; Q_x – составляющая пассивного давления обрушенных пород (рис. 2):

$$Q_x = \frac{1}{2} (H - O)^2 \gamma_0 \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi_0}{2} \right) \quad (2)$$

где O – осадка обрушенных пород; γ_0 , ϕ_0 – удельный вес и угол внутреннего трения обрушенных пород соответственно.

Осадка обрушенных пород определяется по формуле (рис. 2)

$$O = \left(\frac{MU}{1 - R} \right) - H(K_p - 1) \quad (3)$$

где M – мощность рудного тела; U , R – коэффициенты извлечения и разубоживания руды соответственно; K_p – коэффициент разрыхления ($K_p = 1,03$ – $1,1$).

Для гор. +45 м ($H = 390$ м) на Южном участке рудника «Заполярный» величина шага самообрушения консоли по формулам (1) – (3) составляет $l_0 \approx 70$ м. По мере достижения при ведении горных работ в кровле залежи пролета подработки равного по величине шагу самообрушения массива, консоль

обрушается с образованием мегаблока, который смещается в выработанное пространство.

Скорость вертикального оседания мегаблока (рис. 2) под действием гравитационных сил ($V_0 = d\eta/dt$), измеряемая на дневной поверхности по профильной линии в средней части опытного блока может быть определена из условия предельного равновесия сил, действующих на мегаблок в момент разрушения массива.

С позиций геодинамики проекции сил, действующих на мегаблок как систему материальных точек массой $m = \Sigma m_i$, уравновешены относительно его центра тяжести при движении под действием гравитации.

Воспользовавшись уравнением Жуковского Н.Е. для движущейся системы материальных точек, можем записать:

$$\Sigma F_{zi} = d/dt (m d\eta/dt) \quad (4)$$

или (рис. 2), более подробно,

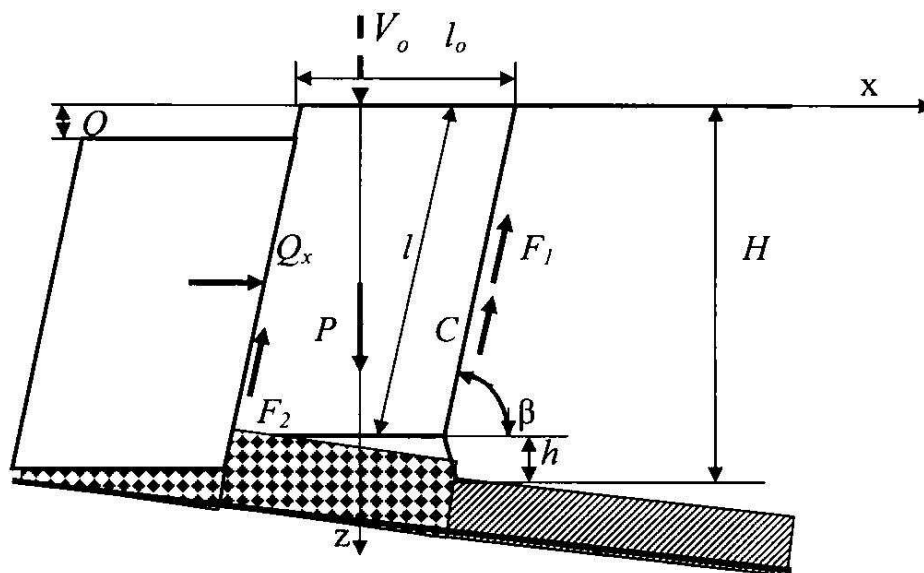


Рис. 2. Расчетная схема для определения скорости оседания налегающих пород в зоне сдвижения на Южном участке рудника «Заполярный».

$$P - F_1 \times \sin\beta - F_2 \times \sin\beta - C \times \sin\beta = d/dt (m d\eta/dt), \quad (5)$$

где P – вес мегаблока ($P = mg$); F_1 – сила трения по плоскости сдвижения мегаблока ($F_1 = P \cos\beta \operatorname{tg}\varphi$); F_2 – сила трения мегаблока по обрушенным породам ($F_2 = Q_x \sin\beta \operatorname{tg}\varphi$); C – сила сцепления мегаблока с массивом ($C = cl$).

С учетом того, что сила сопротивления массива разрушению линейно зависят от скорости вертикального оседания мегаблока, уравнение (5) преобразуем в линейное дифференциальное уравнение 1-го порядка:

$$dV_0/dt + V_0 K_0 K_1 m = (P - F_1 \sin\beta - F_2 \sin\beta)/m \quad (6)$$

Решение уравнения (6) относительно скорости вертикального оседания мегаблока имеет вид:

$$V_0 =$$

$$(P - F_1 \sin\beta - F_2 \sin\beta) K_1 \left[1 - \exp\left(-\frac{K_0 K_1 t}{m}\right) \right] \quad (7)'$$

где K_0 – поправочный коэффициент приведения вертикального оседания поверхности мегаблока к центру тяжести; вес мегаблока ($P=mg$); K_1 – коэффициент сопротивления среды, Н с/м.

Характер полученной зависимости скорости вертикального оседания мегаблока (7) от времени показывает, что имеет место быстрый рост скорости V_0 на начальном этапе при отделении мегаблока от массива и далее экспоненциальное уменьшение ее до завершения процесса оседания мегаблока.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Роговер Г. Б. Месторождение Норильск-1. М: Госгеолиздат. – 1958.
2. Опарин В.Н., Тапсиев А.П., Богданов М.Н., Бадтиев Б.П., Куликов Ф.М., Усков В.А. Современное состояние, проблемы и стратегия развития горного производства на рудниках Норильска. – Новосибирск: Изд-во СО РАН. – 2008. – 372 с.
3. Технологическая инструкция по применению системы этажного принудительного обрушения с двухстадийной и одностадийной выемкой вкрапленных руд на руднике «Заполярный» рудоуправления Норильск-1. – ТИ44577806.14.48-68-2004. – М.: ОАО «ГМК «Норильский никель», 2004.
4. Методические указания по определению параметров процесса сдвижения горных пород, охране сооружений и горных выработок на месторождениях цветных металлов. – Л.: ВНИМИ, 1974.

© А.П. Тапсиев, В.А. Усков, М.Б. Устюгов, 2011

УДК 551.44

С.Б. Стажевский, Г.Н. Хан, Е.П. Русин

ИГД СО РАН, Новосибирск

О ДИНАМИКЕ КАРСТА И ПРИМЕНЕНИИ МЕТОДА ДИСКРЕТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В РЕШЕНИИ ЕЕ ЗАДАЧ

Обосновывается возможность изучения геодинамики на примере карста. Обсуждаются возникающие при карстогенезе динамические проявления. Описана модификация метода дискретных элементов (МДЭ) для расчета напряженно-деформированного состояния (НДС) карстующегося породного массива с учетом возможности моделирования динамических проявлений в нем. Приведены результаты расчета эволюции НДС системы «породный массив - здание» при обрушении карстовой полости и поле скоростей на одной из стадий обрушения.

S.B. Stazhevsky, G.N. Khan, E.P. Rusin

Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk
Krasny Prospekt 54, 630091, Russian Federation

ON KARST DYNAMICS AND THE DISCRETE ELEMENT METHOD APPLICATION IN SOLVING ITS ISSUES

The paper substantiates the possibility of geodynamics study by example of karst. Dynamic manifestations that occur in the course of karst genesis are discussed. Discrete element method modification done with the purpose of the karstified rock mass stress-strain state calculation with taking into account the dynamic phenomena is described. Results of the stress-strain state evolution calculation for a 'rock mass – building' system in the course of a karst cavity failure and the velocity field for one of the failure phases are set forth.

Ассоциирующиеся с карстом динамические проявления с точки зрения геомеханики, по-видимому, аналогичны таковым в горнодобывающей практике [1]. Широкое распространение карста в России [2 – 4], высокая степень урбанизации и хозяйственного освоения закарстованных территорий, большая вероятность негативных последствий от внезапных скачкообразных изменений напряженно-деформированного состояния породного массива делают изучение рассматриваемого предмета весьма актуальным. Существенный плюс изучения геодинамики на примере карста – возможность, благодаря пещерам, снаружи и изнутри наблюдать все стадии разрушения массива вплоть до выхода процесса на земную поверхность. Это значительно расширяет также возможности верификации результатов его численного моделирования.

Полагают, что в основном геодинамика карста обусловлена испариванием трещин отрыва и сдвига, обрушением кровли и стенок полостей и сопутствующими ему явлениями: внезапной разгрузкой породного массива над полостью, ударами обрушенных масс о ее почву, скачкообразным перемещением в полость верхних слоев земной коры с образованием на дневной поверхности провальных впадин (провалов), в ряде случаев так называемыми обвальными или провальными землетрясениями [5 – 7].

Провальные явления в той или иной мере характерны для всех закарстованных территорий России. Наибольшая их интенсивность типична для быстро развивающегося соляного и сульфатного карста. Крупнейшие провалы внезапно возникают там, где карстогенный массив перекрыт пачками достаточно прочных слабокарстующихся пород, так как последние создают условия для формирования под ними пустот с большим пролетом [8].

Известно, что самые крупные в карстовых районах нашей страны динамические события и вызванные ими провалы ассоциируются с антропогенным соляным карстом. В частности, это провалы 1986 и 2006 гг., приуроченные к шахтным полям калийных рудников Верхнекамского месторождения калийных солей (гор. Березники). В первом случае объем очаговой карстовой полости составил около $630\,000\text{ м}^3$, диаметр провальной трубы на уровне земной поверхности 100 м, глубина впадины до обрушенных пород – 160 м, до выработок – более 400 м [9]. Во втором поперечные размеры впадины достигли величины более $400 \times 300\text{ м}$ и глубина – более 100 м [10].

Возникающие при карстогенезе динамические проявления дают возможность использовать для оценки масштабов и степени активности карста сейсмологические подходы [6]. В частности, в Кунгурской Ледяной пещере и на БКРУ-1 Березниковского шахтоуправления задействованы системы сейсмомониторинга [11, 12], обеспечивающие регистрацию локальных событий, таких как обрушения, оползни, растрескивание пород и т.д. Это позволяет получить более четкое представление о протекании карстовых процессов в крупных полостях, заложенных в породной толще, и создает дополнительные возможности для верификации результатов численного моделирования динамических явлений при карстогенезе.

В ИГД СО РАН создана основанная на модифицированном методе дискретных элементов компьютерная программа для расчета напряженно-деформированного состояния карстующегося породного массива с учетом возможности моделирования в нем динамических проявлений.

Основы МДЭ применительно к механике сред со структурой были заложены в [13]. В соответствии с [13] частицы сферической формы при контакте взаимодействуют по нормали посредством вязкоупругой силы — комбинации линейной силы, возникающей от сжатия или растяжения пружины нормального контакта и вязкого слагаемого, ответственного за диссипацию энергии (рис. 1а; k_n , χ_n — жесткость пружины и вязкость по нормали к контакту). Тангенциальные силы вводятся аналогично нормальным (рис. 1б; k_τ , χ_τ — жесткость пружины и вязкость по касательной к контакту или рис. 1в; k_τ , χ_τ , φ — жесткость пружины, вязкость и угол контактного трения между частицами по

касательной к контакту). Такая модель позволяет воспроизводить некоторые эффекты, демонстрируемые сыпучими материалами и горными породами, например, при их квазистатическом нагружении.

За динамические проявления в модельной среде отвечают упругие «пружины» отталкивания, а также сцепления и трения. Для моделирования динамических проявлений необходимо адекватное описание механизма действия сцепления и трения в породном массиве. В работах [14 – 16] для таких сред, как сыпучая и горные породы, приведены модели, которые отличаются от представленной в [13] следующим: 1) пружиной сцепления, концы которой жестко закреплены на поверхностях контактирующих частиц; 2) концы пружины трения жестко соединены с поверхностями контактирующих частиц и становятся «скользящими» при достижении максимального значения, равного произведению нормальной силы на коэффициент трения.

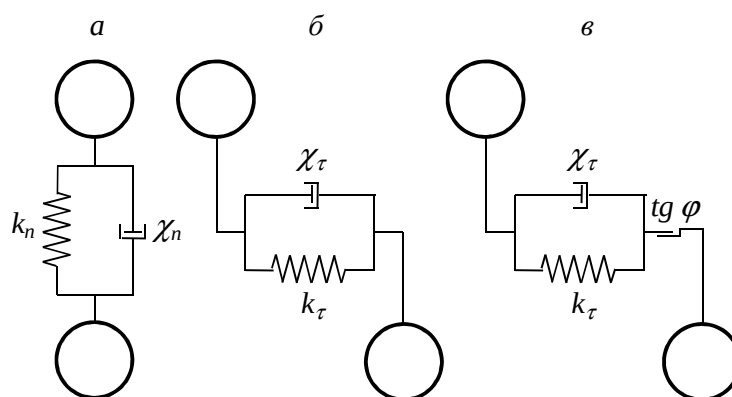


Рис. 1. Схемы вязкоупругого взаимодействия при механическом контакте

На основе моделей, разработанных в [14 – 16], проведена модификация компьютерной программы, позволяющая учесть внешнее воздействие на геосреду статических и динамических нагрузок. Основная идея при этом сводится к тому, что эти нагрузки также моделируются дискретными элементами (назовём их граничными), а характер динамических нагрузок включается в дополнительные параметры дискретных граничных элементов. Это, с одной стороны, упрощает реализацию ввода внешних нагрузок в алгоритм компьютерной программы, с другой – исключает ошибки, связанные с тем, что при прямом вводе динамических нагрузок не учитывается реакция со стороны частиц среды на такие нагрузки (агрегат породный массив – динамическая нагрузка является системой с обратной связью).

С использованием модифицированной компьютерной программы проведены оценки критических нагрузок, создаваемых строящимся зданием на поверхность массива, вмещающего карстовую полость (рис. 2). После возведения трех этажей здания массив сохраняет устойчивость (рис. 2а, а'), при возведении четвертого этажа происходит обрушение полости (рис. 2б, б').

Потеря устойчивости карстовой полости сопровождается динамическими проявлениями, которые отражаются в изменениях поля скоростей частиц, слагающих массив (рис. 3).

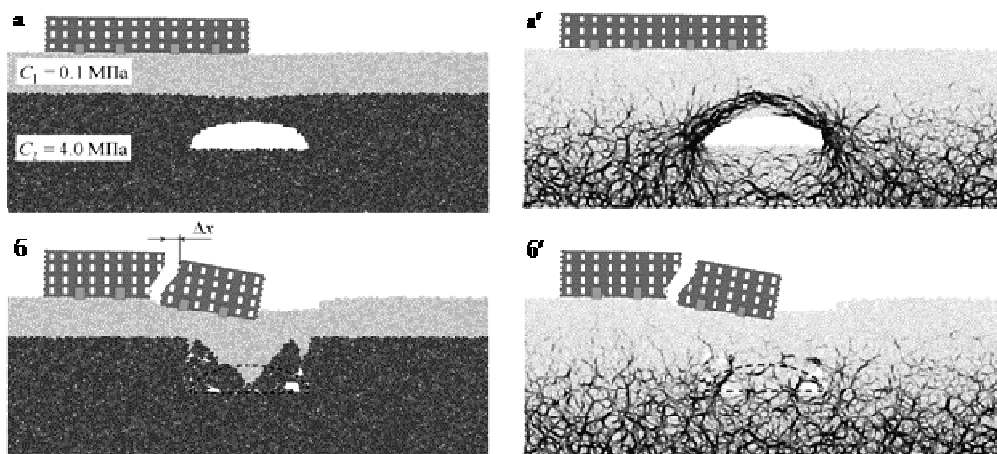


Рис. 2. Напряженно-деформированное состояние геопространства, ослабленного карстовой полостью, при асимметричном относительно нее возведении третьего (a, a') и четвертого (b, b') этажей здания (a, b – деформированное состояние; a', b' – поле контактных сил). Здесь C_1, C_2 – сцепление в породных слоях; Δx – горизонтальное смещение обрушившейся части здания



Рис. 3. Поле скоростей на одной из стадий обрушения карстовой полости: общая картина, участок интенсивного обрушения выделен штриховой линией (a); участок интенсивного обрушения в увеличенном масштабе (b)

В дальнейшем предполагается использовать возможности модифицированной компьютерной программы для исследования влияния на массив, ослабленный карстом, внешних динамических воздействий (движение поездов, работа машин и механизмов и др.).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Петухов, И.М. Механика горных ударов и выбросов [Текст] / И.М. Петухов, А.М. Линьков. – М.: Недра, 1983. – 279 с.
2. Максимович, Г.А. Основы карстоведения. Том 1. Вопросы морфологии карста, спелеологии и гидрогеологии карста [Текст] / Г.А. Максимович. – Пермь: Перм. кн. изд-во, 1963. – 445 с.

3. Гвоздецкий, Н.А. Карст [Текст] / Н.А. Гвоздецкий. – М.: Мысль. – 1981. – 214 с.
4. Говорушко, С. М. Влияние карста на человеческую деятельность [Текст] / С.М. Говорушко // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. – 2008. – № 6. – С. 132-141.
5. Максимович Г.А. К характеристике сейсмических явлений в Пермской области [Текст] / Г.А. Максимович // Изв. ВГО. – 1943. – Т. 75. – Вып. 4. – С. 8-15.
6. Маловичко, Д.А. Локальные сейсмологические наблюдения за карстовыми процессами [Текст] / Д.А. Маловичко, О.И. Кадебская, Д.Ю. Шулаков, П.Г. Бутырин // Физика Земли. – 2010. – № 1. – С. 62-79.
7. Саваренский, Е.Ф. Элементы сейсмологии и сейсмометрии [Текст] / Е.Ф. Саваренский, Д.П. Кирнос. – М.: ГИТТЛ, 1955. – 544 с.
8. Лукин, В.С. Провальные явления на Урале и в Предуралье [Текст] / В.С. Лукин // Труды Института геологии УФ АН СССР. – 1964. – Вып. 69. – № 3. – С. 133-160.
9. Горбунова, К. А. Карст и пещеры Пермской области [Текст] / К. А. Горбунова, В. Н. Андрейчук, В. П. Костарев, Н. Г. Максимович. – Пермь: Изд-во Перм. ун-та. – 1992. – 200 с.
10. Рудник затоплен. – Эксперт Online [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.expert.ru/news/2008/11/24/rudniktop> (24.11.2008).
11. Кадебская, О. И. Разработка новой системы мониторинга в Кунгурской Ледяной пещере [Текст] / О.И. Кадебская. – Антропогенная динамика природной среды. Том II. Матер. международной науч.-практ. конф. (16-20 окт. 2006 г., г. Пермь) Пермский ун-т. – Пермь: Изд. Богатырев П.Г., 2006. – С. 174 – 178.
12. Мокрушина О.Ю. В карстовом плену / О.Ю. Мокрушина, О.И. Кадебская // Горное эхо. – 2008. – № 3 – 4 (33-34). – С. 42-53.
13. Cundall, P.A. A discrete numerical model for granular assemblies [Текст] / P.A. Cundall, O.D.L. Strack – Англ. // Geotechnique. – 1979. – V.29, no. 1. – Pp. 47 – 65.
14. Хан, Г.Н. Исследование процесса обрушения смерзшейся породы методом дискретных элементов [Текст] / Г.Н. Хан // Материалы 3-й международной конференции “Наукоемкие технологии добычи и переработки полезных ископаемых”. – Новосибирск: Изд. ИГД СО РАН, 2003. – С. 98 – 103.
15. Русин, Е.П. Геомеханические аспекты генезиса экзо- и эндокарста [Текст] / Е.П. Русин, С.Б. Стажевский, Г.Н. Хан // ФТПРПИ. – 2007. – №2. – С. 10 – 20.
16. Хан, Г.Н. О несимметричном режиме разрушения массива горных пород в окрестности полости [Текст] / Г.Н. Хан // Физическая мезомеханика. – 2008. – Т.11. – №1. – С. 109 – 114.

УДК: 622.82

В.А. Скрицкий

ИГД СО РАН, Новосибирск

СНИЖЕНИЕ ЭНДОГЕННОЙ ПОЖАРООПАСНОСТИ И ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТРАБОТКИ КРУТЫХ ПЛАСТОВ УГЛЯ В ШАХТАХ КУЗБАССА

В статье описан механизм возникновения и развития очагов самонагрева угля в выработанном пространстве крутых пластов и обоснована целесообразность их отработки системой ПГО по бесцеликовой технологии.

V.A. Skritsky

Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk
Krasny Prospekt 54, 630091, Russian Federation

SPONTANEOUS FIRE HAZARD DECREMENT AND COAL PRODUCTION ENHANCEMENT IN STEEPLY PITCHING FORMATIONS IN THE KUZNETSK COALFIELD

The article discusses origination and growth of spontaneous heating sources in mined-out areas in steeply pitching coal formations and justifies practicality of hydraulic coal mining by sublevel hydraulic breakdown method without pillars left.

Существенным недостатком технологических схем отработки крутых пластов, наряду с их высокой эндогенной пожароопасностью, являются большие и безвозвратные потери запасов угля в целиках, оставляемых в выработанном пространстве. В каждом шахтном поле (горизонте) до 20% от вскрытых запасов угля, только за счет оставляемых в выработанном пространстве профилактических межблоковых целиков, переходят в категорию безвозвратных потерь. С учетом же угля, содержащегося в межгоризонтных целиках, безвозвратные потери возрастают до 30÷35%.

Делением выемочных полей на блоки, отделенные друг от друга профилактическими целиками, преследуется цель, чтобы срок отработки каждого выемочного блока, включая время на его изоляцию, не превышал 3 месяцев - инкубационного периода самовозгорания угля [1]. Однако, не смотря на секционирование выемочных блоков, при отработке крутых пластов имеют место многочисленные случаи, когда в выработанном пространстве как действующих, так и отработанных выемочных участков возникают, или обнаруживаются очаги самовозгорания угля. В таких случаях аварийный блок изолируют и приступают к тушению эндогенного пожара, а очистные работы переводят в следующий выемочный блок, отделенный от аварийного участка

профилактическим угольным целиком. В выработанном пространстве точное местонахождение очага самовозгорания угля обычно неизвестно, поэтому процесс тушения пожара растягивается на длительный срок, исчисляемый месяцами.

Очаги самовозгорания угля в выработанном пространстве возникают в зонах повышенной воздухопроницаемости – на контакте выработанного пространства с угольным массивом или целиком угля. Опорным горным давлением при воздействии на краевую часть угольного целика (массива) совершается механическая работа по разрушению и деформации пласта, которая протекает с преодолением сил трения. В процессе этой работы температура раздавленного и перемятого угля в краевой части целика повышается, его температура становится на $15\div 25$ и более градусов выше температуры окружающего угле породного массива и утечек воздуха, поступающих в выработанное пространство [2]. При поступлении воздуха к такому разрыхленному и нагретому в процессе механодеструкции углю в нем возникают очаги самонагрева, которые, по мере роста температуры за счет окислительных процессов, развиваются до стадии самовозгорания угля [3].

Из всех систем отработки крутых пластов с обрушением пород кровли наименее пожароопасной является гидравлическая технология (ПГО), при которой отбойка угля в подэтажных штреках производится гидромониторами – высоконапорными струями воды. Однако, и при отработке крутых пластов системой ПГО, вдоль оставляемых в выработанном пространстве межблочных целиков, в том числе профилактических, формируются, представленные на рис. 1, пожароопасные зоны, в которых и возникают очаги самовозгорания угля.

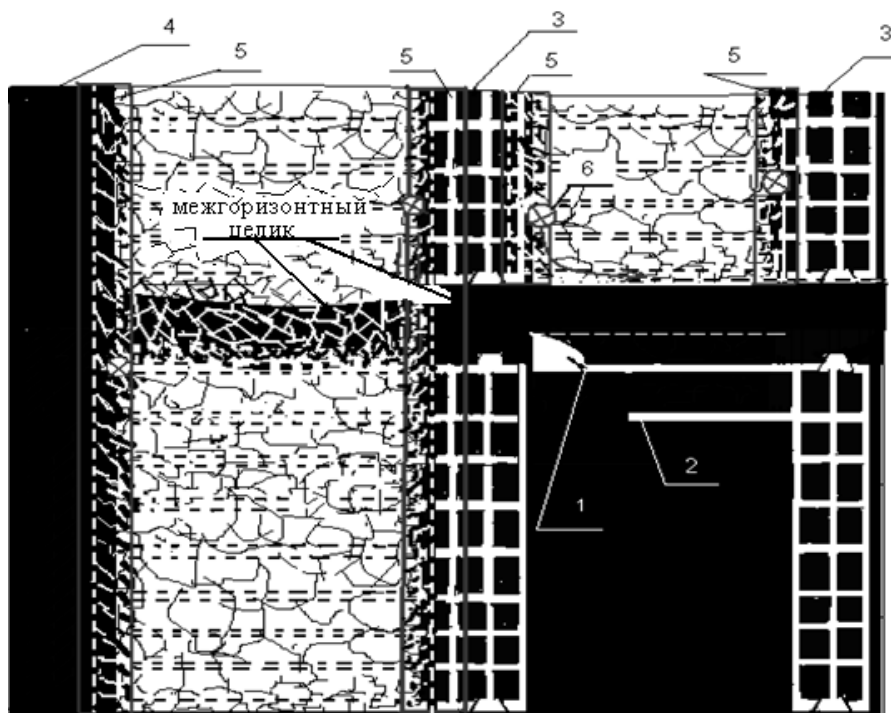


Рис. 1. Пожароопасные зоны и места возникновения очагов самовозгорания угля при принятом на шахтах порядке отработке крутых пластов системой ПГО, где:

1 – очистной забой с гидромонитором на I первом подэтажном штреке отрабатываемого выемочного блока; 2 – проходка II подэтажного штрека; 3, 4 – межблочные, профилактические целики, в т.ч. с ходовыми, вентиляционными и пульпопечами; 5 – зоны в выработанном пространстве, опасные по фактору эндогенной пожароопасности; 6 - значками ☒ обозначены очаги самовозгорания угля

Межблочные угольные целики, оставляемые в выработанном пространстве в качестве профилактических, располагают соосно с аналогичными целиками, оставленными ранее на отработанном выше залегающем горизонте. В результате этого вдоль соосно-расположенных межблоковых угольных целиков эндогенные пожары зачастую перепускаются в действующие выемочные блоки с верхних, ранее отработанных, горизонтов. Поэтому, с целью предотвращения перепуска пожаров с вышележащих отработанных горизонтов в действующие выемочные блоки, на шахтах практикуют увеличение межгоризонтных угольных целиков, что ведет только к дополнительным безвозвратным потерям запасов угля. Так как после подработки межгоризонтного угольного целика и его разрушения не исключается не только перепуск огня с верхних отработанных горизонтов, но и поступление в выработанное пространство нагретых масс угля из раздавленного горным давлением межгоризонтного целика.

Так как источниками формирования в выработанном пространстве разрыхленных и нагретых масс угля, в которых возникают и развиваются очаги самонагрева угля, являются краевые части угольных целиков, то делением выемочных полей на отдельные выемочные блоки проблема с эндогенными пожарами при отработке крутых пластов усугубляется. Этот вывод в частности подтверждается данными по шахте «Коксовая» (г. Прокопьевск), где за период с 1931 по 2006 годы возникло 163 эндогенных пожара (см. таблицу) [4].

Таблица

Всего пожаров	Число пожаров в период с 1931 по 2006 годы при системах разработки					
	с обрушением кровли:			с закладкой выработанного пространства:		
	С полным обрушением: КО, ГСО, ДСО, ЦО, НСО, ПШО, КГП, КНК-70,	Комбинированные – обрушение с зонами закладки: КО, КЗ	Гидродобыча: ПГО	Пневматическая и самотечная закладка: ГСПЗ, НСЗ, ОЗГП, НСГЗ(П)	Гидравлическая закладка: ДСГЗ, НСГЗ, ПНСГЗ, КГСЗ	Твердеющая и литая закладки: МГСЛТЗ, НСЛЗ, КПЛТЗ, НСЛТЗ, КПЛЗ
163	114	11	2	13	23	-

Максимальное количество пожаров (114) возникло при традиционных системах разработки с обрушением кровли, при которых в выработанном пространстве оставалось большое количество угольных целиков, из краевых частей которых под действием опорного горного давления формировались скопления разрыхленного угля с повышенной температурой.

К 2006 году гидравлической технологией угледобычи системой ПГО отработано 25 выемочных блоков. При этом было зафиксировано 2 эндогенных пожара. Один из них (2005г., пожар № 858) был идентифицирован по взрыву метана в глубине выработанного пространства выемочного блока № 1 с квершлага № 31 гор. – 135м, пласт Лутугинский.

Из приведенных данных по шахте «Коксовая» и результатов исследований влияния горного давления на формирование очагов самонагрева угля [2, 3] следует, что оставление в выработанном пространстве межблоковых угольных целиков существенно повышает опасность возникновения эндогенных пожаров. Соответственно, чтобы предотвратить возникновение эндогенных пожаров, необходимо отработку крутых пластов производить без оставления в выработанном пространстве угольных целиков, т.е. перейти к бесцеликовой отработке. Из всех технологических систем отработки крутых пластов с обрушением пород кровли только гидравлической технологией, из-за ее гибкости и универсальности, обеспечивается возможность производить бесцеликовую отработку пластов в сложных горно-геологических условиях.

Принципиальная схема бесцеликовой отработки крутых пластов системой ПГО представлена на рис. 2 [5].

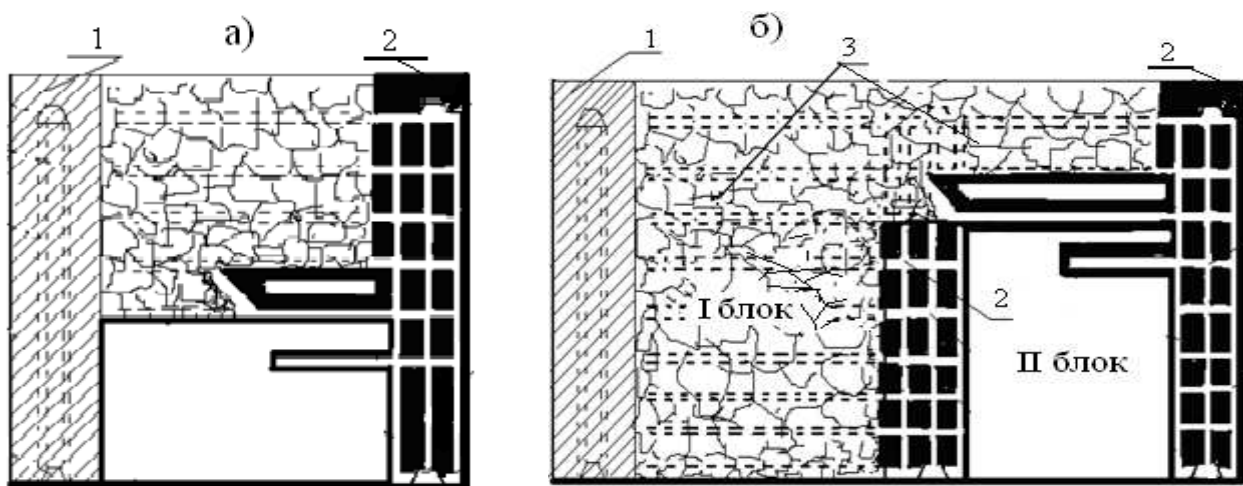


Рис. 2. Способ разработки крутых пластов системой ПГО по бесцеликовой технологии:

2а) – схема отработки первого выемочного блока от границы выемочного столба; 2б) – схема отработки второго и последующих выемочных блоков без оставления между ними межблоковых профилактических целиков

Вскрытие выемочного столба осуществляют на фланге вентиляционным и аккумуляющим квершлагами, из которых системой отработки с закладкой выработанного пространства твердеющим закладочным материалом производят выемку угля из целика, служащего охраным для этих квершлагов, формируя барьерный целик, обозначенный цифрой 1 на рис. 2. Оработку выемочных блоков в пределах выемочного столба производят последовательно, начиная от I выемочного блока, примыкающего к сформированному барьерному целику. На всем протяжении выемочного столба межблоковые угольные целики,

обозначенные на рис. 2 цифрой 2, отрабатывают совместно с подэтажами смежного отрабатываемого выемочного блока. В отработку включаются также ранее оставляемые в выработанном пространстве межгоризонтные угольные целики.

Таким образом, за счет совместной отработки межблоковых угольных целиков с подэтажами смежных отрабатываемых выемочных блоков на всем протяжении выемочного столба образуется единое выработанное пространство (на рис. 2 обозначено цифрой 3), состоящее из обрушенных пород.

В процессе отработки выемочных блоков для предотвращения возникновения очагов самонагревания угля, предусматривается обработка краевой части выработанного пространства высоконапорными струями воды [6, 7].

Практическая реализация способа отработки крутых пластов без оставления в выработанном пространстве угольных целиков позволит повысить безопасность труда шахтеров за счет предотвращения аварий, обусловленных возникновением эндогенных пожаров, и одновременно обеспечит повышение эффективности горных работ за счет дополнительного объема добытого угля.

Работа выполнена при финансовой поддержке интеграционного проекта № 60 СО РАН с участием НАНУ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Инструкция по предупреждению и тушению подземных эндогенных пожаров в шахтах Кузбасса / Кемерово, ВостНИИ, 2007. – 82 с.
2. Попов В.Б. Новые представления о природе начального теплового импульса при возникновении очагов самовозгорания угля в шахтах / Попов В.Б., Скрицкий В.А., Храмцов В.И., Обидов С.В. // Безопасность труда в промышленности, № 3, 2002г. – С. 36 – 38.
3. Скрицкий В.А. Роль горного давления в возникновении эндогенных пожаров в угольных шахтах [Текст] / В.А. Скрицкий // Материалы научн. конгресса (15÷17.10.2009 г.): «Совершенствование системы управления, предотвращения и демпфирования последствий чрезвычайных ситуаций регионов и проблемы безопасности жизнедеятельности населения». – Новосибирск. – СГГА. – 2009. – С. 162 – 164.
4. Скрицкий В.А. Об эндогенной пожароопасности ведения горных работ в филиале ООО «Шахтоуправление Прокопьевское» шахта «Коксовая» [Текст] / В.А. Скрицкий, В.А. Заречнев // В сб. тр. конф. (07÷11.07.2008.) «Фундаментальные проблемы формирования техногенной среды». – Том «Геотехнология». – Новосибирск. – ИГД СО РАН. – 2008. – С. 265 – 274.
5. Патент РФ на изобретение № 2390633 МПК E21F 15/00, E 21C 41/18. Способ разработки крутых пластов угля / Скрицкий В.А., Тапсиев А.П.// Заявлено 05.02.2009. – Оpubл. 27.05.2010. – Б.И. – № 15. – 7с.: 2 ил.
6. Руководство по профилактике эндогенных пожаров с применением высоконапорных струй воды в гидрошахтах Кузбасса /Л.П. Белавенцев, А.Е.

Сазонов, В.А. Скрицкий и др.: Утв. 17.06.1962г. ВПО «Кузбассуголь»; ВостНИИ - Кемерово, 1982. – 22 с.

7. А.с. СССР № 972144, МКИ Е 21 F5/02. Способ профилактики эндогенных пожаров в выработанном пространстве при разработке крутых пластов угля системами подэтажного обрушения с гидроотбойкой [Текст] / Л.П. Белавенцев, В.А. Скрицкий, Ю.И. Донсков, А.Г. Степанов, А.Е. Сазонов, Б.В. Фадеев, В.Б. Клещев, Ю.П. Арбатский (СССР) // Заявлено 03.10.80. – Оpubл. 07.11.82. – Бюл. № 41.

© В.А. Скрицкий, 2011

УДК: 622.273.23; 622.812.

В.А. Скрицкий

ИГД СО РАН, Новосибирск

К ВОПРОСУ ДОСТОВЕРНОСТИ ВЫВОДОВ О ПРИЧИНАХ ВЗРЫВОВ МЕТАНА В ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ КУЗБАССА

Воспламенение и взрывы метана в угольных шахтах инициируются преимущественно очагами самовозгорания угля, которые не были обнаружены при отработке выемочных участков. Описан механизм участия опорного горного давления в формировании и возникновении очагов самовозгорания угля в выработанном пространстве.

V.A. Skritsky

Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk
Krasny Prospekt 54, 630091, Russian Federation

RELIABILITY OF CONCLUSIONS ON METHANE EXPLOSION CAUSES AT HIGHLY PRODUCTIVE COAL MINES AT THE KUZNETSKY COAL BASIN

Ignition and explosion of methane at coal mines are generally initiated by hotspots of spontaneous coal combustion, not detected at coal mining areas at a good hour. The author describes the mechanism for the bearing rock pressure effect on generation of spontaneous coal combustion spots at goafs.

В период с 1998 по 2002 гг. в шахтах России возник 131 эндогенный пожар. Из них 84 (64%) были обнаружены в шахтах Кузбасса. За этот же период в шахтах России произошло 34 взрыва метановоздушной смеси, из них 28 (82%) – в шахтах Кузбасса. В шахтах Кузбасса, несмотря на ежегодное снижение аварий вида «эндогенный пожар» и «взрыв метана», наблюдается удельный рост аварий обусловленных взрывами метана. Так, например, в шахтах Кузбасса, отрабатывающих как пологие, так и крутые пласты угля, за период с 1993 по 1997 гг. произошло 191 аварий вида «пожар» и «взрыв», из которых 155 относились к эндогенным пожарам, а 36 (19%) – к взрывам метана. За период же с 1998 по 2002 гг. из 112 произошедших в Кузбассе аварий 84 были отнесены к эндогенным пожарам, а 28 (25%) – к взрывам метана. За 3 года, с 2000 по 2002 гг., из 57 аварий вида «эндогенный пожар» и «взрыв метана», произошедших в шахтах Кузбасса, 37 аварий были отнесены к эндогенным пожарам, а 20 (35%) – к взрывам метана.

В последние годы проблема предотвращения взрывов метана стала особо актуальной для шахт отрабатывающих высокопроизводительными комплексно механизированными очистными забоями пологие и наклонные пласты, уголь

которых склонен к самовозгоранию. Проветривание выемочных участков осуществляется по комбинированной схеме, когда до 30% воздуха, поступающего для проветривания очистного забоя, отводится из лавы через выработанное пространство. При отработке пластов, уголь которых склонен к самовозгоранию, подобные схемы проветривания потенциально опасны по условию возникновения очагов самовозгорания угля в выработанном пространстве.

В подобных выемочных участках с 2001 по 2007 годы в шахтах Кузбасса на 7 высокопроизводительных выемочных участках, проветриваемых по комбинированной схеме, произошли взрывы метана с катастрофическими последствиями, при которых было травмировано 274 человека, в том числе 227 (83%) смертельно. Краткие сведения об этих авариях представлены в ниже приведенной таблице.

Дата	Шахта. Место аварии. Число пострадавших	Схема проветривания	Горнотехнические параметры пласта	Причина взрыва – по заключению комиссии, расследовавшей аварию
30. 03. 2001 г.	ЗАО ш. «Распадская». Зап. путевой бр-г 3- 10, групп. пут/ш 3-10. Лавы 3-10-7 и 4-10-23/ Пострадало 7 чел., в т.ч. 4 - смерт.	Комбинированная - с использованием ВМЦГ- 7 для отвода метана через выработанное пространство.	Пласт – 10. Мощность – 1,9 - 2,4 м. Глубина от поверхности – 148 м. Газообильность – 25м ³ /т.	Искрение «От обрушения пород кровли в групп. путевом штреке перебило бронированный кабель, что вызвало замыкание жил».
02. 04. 2002г.	ЗАО ш. «Антоновская». Лава 30-29 Травмировано 9 чел.	Комбинированная отвод метана на газодрен. штрек через заднюю сбойку на конвейерном штреке.	Пласт – 29. Мощность – 3,0- 3,8 м. Глубина от поверхности – 320 м. Газообильность - 2 ,85 м ³ /т.	Искрение при фрикционном трении обрушенных пород..
11. 02. 2003г.	ш. «Алардинская». Лава 21-1-52, газодрен. штр. 21-50. Пострадало 27 чел., в т. ч. 2- смерт., 11– тяж.	Комбинированная с использованием ВМЦГ- 7 для отвода метана из выработанного пространства.	Пласт – 21. Мощность пласта - 6,6 м. Отработка лавы по I слою. Глубина от поверхности - 200 м. Газообильность- сверхкатегорийная	Загазирование выработки из-за отключения ВМЦГ-7. Источник воспламенения – дуговой разряд при бронированного кабеля резервного ВМЦГ-7
10. 04. 2004г.	ш. «Тайжина». Лава 1-1-5-5, к/ш 1-1-5-6 и примыкающие выработки. Пострадавших 53 чел., в т..ч. 47 –	Комбинированная – отвод метана на газодрен. штрек через заднюю сбойку на конвейерном штреке.	Пласт - Е-5. Мощность – 2,8 м. Глубина от поверхности – 320 м. Газообильность - сверхкатегорийная	Искрение при повреждении высоковольтного кабеля на к/ш 1-1-5-6. Вытеснение из выруб. протва метана в промечь № 2 и на

	смерт.			к/ш 1-1-5-6.
08. 02. 2005г.	ш. «Есаульская». Лава 29 – 26. Постр. 29 чел, в т.ч. 25 – смерт.	Комбинированная – с использованием ВМЦГ- 7 для отвода метана из выработанного пространства.	Пласт – 29. Глубина от поверхности – 353 м. Газообильность- сверхкатегор.	Самовозгорание угля в выработанном пространстве лавы.
19. 03. 2007г.	ш . «Ульяновская». Лава 50-11. Погибло 110 чел.	Комбинированная отвод метана на газодрен. штрек через заднюю сбойку на конвейерном штреке.	Пласт - 50. Мощность– 2,2÷2,6м. Отн. газооб. – 9,8 м ³ /т. Глубина от поверхности - 220 м.	Искрение в лаве при сдавливании и повреждении силового комбайнового кабеля.
24. 05. 2007г.	ш. «Юбилейная». Лава 15-16. Погибло 39 чел.	Комбинированная – с использованием ВМЦГ- 7 для отвода метана из выработанного пространства.	Пласт 15. Глубина от поверхности - 450м. Газообильность - сверхкатегор.	Искрение между жилами в силовом комбайновом кабеле, при его натяжении.

Все 7 выемочных участков, на которых произошли взрывы метана, отрабатывались длинными столбами по простиранию с обрушением пород кровли (ДСО) и проветривались комбинированным способом. Скорость подвигания очистных забоев превышала 60 в месяц, при которой, согласно [1], обеспечивается отработка выемочных столбов без возникновения в выработанном пространстве очагов самовозгорания угля. Так как в пробах воздуха, отбираемых из выработанного пространства, не наблюдалось повышенных концентраций оксида углерода и других индикаторных газов то считалось, что в выработанном пространстве выемочных участков, в которых произошли взрывы метана, очаги самовозгорания угля не возникали.

Помимо природных свойств угля к окислению, на формирование и возникновение в выработанном пространстве очагов самовозгорания угля, существенное влияние оказывает опорное горное давление. Опорным горным давлением совершается механическая работа по механодеструкции краевой части угольного массива. В процессе этой работы выделяется тепло, вследствие чего уголь, разрушаемый в зоне упругопластических деформаций, приобретает температуру на 25 – 35 и более градусов выше, чем температура окружающего углепородного массива [2, 3]. За счет температурного градиента, к не окисленному и нагретому в процессе механодеструкции краевой части пласта (целика) углю, образуется устойчивый ток воздуха. Этим током воздуха к нагретому и разрыхленному углю в оптимальном режиме доставляется кислород, необходимый для развития процесса самонагрева угля и осуществляется вынос влаги и газообразных продуктов окисления из возникшего очага самонагрева угля. По мере повышения температуры угля в очаге самонагрева интенсивность процесса окисления и роста температуры угля возрастает и, при достижении в очаге самонагрева температуры 500 – 700°С, происходит самовозгорание угля. Очаг самовозгорания угля, перемещаясь навстречу поступающему воздуху, выходит на внешнюю кромку

целика в выработанном пространстве, и огонь распространяется по нему, где от горящего угля может воспламениться метан и произойти взрыв метановоздушной смеси.

На шахте «Антоновская» (02.04.2002 г.) источником воспламенения и взрыва метана в выработанном пространстве действующего выемочного участка было названо искрение, образующееся при фрикционном трении обрушающихся пород кровли. На шахте «Есаульская» (02.02.2005 г.), причиной произошедшего взрыва метана был назван очаг самовозгорания угля, огонь от которого в процессе ликвидации аварии был обнаружен в сбойке у перемычки, изолирующей выработанное пространство отрабатываемой лавы. В 5 из 7 аварийных участков, при отработке которых так же отсутствовали признаки возникновения очагов самовозгорания угля, в процессе обследования горных выработок после взрыва, были обнаружены механические повреждения силовых электрических кабелей. В связи с тем, что произошедшие взрывы метана не возможно было объяснить возникновением очагов самовозгорания угля в выработанном пространстве источниками огня, инициировавшим воспламенение и взрывы метана, было названо искрение, образующееся при механическом повреждении электрических кабелей. При этом в двух случаях, в шахте «Ульяновская» (19.03.2007г.) и в шахте «Юбилейная» (24.05.2007 г.), источниками воспламенения и взрыва метана названа вольтова дуга, якобы возникшая при механическом повреждении силовых комбайновых кабелей.

В шахтных электрических сетях предусмотрены реле утечки тока, благодаря которым, в случае снижения электрического сопротивления между силовыми жилами кабеля (до механического повреждения оболочки кабеля и до возникновения вольтовой дуги), автоматически происходит опережающее отключение фидерного автомата. В связи с этим достоверность заключений о том, что взрывы метана были инициированы искрением, произошедшим в результате механического повреждения в лаве комбайнового кабеля, вызывает сомнение. Кроме того, в актах расследования аварий, не достаточно убедительно обосновано образование взрывчатой концентрации метана ($>5,6\%$) в атмосфере призабойного пространства лав, проветриваемых в штатном режиме.

При комбинированном способе проветривания выемочных участков, эндогенные пожары, как правило, обнаруживаются не в ранней стадии их возникновения, а проявляются пожарными газами, выделяющимся из выработанного пространства, или взрывами метана. Объясняется это тем, что до 30% подаваемого к очистному забою воздуха перепускается через выработанное пространство. В большом количестве воздуха, поступающего в выработанное пространство, концентрация оксида углерода и других индикаторных газов снижается. В результате идентифицировать газоаналитическим методом очаг самовозгорания угля на ранней стадии его возникновения – до выхода огня в выработанное пространство и развития в нем эндогенного пожара, либо взрыва метана, практически невозможно. Поэтому при комбинированном способе проветривания выемочного участка отсутствие в отбираемых пробах воздуха индикаторных газов, даже при высокой скорости

подвигания очистного забоя не может достоверно свидетельствовать о том, что в выработанном пространстве не возникли и не развиваются очаги самонагрева угля.

Достоверность данного вывода подтверждается двумя авариями, произошедшими на шахте «Антоновская»: в 2002г. – взрыв метана в глубине выработанного пространства лавы № 30 – 29 и в 2003г. – эндогенный пожар в выработанном пространстве отработанной и изолированной лавы № 30 – 33. Следует отметить, что при расследовании всех 7 аварий, в том числе и на шахте «Антоновская», участие горного давления в возникновении эндогенных пожаров не принималось во внимание. Из-за комбинированного способа проветривания лавы № 30 – 29 в пробах воздуха, отбираемых из выработанного пространства, концентрация индикаторных газов не превышала предельно допустимых значений. Видимо поэтому причиной воспламенения и взрыва метана в глубине выработанного пространства лавы № 30 – 29, где обрушение и сдвиг пород кровли давно завершилось, было названо *«фрикционное искрение при обрушении пород кровли»* [4].

Если бы при расследовании двух выше описанных аварий на шахте «Антоновская», возникновение и ликвидация которых прошли без травматизма и гибели людей, было учтено влияние горного давления на возникновение очагов самовозгорания угля, то в технологию отработки пологих пластов могли быть внесены соответствующие изменения для предотвращения эндогенных пожаров и взрывов метана. Однако этого не произошло. Поэтому в высокопроизводительных выемочных участках шахт Кузбасса, при отработке пологих угольных пластов, продолжают происходить аварии, в возникновении которых прослеживаются все этапы возникновения и развития аварий, произошедших в шахте «Антоновская» в 2002 и в 2003 годах. Об этом свидетельствуют также результаты анализа материалов, имеющих в Акте расследования взрыва метана, произошедшего 19.03.2007г. на шахте «Ульяновская».

Особую озабоченность вызывает то, что в процессе расследования взрывов метана, происходящих в угольных шахтах, выявляются не истинные причины возникновения аварий, а изыскиваются версии, которыми возникшую аварию можно представить как случайность, зачастую обусловленную низкой производственной дисциплиной работников шахты, но не связанную с технологическими особенностями ведения горных работ. Отсутствуют выводы о том, что применение комбинированных схем проветривания выемочных участков предопределяет возникновение очагов самовозгорания угля в выработанном пространстве. Также отсутствуют выводы о необходимости дегазации выработанного пространства и к переходу на менее пожароопасные способы проветривания выемочных участков.

Из изложенного следует, что заключения комиссий о причинах взрывов метана произошедших в угольных шахтах не оказывают практического влияния на предотвращение подобных аварий на других шахтах. Поэтому взрывы метана в шахтах Кузбасса продолжают происходить, при этом тяжесть их последствий не снижается.

Работа выполнена при финансовой поддержке интеграционного проекта № 60 СО РАН с участием НАНУ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Инструкция по предупреждению и тушению подземных эндогенных пожаров в шахтах Кузбасса / Кемерово, ВостНИИ, 2007. – 82 с.
2. Скрицкий В.А. Роль горного давления в возникновении эндогенных пожаров в угольных шахтах [Текст] / В.А. Скрицкий // Материалы научн. конгресса (15÷17.10.2009г.): «Совершенствование системы управления, предотвращения и демпфирования последствий чрезвычайных ситуаций регионов и проблемы безопасности жизнедеятельности населения». – Новосибирск. – СГГА. – 2009. – С. 162 – 164.
3. Попов В.Б. Новые представления о природе начального теплового импульса при возникновении очагов самовозгорания угля в шахтах / Попов В.Б., Скрицкий В.А., Храмцов В.И., Обидов С.В. // Безопасность труда в промышленности, № 3, 2002г. – С. 36 – 38.
4. Карта учета аварии возникшей "02" апреля 2002 года в ЗАО " Шахта Антоновская".

© В.А. Скрицкий, 2011

УДК 622.235

А.В. Савченко, Е.Н. Чередников

ИГД СО РАН, Новосибирск

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ СКВАЖИННЫХ ИМПЛОЗИВНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ*

В статье рассмотрены технологические особенности применения скважинных генераторов. Проведены расчеты параметров гидроударных камер. Определены оптимальные параметры соответствующие технологическому режиму.

A.V. Savchenko, E.N. Cherednikov

Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences

54 Krasny prospect, Novosibirsk, 630091, Russian Federation

DEFINITION OF OPTIMUM PARAMETERS BOREHOLED OF IMPLOSIVE GENERATORS

In article technological features of application boreholed generators are considered. Calculations of parameters of hydroshock chambers are carried out. Optimum parameters corresponding to a technological mode are defined.

На современном этапе развития нефтедобывающего комплекса требуется совершенствование технологического процесса, обеспечивающего интенсификацию или стабилизацию добычи и полноту извлечения нефти. Для этого необходима разработка специализированного оборудования и технологии производства работ.

Для решения этих проблем разработаны и находят практическое применение сотни технологических приемов, методов, операций, каждый из которых характеризуется степенью эффективности, технико-экономическими параметрами (показателями), экологическими последствиями, производственно техническими возможностями и другими факторами.

Добыча нефти осуществляется с помощью разнообразного насосного оборудования, размещаемого в обсаженных трубами скважинах с перфорацией, выполненной в зоне продуктивного пласта и различного рода фильтрационными устройствами.

Создаваемая техника должна базироваться на реальных возможностях существующих нефтедобывающих предприятий и обеспечивать технологическую и экономическую эффективность. Технические средства

* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Правительства Новосибирской области.

воздействий должны по своим параметрам (энергии и частотному диапазону) соответствовать оптимальным для конкретных пластов и обеспечивать эффективное воздействие на пласт на расстояниях в сотни и тысячи метров от скважины.

Главной задачей является определение оптимальных параметров генераторов для конкретных технологических условий: ограничение диаметра генератора – диаметром скважины, длины генератора – величиной хода станка-качалки, начального давления – высотой динамического уровня и прочими технологическими условиями.

Широкое использование в конструкции источников узлов серийных штанговых насосов; возможность использования стандартного штангового привода со станком-качалкой; возможность технического обслуживания в промысловых условиях; техническая, технологическая, эксплуатационная и кадровая подготовленность промыслов к работам по этим технологиям; относительно низкая стоимость оборудования – выполнение этих условий делает возможным массовое внедрение на нефтепромысле такого рода технологий.

Численными методами исследован процесс гидроударного возбуждения импульсов давления в пульсаторе с целью определения оптимальных параметров гидроударной камеры, прежде всего ее длины, т.к. диаметры плунжерных пар установлены стандартами ГОСТ и API.

Произведены расчеты для следующих параметров: глубина спуска устройства 500÷2500м; диаметр корпуса генератора $d = 0,038; 0,044$ и $0,057$ м; плотность воды $\rho_e = 1000 \text{ кг/м}^3$; длина камеры генератора $l = 0 \div 14$ м, длина окон $l_0 = 0,1$ м; кинематическая вязкость жидкости для воды $\nu_e = 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения; внутренний диаметр эксплуатационной колонны скважины $D_{скв} = 146$ мм.

Расчеты при крайних значениях входящих параметров показывают, что ΔP в 5 – 12 раз превышает значение статического давления на забой столба жидкости, а максимальная величина действующей на забой силы достигает 120 – 200 кН.

Зависимости давления жидкости при гидравлическом ударе от глубины спуска устройства (гидростатического напора) приведены на рис. 1. Оценка энергии гидроудара E в зависимости от длины генератора (рис. 2) позволяет определить оптимальную длину гидроударной камеры.

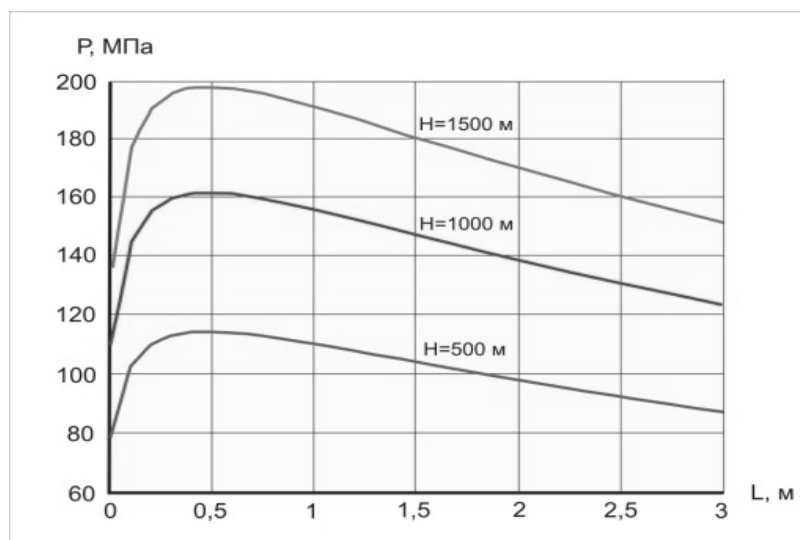


Рис. 1. Давление гидроудара

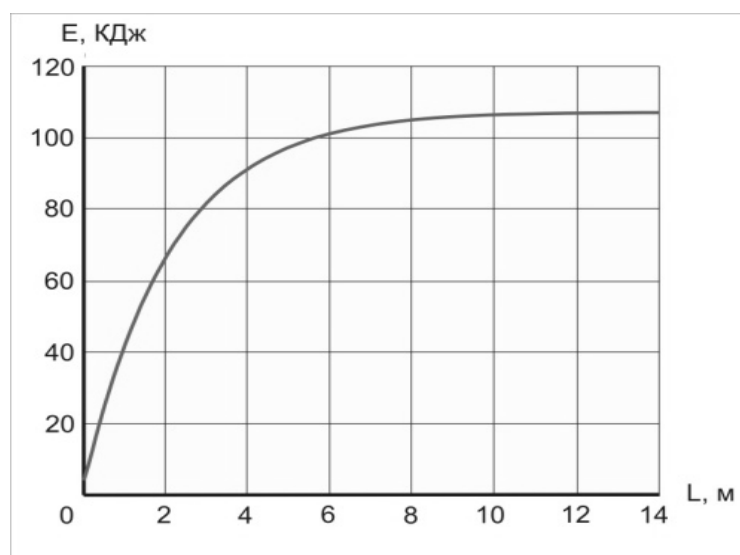


Рис. 2. Энергия гидроудара в зависимости от длины генератора

В результате проведенных расчетов получены закономерности изменений скорости струи V , давления P , силы F и энергии E гидроудара от глубины установки устройства H (гидростатического напора) для различных длин (l = до 15 м) и диаметров (d = 38; 44; 57 мм) гидроударных камер. С точки зрения создаваемой энергетики, при одинаковом объеме гидроударной камеры, наиболее целесообразно создание генератора большего диаметра, чем длины. Полученные данные свидетельствуют о целесообразности ограничения длины гидроударной камеры 2,5 – 3 м, что особо важно для выбора внешнего типа привода пульсатора.

Выполненные исследования позволили обосновать принципиальную схему стенда для последующего физического моделирования процесса работы импловзивных пульсаторов.

УДК 622.235

А.В. Савченко, Е.Н. Чередников

ИГД СО РАН, Новосибирск

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СКВАЖИННЫХ ГИДРОУДАРНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ СИСТЕМ *

В статье рассмотрены способы снижения динамических нагрузок на привод и штанги скважинного генератора волновых импульсов.

A.V. Savchenko, E.N. Cherednikov

Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences

54 Krasny prospect, Novosibirsk, 630091, Russian Federation

PRINCIPLES OF CONSTRUCTION BOREHOLED OF HYDROSHOCK PULSE SYSTEMS

In article ways of decrease in dynamic loadings on a drive and bars boreholed the generator of wave impulses are considered.

Исследования динамики работы скважинных имплозивных установок показали, что в момент нанесения гидроудара колонна штанг и станок-качалка испытывают повышенные динамические нагрузки вызванные действием на плунжер обратной отраженной волны, возникающей после создания импульса давления жидкости в подплунжерной полости, следствием которых является разрушение штанг и выход из строя привода генератора.

В известных способах для снижения указанных выше динамических воздействий, ограниченных конструктивной прочностью устройств для их реализации, не полностью используются технические возможности привода по допускаемому тяговому усилию, что выражается в невысокой мощности создаваемых упругих колебаний.

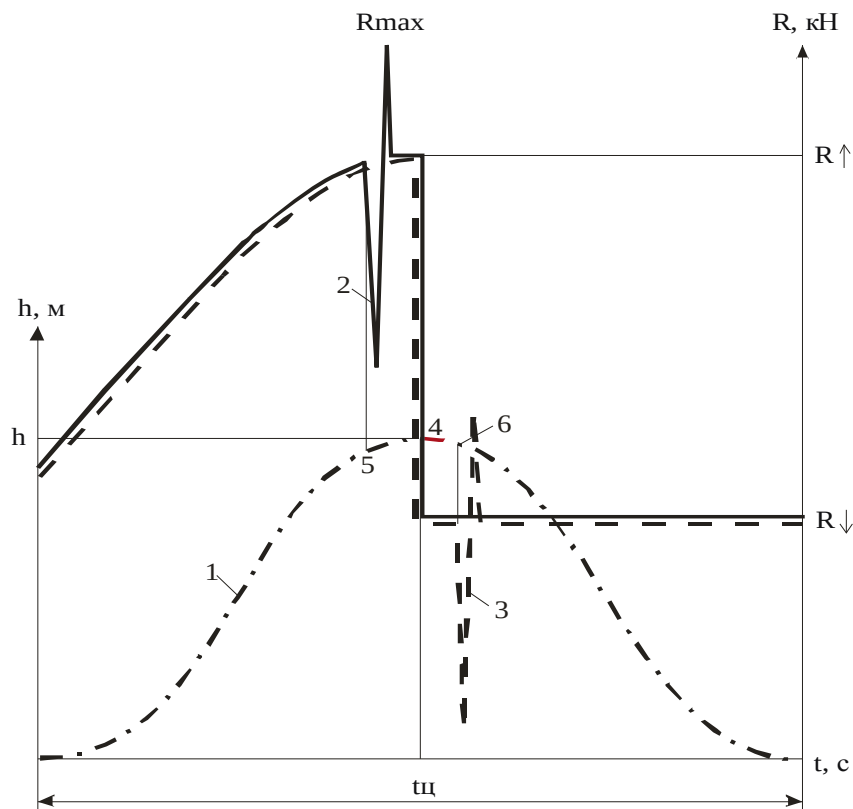
Техническая задача заключается в повышении надежности и долговечности устройства при увеличении уровня энергетических параметров волнового воздействия.

Для устранения чрезмерных ударно-динамических нагрузок необходимо изменить циклограмму нагрузки на привод за цикл воздействия. Это достигается за счет сообщения камер с различным давлением жидкости между собой только после полного снятия нагрузки на привод.

Сущность предлагаемого решения поясняется на рис. 1, где приведен график 1 перемещения h плунжера за время $t_{\text{ц}}$ цикла. Графики 2 и 3 показывают

* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Правительства Новосибирской области.

характер изменения усилия R в тяге в сечении на уровне устья скважины, также в течение времени цикла соответственно для известных и предлагаемого способов. (Более подробно этот способ докладывался ранее.)



На основании предложенного выше способа разработаны принципы создания гидроударных устройств для волнового воздействия на продуктивный пласт различных модификаций, использующие штатный штанговый привод со станком-качалкой.

Причем, управление генератором осуществляется в зависимости от положения плунжера насоса.

При движении плунжера вверх из крайнего нижнего положения жидкость из пласта или межтрубного пространства поступает в подплунжерную

всасывающую камеру. При этом имеется возможность перекрытия поступления жидкости полностью или на части хода и при дальнейшем движении плунжера вверх, за счет разряжения давление в подплунжерной камере понижается. Одновременно жидкость из надплунжерной камеры вытесняется в выкидную линию или переливается в межтрубное пространство.

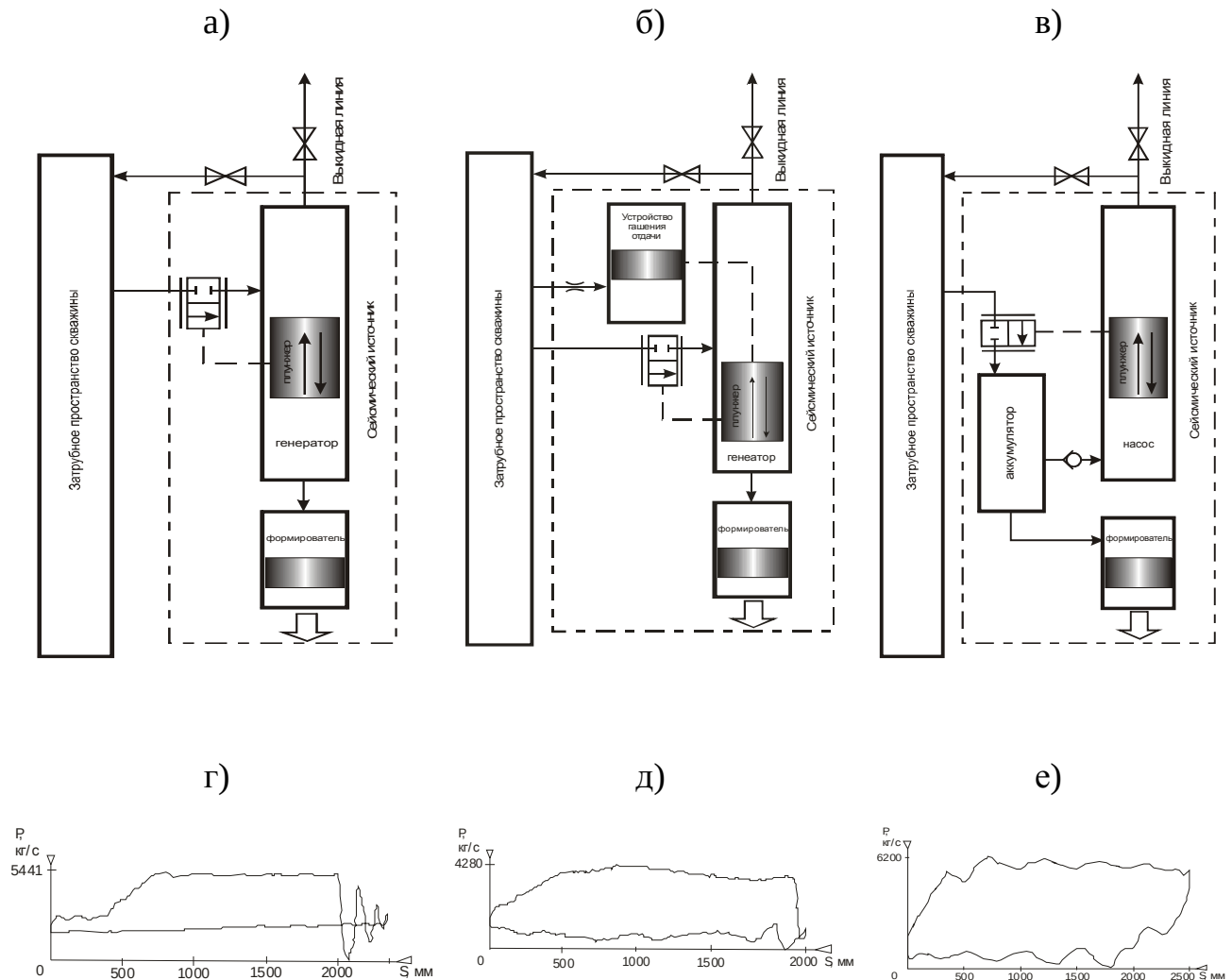


Рис. 2. Принципиальные схемы и динамограммы нагрузок на привод

При достижении плунжером верхнего положения (на подходе к нему или, наоборот, после начала движения вниз) камера повышенного давления (надплунжерная или межтрубная) сообщается с подплунжерной камерой пониженного давления, жидкость устремляется в подплунжерную камеру, образуя струю и достигая ее конца, ударяет в заглушенный нижний торец камеры, передавая усилие на формирователь импульсов.

При движении плунжера вниз жидкость из подплунжерной камеры через нагнетательный клапан поступает в надплунжерную камеру. После полного опускания плунжера вниз цикл повторяется.

Действие гидравлического удара и резкое снятие нагрузки с привода вносит свои изменения в динамику работы устройства. Поэтому динамограмма работы гидроударной установки отличается от стандартной насосной и

выглядит следующим образом (рис. 2з). При движении штанг вверх плунжер выходит из цилиндра, что на динамограмме отмечается резким падением вниз линии нагрузки штанг и может иметь место колебательный процесс нагрузки с последующим ее восстановлением.

Как видно из анализа динамограммы установки, в момент нанесения гидроудара, колонна штанг и станок-качалка испытывают переменные ударно-динамические нагрузки, следствием которых является уменьшение срока эксплуатации штанг и выход из строя привода генератора.

Дальнейшее развитие устройства, совмещающего в себе создание импульсной депрессии на призабойную зону и сейсмического воздействия на пласт, направлено на снижение ударных нагрузок на штанги и привод. Для этого установка дополнительно снабжается устройством компенсации отдачи на привод (рис. 2б), в котором используется выравнивание перепада давления в различных камерах при помощи дроссельного эффекта.

Дополнительное снабжение установки устройством компенсации отдачи на привод подразумевает наличие двух цилиндров различных диаметров.

Динамограмма работы установки с учетом устройства гашения отдачи на привод приведена на рис. 2д. Дополнительное снабжение установки устройством компенсации отдачи на привод позволило значительно уменьшить колебательный процесс в момент нанесения гидроудара. На динамограмме видно более плавное снижение нагрузки и отсутствие колебательного процесса в момент нанесения гидроудара.

Дальнейшее развитие устройства направлено на устранение чрезмерных ударно-динамических нагрузок, обусловленных действием отраженной волны, возникающей после создания импульса давления жидкости в подплунжерной полости и передаваемой на плунжер, для этого необходимо изменить циклограмму нагрузки на привод за цикл воздействия. Это достигается сообщением камер с различным давлением жидкости между собой после полного снятия нагрузки на привод.

Следующее устройство (рис. 2в) является модификацией предыдущих устройств с измененной циклограммой нагрузки на привод за цикл воздействия, позволяющее исключить ударно-динамические нагрузки на оборудование, возникающие при создании гидравлического импульса давления.

Предлагаемый способ реализуется следующим образом. В обсаженную скважину на насосно-компрессорных трубах устанавливают цилиндр, внутри которого с возможностью осевого перемещения размещен плунжер, связанный тягой с приводом возвратно-поступательного движения, образуя изолированные камеры. Скважину заполняют жидкостью. При движении плунжера вверх под действием привода давление в отдельных камерах изменяется. Плунжер, после достижения крайнего верхнего положения, начинает двигаться вниз под действием собственного веса и веса тяги в жидкости, при этом происходит полное снятие нагрузки на привод возвратно-поступательного движения плунжера. При дальнейшем движении плунжера вниз сообщаются между собой камеры с различным давлением жидкости.

Динамограмма по своему виду наиболее близка к насосной и выглядит следующим образом (рис. 2е).

При создании устройства учтена возможность одновременного отбора пластовой жидкости. Это позволяет не выводить скважину из эксплуатации на время проведения работ, что существенно расширяет область применения данной технологии.

Дальнейшее развитие данного вида систем направлено на создание гидроударных генераторов модульного типа используемых в качестве приставок к типовым штанговым насосам.

© А.В. Савченко, Е.Н. Чередников, 2011

УДК 624.94.012.45

В.С. Сабуров, Д.В. Барышников

ИГД СО РАН, Новосибирск

КОНТРОЛЬ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИИ БАШЕННОГО КОПРА КЛЕТЬЕВОГО СТВОЛА

В статье рассмотрен метод оценки технического состояния конструкции башенного копра клетьевого ствола. Приведены результаты инструментального экспресс обследования конструкции башенного копра клетьевого ствола рудника «Интернациональный».

V.S. Saburov, D.V. Baryshnikov

Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk
Krasny Prospekt 54, 630091, Russian Federation

MONITORING OF TOWER HEADGEAR CONDITION AT THE CAGE SHAFT

The process to monitor the tower headgear condition at the cage shaft is considered. The authors report the data on the instrumental express-examination of the headgear condition at the cage shaft at the International Mine.

Башенный копёр клетьевого ствола (БККС) является значимым и ответственным сооружением, которое представляет собой высотное надшахтное сооружение, предназначенное для подъёма руды из шахты и перевозки персонала. Необходимость размещать такие сооружения на подрабатываемых территориях, а в некоторых случаях в условиях крайнего севера требует проведение непрерывного контроля технического состояния конструкций копра.

Конструкции копров, как правило, представляют собой металлический каркас, который обеспечивает несущую способность относительно вертикальных статических нагрузок. В случае сочетания внецентренного действия статических нагрузок, крена фундаментов и ветровой нагрузки жёсткость поперечному изгибу (сдвигу) конструкции копра может оказаться не достаточной. Поэтому важной задачей является выявление на ранних стадиях процесса деформирования, что позволяет обоснованно и своевременно провести в необходимых местах работы по укреплению конструкции копра.

В настоящее время определение характера деформаций и эпюр перемещений конструкций производится геодезическими методами. Однако проведение геодезических наблюдений требует создания и поддержания плотной системы реперных пунктов, что не всегда возможно в условиях реальной эксплуатации месторождения.

В отличие от традиционных методов, инженерно-сейсмометрический метод (метод фоновых вибраций или метод передаточных функций) позволяет

проводить диагностику технического состояния строительных конструкций, зданий и сооружений, любых размеров и конструктивного исполнения. Метод позволяет определять упругие характеристики, как отдельных элементов, так и конструкции в целом, а также выявлять на ранних стадиях возникновение процесса деформирования и разрушения несущих конструкций. Обследование проводится в режиме реальной эксплуатации строительного объекта, без нанесения ущерба несущим и ограждающим конструкциям. При обследовании используется специализированная сейсмостанция и программное обеспечение, позволяющее, при необходимости, оперативно получать динамические характеристики объекта прямо на строительной площадке.

В качестве примера использования инженерно-сейсмометрического метода приведены результаты однодневного экспресс обследования конструкции башенного копра клетьевого ствола рудника «Интернациональный». Высота БККС составляет 73.65 м по верху колонн, размеры в плане – 18×18 м. Каркас металлический, шаг колонн – 6 м, междуэтажные перекрытия из монолитного железобетона. По конструктивной схеме каркас копра запроектирован рамно-связевым. Пространственная жёсткость высотного сооружения БККС обеспечивается пространственной рамной конструкцией крепления ригелей к колоннам по наружным рядам на отм. 12.0, 24.0 и 45.0 м, жёсткими дисками междуэтажных перекрытий, системой связей по колоннам и покрытию. Монтажные стыки ригелей с колоннами, балок перекрытия с ригелями и связей с колоннами выполнены на высокопрочных болтах.

Особенностью БККС является то, что на отм. 57 м установлена подъёмная машина весом 270 тс и двигатель копра весом 90 тс, а на отм. 66.0 м работает мостовой кран грузоподъёмностью 50 тонн.

При эксплуатации БККС произошло отклонение канатов главного вала канатно-вытяжного шкива (КВШ) от вертикальной оси на 40 мм на отметке 57.0 м по отношению к отметке 12.0 м. Крен конструкции БККС составил $\varphi = 8.9 \cdot 10^{-4}$, что привело к ускоренному износу направляющих элементов грузовой лифтовой шахты.

Регистрация колебаний под воздействием микросейсма, производилась отдельными сеансами с единовременной записью тремя датчиками. Один из датчиков использовался в качестве опорного, положение которого оставалось неизменным в течение всего обследования, а два других перемещались по обследуемому объекту. Пункты наблюдения, в которых производилась регистрация колебаний, назначались в узлах сопряжения колонн и раскосов каркаса. Опорный датчик находился на отм. 15.6 м, колонна А1.

В результате обследования были измерены следующие динамические характеристики конструкции: частоты и эпюры пространственных форм собственных колебаний, диссипативные характеристики. Измерение собственных частот производилось по осреднённым по всем пунктам наблюдения амплитудным спектрам ускорения, когерентности, передаточной функции и приведённым к опорному пункту спектрам ускорения. На рис. 1 приведены амплитудные спектры колебаний приведённых к опорному пункту, нормированные на амплитуду первой формы колебаний.

Построение эпюр форм собственных колебаний в фазе максимального отклонения от статического положения равновесия (синфазная форма колебаний) производилось с использованием комплексных спектров передаточных функций. В качестве примера на рис. 2 приведены эпюры первых форм собственных колебаний двух внешних угловых колонн.

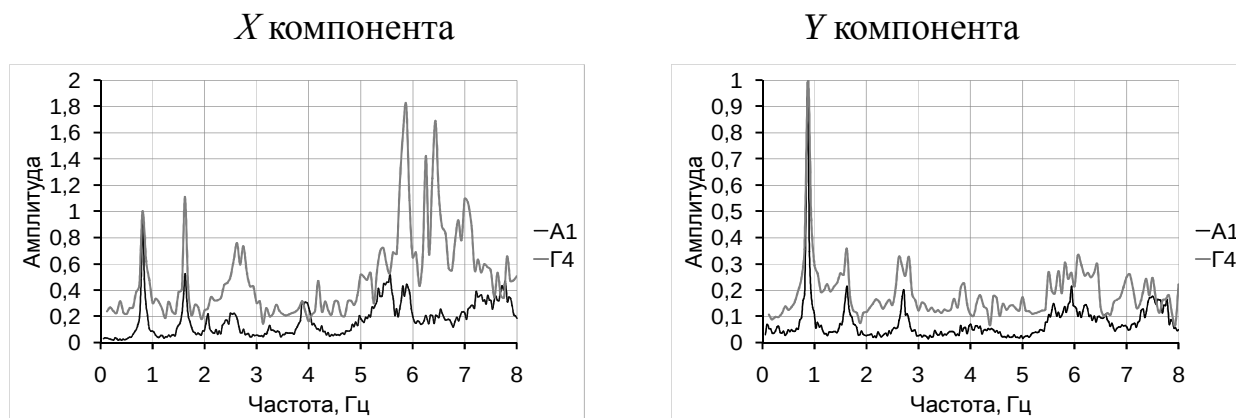


Рис. 1. Амплитудные спектры колебаний (ускорение), приведённые к опорному пункту

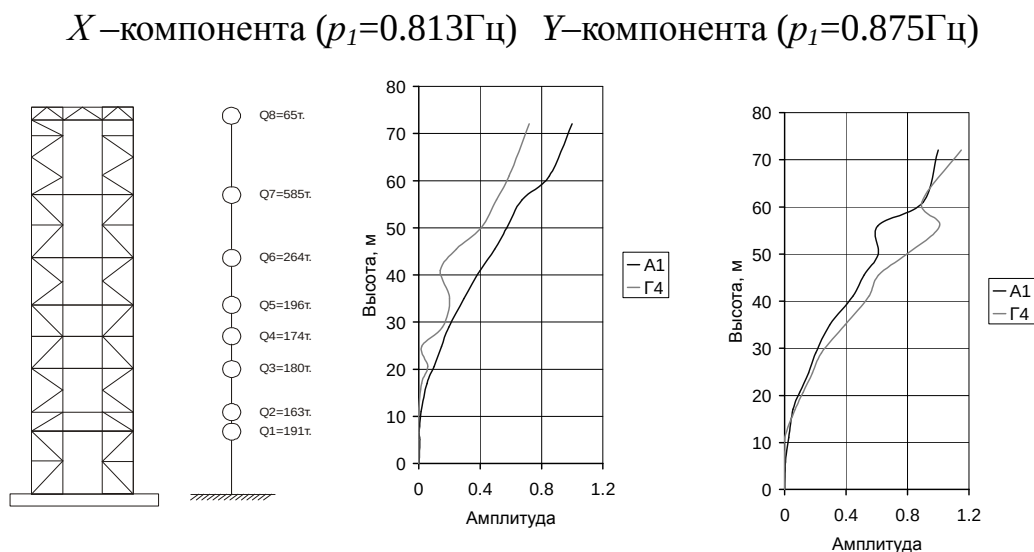


Рис. 2. Первые формы собственных колебаний колонн А1 и Г4

К колонне А1 примыкает шахта служебного лифта и лестничный проём размером 5.5?5.5м. Вокруг шахты лифта выполнена винтовая лестница, ширина лестничного марша 1.25м с кирпичным ограждением на всю высоту до отметки 57.0 м. По сути колонна А1 представляет собой элемент массивного ядра жёсткости. Колонна Г4 расположена напротив колонны А1 на пересечении осей "Г" и "4".

Для определения жёсткости каркаса БККС изгибу и сдвигу использовалась замещающая модель, в качестве которой использовалась модель изгибно-сдвиговых колебаний консольной балки жёстко закреплённой относительно поперечных и угловых перемещений.

Результаты решения системы уравнений изгибно-сдвиговых колебаний балки относительно двух первых частот собственных колебаний приведены в таблице.

Таблица

Направление	Колонна	Частота p_1 , Гц	Частота p_2 , Гц	λ_1	EI , тс·м ²	GFK , тс
Х компонента	A1	0.813	2.5	1.307	$6.96 \cdot 10^9$	$2 \cdot 10^6$
	Г4	0.813	2.66	1.515	$3.85 \cdot 10^9$	$2.54 \cdot 10^6$
Y компонента	A1	0.875	2.72	1.363	$6.81 \cdot 10^9$	$2.41 \cdot 10^6$
	Г4	0.875	2.66	1.185	$1.19 \cdot 10^9$	$2.1 \cdot 10^6$

Примечание. Частоте 1.62 Гц соответствует первая форма крутильных колебаний.

Полученные значения жёсткости сечения сдвигу и изгибу позволяют оценить смещения верха конструкции при ветровой нагрузке. Город Мирный относится к первому району по давлению ветра, с расчётной скоростью ветра 20м/сек. Распределение ветровой нагрузки определено в соответствии со СНиП 2.01.07–85* «Нагрузки и воздействия» и МДС 20–1.2006.

Расчётное значение смещения верха колон при нормативной ветровой нагрузке составляет до 26 мм, из которых 15 мм определяются деформациями сдвига и 11 мм деформациями изгиба, при этом перерезывающая (поперечная) сила в опорном сечении составит порядка 70 тс.

Для определения участков конструкции, в которых существуют отклонения упруго-массовых свойств от среднего значения характерного для всей конструкции, использовался коэффициент когерентности колебаний на частоте первой формы (рис. 3). В данном случае признаком упруго-массовой неоднородности является отличие (уменьшение) коэффициента когерентности относительно единичного значения.

X –компонента ($p_1=0.813$ Гц) Y –компонента ($p_1=0.875$ Гц)

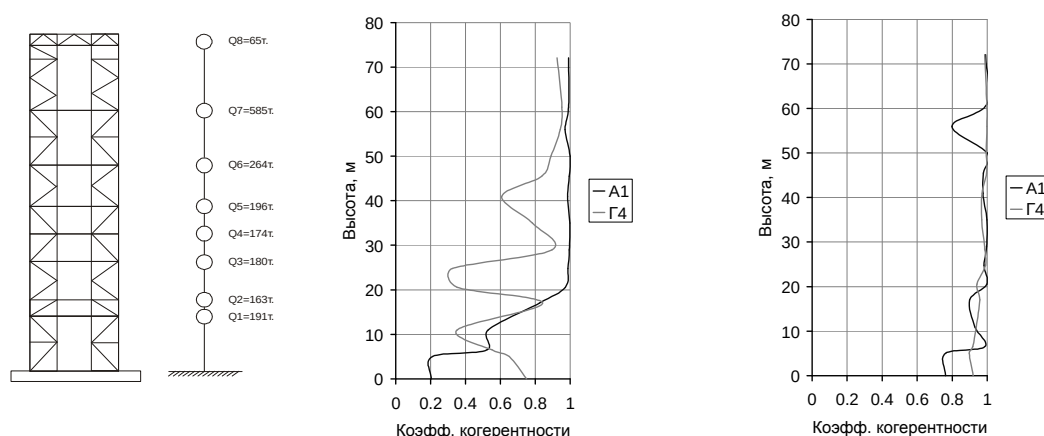


Рис. 3. Функции коэффициента когерентности на частоте первых форм собственных колебаний колонн A1 и Г4

Как видно на рис. 3 для колонны A1 значительное уменьшение коэффициента когерентности наблюдается ниже отметки 20.0м, а для колонны

Г4 коэффициент когерентности достигает минимальных значений на отметках 40.0 м, 24.0 м и 10 м.

После возведения копра, поперечная сила, возникающая при ветровом воздействии, распределялась пропорционально начальной жёсткости несущих конструкций, поэтому наиболее нагруженным элементом было ядро жёсткости. В следствие воздействия ветровой нагрузки и недостаточной прочности ядра жёсткости, произошли нарушения упругих связей в опорном сечении ядра жёсткости и как было установлено при визуальном обследовании произошли деформации второстепенных балок конструкций перекрытия на отм. +5.0м в пролёте А–Б, 1–4, которые имеют значительный прогиб до 20мм.

На отм. +24.0м в районе колонны Г4 зафиксированы многочисленные дефекты в виде частичного отсутствия высокопрочных болтов в узлах стыка, недостаточной высоты опорного ребра жёсткости, отсутствуя или недостаточной длины сварных швов опорных уголков.

На отм. +57.0м обнаружены дефекты в виде вырезов в нижней полке двух балок глубиной 50мм, что существенно ослабляет сечение элемента, а также зафиксированы прогибы полки.

В результате проведённого обследования было установлено, что причинами деформирования каркаса БККС являются ошибки, допущенные при проектировании и некачественный монтаж отдельных узлов конструкции БККС.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Патент РФ № 2140625. Способ определения физического состояния зданий и сооружений. Кузьменко А.П., Барышев В.Г. и др. Бюллетень изобретений. 1999. № 30.

2. Патент РФ №2150684. Способ приведения к единому времени регистрации разновременных записей измерений. Кузьменко А.П., Сабуров В.С. и др. Бюллетень изобретений. 2000. № 16.

© В.С. Сабуров, Д.В. Барышников, 2011

УДК 622.02:531

Е.В. Рубцова, А.А. Скулкин
ИГД СО РАН, Новосибирск

ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ НАПРЯЖЕНИЙ В МАССИВЕ ГОРНЫХ ПОРОД МЕТОДОМ НАПРАВЛЕННОГО ГИДРОРАЗРЫВА

Рассматривается задача определения компонент действующих в массиве напряжений по данным направленного гидроразрыва, выполненного в трех произвольно ориентированных измерительных скважинах, при формировании трещин в поперечном, по отношению к оси измерительной скважины, направлении.

E.V. Rubtsova, A.A. Skulkin

Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences
Krasniy prospect 54, Novosibirsk, 630091, Russian Federation

DIRECTIONAL HYDRAULIC FRACTURING APPROACH TO STRESS ASSESSMENT IN ROCKS

The article discusses a problem about assessment of stress field in a rock mass by the data obtained in directional hydraulic fracturing. Hydraulic fracturing was performed in three random measurement drill-holes, while the created fractures were directed cross-wise relative to the measurement drill-hole axes.

При определении напряжений в массиве горных пород методом измерительного гидроразрыва с использованием в качестве рабочего тела жидких флюидов (масло, спиртовой раствор глицерина и т.п.) существенные погрешности может вносить непредсказуемое направление развития трещины гидроразрыва. Вследствие неоднородности поверхности измерительной скважины трещина может формироваться в плоскости нормальной к оси измерительной скважины, в наклонно секущей плоскости, либо в продольном направлении. В ряде случаев жидкий флюид может внедряться в породную среду в виде ручьевого потока. Кроме этого, следы трещины гидроразрыва на поверхности скважины, полученные методами локации, не всегда отражают истинное положение плоскости, в которой она получила развитие [1].

В связи с этим возникает задача обеспечения направленного формирования трещины при измерительном гидроразрыве, что может быть достигнуто при использовании в качестве рабочего тела вязкого флюида, например, пластилина. Как показано в [2], управляемый разрыв пластичным веществом позволяет ориентировать начальную трещину при помощи искусственно создаваемых концентраторов напряжений вдоль образующей, либо в поперечном по отношению к оси измерительной скважины направлении.

В докладе рассматривается задача определения компонент действующих в массиве напряжений по данным направленного гидроразрыва, выполненного в трех произвольно ориентированных измерительных скважинах, при формировании трещин в поперечном, по отношению к оси измерительной скважины, направлении.

Будем рассматривать выработку круглой формы, т.к. во многих случаях практически бывает достаточно знать приближенную картину распределения напряжений и тогда вместо реального сечения выработки можно рассматривать окружность. Кроме этого, при определении напряженного состояния пород вокруг протяженных выработок объемная задача может быть сведена к плоской, то есть к рассмотрению распределения напряжений лишь вокруг поперечного сечения выработки [3].

Рассмотрим схему измерительного гидроразрыва (рисунок 1), в которой из горной выработки круглого сечения радиусом r_0 проведены три скважины. Ориентация векторов главных напряжений p и q неизвестна. Пусть первая скважина составляет с одним из главных напряжений некоторый, заранее неизвестный, угол α . Углы β_1 и β_2 между скважинами известны. Длины скважин от центра выработки до места проведения гидроразрыва и величины давлений, определяемые методом измерительного гидроразрыва, составляют, соответственно, r_1 , r_2 , r_3 и P_1 , P_2 , P_3 . Требуется определить величину и ориентации векторов главных напряжений.

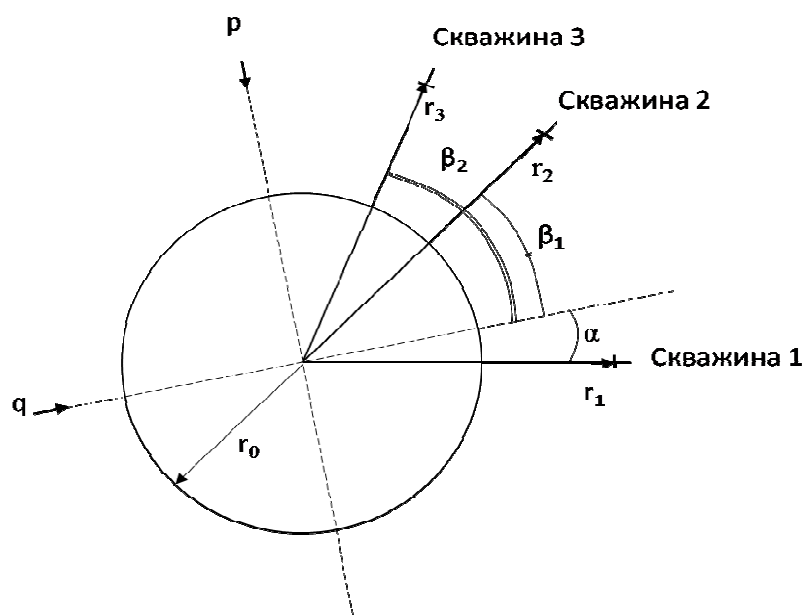


Рис. 1. Схема измерительного гидроразрыва с тремя произвольно ориентированными скважинами

Примем следующие допущения:

- Форма выработки остается симметричной;
- Действует плоское приближение;
- Гидроразрыв в скважине перпендикулярен оси скважины;
- Среда является однородной;

- Температура в массиве не изменяется от точки до точки;
- Скважины гидроразрыва не влияют на напряжение в массиве.

В данной постановке задача сводится к определению напряженного состояния вокруг круглой выработки в неравнокомпонентном поле внешних напряжений, решение которой получено Киршем [4]:

$$\sigma_{rr} = \left(\frac{p+q}{2}\right)\left(1 - \frac{r_0^2}{r_i^2}\right) + \left(\frac{p-q}{2}\right)\left(1 - 4\frac{r_0^2}{r_i^2} + 3\frac{r_0^4}{r_i^4}\right)\cos(2\theta_i), \quad (1)$$

где σ_{rr} – компонента напряжения на окружности радиуса r_i , θ_i – угол между направлением одного из векторов главного напряжения и радиусом r_i .

Подставим в уравнение (1) данные по каждой скважине:

$$\begin{cases} P_1 = \frac{p+q}{2}\left(1 - \frac{r_0^2}{r_1^2}\right) + \left(\frac{p-q}{2}\right)\left(1 - 4\frac{r_0^2}{r_1^2} + 3\frac{r_0^4}{r_1^4}\right)\cos 2\alpha \\ P_2 = \frac{p+q}{2}\left(1 - \frac{r_0^2}{r_2^2}\right) + \left(\frac{p-q}{2}\right)\left(1 - 4\frac{r_0^2}{r_2^2} + 3\frac{r_0^4}{r_2^4}\right)\cos(2\beta_1 + 2\alpha) \\ P_3 = \frac{p+q}{2}\left(1 - \frac{r_0^2}{r_3^2}\right) + \left(\frac{p-q}{2}\right)\left(1 - 4\frac{r_0^2}{r_3^2} + 3\frac{r_0^4}{r_3^4}\right)\cos(2\beta_2 + 2\alpha) \end{cases} \quad (2)$$

Приведем систему (2) к виду:

$$\begin{cases} P_1 = Aa_1 + Bb_1\cos 2\alpha \\ P_2 = Aa_2 + Bb_2\cos(2\beta_1 + 2\alpha) \\ P_3 = Aa_3 + Bb_3\cos(2\beta_2 + 2\alpha) \end{cases} \quad (3)$$

где $A = \frac{p+q}{2}$, $B = \frac{p-q}{2}$, $a_i = \left(1 - \frac{r_0^2}{r_i^2}\right)$, $b_i = \left(1 - 4\frac{r_0^2}{r_i^2} + 3\frac{r_0^4}{r_i^4}\right)$, $i = 1, 2, 3$.

При решении системы (3) относительно неизвестных A , B и $\cos 2\alpha$ используем следующие преобразования и замены переменных:

$$\begin{aligned} c_1 &= a_2b_3 \sin 2\beta_2 - a_3b_2 \sin 2\beta_1, \\ c_2 &= P_2b_3 \sin 2\beta_2 - P_3b_2 \sin 2\beta_1, \\ c_3 &= b_3b_2 \sin(2\beta_2 - 2\beta_1), \\ g_1 &= (c_2a_1 - P_1c_1)/(c_3a_1 - b_1c_1). \end{aligned} \quad (4)$$

С учетом (4) определяем:

$$A = \frac{P_1 - g_1b_1}{a_1}.$$

Далее, используя подстановки

$$c_4 = P_2 - Aa_2, \quad g_1^2 = (g_1^2b_1^2 \cos^2 2\beta_1 - c_1^4)/(b_1^2 \sin^2 2\beta_1),$$

получаем:

$$B = \sqrt{g_1^2 + g_2^2}, \quad \cos 2\alpha = g_1/B.$$

Искомые величины главных напряжений и угол между скважиной 1 и вектором главного напряжения q определяем из выражений:

$$q = A - B, \quad p = A + B, \quad \alpha = \frac{1}{2} \arccos g_1/B.$$

Полученное решение может быть использовано при определении напряжений в массиве горных пород методом направленного гидроразрыва по данным трех произвольно ориентированных измерительных скважин.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Леонтьев А.В., Попов С.Н. Опыт практического применения измерительного гидроразрыва // Горный журнал. – 2003. – № 3.
2. Современная геодинамика массива горных пород верхней части литосферы: истоки, параметры, воздействие на объекты недропользования / [В.Н. Опарин, А.Д. Сашурин и др.]; отв. ред. М.Д. Новопашин. – Новосибирск: Изд-во СО РАН. – 2008. – 449.
3. Дементьев А.Д., Назаров Л.А., Назарова Л.А. Прикладные задачи теории упругости // Новосибирск. – Изд.: НГАУ. – 2002. – 224 с.
4. Тимошенко С.П., Гудьер Дж., Теория упругости // Москва: «Наука». – 1975. – 576 с.

© *Е.В. Рубцова, А.А. Скулкин, 2011*

УДК 539. 375

В.А. Павлов

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

П.А. Мартынюк, С.В. Сердюков

ИГД СО РАН, Новосибирск

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В ОБЛАСТИ ТРЕЩИНЫ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ МИКРО-ГИДРОРАЗРЫВА

Предложена технология измерения напряженного состояния основанная на комплексном использовании гидроразрыва и распорного нагружения. Выполнено численное моделирование распределения картины напряжений в области трещины при нагружении стенок скважины пакером.

V.A. Pavlov

Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russia

P.A. Martynuk, S.V. Serdyukov

Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk
Krasny Prospekt 54, 630091, Russian Federation

THE DISTRIBUTION IN NEAR FRACTURE AREA IN MICRO- HYDROFRACTURING PROCESS

The stress state estimation method of deep permeable rock based on the complex used hydraulic fracturing and flat jack technique. Numerical modeling of tests by singular integral equations is carried out.

Введение

Метод измерительного гидроразрыва получил широкое распространение в области экспериментальной геомеханики, как классический метод определения напряженного состояния массива горных пород. Многочисленные модификации метода [1 – 3] направленные на расширение рамок применения метода в массивах проницаемых и трещиноватых горных пород совершенствовались и испытывались в полевых условиях. Применительно к высокопроницаемым горным породам основной идеей модификации служит применение непроницаемой (изолирующей) оболочки, которая препятствует проникновению рабочей жидкости в массив [4 – 6]. Кроме того это позволяет избежать проникновения жидкости в трещину до начала ее раскрытия, что являлось причиной больших погрешностей при определении давления повторного раскрытия P_r при измерении напряжений классической методикой. Однако использование непроницаемой оболочки во всех этих модификациях ведет к невозможности определения давления мгновенного заклинивания трещины

P_s . В результате возникает необходимость введения дополнительных параметров для определения полной картины главных напряжений в массиве горных пород. Основным дополнительным параметром вводимых в данных технологиях является давления повторного раскрытия нескольких разноориентированных систем трещин. То есть в модифицированных методах измерительного разрыва, к которым относятся: метод одиночной трещины [4], метод двойной трещины [5], метод скважинных домкратов [6] максимальное и минимальное напряжения оцениваются раздельно благодаря измерению двух и более давлений повторного раскрытия трещин. Как показали проведенные многочисленные лабораторные и полевые эксперименты с использованием существующих модифицированных технологий гидроразрыва, предположения положенные в основу этих методов являются верными не во всех внешних условиях. Численные эксперименты проведены для определения ограничений внешних условий, в которых эти методы позволяют с необходимой точностью определить внешнее поле напряжений. Результаты этих вычислений показывают [7], что при неравномерном поле напряжений в массиве, напряжения определяются с большой погрешностью.

Для определения напряжений в массиве проницаемых и трещиноватых горных пород предложен комплексный метод, состоящий из гидроразрыва и деформационных измерений [8]. На первом этапе измерений предлагаемой методики в исследуемом интервале скважины формируется система двух протяженных трещин, идущих в направлении максимального сжатия. Формирование трещин осуществляется аналогично технологии классического микро-гидроразрыва. Далее в этот интервал скважины помещается дилатометр, который нагружает интервал скважины, с сформированными ранее трещинами, при этом фиксируются диаграммы «давление-объем». Направление максимального сжимающего напряжения определяется по отпечатку трещины на мягком слое резины на поверхности дилатометра. Предлагается фактически принципиально другой подход (в отличие от существующих модификаций гидроразрыва) – использование в качестве дополнительного параметра зависимости раскрытия трещины на контуре скважины, при нагружении, от внешнего поля напряжений. Численные расчеты показывают, что такая зависимость существует и позволяет определять поле напряжений в массиве пород [9]. Результаты численных расчетов выполненных методом интегральных сингулярных уравнений приведены на рис. 1. На рисунке представлена зависимость раскрытия трещины на контуре скважины при нагружении от внешнего поля напряжений.

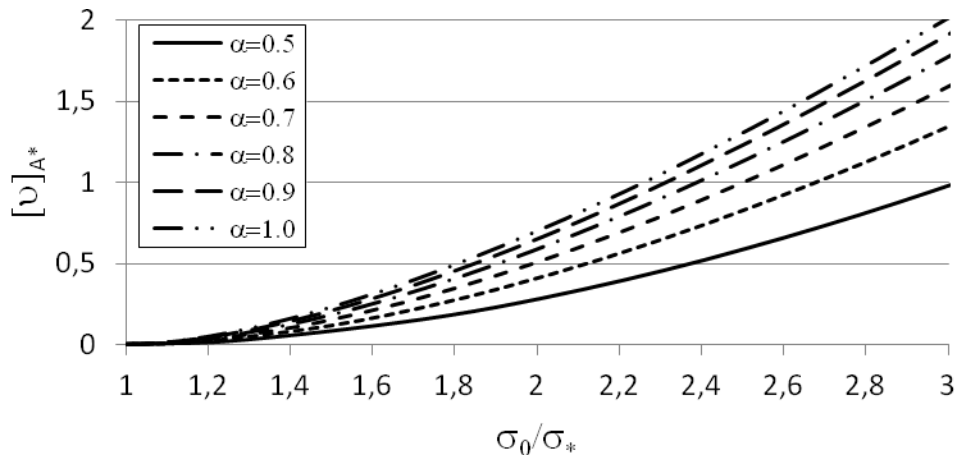


Рис. 1. Графики зависимости безразмерного раскрытия трещин на контуре скважины $[v]_{A*}$ от $\overline{\sigma}_0 = \sigma_0/\sigma_*$ и $\alpha \in [0.5; 1.0]$, где $\alpha = \sigma_{min}/\sigma_{max}$, σ_0 – давление в устройстве, σ_* – давление повторного раскрытия трещины P_r , σ_{min} – минимальное сжимающее напряжение действующее в массиве, σ_{max} – максимальное сжимающее напряжение действующее в массиве

На рис. 2 приведено схематическое изображение скважины с трещинами в которой выполняются измерения.

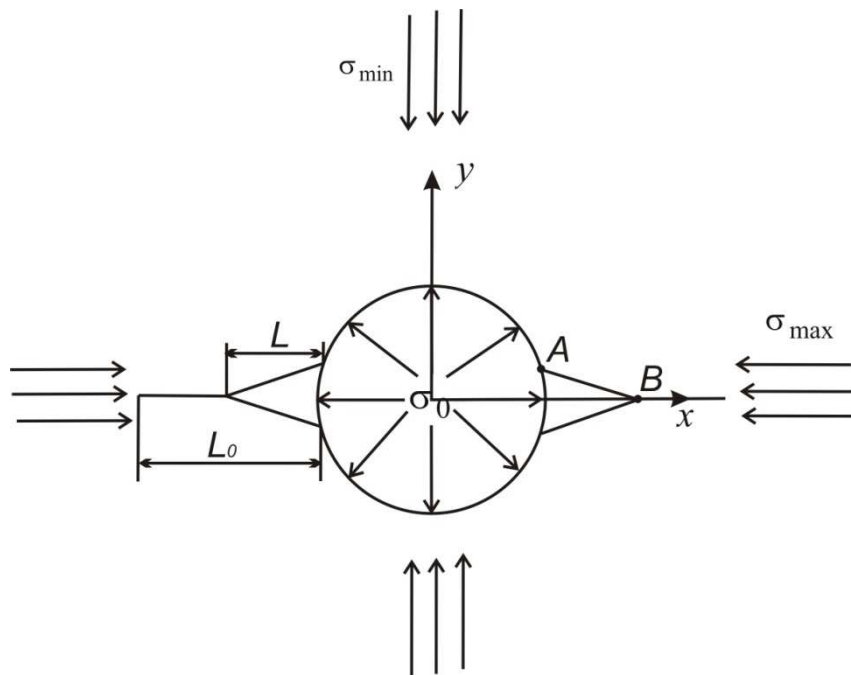


Рис. 2 Геометрическая схема задачи и направления действия напряжений

Важно, какие внешние параметры существенно влияют на раскрытие трещины. Кроме напряжений, действующих в массиве, важными являются: модуль Юнга, коэффициент Пуассона, которые существенно влияют на изменение упругих деформаций массива горных пород вокруг скважины, которые также учитываются в данной схеме измерения напряжений. Необходимо определить, как на распределение напряжений в области трещины

влияют внешние напряжения. Результаты математического моделирования показывают, что изменение внешнего поля напряжений (в особенности соотношения минимального и максимального сжимающего напряжения) оказывает существенное влияние на распределение напряжений в области близкой к устью трещины – рис. 3. Изменение распределения напряжений в этой области наблюдается и при постепенном росте трещины. Именно наличие зависимости распределения напряжений в ближней зоне устья трещины от внешнего поля позволяет использовать параметр: зависимости раскрытия трещины на стенке скважины от внешних напряжений, в расчетной схеме при оценке напряжений. Расчеты выполнены для двух случаев $\sigma_{\min}=20$ МПа, $\sigma_{\max}=28$ МПа и $\sigma_{\min}=20$ МПа, $\sigma_{\max}=0$ МПа. Рассмотрено изменение картины распределения напряжений σ_{xx} при росте трещины $L=0,01R$; R (рис. 3). Из рисунков видно, что параметр $\sigma_{\max}$ существенно влияет на распределение картины напряжений в области близкой к устью трещины – непосредственно на стенке скважины. Именно наличие этой зависимости позволяет использовать параметр $[\bar{v}]_A$ при измерении напряжений предлагаемым методом.

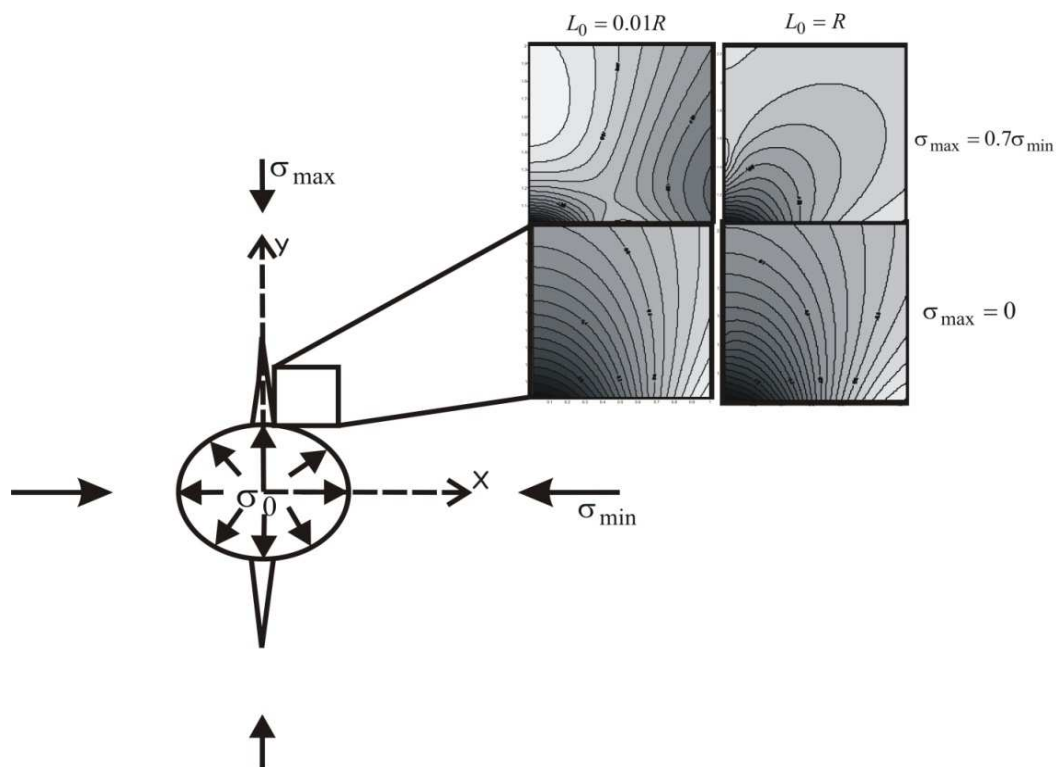


Рис. 3. Распределение напряжений σ_{xx} в области устья трещины

Предложен метод оценки напряженного состояния массива проницаемых и трещиноватых горных пород комплексным использованием гидроразрыва и деформационных измерений. Существует зависимость раскрытия трещины на контуре отверстия при нагружении от внешнего поля напряжений. Изменение внешнего поля напряжений существенно влияет на распределение напряжений в области устья трещины, а, следовательно, и на величину раскрытия трещины на контуре скважины.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Haimson B. C. Hydraulic fracturing in porous and non-porous rock and its potential for determining in-situ stress at great depth, PhD Thesis, University of Minnesota, Minneapolis, – 1968.
2. Proceedings of a Workshop (2 – 5 December 1981) on Hydraulic fracturing stress measurements. National academy press, Washington D.C. – 1983.
3. Haimson B.C., Cornet F.H. ISRM suggested methods for rock stress estimation – Part 3: hydraulic fracturing (HF) and/or hydraulic testing of pre-existing fractures (HTPF) // International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, Vol. №40, – 2003.
4. Serata S. Single – fracture method and apparatus for automatic determination of underground stress state and material properties // United States Patent – № 7513167 B1, Date of patent: Apr.7, – 2009.
5. Serata S., Sakuma S., Kikuchi S., Mizuta Y. Double fracture method of in situ stress measurement in brittle rock // Rock Mech. & Rock Eng.; 25 – 1992.
6. Azzam R. and Bock H. A new modified borehole jack for stiff rock. Rock Mechanics and Rock Engng., 20, – 1987.
7. Charsley A. D., Martin C. D., McCreath D. R. Sleeve-fracturing limitations for measuring in situ stress in an anisotropic stress environment // International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, Vol. 40 – 2003.
8. Павлов В. А., Янкайте А. В., Сердюков С. В. Развитие метода гидроразрыва применительно к оценке напряженного состояния проницаемых горных пород // Горный информационно - аналитический бюллетень – №12 – 2009.
9. Pavlov V.A., Martynuk P.A. & Serdyukov S.V. The Hydraulic Fracture Opening Pressure Multiple Test for the Stress State Measurement in Permeable Rock Rock Stress and Earthquakes Editor(s): Furen Xie // 2010 Taylor & Francis Group, London, CRC PRESS / BALKEMA, – 2010.

© В.А. Павлов, П.А. Мартынюк, С.В. Сердюков, 2011

УДК 622.83

Н.А. Мирошниченко, Е.В. Васильева

ИГД СО РАН, Новосибирск

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВАРИАЦИЙ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОГЕННОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ И НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИ ОТРАБОТКЕ ТАШТАГОЛЬСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Проведен корреляционный анализ эволюции полей напряжений и техногенной сейсмичности для условий Таштагольского железорудного месторождения. Установлена количественная связь между параметрами поля напряжений и сейсмической активностью месторождения, выраженная в статистически значимых коэффициентах корреляции.

N.A. Miroshnichenko, E.V. Vasilyeva

Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences

54 Krasny prospect, Novosibirsk, 630091, Russian Federation

STATISTICAL ANALYSIS OF ANTHROPOGENIC SEISMICITY PARAMETER VARIATIONS AND STRESS STATE WHILE MINING THE TASHTAGOL DEPOSIT

Correlation analysis of the stress field and anthropogenic seismicity evolution for the conditions of the Tashtagol iron-ore deposit is done. The quantitative relationship between stress field parameters and seismic activity of the deposit is established, the relationship expressed in statistically significant correlation coefficients.

На Таштагольском железорудном месторождении горные работы проводятся на горизонтах в шахте (± 0) – (-350) м. В течение года в целом по месторождению добывается около 2 млн т руды. Реакцией породного массива на техногенные воздействия являются динамические события различного энергетического класса: от сколов и шелушений стенок выработок до горно-тектонических ударов. В период с 1987 г. (начало регистрации толчков сейсмостанцией рудника) по 2010 г. при проведении горных работ зарегистрировано 16609 проявлений горного давления в динамической форме с энергией $10^2 \div 10^9$ Дж, в том числе 13 горных ударов.

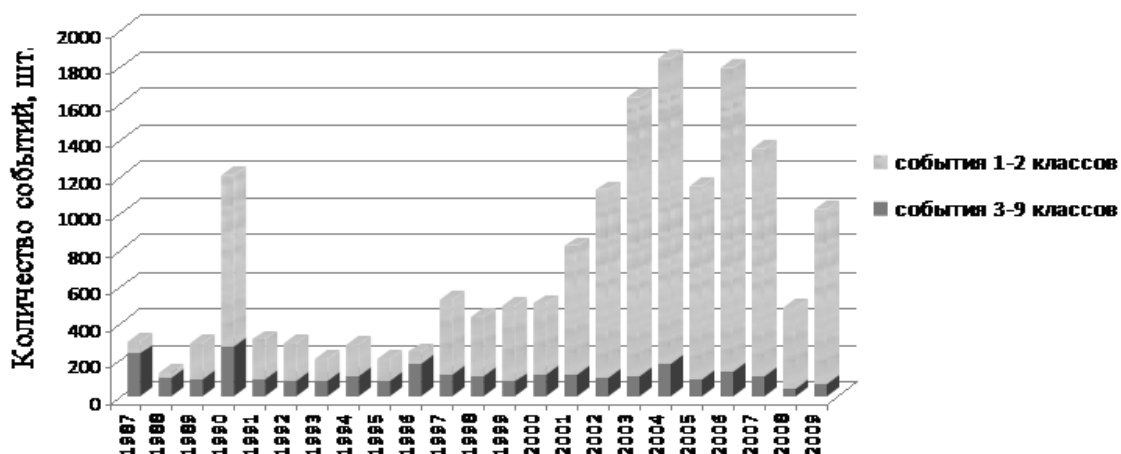


Рис. 1. Количество ежегодных динамических событий, зарегистрированных на Таштагольском руднике в период 1987 – 2009 гг.

За последнее десятилетие на месторождении заметно увеличилось число мелких событий (1 – 2 класса), и их доля в общем количестве динамических проявлений горного давления достигла 78 – 91% (рис. 1).

Распределение гипоцентров событий по горизонтам шахты показывает снижение числа событий на гор. –70, –140 м и повышение на гор. –280, –350 м (рис.2). Следует отметить, что в 2004 г. произошло увеличение интенсивности сейсмособытий на гор. –350 м и снижение на гор. –280 м, обусловленное разрезкой этажа (–350) – (–280) м и перемещением зоны опорного давления в глубину. В целом, характер распределения динамических проявлений во времени и по глубине отражает изменение положения фронта очистных работ по месторождению и увеличение интенсивности работ на нижних горизонтах.

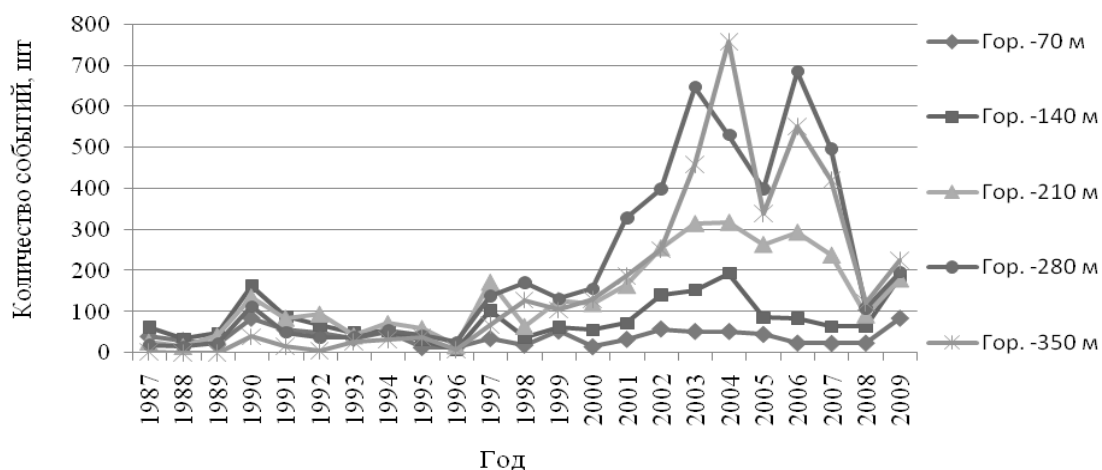


Рис. 2. Характер изменения во времени динамических проявлений на рабочих горизонтах рудника

Основной причиной сложной геодинамической обстановки, сложившейся на Таштагольском руднике, является наличие высоких сжимающих напряжений и прочных пород и руд, слагающих месторождение [1]. Авторами выдвинута гипотеза о существовании корреляционной связи между параметрами

напряженного состояния исследуемого геомеханического пространства и его сейсмической активностью.

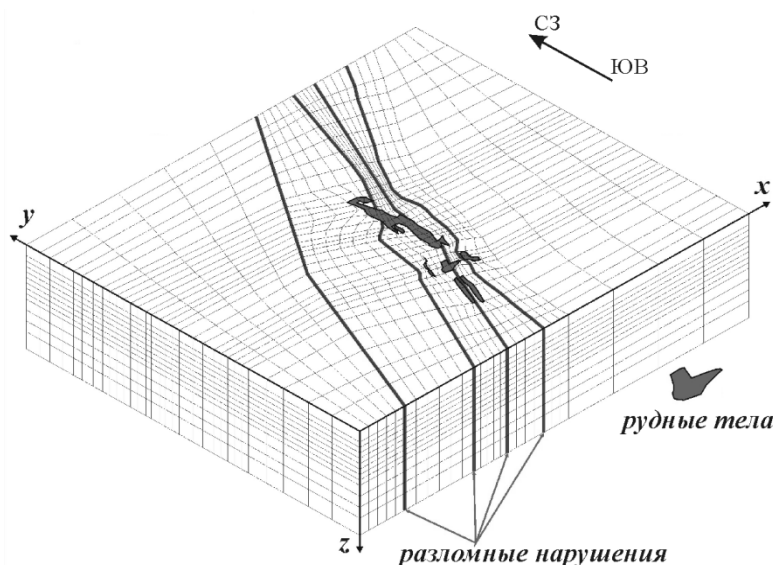


Рис. 3. Конечноэлементная модель Таштагольского месторождения

Анализ эволюции полей напряжений Таштагольского месторождения в процессе его отработки в период 1989–2009 гг. выполнен с помощью объемной конечноэлементной модели, подробное описание которой представлено в [2]. Отметим, что в модели учтены в совокупности основные особенности исследуемого объекта: взаимосвязь локальных и региональных полей напряжений во времени и пространстве, геологическое строение

залежи, структурные нарушения, рельеф местности и изменение конфигурации выработанного пространства. Размеры исследуемой области составляют $2800 \times 2400 \times 1000$ м по соответствующим осям координат (рис. 3), верхняя граница расположена на отметке ± 0 м. Размеры элементов сетки выбраны в среднем $30 \times 30 \times 35$ м в зоне ведения горных работ и увеличиваются за ее пределами. В целом, рассматриваемая область содержит около 20 тыс. элементов.

В результате проведенных расчетов на модели получены распределения полей напряжений исследуемого участка месторождения по каждому году в рамках рассматриваемого временного периода.

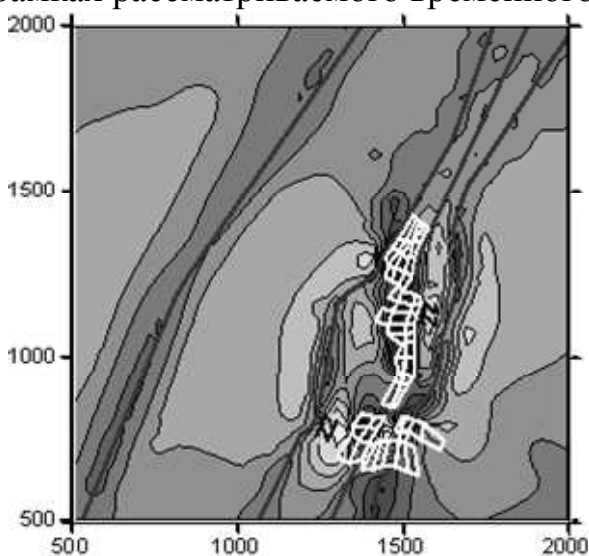


Рис. 4

В качестве примера на рис. 4 показано распределение максимальных касательных напряжений в горизонтальном сечении $z = -140$ м в 2009 г. Линиями белого цвета обозначены контуры выработанного пространства.

В таблице приведены значения нормальных напряжений по простиранию (σ_{yy}), вкрест простирания (σ_{xx}), вертикальной компоненты (σ_{zz}) и максимальных касательных напряжений (τ) на различных этапах разработки месторождения. Минимальные значения компонент напряжений характерны для области

выработанного пространства, максимальные найдены в окрестности фронта очистных работ и вблизи нарушений. Это соответствует и данным о сейсмической активности и местоположению очагов динамических событий на месторождении. При удалении от фронта работ поле напряжений практически неизменно во времени.

Таблица. Максимальные значения различных компонент напряжений в период 1989 – 2009 гг.

Горизонт, м	σ_{xx} , МПа	σ_{yy} , МПа	σ_{zz} , МПа	τ , МПа
0	24	58	31	25
-70	26	66	38	25
-140	30	74	40	28
-210	34	74	44	28
-280	36	78	48	29
-350	42	76	46	32
-420	50	84	44	25

Для проведения корреляционного анализа шахтное поле модели было разбито на блоки $400 \times 400 \times 70$ м (рис. 5).

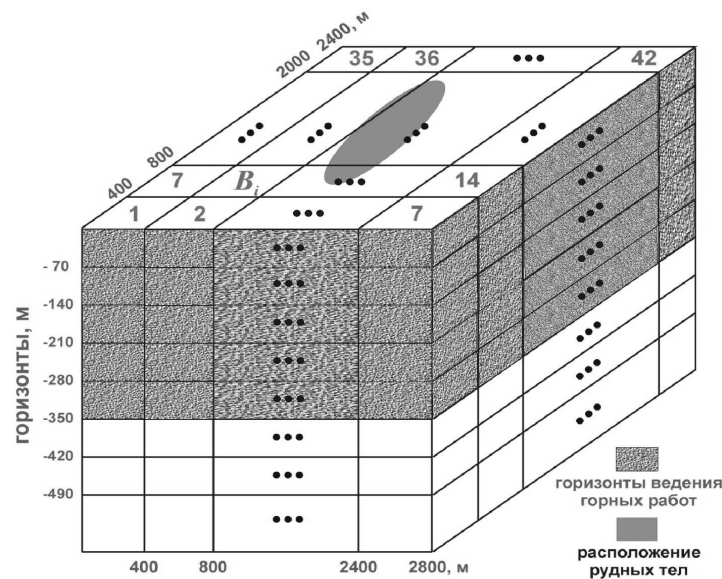


Рис. 5. Схема разбиения расчетной области на блоки

Для каждого блока B_i , $i = \overline{1, N}$ в его проекции на все рабочие горизонты шахты (± 0 м ÷ -350 м) рассчитана интегральная характеристика напряженного состояния блока B_i на момент времени t_k , $k = \overline{1, T}$: $\tau_i(t_k) = \iiint_{B_i} \tau_{\max}(x, y, z, t_k) dV$,

вычислены суммарные значения сейсмической энергии $E_i(t_k) = E(B_i, t_k)$ и количество динамических явлений $N_i(t_k) = N(B_i, t_k)$ низкого (1 – 3 класс) и высокого (4 – 9) энергетического класса. На основе этих данных по каждой группе сейсмособытий выполнен расчет коэффициентов корреляции между

напряжениями в блоке B_i и: 1) числом и 2) энергией сейсмособытий в блоке B_j :

$$r_{ij}^N = \frac{\sum_k (\tau_i(t_k) - \bar{\tau}_i) (N_j(t_k) - \bar{N}_j)}{\sqrt{\sum_k (\tau_i(t_k) - \bar{\tau}_i)^2 \sum_k (N_j(t_k) - \bar{N}_j)^2}}; \quad r_{ij}^E = \frac{\sum_k (\tau_i(t_k) - \bar{\tau}_i) (E_j(t_k) - \bar{E}_j)}{\sqrt{\sum_k (\tau_i(t_k) - \bar{\tau}_i)^2 \sum_k (E_j(t_k) - \bar{E}_j)^2}}.$$

По результатам анализа установлено, что снижение уровня напряжений в зоне отработки (25 и 18 блок) за последние 20 лет и пригрузка окружающего массива вызвали увеличение числа динамических явлений 1 – 3 класса на месторождении по площади и глубине как в зоне отработки, так и за ее пределами. Это хорошо согласуется с данными каталога сейсмособытий Таштагольского рудника и свидетельствует о том, что развитие очистных работ провоцирует постоянный рост числа мелких событий по месторождению. Значимая корреляция ($\max |r_{ij}| = 0.82$) наблюдается в области радиусом до 800 м от границ выработанного пространства (рис. 6а), что сравнимо с его линейными размерами.

Для событий 4 – 9 классов наиболее значимая связь напряжений и сейсмической активности ($\max |r_{ij}| = 0.74$) наблюдается в зоне отработки. С увеличением напряжений в окрестности выработанного пространства рост числа динамических явлений отмечается в тех блоках модели (11, 18, 26), где картируются крупные разломные нарушения. Здесь область значимой корреляции распространяется до 400 м от границ выработанного пространства (рис. 6б).

На рисунке градиентом цвета от темного к светлому показано убывание общего числа значимых коэффициентов корреляции в каждом блоке в проекции на горизонтальную плоскость. Белым цветом показаны блоки, в которых значения коэффициентов корреляции $|r_{ij}| < 0.49$.

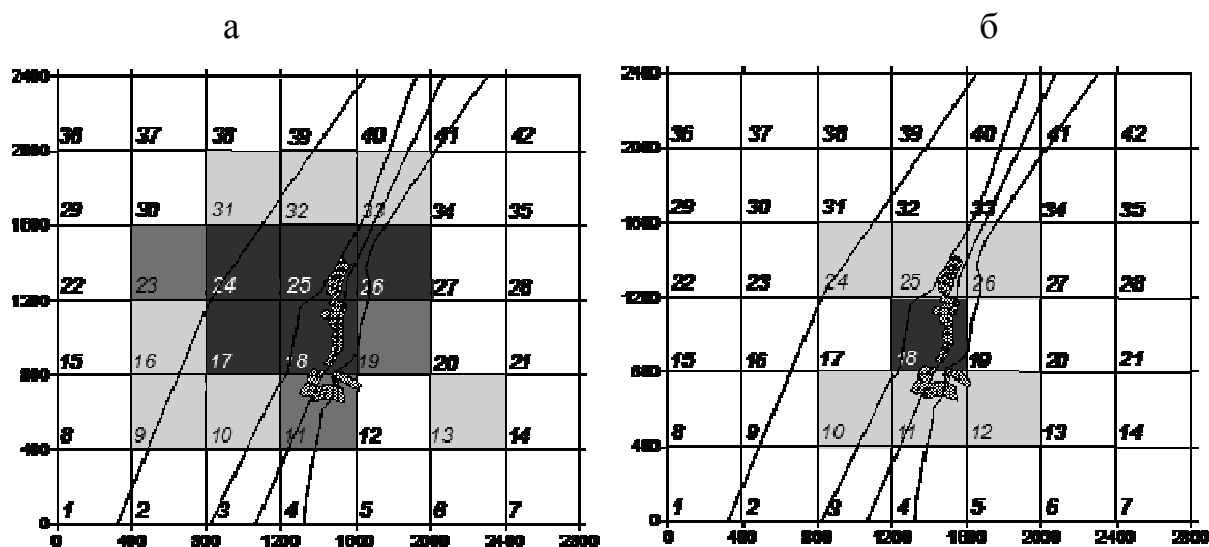


Рис. 6. Распределение коэффициентов корреляции r_{ij}^N по рудному полю

Таким образом, на основе статистического анализа установлена количественная связь между параметрами поля напряжений и сейсмической активностью Таштагольского месторождения, выраженная в статистически значимых коэффициентах корреляции. Найденная корреляционная зависимость является устойчивой во времени, об этом свидетельствует сравнительный анализ результатов за периоды 10, 15 и 20 лет. Распределение коэффициентов корреляции в исследуемой области обозначило границы зон взаимного влияния различных участков массива в процессе его отработки. Размеры этих зон варьируются в зависимости от энергетического класса событий. Представленная методика может быть использована для анализа развития сейсмической обстановки на руднике при условии сохранения во времени значимой корреляции между действующим полем напряжений и уровнем техногенной сейсмичности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лобанова Т.В. Разработка научно-методических основ геомеханического обеспечения подземной отработки железорудных месторождений Сибири в геодинамически активном регионе: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Новосибирск, 2009.
2. Дементьев А.Д., Назаров Л.А., Назарова Л.А. Деформирование и разрушение природных объектов. Новосибирск: Новосиб. гос. аграр. ун-т, 2001.

© Н.А. Мирошниченко, Е.В. Васильева, 2011

УДК 622.831
Т.В. Лобанова
СибГИУ, Новокузнецк
Е.В. Васильева
ИГД СО РАН, Новосибирск

ОСОБЕННОСТИ КОРОТКОПЕРИОДНЫХ СМЕЩЕНИЙ В РАЙОНЕ ОХРАНЯЕМЫХ ОБЪЕКТОВ ТАШТАГОЛЬСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Изложены результаты GPS-мониторинга короткопериодных смещений породного массива на разломах Таштагольского месторождения в 2005–2010 гг. и выделены особенности смещений в районе сооружений промплощадки в 2010 г.

T.V. Lobanova
SibSIU (Siberian State Industrial University), Novokuznetsk, Russian Federation
E.V. Vasilyeva
Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk
Krasny Prospekt 54, 630091, Russian Federation

FEATURES OF SHORT-PERIOD DISPLACEMENTS AROUND PROTECTED OBJECTS OF THE TASHTAGOL DEPOSIT

Results of the GPS monitoring of rock mass short-period displacements at the Tashtagol deposit in 2005-2010 are set forth. The peculiarities of the displacements in the mine site facility area in 2010 are emphasized.

Эксплуатация охраняемых объектов на промплощадке Таштагольского филиала ОАО "Евразруда" осложнена как влиянием горных разработок, так и расположением зданий, сооружений, природных объектов в зонах тектонических разломов (рис. 1). Этим определяется актуальность исследований на разломах Таштагольского месторождения методами космической геодезии, которые ведутся на месторождении с 2005 г. [1].

В 2010 г. исследования выполнены по суточным GPS-наблюдениям в полигоне (рис. 1), образованном на базе наблюдательной станции за сдвижением земной поверхности месторождения в местах концентрации разнонаправленных сдвижений и деформаций в районах разломов "Холодный" и "Кондомский". Для съемки использованы 4 приемника Trimble 4600 LS, установленных на пунктах: Гостиница, реперы +17 и +12 профильной линии "Западная", Кондома. Съемка выполнена в период с 9 ч 19.06.2010 г. до 9 ч 20.06.2010 г.

В процессе GPS-съемки накопление данных от спутников производилось в течение 24 ч с интервалом 15 с в один файл данных на каждой станции, которые

при постобработке с помощью специальной утилиты Convert to RINEX программного обеспечения Trimble Geomatics Office были преобразованы в Rinx-файлы. Эти многочасовые файлы в дальнейшем с использованием программы Sort, разработанной в лаборатории для автоматизации процесса нарезки файлов, были разбиты на файлы по 20 минут, в результате получено по 72 файла на пунктах +17, +12, Кондома и 60 файлов на пункте Гостиница. Создано 72 проекта, каждый из которых обработан с использованием программного обеспечения Trimble Geomatics Office. В результате обработки вычислены координаты X, Y, Z, расстояния и превышения между GPS-пунктами.

В связи с возникшими в процессе съемки техническими неполадками (приемник на пункте +12 был нарушен в ночное время суток) и низкой точностью съемки в ночное время из-за недостаточного количества спутников и плохой их геометрии на небосводе, для оценки короткопериодных смещений принято время с 09:00 до 22:00 19.06.2010 г. Апостериорные ошибки в это время суток в измеренных расстояниях и превышениях не превышали 1 – 2 мм.

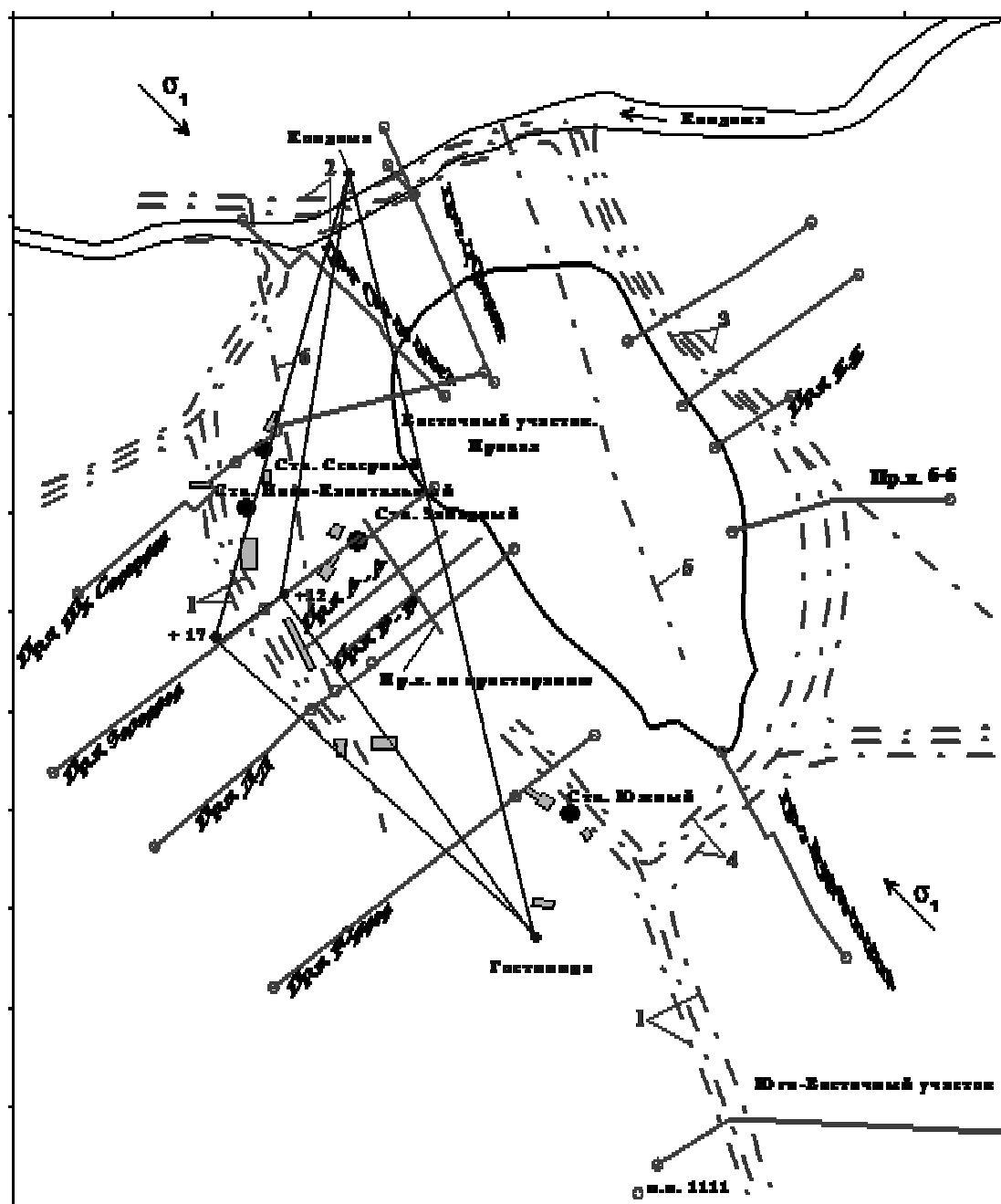


Рис. 1. Схема геодинамического полигона суточных GPS-наблюдений на разломах в районе Таштагольского месторождения: 1 – 5 – разломы, соответственно, Холодный, Кондомский, Нагорный, Шахтерский, Диагональный; 6 – субмеридиональное тектоническое нарушение

Установлено, что смещения пунктов "Кондома", +17, +12 в плане составляли 11 – 28 мм, а по высоте достигали 56 – 122 мм (рис. 2), при этом максимальные вертикальные смещения 122 мм зафиксированы на пункте +12 в районе зданий и сооружений промплощадки, а минимальные 56 мм – на пункте "Кондома".

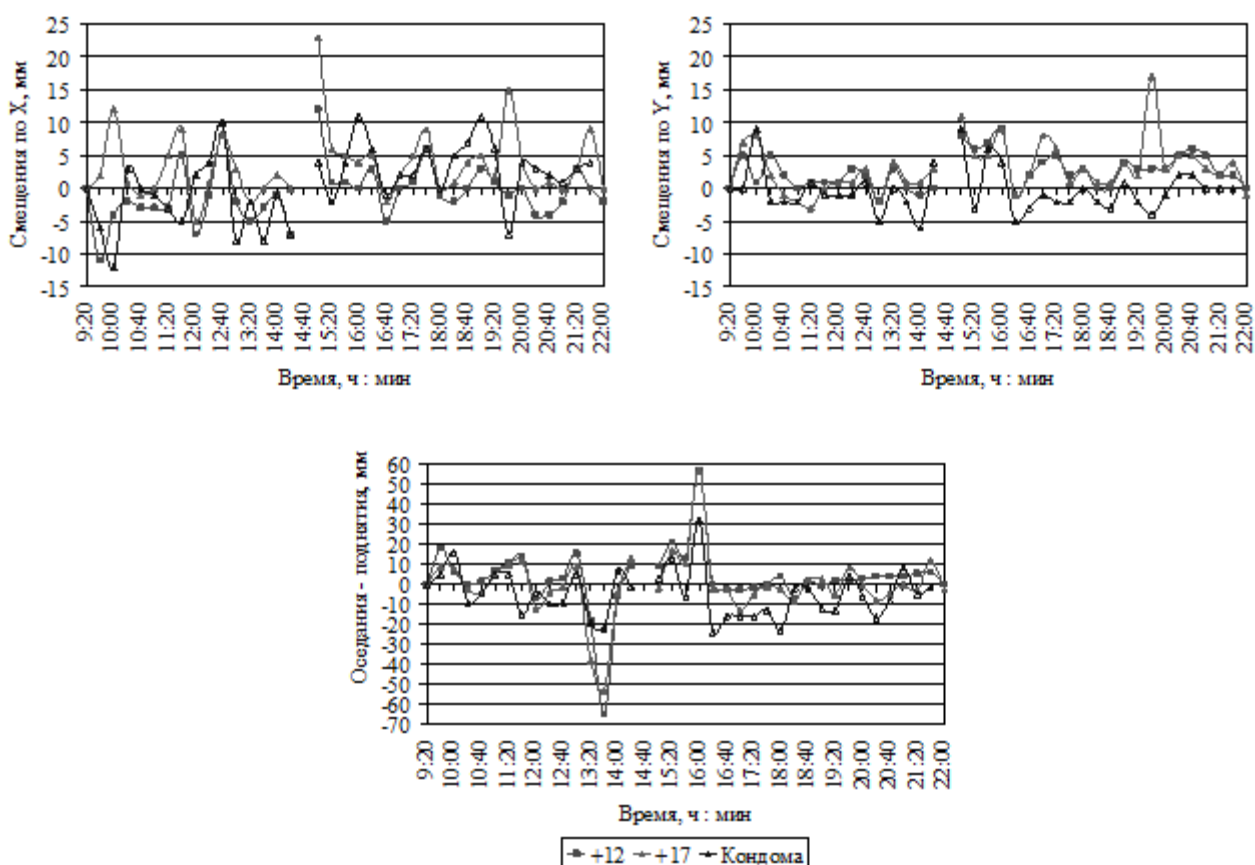


Рис. 2. Смещение земной поверхности на разломах "Холодный" (реперы +17 и +12) и "Кондомский" 19.06.2010 г.

Следует отметить большую геодинамическую активность горных пород в районе разлома "Холодный", где зафиксированы и максимальные горизонтальные смещения. Выделяется два периода скачкообразного изменения вертикальных сдвижений: с 13:20 до 13:40, когда наблюдалось максимальное оседание земной поверхности на всех пунктах, и с 15:40 до 16:00 19.06.2010 г., когда зафиксировано максимальное поднятие земной поверхности. Установленный уровень вертикальных сдвижений в районе разлома "Холодный" является максимальным за весь период GPS-наблюдений 2005 – 2010 гг. на данной тектонической структуре (табл. 1) и отражает повышение геодинамической активности на этом участке боковых пород месторождения, что подтверждается и проявлением сейсмических событий (табл. 2) в шахтном поле месторождения по наблюдаемому профилю в сечении в крест простирания месторождения за период с 18 по 20 июня 2010 г.

Следует отметить, что 2010 г. в практике подработки ответственных зданий и сооружений промплощадки в зоне влияния разлома "Холодный" (административно-бытовой комбинат шахты, здание подъемных машин ствола "Ново-Капитальный", вентиляторная установка ствола "Северный") зафиксированы существенные нарушения строительных конструкций и механизмов, что потребовало их капитального ремонта.

Таблица 1. Результаты наблюдений короткопериодных смещений в районах тектонических разломов Таштагольского месторождения

Разлом	Максимальные абсолютные смещения, мм											
	горизонтальные						вертикальные					
	2005 г.	2006 г.	2007 г.	2008 г.	2009 г.	2010 г.	2005 г.	2006 г.	2007 г.	2008 г.	2009 г.	2010 г.
Холодный	22	34	33	32	12	28	30	39	75	48	26	122
Нагорный	18	37	78	46	15	-	20	108	146	97	57	-
Кондомский	35	50	56	21	19	23	28	36	51	35	59	56
Шахтёрский	17	34	27	9	27	48	22	74	44	23	64	125

Таблица 2. Проявление сейсмических событий в шахтном поле месторождения в период GPS-наблюдений на тектонических разломах 19.06.2010 г.

Дата	Время	X, м	Y, м	Z, м	Энергия, Дж	Класс	Привязка
18.06.2010	23:34:55	12670	11292	-367	4,00E+01	1,6	восток, створ 1 орта
19.06.2010	08:23:34	12338	11334	-310	5,80E+01	1,8	орт 11, запад
19.06.2010	09:08:52	12348	11318	-348	2,80E+02	2,4	орт 10, запад
19.06.2010	21:42:25	12324	11327	-333	4,30E+03	3,6	орт 11, запад
19.06.2010	21:42:33	12325	11350	-329	7,00E+01	1,8	орт 11, запад
20.06.2010	01:05:30	12310	11647	-363	4,30E+01	1,6	орт 19, центр
20.06.2010	02:52:25	12312	11623	-401	4,40E+01	1,6	орт 18-19, центр
20.06.2010	08:34:27	12574	12107	-507	5,40E+04	4,7	восток, за шх. полем

Характерно, что при наблюдениях 29.08.2010 г. на разломе "Холодный" в период производства массового взрыва блока 4–5 в этаже (–210) – (–140) м и до, и после взрыва величины максимальных абсолютных смещений как горизонтальных (до 21 мм), так и вертикальных (до 68 мм) были в 2 раза меньше (рис. 3), чем 19.06.2010 г. в период проведения технологических взрывов на этом блоке. Высокий уровень короткопериодных смещений, особенно вертикальных, зафиксирован 30.08.2010 г. и на разломе "Шахтерский", что отражает процессы перераспределения напряжений на больших площадях в районе месторождения после массового взрыва 29.08.2010 г., произведенного в северном торце Восточного участка.

Отмеченные особенности короткопериодных смещений горных пород, зафиксированные на тектонических разломах в районах охраняемых объектов, указывают на значительную роль в деформировании зданий и сооружений напряжений, действующих в горном массиве Таштагольского месторождения.

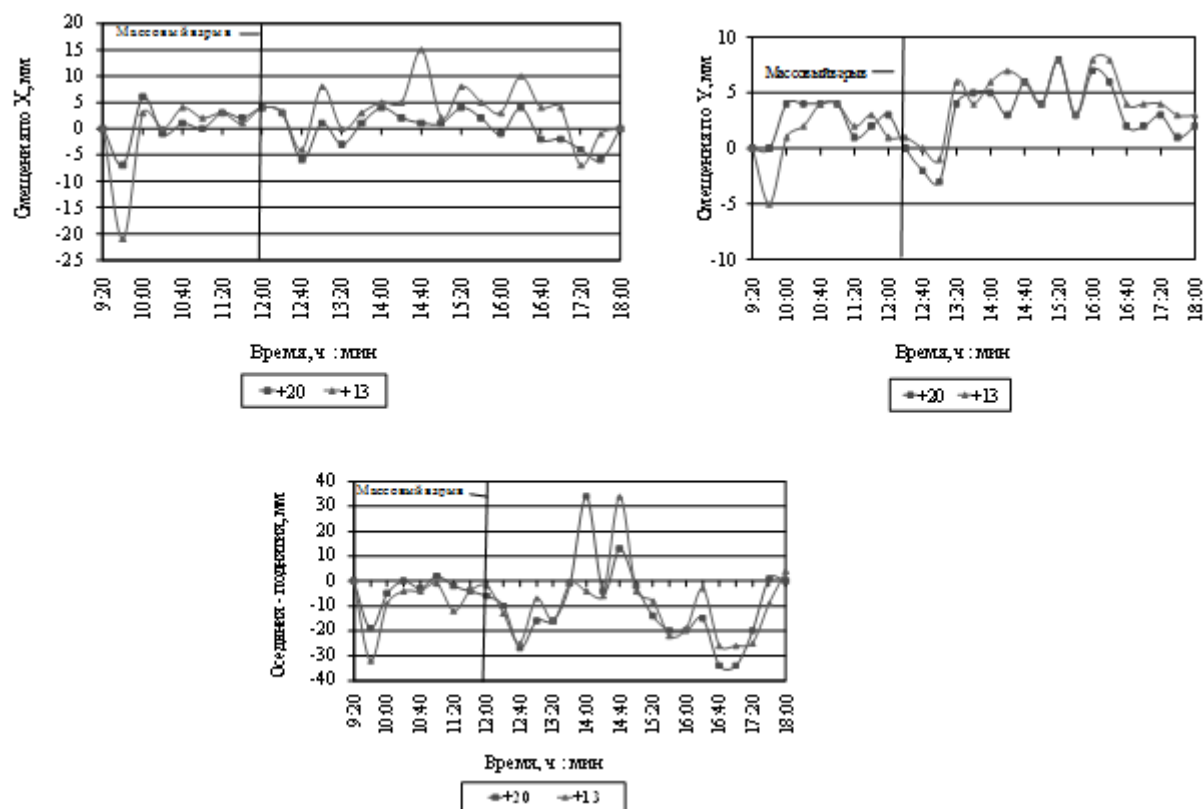


Рис. 3. Смещение земной поверхности на разломе "Холодный" 29.08.2010 г. в период массового взрыва блока 4 – 5

Наличие короткопериодных смещений горного массива и некоторая их взаимосвязь с геодинамической активностью месторождения установлены также в горных выработках Таштагольского месторождения [2] и на тектонических нарушениях на земной поверхности Шерегешевского месторождения [3].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лобанова Т.В. Короткопериодные смещения на границах тектонических разломов Таштагольского месторождения [Текст] / Т.В. Лобанова, Е.В. Васильева // Сб. материалов VI Международного научного конгресса "ГЕО-СИБИРЬ-2010", т. 2, ч. 2. – Новосибирск: СГГА, 2010. – С. 147 – 151.
2. Лобанова Т.В. Результаты комплексной оценки напряженно-деформированного состояния горного массива Таштагольского месторождения геофизическими и геодезическими методами [Текст] / Т.В. Лобанова, С.В. Моисеев // ФТПРПИ. – 2009. – № 3. – С. 31 – 39.
3. Лобанова Т.В. Влияние массовых взрывов на деформирование горных пород Шерегешевского железорудного месторождения [Текст] / Т.В. Лобанова, Е.В. Новикова // Сб. материалов V Международного научного конгресса "ГЕО-СИБИРЬ-2009", т. 2. – Новосибирск: СГГА, 2009. – С. 205 – 209.

УДК 622.831

А.А. Крамаджян, Е.П. Русин

ИГД СО РАН, Новосибирск

О СТРУКТУРЕ НАСЫПНОГО ОБЪЕКТА

Рассмотрено влияние параметров струи сыпучего материала на структуру формируемой насыпи. Установлена и обоснована зависимость структуры от плотности потока частиц в струе и высоты ее падения.

A.A. Kramadjian, E.P. Rusin

Institute of Mining, Novosibirsk

ON THE STRUCTURE OF A POURED GRANULAR OBJECT

The paper discusses the influence of granular material jet parameters on the structure of a poured fill object being formed. The dependence of structure on particle flow density in the jet and on jet fall height is ascertained and substantiated.

Различного рода сыпучие тела – отвалы пустых пород, рудные склады, засыпки в аккумулярующих емкостях и др. – формируются, как правило, посредством гравитационной подачи сыпучего материала в виде струи на локальный участок насыпи. Поступающий таким образом материал перемещается под собственным весом к основанию насыпи, образуя, в зависимости от граничных условий, коническое тело или откос. В том и другом случаях процесс сопровождается сегрегацией – разделением сыпучего материала по крупности, что приводит к неоднородности структуры и плотности, а значит и прочностных свойств материала [1]. Однако сегрегация не является единственным фактором, влияющим на структуру и прочность сформированного струей сыпучего тела. Анализ процесса указывает на возможное влияние на них и параметров самой струи. Ниже рассматриваются результаты экспериментальных исследований этого вопроса.

Методика исследований состояла в следующем. Аккумулирующая емкость диаметра D в виде стеклянного цилиндра известного объема v заполнялась по ее центру сыпучим материалом, истекающем из донного выпускного отверстия диаметра d установленного над ней загрузочного бункера. Взвешиванием определялась масса m заполнителя и далее рассчитывались его насыпная плотность $\gamma = m/v$ и пористость $n = (\rho - \gamma)/\rho$ (ρ – плотность материала частиц сыпучего материала).

Высота H аккумулярующей емкости составляла 230 мм, ее диаметр D менялся в диапазоне от 10 до 100 мм. В качестве сыпучего материала использовались преимущественно кварцевый песок фракции 0.1 – 0.5 мм и мраморная крошка фракции 1 – 3 мм.

В ходе экспериментов изучалась зависимость пористости n насыпи от диаметра d выпускного отверстия загрузочного бункера (толщины струи) (рис.1, 2) и расстояния h от указанного отверстия до днища аккумулирующей емкости (высоты падения струи) (рис. 3).

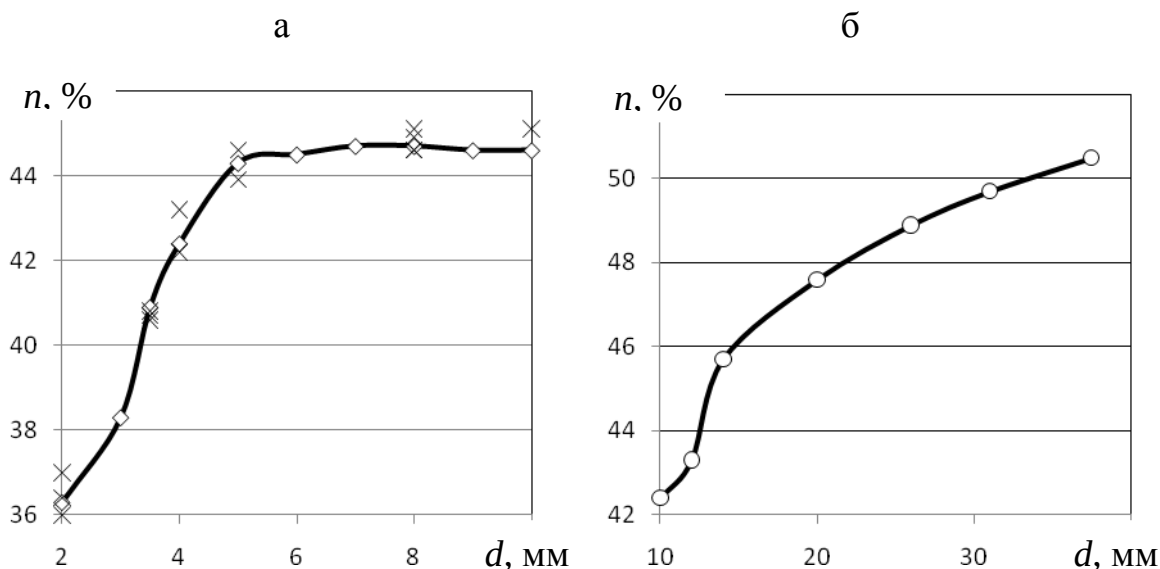


Рис. 1. Зависимость пористости насыпи от диаметра выпускного отверстия загрузочного бункера: песок (а); мраморная крошка (б)

На рис. 1а представлена полученная в экспериментах зависимость пористости n песчаной засыпки от диаметра d выпускного отверстия загрузочной емкости. Высота падения струи $h=400$ мм. Сплошная линия изображает характер зависимости при диаметре аккумулирующей емкости $D = 30$ мм, отдельные точки – при иных (меньших и больших) значениях этого параметра.

Как видно размеры сечения емкости практически не влияют на структуру сыпучего материала в ней – все точки практически ложатся на одну и ту же кривую. В то же время отмечается существенная зависимость структуры от поперечного размера струи сыпучего материала, диктуемого размером d отверстия загрузочной емкости. Причем характер этой зависимости является достаточно неожиданным.

Если исходить из того, что с увеличением диаметра d отверстия и соответственно толщины струи возрастают масса и энергия свободно падающего потока частиц сыпучего материала, то следовало бы ожидать уменьшения пористости (увеличения плотности) засыпки с увеличением d . Однако представленные результаты свидетельствуют об обратном. Максимально плотная укладка частиц сыпучего материала в аккумулирующей емкости достигается заполнением струей минимального сечения, инициируемой выпуском через выпускное отверстие, диаметром d близким диаметру предельного сводаобразующего отверстия – 2 мм. Увеличение диаметра d отверстия загрузочного бункера от 2 мм до 5 мм сопровождается резким (почти на 9%) повышением пористости засыпки – почти до 45%

(рис.1а). Дальнейшее увеличение этого диаметра (толщины струи) не ведет уже к заметным направленным изменениям структуры сыпучего материала в емкости – пористость стабилизируется на достигнутом уровне.

Подобные результаты были получены и в экспериментах с мраморной крошкой, размеры частиц которой на порядок превышают размеры частиц песка. Об этом свидетельствует, в частности, приведенная на рис. 1б кривая зависимости n (d). Диаметр D аккумулирующей емкости составляет в данном случае 100 мм, высота падения h струи равна, как и выше, 400 мм. И в данном случае увеличение параметра d ведет к увеличению пористости n . Причем в принятом диапазоне значений d предельное значение пористости и его стабилизация еще не достигаются.

Причины изменения структуры, плотности и пористости насыпи с изменением размера поперечного сечения формирующей ее струи сыпучего материала следует искать, очевидно, в возможных изменениях структуры самой струи, ведущим к изменению характера ее взаимодействия с насыпью. Эксперименты показали, что изменения структуры струи сыпучего материала действительно имеют место. На рис. 2 представлено изменение удельного расхода q – массы сыпучего материала, истекающего в единицу времени через единицу площади выпускного отверстия загрузочного бункера – с изменением диаметра d этого отверстия. Видно, что увеличение размера отверстия сопровождается многократным повышением удельного расхода в случае как песка (кривая 1), так и мраморной крошки (кривая 2) и, соответственно, возрастанием плотности потока частиц в струе сыпучего материала.

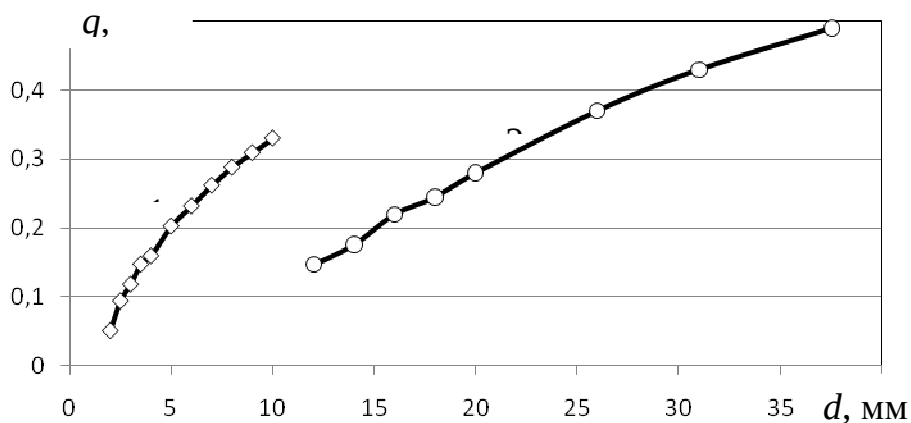


Рис. 2. Зависимость удельного расхода сыпучего материала от диаметра выпускного отверстия загрузочного бункера: 1 – песок; 2 – мраморная крошка

Изменение плотности потока приводит, в свою очередь, к изменению характера динамического воздействия струи на насыпь и процесса формирования самой насыпи. Наблюдения в ходе экспериментов показали, что при низкой плотности потока частиц, реализующейся при истечении сыпучего материала через малые отверстия, падающие частицы упруго соударяются с полежащими частицами насыпи под основанием струи, рассеиваются под

различными углами и непрерывно скатываются по склону насыпи к ее основанию, застревая в потенциальных ямах между покоящимися частицами.

По мере увеличения размера выпускного отверстия и соответственно плотности потока ситуация меняется – течение переходит в пульсирующий режим [2]. Сыпучий материал периодически скапливается на поверхности насыпи у основания струи в виде слоя некоторых критических размеров после чего сползает по склону насыпи к ее основанию. Претерпеваемая слоем при сползании сдвиговая деформация приводит к повышению пористости материала в нем до критического значения [3]. А поскольку деформирование этого поверхностного слоя происходит при крайне низком уровне напряжений, материал слоя после сползания приходит в предельно рыхлое состояние.

Таким образом, обнаруженная зависимость пористости насыпи от сечения формирующей ее струи обусловлена изменениями плотности потока частиц в струе, ведущими к изменению режима течения сыпучего материала по склону насыпи.

В экспериментах выявилась также сильная зависимость пористости n насыпи от высоты h падения струи. Характер этой зависимости для песчаной засыпки представлен на рис. 3 ($D = 30$ мм, $d = 4$ мм).

Как видно, с увеличением высоты падения частиц, а значит их скорости, приобретаемой на момент удара о насыпь, пористость последней непрерывно снижается. В условиях данного эксперимента снижение превышает 10%. Столь значительное понижение пористости (повышение плотности) насыпи естественно объяснить увеличением скорости и энергии удара падающих частиц.

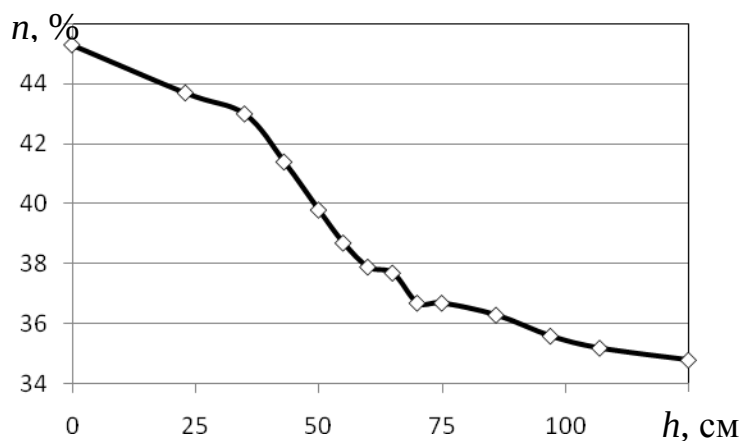


Рис. 3. Зависимость пористости насыпи от высоты падения струи

Можно ожидать, что уплотнение насыпи под динамическим воздействием струи сыпучего материала происходит преимущественно в месте падения струи. Для проверки данного предположения была осуществлена теневая визуализация структуры насыпи. Она производилась посредством проникающего светового излучения по методике изложенной в [4]. В качестве сыпучего материала использовалась мраморная крошка фракции 0,2 – 0,5 мм.

На рис. 4 представлены две теневые картины, отражающие структуру насыпей, сформированных в условиях, отличающихся только высотой h падения струи. Первая (рис. 4а) получена при $h=0$ (засыпка с поверхности насыпи), вторая (рис. 4б) при $h=200$ мм. Как видно, в последнем случае в насыпи по линии падения струи действительно формируется уплотненное ядро сечением близким сечению струи.

Заметим при этом, что формирование подобного уплотненного ядра становится невозможным с реализацией пульсирующего режима течения сыпучего материала по склону насыпи.

Таким образом, проведенные исследования показывают, что плотность (пористость) сформированной струей насыпи может меняться в широких пределах в зависимости от плотности потока частиц в струе и высоты ее падения. Это позволяет изменением указанных параметров струи управлять структурой и плотностью насыпного сыпучего объекта.

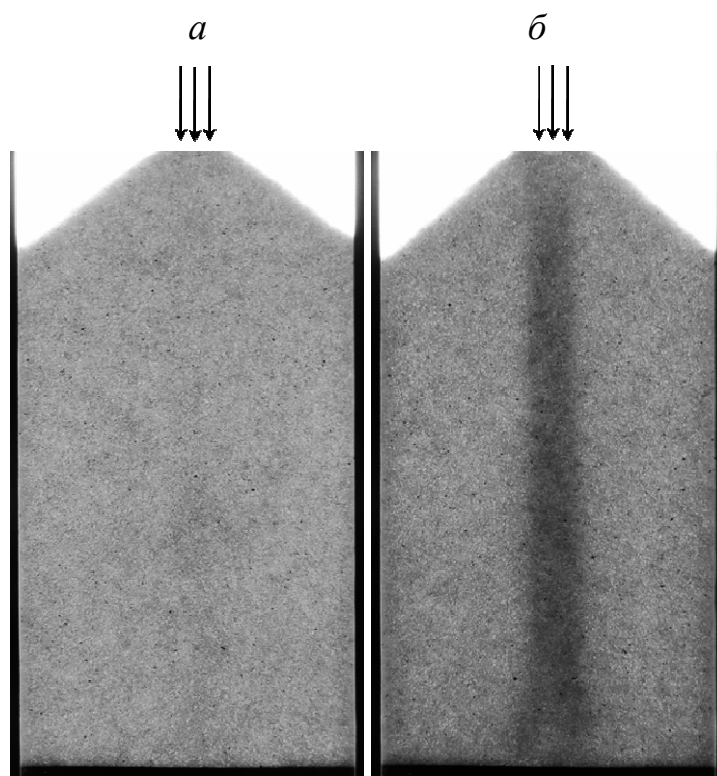


Рис. 4. Теневые изображения насыпи: $h = 0$ (а); $h = 200$ мм (б)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дженике, Э.В. Складирование и выпуск сыпучих материалов [Текст] / Э.В. Дженике. – М.: Мир, 1968. – 160 с.
2. Бобряков, А.П. Течение зернистого материала по склону конической насыпи [Текст] / А.П. Бобряков, О.А. Ревуженко // ФТПРПИ. – 2005. – № 2. – С. 16-24.
3. Гольдштейн М.Н. Механические свойства грунтов [Текст] / М.Н. Гольдштейн. – М.: Недра, 1965. – 300 с.

4. Крамаджян, А.А. О методе исследования процессов деформирования и структуры сыпучего материала в проходящем свете [Текст] / А.А. Крамаджян, Е.П. Русин. – Сб. матер. VI Междунар. научн. конгресса «Гео-Сибирь-2010». – Т.2. – Ч.2. – Новосибирск: СГГА, 2010. – С.164-169.

© А.А. Крамаджян, Е.П. Русин, 2011

УДК 624.153.7 + 531.7

А.А. Крамаджян, Е.П. Русин, С.Б. Стажевский

ИГД СО РАН, Новосибирск

ОБ ИССЛЕДОВАНИИ СВЯЗИ «УСИЛИЕ ВЫДЕРГИВАНИЯ – СМЕЩЕНИЕ» ПОВОРОТНЫХ ГРУНТОВЫХ АНКЕРОВ В НАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ

Приведены результаты натурных исследований поворотных грунтовых анкеров различных конструкций. Установлено подобие механического поведения таких анкеров в лабораторных и натурных условиях. Выявлены наиболее перспективные с точки зрения нагрузочных характеристик конструкции.

A.A. Kramadjian, E.P. Rusin, S.B. Stazhevsky

Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk

Krasny Prospekt 54, 630091, Russian Federation

ON THE FIELD STUDY OF THE RELATION BETWEEN PULL FORCE AND DISPLACEMENT FOR THE TURNING GROUND ANCHORS

The paper discusses the results of load diagram field study done for several types of turning ground anchors. Similarity of the anchors' mechanical behavior in laboratory and field conditions was confirmed. The most prospective designs of the anchors with better load diagrams were revealed.

Натурные исследования поворотных грунтовых анкеров [1] проводились с целью выяснения возможностей и направлений улучшения их нагрузочных и эксплуатационных характеристик. При этом ставились следующие задачи: 1) за счет увеличения скорости поворота пяты из исходного положения в рабочее создать анкер с оптимальной нагрузочной характеристикой; 2) повысить при этом его несущую способность и надежность. Экспериментальные работы проводились на полигоне ИГД СО РАН «Зеленая горка», где грунты залегают горизонтальными и слабонаклонными слоями. Характеристика инженерно-геологических элементов (ИГЭ) приведена в таблице.

Таблица. Характеристика грунтов полигона

Обозначение слоя	Краткая характеристика слоя	Мощность, м	Глубина залегания, м	Удельное сцепление, кПа	Угол внутр. трения φ , град.
ИГЭ-1	Супесь песчанистая полутвердая	0.5-1.5	0-1.5	22	30
ИГЭ-2	Супесь песчанистая слабая	0.5-1.5	0.5-3.0	12	24
ИГЭ-3	Суглинок элювиальный твердый	1.0-3.0	1.0-5.0	69	23

Первоначально испытан простейший базовый вариант анкера [2] (рис. 1) с пластинчатым грузонесущим элементом (пятой, плитой) и гибким тяговым элементом, в качестве которого использован стальной канат (трос). Поведение этой конструкции под нагрузкой исследовалось в разнообразных грунтовых условиях. При этом подтверждено, что в грунтах естественного сложения под плитой анкера при его нагружении образуется полость (рис. 1а), форма которой подобна той, что характерна для полостей, полученных в лабораторных опытах (рис. 1б).

Некоторые отличия полостей на рис.1а, б предопределены разницей в характеристиках грунтов полигона, имеющих неоднородное слоистое строение, и модельного материала – однородного слегка увлажненного кварцевого песка. В последнем случае слой ИГЭ-2 слабой супеси подстилается пологонаклонным слоем ИГЭ-3 твердого суглинка (рис.1а). Граница между этими прослойками основания хорошо различима на снимках благодаря разнице в цвете – суглинок более темный. Фотография на рис.1а демонстрирует, что в ходе нагружения при выходе из более прочного грунта (ИГЭ-3) и пересечении наклонной границы между слоями пята анкера смещается в область относительно слабого грунтового прослойка ИГЭ-2.

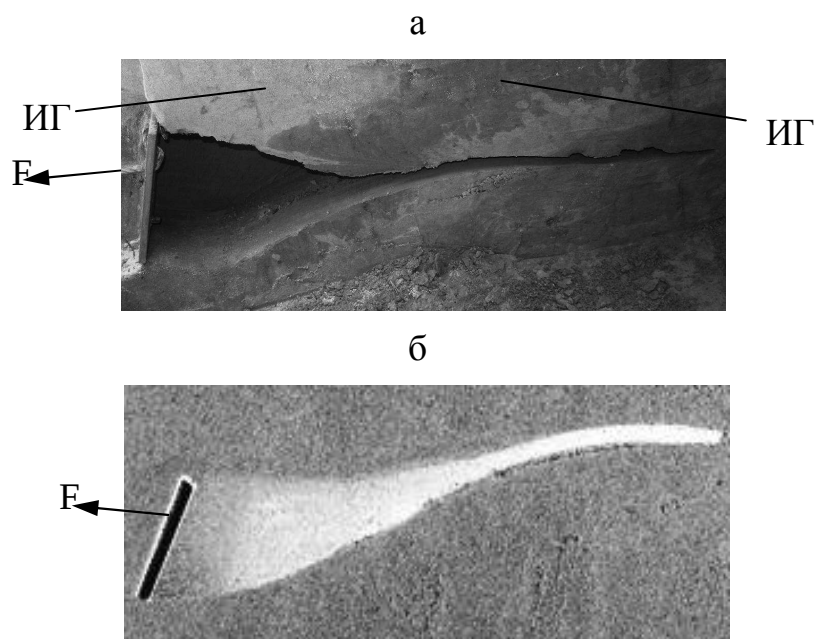


Рис. 1. Конфигурации полости, образующейся под поворотным грунтовым анкером: эксперимент в грунте на полигоне, размер плиты анкера в плане 150×200 мм (а), лабораторный эксперимент в кварцевом песке, размер плиты анкера в плане 10×40 мм (б). Здесь F – выдергивающая сила. Длинная сторона анкера – в плоскости рисунка

Испытания показали, что неоднородность геосреды в значительной мере сказывается и на нагрузочной характеристике анкера. Чтобы продемонстрировать это, сопоставим полученные в разных грунтовых условиях зависимости усилия выдергивания F от перемещения u плиты (рис.2) для двух одинаковых анкеров базовой конструкции [2] (см. рис.1). Кривая 1

соответствует опыту, в котором при вытягивании анкера его плита перемещалась из прочного слоя ИГЭ-3 в слабый ИГЭ-2 (см. рис.1а). Кривая 2 построена для эксперимента с тем же анкером, но в однородной среде – слое ИГЭ-1.

Разница в интенсивности нарастания сопротивления выдергиванию для этих вариантов объясняется следующим. В первом случае с началом нагружения конструкции пята начинает перемещаться в сторону дневной поверхности вдоль плоской щели, образованной в процессе ее (пяты) забивания в грунтовое основание. При этом, чем выше прочность среды, тем с меньшей интенсивностью плита внедряется в окружающий грунтовый массив и тем меньше скорость ее разворота, а отсюда – медленный рост эффективной площади сопротивления конструкции извлечению. Поэтому, из-за высокой прочности слоя ИГЭ-3, F на участке OA кривой 1 нарастает со средней скоростью 40 кН/м, то есть весьма медленно. При подходе к границе раздела слоев пята реагирует на меньшую прочность слоя ИГЭ-2 ростом интенсивности поворота. Потому на участке AB среднее значение скорости изменения сопротивления анкера выдергиванию увеличивается до 70 кН/м. К моменту входа в него (точка B кривой 1) плита оказывается повернутой на максимальный при данных условиях нагружения угол и оказывает максимальное сопротивление выдергиванию. Далее, на участке BC графика, она движется плоскопараллельно в слое ИГЭ-2.

Во втором случае, то есть для проведенного в супеси ИГЭ-1 и исключавшего переход плитой границы разных слоев эксперимента (кривая 2 рис. 2), зависимость $F(u)$ более монотонна. Здесь средняя скорость нарастания сопротивления выдергиванию оказалась гораздо выше, чем в опыте, характеризующемся кривой 1, и составляет 140 кН/м.

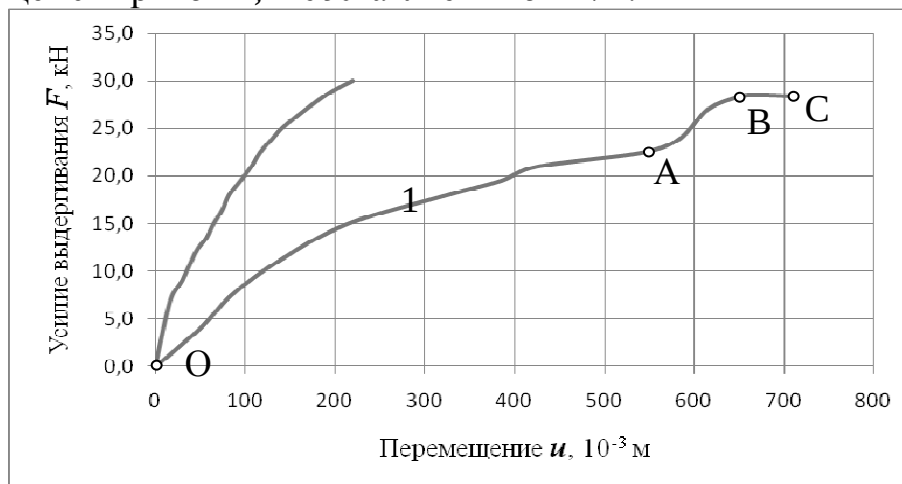


Рис. 2. Нагрузочные характеристики поворотного грунтового анкера с размерами плиты 150×200×10 мм. F – усилие выдергивания, u – перемещение плиты анкера

Следует отметить, что в экспериментах, охарактеризованных на рис.2, нагружение велось до обрыва тягового элемента. При этом, хотя прочность использованной марки каната на разрыв составляет ~47 кН, его разрушение в

них наступало при гораздо меньших значениях усилия выдергивания (~30 кН, см. кривые 1, 2 рис.2). Связано это с перегибами троса и, соответственно, концентрацией в нем напряжений в местах сопряжений с плитой.

Продолженные исследования показали, что в рассматриваемых конкретных условиях полость под плитой анкера оказалась способной сохранять устойчивость в течение весьма длительного времени. Вскрытие изображенной на фото рис. 1а полости спустя ~3 месяца после ее формирования не выявило в ней обрушений. Наблюдения запланировано продолжить после окончания осенне-зимнего периода.

Вышеизложенное свидетельствует о необходимости предварять проектирование анкерного крепления неустойчивых грунтовых массивов детальными инженерно-геологическими изысканиями.

Испытывались также модифицированные варианты анкера (рис. 3). Вариант № 1 – с грузонесущим элементом в виде пластины и присоединенным к ней дополнительным ребром, увеличивающим плечо приложения силы F (рис. 3а). Вариант № 2 – также с пластинчатым грузонесущим элементом, в нем применено другое решение, увеличивающее плечо приложения выдергивающей силы, а также снижающее концентрацию напряжений в тросе в местах его сопряжений с плитой. Конструкция этого варианта в связи с ее патентованием

здесь не раскрывается. Вариант № 3 имеет грузонесущий элемент в виде цилиндра (рис.3б).

Размеры грузонесущих элементов модифицированных анкеров выбраны так, чтобы полная эффективная площадь сопротивления выдергиванию для всех вариантов была примерно такой же, как у базового, и составляла около $3 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$.

Нагрузочные характеристики новых конструкций анкеров приведены на рис. 4. Наибольшая скорость поворота и, соответственно, роста $F(u)$ (260 кН/м) показал вариант анкера №1 с пластинчатым грузонесущим элементом и дополнительным ребром (рис.3а, кривая 1 на рис.4). Достигнуто это за счет обеспечения с момента начала нагружения конструкции достаточно большого плеча приложения к указанному ее элементу выдергивающей силы. Сопоставимым с данной точки зрения с вариантом № 1

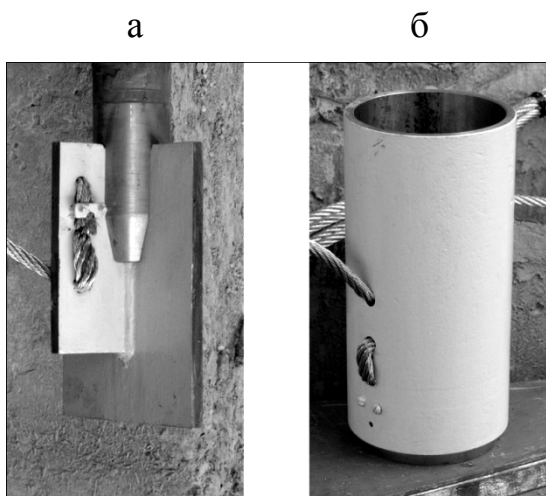


Рис. 3. Варианты конструкции поворотного анкера с гибкой тягой и нарастающим сопротивлением выдергиванию: вариант № 1 с пластинчатым грузонесущим элементом и дополнительным ребром (а), вариант № 3 с цилиндрическим грузонесущим элементом (б)

анкера является решение № 2 (кривая 2 на рис. 4). Оно, благодаря также увеличению плеча приложения F , обеспечивает нарастание сопротивления выдергиванию со средней скоростью 210 кН/м. Наихудшие показатели получены

для конструкции с цилиндрической пятой (рис. 3б, кривая 3 на рис. 4). К тому же выяснилось, что при погружении в грунт он создает наибольшее лобовое сопротивление, что снижает производительность этой операции.

Максимальное противодействие выдергиванию оказал вариант анкера № 2 с грузонесущим элементом пластинчатой формы и дополнительными конструктивными мероприятиями, увеличивающими плечо приложения F и снижающими концентрацию напряжений в тросе в местах его сопряжений с плитой (кривая 2 на рис.4). Предельное значение F , при котором у данной конструкции происходил разрыв троса, в отличие от базового варианта (см. кривую 2 на рис.3), составило не 30, а 45 кН. Последнее означает, что данное решение обеспечивает практически полное использование несущей способности тягового элемента (47 кН). Ступенчатый вид нагрузочной характеристики (кривая 2 на рис.4) связан с наличием в грунтовом основании прослойка прочного суглинка ИГЭ-3, с которым плита анкера встретила при перемещении на ~480 мм.

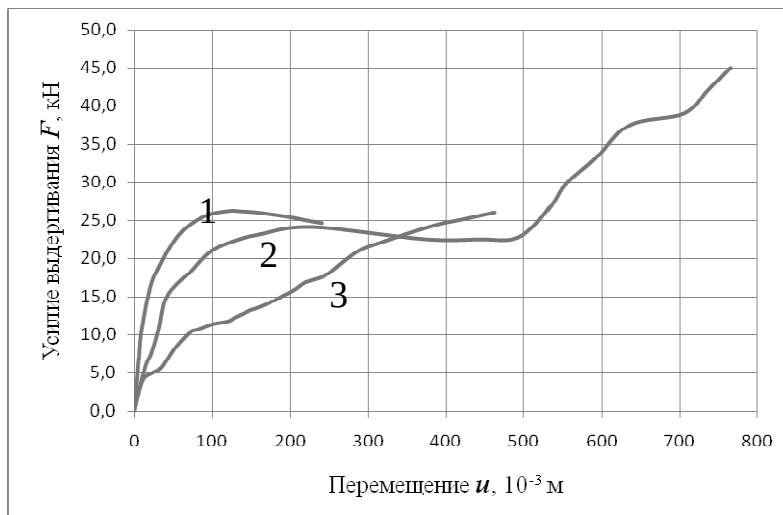


Рис. 4. Нагрузочные характеристики поворотных анкеров: 1 – вариант № 1, 2 – вариант № 2, 3 – вариант № 3

Вышеизложенное позволяет заключить, что наиболее перспективными для дальнейшей разработки следует признать варианты анкеров № 1 и № 2. Используемые в конструкции последнего новые технические решения патентуются.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Крамаджян, А.А., Русин, Е.П., Стажевский, С.Б., Хан, Г.Н. Грунтовые анкеры с замками из сыпучих материалов [Текст] / А.А. Крамаджян, Е.П. Русин, С.Б. Стажевский, Г.Н. Хан // Фундаментальные проблемы формирования техногенной геосреды. Конф. с участием иностранных ученых, 7–11 июля 2008 года: Труды. В II т., Т. II. Машиноведение / Ин-т горного дела СО РАН. – Новосибирск:, 2009. – С. 216-220.

2. Пат. 2366779 РФ, МПК E02D 5/80 (2006.01) Грунтовый анкер / С.Б. Стажевский, В.Б. Воронцов, А.А. Крамаджян и др. (РФ). – № 2008119735/03; Заявл. 19.05.08; Оpubл. 10.09.09. Бюл. № 25 (III ч.). – С. 871.

3. Пат. на пол. модель 95343 РФ, МПК E02D 5/80 (2006.01) Грунтовый анкер / С.Б. Стажевский, В.Б. Воронцов, А.А. Крамаджян и др. (РФ). – № 2009101556/22; Заявл. 19.01.09; Оpubл. 27.06.2010. Бюл. № 18.

© А.А. Крамаджян, Е.П. Русин, С.Б. Стажевский, 2011

УДК 550.34+622.831

В.Г. Качальский, Р.Ю. Андреев

ИГД СО РАН, Новосибирск

ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СКВАЖИНЫ

Рассматриваются вопросы оценки чувствительности, градуировочных характеристик деформометра и погрешности измерения геометрических параметров скважин при определении напряжений в массиве горных пород методом параллельных скважин.

V.G. Kachalsky, R.Yu. Andreev

Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk
Krasny Prospekt 54, 630091, Russian Federation

GEOMETRICAL ERROR ESTIMATION IN A MEASURING WELL BORE

The article discusses aspects of definition of strain measurement apparatus sensitivity and gauging parameters, as well estimation of geometrical errors in parallel well bores drilled for stress assessment in rocks.

Надежность оценки безопасного состояния инженерных сооружений во многом определяется достоверностью информации о величинах действующих напряжений в массиве горных пород. В этой связи экспериментальные исследования напряжений, обеспечивающие получение наиболее объективных данных, имеют важное значение как для формирования параметров расчетной геомеханической модели объекта, так и уточнения результатов численного моделирования напряженно-деформированного состояния (НДС) конструктивных элементов сооружений.

Проведение экспериментальных исследований напряжённого состояния горных пород методом параллельных скважин [1,2,3] связано с использованием деформометра – комплексного датчика, измеряющего деформации контура скважины в нескольких радиальных направлениях. Использование тензодатчиков наклеенных на балочки деформометра и включенных по полумостовой схеме позволяет получить термокомпенсированный сигнал о деформации в каждом радиальном направлении. В то же время, такие датчики требуют усилителей с достаточно большим коэффициентом усиления. Характеристика зависимости сигнала с датчиков от деформации (градуировочная характеристика) имеет нелинейный характер. Кроме того, для определения напряжённого состояния необходима информации об ориентации деформометра относительно вертикального положения выбранного

направления. Все перечисленные особенности деформометра как измерительного прибора заставляют решать следующие задачи:

- 1) Определение чувствительности и градуировочной характеристики деформометра по каждому направлению;
- 2) Определение диаметра измерительной скважины;
- 3) Определение положения деформометра в плоскости сечения скважины;
- 4) Измерение радиальных смещений при деформации контура скважины.

1. Определение чувствительности и градуировочной характеристики деформометра

Деформометр представляет собой систему пар нормально ненагруженных балочек, расположенных радиально через заданный угол с наклеенными на них тензорезисторами. В такой системе тестовую нагрузку необходимо прикладывать одновременно на обе радиальных балочки. Для проведения исследований параметров деформометра было изготовлено специальное тарировочное устройство (рис.1), представляющее собой основание, на котором жёстко закреплены фиксатор для деформометра и два микрометра. Корпус деформометра зажимается фиксатором таким образом, чтобы контактные опоры измерительной пары располагались соосно микрометрам.

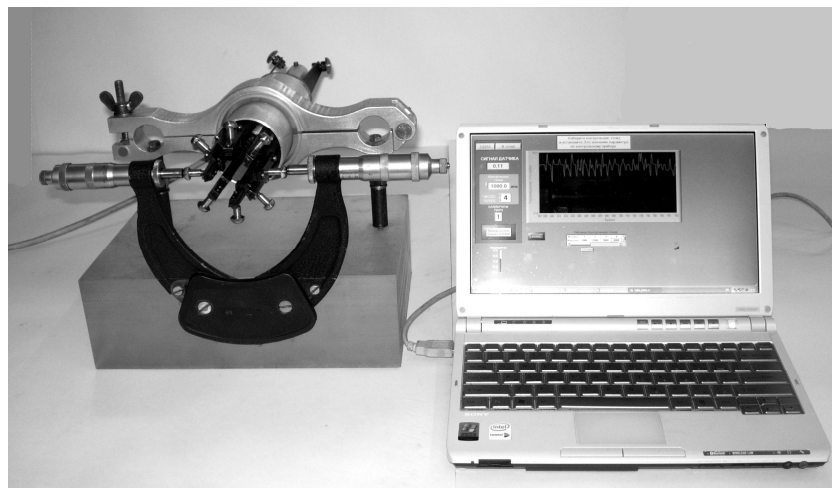


Рис. 1. Тарировочное устройство совместно с компьютером в режиме градуировки

Процесс градуировки представляет собой последовательное двухстороннее смещение балочек деформометра на тарировочном стенде (рис.1) с одновременной регистрацией в компьютере показаний датчиков после очередного смещения. Каждый из четырёх аналогичных циклов процесса состоит из нескольких ступеней по числу отрезков аппроксимации и позволяет определить градуировочную характеристику измерительных пар. Последовательное измерение чувствительности для каждого измеряемого направления показало следующее:

- Пара измерительных балочек имеет различную чувствительность $\xi = \Delta U / \Delta L$ (мВ/мкм) в диапазоне возможных деформаций,

где ΔL – относительная деформация балочки;

ΔU – изменение напряжения на входе АЦП.

– Каждое направление имеет нелинейную характеристику в диапазоне деформаций, показанную на рис. 2.

Среднее значение чувствительности по направлениям в рабочем диапазоне $\xi = 1,22 \cdot 10^{-3}$ мВ/мкм. Приведённые результаты приводят к необходимости программно корректировать результаты измерений в соответствии с полученными характеристиками. Аппроксимация проводится двумя методами: кусочно-линейным способом и сглаживание полиномом 2-ой степени.

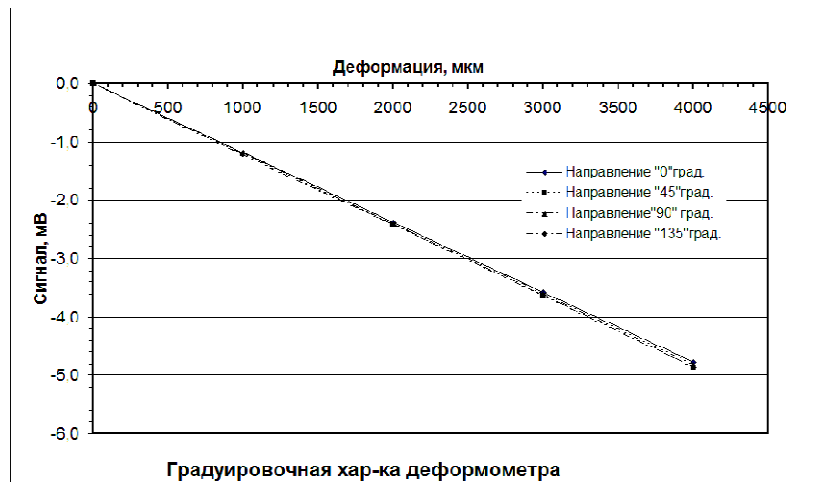


Рис. 2. Градуировочные характеристики типового деформометра с четырьмя парами измерительных балочек

2. Определение диаметра измерительной скважины

Для оценки напряженного состояния массива горных пород методом параллельных скважин, при проведении которого измеряется деформация профиля измерительной скважины под действием давления, созданного на стенки возмущающей параллельно пробуренной скважины необходимо определять исходный диаметр обеих скважин. Если для учёта диаметра возмущающей скважины достаточно точности данных о диаметре бура, то диаметр измерительной скважины нужно определять с точностью, не хуже 0,1 мм.

Определение эффективного (среднего по направлениям) диаметра производится с использованием градуировочных характеристик деформометра. Для этого экспериментально определяется зависимость значений сигналов датчиков от диаметра калибровочных труб, в которые последовательно устанавливается деформометр. Используя результаты градуировки деформометра, достаточно иметь три калибровочных трубы с диаметрами $D_{скв}$ – 1мм, $D_{скв}$, $D_{скв} + 1$ мм; где $D_{скв}$ – оценочный диаметр скважины после бурения.

3. Определение положения деформометра в плоскости сечения скважины

Положение деформометра относительно выбранного направления и продвигаемого внутри измерительной скважины в процессе проведения

эксперимента, должно контролироваться перед записью в компьютер результатов деформации. Для постоянного контроля положения деформометра внутри скважины в его корпусе установлен инклинометр, сигнал с которого пропорциональный отклонению от вертикали вводится по кабелю в блок измерения и передачи данных, а за тем в цифровом виде поступает для обработки и визуализации в компьютер (рис. 3).

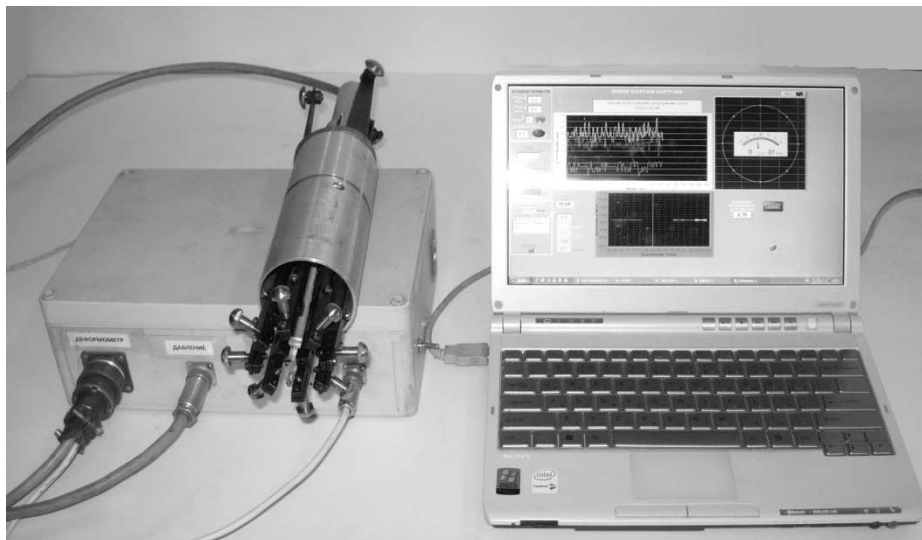


Рис. 3. Измерительный комплекс для проведения эксперимента «Параллельные скважины», состоящий из деформометра, блока измерений и передачи данных и переносного компьютера

4. Измерение радиальных смещений при деформации контура скважины

Процедура проведения эксперимента «Параллельные скважины» состоит из нескольких этапов[4,5]. Основными являются:

- Измерение смещений балочек деформометра по радиальным направлениям при бурении параллельной возмущающей скважины, при этом внутренние напряжения в массиве уменьшаются в области профиля измерительной скважины;
- Измерение смещений балочек деформометра при ступенчатом нагружении возмущающей скважины.

Каждый из этих этапов состоит из последовательности измерений при продвижении деформометра внутрь измерительной скважины. Таким образом, большое число измерений слабых деформаций стенок измерительной скважины требует чувствительной аппаратуры, надёжной и точной ($\pm 1 \text{ мкм}$) фиксации результатов без возможности повторного проведения первого этапа из приведённых выше опытов. Для удовлетворения указанных требований было разработано программное обеспечение, позволяющее контролировать положение деформометра, оперативно получать результаты эксперимента, оценивать визуально их качество (рис.3) до проведения камеральных вычислений напряжений в исследуемом массиве горных пород.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Курленя М.В., Барышников В.Д., Бобров Г.Ф., Попов С.Н., Федоренко В.К. Способ определения НДС в массиве горных пород. // Открытия и изобретения. – 1981. № 40.
2. Барышников В.Д., Попов С.Н. и др. Способ натурного определения упругих свойств горных пород в методе параллельных скважин. // ФТПРПИ. – 1982. № 1.
3. Барышников В.Д., Качальский В.Г. Автоматизированный измерительный комплекс приборов для определения напряжений в массиве горных пород методом параллельных скважин. // ФТПРПИ. – 2010. №3. – С. 115 – 119.
4. Колмаков В.Д. Техника экспериментального измерения напряжений методом параллельных скважин в скальных породах. // Исследование напряжений в горных породах. – Новосибирск: ИГД СО АН СССР, 1985. – С.120 – 126.
5. Барышников В.Д., Курленя М.В., Гахова Л.Н. Опыт применения метода параллельных скважин для оценки действующих напряжений в бетонном массиве. // Гидротехническое строительство. – 1998. № 9. С.59 – 62.

© В.Г. Качальский, Р.Ю. Андреев, 2011

УДК 539.3.01:622.834

В.Д. Барышников, Л.Н. Гахова

ИГД СО РАН, Новосибирск

НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ МАССИВА В ОКРЕСТНОСТИ ПРОТЯЖЕННЫХ ВЫРАБОТОК, ПОДВЕРЖЕННЫХ ТЕПЛОВОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ

Методом граничных сингулярных интегральных уравнений решаются задачи о напряженно-деформируемом состоянии массива горных пород, подверженного тепловому воздействию.

V.D. Baryshnikov, L.N. Gakhova

Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk
Krasny Prospekt 54, 630091, Russian Federation

STRESS STATE OF ROCKS IN THE VICINITY OF EXTENDED MINE WORKINGS UNDER THERMAL EXPOSURE

The problems on stress-strain state of a rock mass exposed to heat action are solved by method of boundary singular integral equations.

В условиях теплообмена с окружающим массивом, больших амплитуд сезонных колебаний температуры воздуха, во время проветривания шахт на значительных глубинах разработки месторождений возникает необходимость учета температурных воздействий на напряженно-деформированное состояние (НДС) горных пород.

Для описания процессов, протекающих в условиях нестационарного теплообмена, используется уравнение нестационарной теплопроводности. Система дифференциальных уравнений несвязанной квазистатической термоупругости без источников тепла и массовых сил будет иметь вид [1]

$$\mu \Delta u + (\lambda + \mu) \operatorname{grad} \operatorname{div} u = \gamma \operatorname{grad} \theta, \quad (1)$$

$$\Delta \theta = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial \theta}{\partial t}, \quad (2)$$

где $u(x, t)$ – вектор смещений (в точке $x (x_1, x_2)$ в момент времени t); $\theta(x, t) = T(x, t) - T_0$ – температура, отсчитываемая от исходного состояния; λ, μ – константы Ламе; $\gamma = \alpha(3\lambda + 2\mu)$, α – коэффициент линейного теплового расширения; Δ – оператор Лапласа; α – коэффициент теплопроводности.

Напряжения и деформации связаны соотношением Дюамеля – Неймана

$$\sigma_{ij} = \lambda \delta_{ij} \varepsilon + 2\mu \varepsilon_{ij} - \gamma \delta_{ij} \theta, \quad \varepsilon = \Sigma \varepsilon_{ii}, \quad (3)$$

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right), \quad (4)$$

здесь σ_{ij} , ε_{ij} — соответственно компоненты тензора напряжений, деформаций; δ_{ij} — символ Кронекера; ε — объемная деформация.

Температурное поле определяется независимо от поля перемещений решением уравнения (2) с граничными и начальными условиями:

$$\theta(x, 0) = 0, \quad x \in Du\Gamma, \quad (5)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial n(y)} + h(y, t)\theta(y, t) = h(y, t)\bar{\theta}(y, t), \quad y \in \Gamma, t > 0, \quad (6)$$

D — многосвязная область в плоскости (x_1, x_2) , ограниченная простыми замкнутыми гладкими контурами Γ_i . Если область D конечна, то $\Gamma = \Gamma_0 U \Gamma_1 U \dots U \Gamma_n$ и контур Γ_0 охватывает остальные, если D бесконечна, $\Gamma = \Gamma_1 U \dots U \Gamma_n$. $h(y, t)$ — коэффициент теплообмена, $\bar{\theta}(y, t)$ — температура окружающей среды, $\partial \theta / \partial n(y)$ — производная по внешней нормали к области. Найденное значение температуры используется для решения уравнения (1), в котором время t рассматривается как параметр. Компоненты вектора усилий на площадке с нормалью $n(x)$ выражаются через смещения и температуру

$$p_i(x, t) = T_{ij} \left(\frac{\partial}{\partial x}, n(x) \right) u_j(x, t) - \gamma n_i(x) \theta(x, t), \quad i, j = 1, 2, \quad (7)$$

где

$$T_{ij} \left(\frac{\partial}{\partial x}, n(x) \right) = \lambda n_i(x) \frac{\partial}{\partial x_j} + \mu n_j(x) \frac{\partial}{\partial x_i} + \mu \delta_{ij} \frac{\partial}{\partial n(x)} \quad (8)$$

— компоненты оператора напряжений [1,2].

Граничные условия при решении (1)

$$p_i(y, t) = f_i(y, t), \quad y \in \Gamma, \quad t > 0, \quad (9)$$

$f_i(y, t)$ — компоненты вектора внешних усилий.

Нулевые условия бесконечной области для температур $\theta(\infty, t) = 0$ и напряжений $\sigma_{ij}(\infty, t) = 0$.

Задача несвязанной квазистатической термоупругости сводится к последовательному решению системы сингулярных интегральных уравнений для нахождения плотностей φ_i , $i = 1, 2, 3$ [1,2]. Значения величин определяются интегрированием по границе для плотностей φ_1 , φ_2 , полученных из системы сингулярных интегральных уравнений изотермической упругости или по границе и времени (для φ_3 , полученной из интегрального уравнения теплового потенциала простого слоя [2]).

Чтобы описать НДС в окрестности протяженных выработок для бесконечной области используют формулировку условий [2], позволяющую получить решение плоской задачи, близкое к трехмерному.

Численная реализация задачи основана методе регуляризации А.Н. Тихонова. Для решения практических задач, требующих значительных временных ресурсов, алгоритмы разработаны на основе концепции параллельных вычислений.

В качестве примера исследовалось НДС в окрестности подготовительно-нарезных выработок, размещенных в бортах и ниже дна карьера (рис. 1). Задача решалась для полуплоскости. В этом случае предусмотрена ее редукция к задаче с конечной областью.

Физические параметры горных пород (алевролиты) выбраны следующие: модуль упругости $E = 4 \cdot 10^4$ МПа, коэффициент Пуассона $\nu = 0.23$, теплопроводности $k = 1.74$ Вт/(м·град), температуропроводности $a = 10^{-6}$ м²/с, линейного теплового расширения $\alpha = 10^{-5}$ град⁻¹, теплоотдачи от стенок выработки к воздушному потоку $\alpha_p = 10$ Вт/(м²·град).

Предполагалось, что выработки проветриваются наружным воздухом, для температуры которого от -5 до -30° принята линейная зависимость от времени в интервале 150 сут. Исходная температура пород принята $T = -5^\circ$. Предполагается, что поверхность карьера и выработок свободна от напряжений. Физико-механические свойства вмещающих пород, определялись интегрально по всей глубине исследуемой области. Исходное напряженное состояние в горном массиве представлено в виде суммы гидростатического состояния, линейно изменяющегося с глубиной, и состояния, учитывающего влияние рельефа дневной поверхности [3].

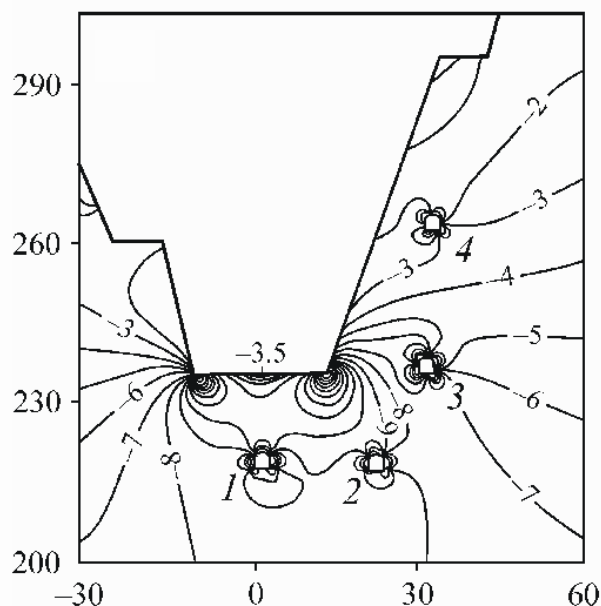


Рис. 1

Чтобы определить температурное поле после 150 сут проветривания, решали задачу с шагом $\Delta t = 10$ сут, а для моментов времени $t_1 = 0$ и $t_2 = 150$ сут – задачу определения НДС. На рис. 1. показаны изолинии температурного поля, соответствующего $t_2 = 150$ сут.

На рис. 1 приведены изолинии инварианта тензора напряжений – среднего давления $\sigma = (\sigma_x + \sigma_y)/2$, (σ_x , σ_y , τ_{xy} — компоненты тензора) при $t_1 = 0$. На рис. 2а – σ в окрестности выработки 3 ($t_1 = 0$). Изменения σ , обусловленные охлаждением (рис 3б) приведены для момента времени $t_2 = 150$ сут. Угол отклонения φ точек контура с максимальными растягивающими (точка А) и максимальными сжимающими (точка В) напряжениями в кровле относительно вертикальной оси выработки имеет знак плюс, если откладывается против часовой стрелки, минус – по часовой стрелке.

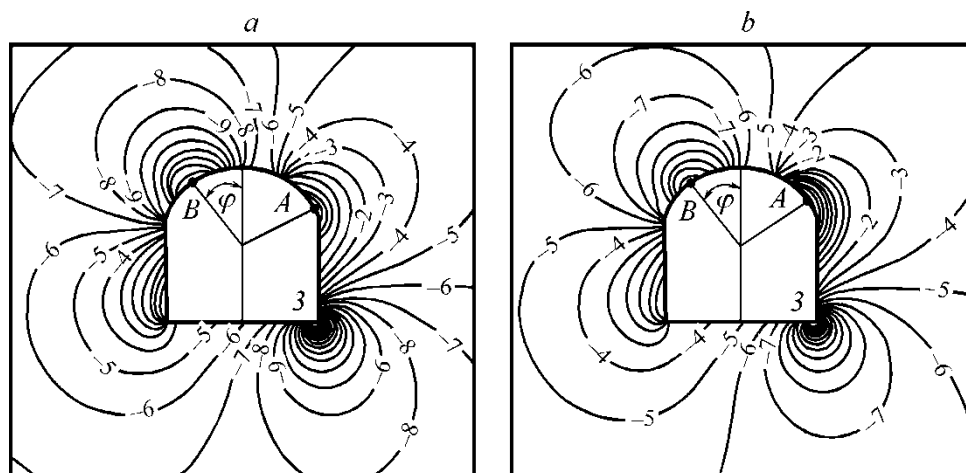


Рис. 2

В табл. 1 приведены σ и φ точек в точках А и В для выработок 1 – 4 (рис. 1).

Таблица 1

Номер выработки	Точка	$t_1 = 0$ сут.		$t_2 = 150$ сут	
		σ , МПа	φ , град	σ , МПа	φ , град
1	А	0.67	–92	0.82	–85
	В	–32.6	9	–28.4	4
2	А	0.1	–82	0.4	–75
	В	–32.6	15	–28.5	13
3	А	3.0	–64	5.9	–56
	В	–40.3	37	–33.8	35
4	А	2.41	–32	3.82	–28
	В	–20.7	65	–16.4	71

Анализ результатов расчетов напряжений позволяет отметить следующие особенности их распределения.

Напряжения в окрестности горных выработок различаются качественно и количественно в зависимости от условий их размещений относительно контура карьера (рис. 1). В зонах концентрации сжимающих напряжений σ изменяется в пределах $-20.7 \div -40.3$ МПа. Угол φ , определяющий местоположение точек контура выработки с максимальными сжимающими напряжениями относительно вертикальной оси выработки, изменяется от 9 (1) до 65° (4). Размеры зоны концентрации напряжений сопоставимы с размерами выработки.

В приконтурной части выработок появляются растягивающих напряжений в верхней части свода, удаленного от контура карьера, и, в расположенной ближе к нему, нижней части борта. Величины σ изменяются в пределах 0.1 – 4 МПа, а φ от –92 до –32°. Максимальное удаление изолинии “0” от контура достигает 0.8 м.

Изменение температурного режима в выработках (охлаждение) и карьере приводит к изменению величин напряжений. В приконтурной части кровли первоначально существовавшая область растяжения (рис.2а) увеличилась (рис.

2б), максимальные значения среднего давления на контуре возросли с 3 до ≈ 6 МПа. Концентрация напряжений в зоне сжатия кровли уменьшается.

Сравнение результатов расчетов напряженного состояния в моменты времени t_1 t_2 свидетельствует о существенном отличии величин напряжений и направлений их действия вблизи горных выработок. Так, для 1-й выработки максимальные сжимающие напряжения на контуре изменились с $\sigma = -32.6$ МПа (t_1) до $\sigma = -28.4$ МПа (t_2). В кровле выработки 3 $\sigma = -40.3$ МПа (t_1), что более чем в 6 раз превышает σ , действующее в нетронутом массиве, и более чем на 15% выше, чем в момент времени t_2 .

Точки с максимальными растягивающими и с максимальными сжимающими напряжениями при проветривании меняют положение на контуре выработок (табл. 1): так на контуре выработки 3 точка А сместилась на 8° .

Реализован численный алгоритм решения плоских краевых задач термоупругости методом граничных интегральных уравнений в квазистатической постановке. Решение прикладных задач для конкретных горнотехнических ситуаций позволяет получить качественную и количественную оценку температурных влияний на НДС горного массива.

Принимая во внимание высокий градиент колебания температур в условиях Крайнего Севера, при ведении очистных работ в переходной зоне от открытой к подземной отработке месторождения выбор конструктивных параметров и условий поддержания выработок необходимо проводить с учетом температурного фактора.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Осин В. А. Численный метод потенциалов в плоской задаче квазистатической термоупругости // ФТПРПИ. – 1988. – № 5.
2. Гахова Л.Н. Температурные напряжения в окрестности протяженных выработок // ФТПРПИ. – 2000. – № 4.
3. Барышников В.Д., Гахова Л.Н. Напряженное состояние в окрестности горных выработок, в борах и под дном карьера // ФТПРПИ. – 2001. – № 5.
4. Изюмов К.Л. Современные технологии программирования задач механики. Сб. «Современные технологии программирования». – МГУ. – Москва, 2005.

© В.Д. Барышников, Л.Н. Гахова, 2011

РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОГО ЦЕЛИКА ПОД МЕТЕГЕРО-ИЧЕРСКИМ ВОДОНОСНЫМ КОМПЛЕКСОМ РУДНИКА «ИНТЕРНАЦИОНАЛЬНЫЙ»*

Приведены результаты оценки техногенной нарушенности и сдвижений рудного предохранительного целика под водоносным комплексом рудника «Интернациональный» АК «Алроса», вызванных ведением очистных работ в нижележащем блоке 5. Определены вертикальные сдвигения закладочного массива в блоке, являющегося основанием предохранительного целика.

D.V. Baryshnikov

Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk
Krasny Prospekt 54, 630091, Russian Federation

GEOMECHANICAL MONITORING DATA FOR SAFETY PILLAR UNDER AQUIFER SYSTEM IN THE INTERNATSIONALNY MINE, ALROSA

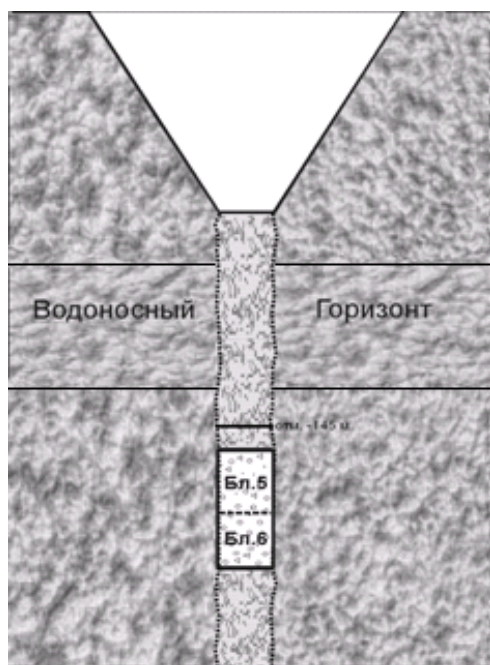


Рис. 1. Вертикальный разрез
трубки «Интернациональная»

The article reports on evaluation of deformation and displacement state in a safety pillar, left under the Metegero-Ichersky aquifer system in the Internatsionalny Mine, Alrosa JSC, as a consequence of stoping operations in the subjacent rock block No. 5. Vertical displacements in the filling mass in the pillar base are assessed.

Для защиты подземных горных выработок от прорыва воды из несдреннированного Метегеро-Ичерского водоносного комплекса (отм. +60 м ÷ –130 м) на руднике «Интернациональный» АК «Алроса» предусмотрено оставление предохранительного целика (рис. 1). Граница безопасной глубины ведения очистных работ определена расчетами НТЦ «НОВОТЭК» (г. Белгород) и расположена на отм. – 190 м [1].

* Работа выполнена при финансовой поддержке АК «АЛРОСА» (ЗАО).

Для контроля состояния целика на период отработки подкарьерных запасов разработан проект гидрогеомеханического мониторинга [1]. Составной частью проекта является разработанная в ИГД СО РАН система геомеханического мониторинга, поэтапная реализация которой предусматривает получение исходной информации о напряженном состоянии и механических свойствах подкарьерной толщи пород и их изменениях в процессе развития горных работ (рис. 2).

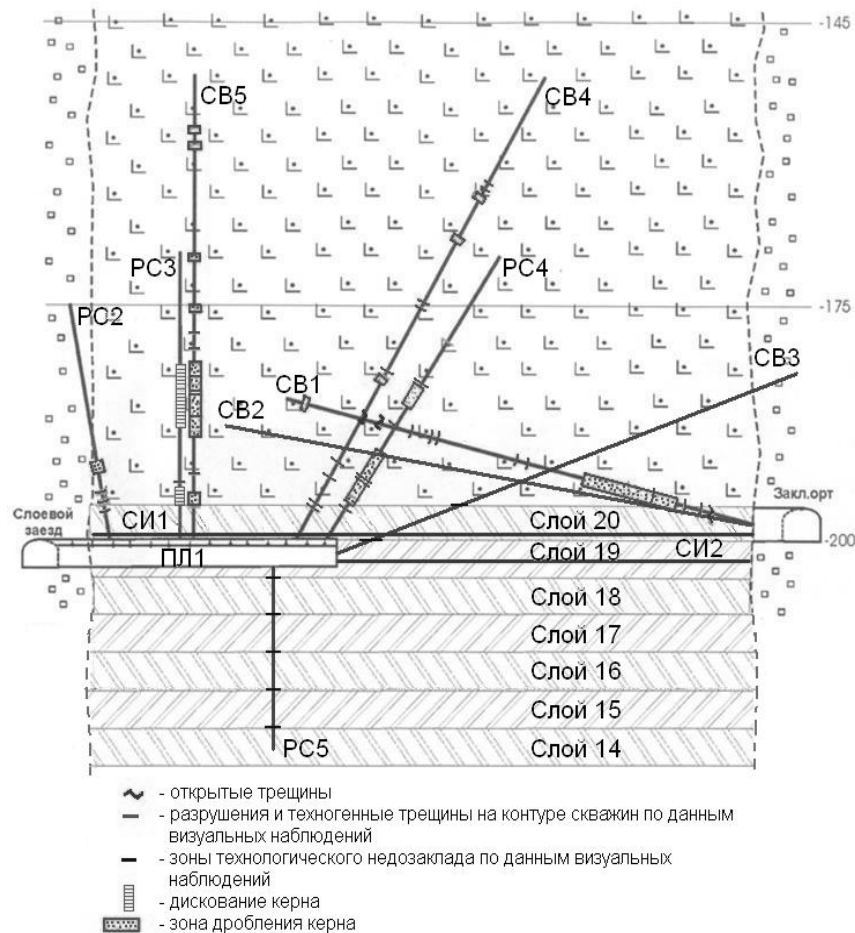


Рис. 2. Оборудованные измерительные станции и состояние рудного и закладочного массива в границах опасной зоны по результатам видеосъемки контуров скважин и анализа керна скважин. РС – реперная станция, СИ – скважина инклинометрических наблюдений, СВ – скважина визуальных наблюдений, ПЛ – профильная линия

Наблюдения за период 2007 – 2009 гг. позволили установить следующее:

1. По результатам визуальных наблюдений и анализу выхода керна установлены зоны техногенной нарушенности, открытые трещины и их параметры (рис. 2, 3, 4).

Май 2007 г.

Май 2008 г.

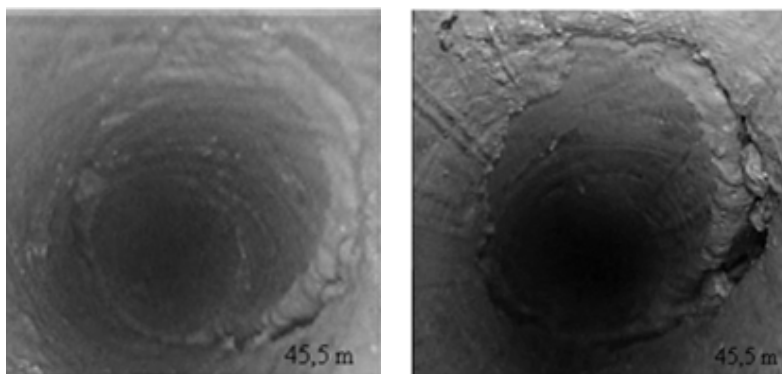


Рис. 3. Зоны техногенной нарушенности контура скважины СВ1 (раскрытие трещины)

Установлено, что максимальная глубина образования открытых трещин составила 15 м от кровли блока 5 (скважина РС4, рис. 4), а максимальная высота зоны техногенной нарушенности достигает 32 м от кровли блока 5 (скважина СВ4, рис. 2). Визуальная оценка техногенных нарушений в рудном массиве по скважине СВ3 показала, что на удалении 7 м от кровли блока 5 отмечена открытая трещина (раскрытие 3 – 4 см, рис. 5). Зоны техногенных трещин отмечены в интервале глубин 7 – 11 м от кровли блока 5.

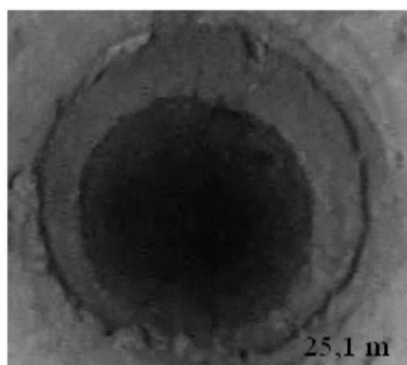


Рис. 4. Зоны техногенной нарушенности контура скважины РС4 на глубине 20,1 м от кровли слоя 20 блока 5

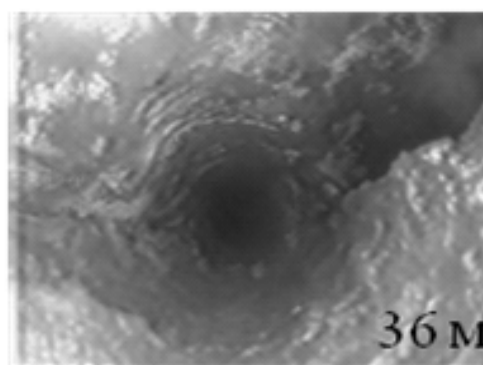


Рис. 5. Открытая трещина на контуре скважины СВ3 на удалении 7 м от кровли блока 5

2. Измерения по глубинным реперам позволили определить зоны уплотнения – разуплотнения рудного массива (рис. 2, 6).

Полученные данные позволили определить границы зон уплотнения – разуплотнения в предохранительном целике (рис. 7).

На основе полученных данных можно сделать вывод, что тенденция затухания вертикальных сдвижений не отмечается. Наибольшие вертикальные сдвижения наблюдаются в РС3 (рис.6б). При этом смещения в сторону сжатия

зарегистрированы на глубинах 5–10 м, а в сторону растяжения на глубинах 15–30 м.

3. Контроля сдвижений верхней и нижней границы выработки слоя 19 в кровлю и почву были установлены две профильные линии.

Результаты замеров показывают, что относительно опорного репера, принятого за неподвижный, почва в среднем осела на 3 мм, а кровля – на 4 мм.

4. Инклинометрические наблюдения за сдвижением закладочного массива [2] блока 5 позволили определить величину осадки основания предохранительного целика (рис. 2, 8).

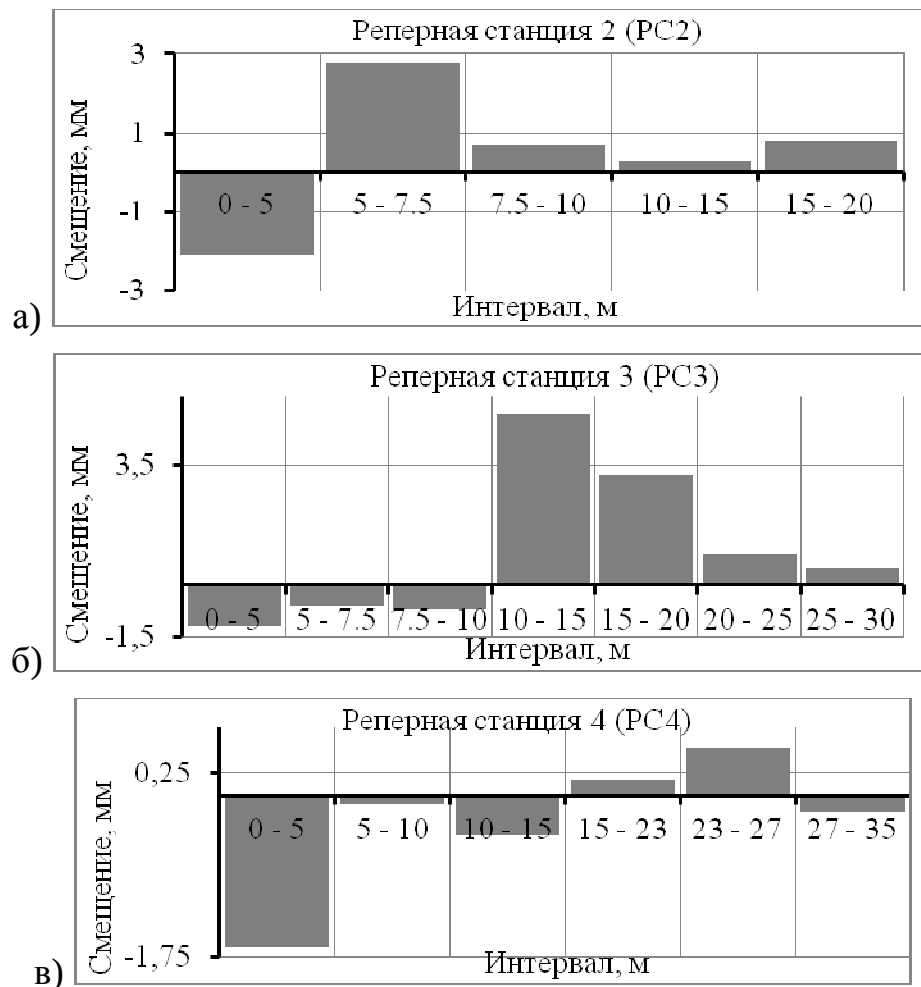


Рис. 6. Поинтервальные смещения глубинных реперов в РС2–4

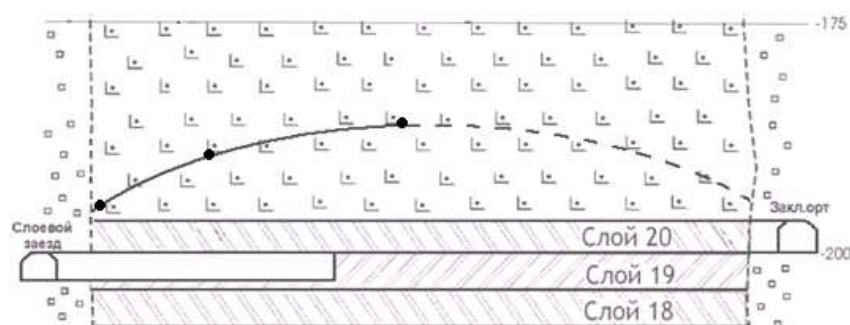


Рис. 7. Границы зоны уплотнения-разуплотнения по данным РС2–4

Прогиб контролируемой скважины по длинной оси трубки, вызванный отработкой нижележащего слоя 16, носит симметричный характер, а максимальная осадка (около 70 мм) наблюдается в центре рудного тела (отчет 22.04.2007 г.). Эпюра вертикальных сдвижений при замере 03.08.2007 г. приобретает ассиметричную форму с максимальной осадкой (около 260 мм) в призабойной части скважины, что свидетельствует о проскальзывании закладочного массива вдоль его контакта с вмещающими породами. После полной отработки и закладки подэтажа (выемка слоя 15) наблюдается активная стадия сдвижений закладки в верхней части блока, а осадка призабойной части скважины достигла около 470 мм (замер 15.05.2008 г.). Последующий замер (21.11.2009 г.) свидетельствуют о наметившейся тенденции затухания (но не стабилизации) процесса сдвижений закладочного массива, при этом максимальная осадка вблизи контакта с вмещающими породами составила около 600 мм.

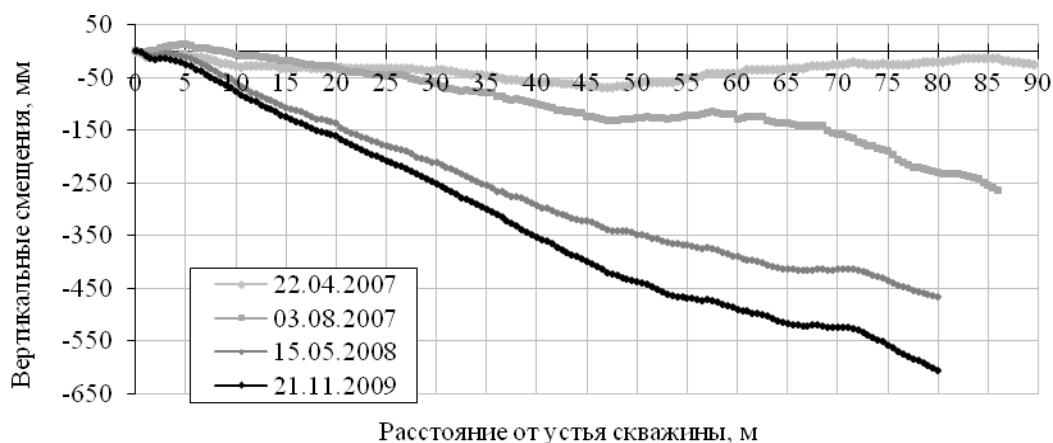


Рис. 8. Вертикальные сдвижения 20 слоя закладки (основание предохранительного целика)

Полученные результаты свидетельствуют о продолжении процесса сдвижения предохранительного целика и закладочного массива. Предложенная система обеспечивает надежный контроль состояния предохранительного целика и его основания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рабочий проект АК «Алроса» (ЗАО). Рудник «Интернациональный». Гидрогеомеханический мониторинг состояния предохранительного целика под метегеро-ичерским водоносным комплексом. (РП-805-ПЗ). – Мирный, Белгород, Новосибирск, 2006 г.
2. Барышников В.Д., Качальский В.Г., Барышников Д.В. Опыт применения инклинометрии для контроля сдвижений закладочного массива при подземной разработке месторождений / Труды III междунар. научного конгресса «ГЕО-Сибирь-2007». – Новосибирск, СГГА – 2007. – с. 225 – 229.

УДК 622.831.

А.А. Бизяев, А.В. Кривецкий, Г.Е. Яковичская, А.Ю. Карпов

ИГД СО РАН, Новосибирск

ДИАГНОСТИКА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ, ЦУНАМИ И ДРУГИХ КАТАСТРОФИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ ПО СТРУКТУРЕ И ПАРАМЕТРАМ СИГНАЛОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ (ЭМИ)

В статье представлены результаты экспериментальных исследований по регистрации сигналов электромагнитного излучения (ЭМИ) и нагрузки, позволяющие по анализу синхронных осциллограмм проводить диагностику процесса разрушения и тем самым предупреждать различные катастрофические явления, такие как землетрясения, горные удары, внезапные выбросы угля и газа.

A.A. Bizyaev, A.V. Krivetsky, G.E. Yakovitskaya, A.Yu. Karpov

Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk
Krasny Prospekt 54, 630091, Russian Federation

DIAGNOSTICATION OF EARTHQUAKES, TSUNAMI AND OTHER CATASTROPHIC PHENOMENA BASED ON THE STRUCTURE AND PARAMETERS OF ELECTROMAGNETIC EMISSION SIGNALS

The authors discuss findings of experimental research into recorded electromagnetic emission (EME) and loading. It is shown that through the analysis of the synchronized emission-and-loading oscillograms, it is possible to diagnose fracture process and, thus, prevent catastrophic phenomena, such as earthquakes, rockbursts, coal and gas outbursting, etc.

Известно, что применительно к проблеме прогнозирования землетрясений и динамических проявлений горного давления в массивах горных пород с помощью метода, основанного на регистрации сигналов электромагнитного излучения (ЭМИ) – это весьма актуальная и до конца еще не изученная задача. Известно также, что землетрясения связаны с большими ресурсными потерями и в человеческом и экономическом аспекте, однако до настоящего времени отсутствуют надежные диагностические критерии могущие предупреждать о таких катастрофических явлениях. В последние годы, в связи с переходом горных работ на большие глубины при разработке месторождений полезных ископаемых, актуальной становится задача безаварийной работы подземных горных предприятий и в связи с этим возникает проблема разработки методов неразрушающего контроля и прогноза динамических проявлений массива (его разрушения). Одним из таких методов является широко применяемый в последнее время метод, основанный на регистрации сигналов ЭМИ[1,2].

Современное состояние исследований в области изучения эффекта электромагнитного излучения (ЭМИ) подразделяется на фундаментальные исследования – для изучения физических аспектов возникновения ЭМИ, сопутствующего процессу разрушения, а также в прикладных направлениях – для диагностики и прогноза различного рода динамических проявлений горного давления в подземных горных выработках и при прогнозе землетрясений.

Отметим, что схожая проблема существует не только при разработке месторождений полезных ископаемых в условиях подземных горных выработок при возникновении т.н. горно-тектонических ударов на рудных месторождениях, но и в угольных шахтах при внезапных выбросах угля и газа. Динамические проявления горного давления в виде стреляний, микроударов и собственно горных ударов могут иметь значительную энергию разрушения до 10^9 Дж, и также зачастую связаны с людскими и значительными материальными потерями. Поэтому по-прежнему является актуальной проблема поиска и разработки новых и модернизации на основе новых технологий и ранее используемых методов диагностики и контроля динамических проявлений горного давления. В последние десятилетия прошлого столетия был найден новый метод, позволяющий наряду с другими, использовать его при диагностике процесса разрушения, как при прогнозе землетрясений, так и в условиях подземных горных выработок. Кроме того, метод пытаются использовать для диагностики возникновения цунами, вулканов - и грязеизвержения, оползнеобразования, устойчивости значительных протяженных тоннелей, подземных хранилищ и т.д. Метод основан на возникновении при трещинообразовании, не только акустических, но и электромагнитных волн и назван методом ЭМИ – электромагнитного излучения. Одним из преимуществ этого метода является его бесконтактность.

Научная значимость рассматриваемой проблемы заключается в расширении представлений о процессе разрушения горных пород и массивов, развитии теоретических представлений о механизмах возникновения электромагнитного излучения в процессе трещинообразования, установлении новых закономерностей в структуре, параметрах и спектральных характеристиках сигналов ЭМИ применительно к диагностике землетрясений и динамических проявлений горного давления в подземных горных выработках.

Одним из преимуществ этого метода является его мобильность и бесконтактность. Основная цель работы – разработка прогнозных критериев разрушения на основе регистрации и анализа характеристик сигналов ЭМИ на различных этапах нагружения.

Методика проведения экспериментов на образцах горных пород включала одноосное нагружение образцов до разрушения на прессе усилием до 300 кН с одновременной синхронной регистрацией сигналов ЭМИ и нагружения. Сигналы ЭМИ принимались расположенными вблизи образца антеннами, а затем через усилитель подавались на один из каналов системы регистрации и обработки информации, представляющей собой IBM – совместимый компьютер и четырехканальное 12-ти разрядное АЦП.

Проведены серии испытаний на образцах хрупких (диабазы) и пластичных (мрамора) горных пород. По результатам экспериментов были построены графики изменения нагрузки и сигналов ЭМИ, который позволил выявить особенности в параметрах и структуре сигналов ЭМИ на различных этапах нагружения, что легло в основу разработанных прогностических характеристик процесса разрушения горных пород [3, 4].

На рис. 1 представлена осциллограмма сигналов ЭМИ (вверху) и нагрузки (внизу) на стадии, предшествующей моменту нарушения сплошности образца диабазы. Из анализа осциллограммы следует, что по мере приближения образца к моменту нарушения сплошности, изменяются параметры электроэмиссионных сигналов, увеличиваются как амплитудные значения, так и количество сигналов ЭМИ.

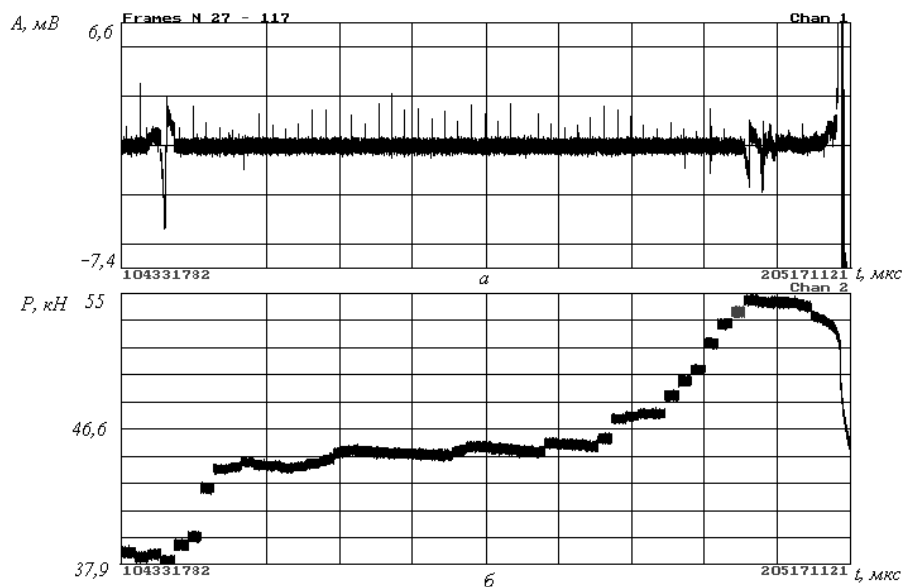


Рис. 1. Осциллограммы сигналов ЭМИ (вверху) и нагрузки (внизу) на стадии предразрушения образца мрамора

На рис. 2 представлены аналогичные осциллограммы для образца диабазы, анализ которого свидетельствует о том, что по мере приближения процесса нарушения сплошности образца диабазы происходит изменение структуры электроэмиссионных сигналов: в сигналах ЭМИ наряду с продолжающимися регистрироваться высокочастотными сигналами возникают т.н. низкочастотные огибающие, т.е. изменяется структура самих сигналов, а именно в ней возникают «квазирезонансные процессы», что может иллюстрировать прорастание и ветвление ранее незначительных по величине трещин.

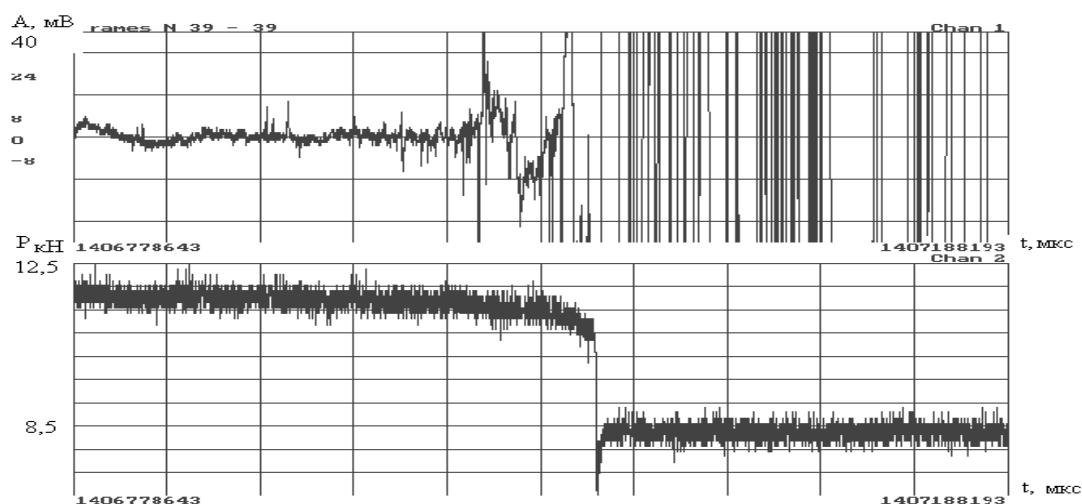


Рис. 2. Иллюстрация возникновения «квазирезонансных процессов» в структуре сигналов ЭМИ на стадии предразрушения образца диабаз

Выводы

1. Параметры сигналов ЭМИ изменяются по мере приближения исследуемого объекта к моменту нарушения его сплошности. Происходит увеличение как амплитудных значений, так и количества сигналов ЭМИ на равных временных интервалах, что свидетельствует о процессе увеличения количества трещин в исследуемом объекте.

2. Изменяется структура сигналов ЭМИ, а именно, в структуре эмиссионных сигналов появляются т.н. автоколебательные квазирезонансные процессы.

3. На основании анализа результатов лабораторных исследований разработаны и апробированы в условиях подземных горных выработок диагностические критерии разрушения, получены удовлетворительные результаты.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проекты № 11-05-00051, № 09-08-00193), ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы П. № 235, 354.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Соболев Г.А., Пономарев А.В. Физика землетрясений и предвестники. М.: Наука, 2003.

2. Курленя М.В., Вострецов А.Г., Кулаков Г.И., Яковицкая Г.Е. Регистрация и обработка сигналов электромагнитного излучения.– Новосибирск: Изд-во СО РАН.–2000.

3. М.В. Курленя, А.Г. Вострецов, Г.И.Кулаков, Г.Е. Яковицкая. Способ прогноза разрушения горных пород Патент РФ № 2229597 МПК7 Е21 С 39/00 – № 2002123946/03, заявл. 09.09.2002, опубл. 27.05.04, Бюл. № 15.–4 с ил.

4. М.В. Курленя, В.Н.Опарин, Г.И.Кулаков, Г.Е. Яковицкая. Способ прогноза разрушения горных пород А.С. 1740665 СССР МКИ 3 E21C 39/00.– №4795251/03, заявл. 05.03.90, опубл. 15.06.92 Бюл. № 22.– 5 с.: ил.

© А.А. Бизяев, А.В. Кривецкий, Г.Е. Яковицкая, А.Ю. Карпов, 2011

УДК 622.831.

А.А. Бизяев, А.В. Кривецкий, Г.Е. Яковичка

ИГД СО РАН, Новосибирск

РАЗРАБОТКА ИНКРЕМЕНТАЛЬНОГО ДАТЧИКА ИЗМЕРЕНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ В ОБРАЗЦАХ ГОРНЫХ ПОРОД В ЛАБОРАТОРНОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ

Представлен результат разработки устройства для регистрации перемещений в лабораторном эксперименте для последующей оценки изменения напряженно-деформированного состояния (НДС) образцов и сигналов сопутствующего электромагнитного излучения (ЭМИ).

A.A. Bizyaev, A.V. Krivetsky, G.E. Yakovitskaya

Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk

Krasny Prospekt 54, 630091, Russian Federation

THE DEVELOPMENT OF THE INCREMENTAL ENCODER MEASURING MOVEMENTS IN SAMPLES OF ROCKS IN A LABORATORY EXPERIMENT

The paper presents the developed device for lab-scale dislocation recording in rock samples for further assessment of variation in stress-strain state (SSS) of the samples and the concomitant electromagnetic emission (EME).

В ИГД СО РАН разработана и широко используется в лабораторных экспериментах автоматизированная система измерений АСИ-2, основу которой составляет четырехканальное двенадцатиразрядное АЦП [1]. Система предназначена для регистрации сигналов ЭМИ и нагрузки в лабораторном эксперименте. Однако известно[2,3,4], что одним из основных параметров при экспериментах как на образцах, так и в массивах является деформационные характеристики исследуемых объектов. Задачами многих экспериментаторов является исследование деформационных характеристик изучаемых объектов. В связи с этим, нами была поставлена задача по разработке устройства для измерения деформационных характеристик в образцах для последующего синхронного анализа электромагнитно- деформационных параметров в образцах.

Для этих целей было разработано устройство регистрации деформации в образцах горных пород в лабораторном эксперименте, включающее контроллер и программное обеспечение, что обеспечивает синхронную регистрацию сигналов ЭМИ, нагрузки и перемещений в лабораторном эксперименте. Здесь используется датчик перемещения, в основе которого заложена модуляция светового потока при прохождении его через измерительную линейку с нанесенными на ее поверхность рисками, как показано на рис. 1.

При этом направление перемещения определяется по характеру перехода интенсивности светового потока на двух, сдвинутых друг относительно друга на четверть раstra фотоприемниках.

Использование датчика перемещения совместно с аналого-цифровыми или цифровыми системами сбора требует преобразования приведенной выше последовательности в аналоговый сигнал или цифровой код, пропорциональный абсолютному перемещению.

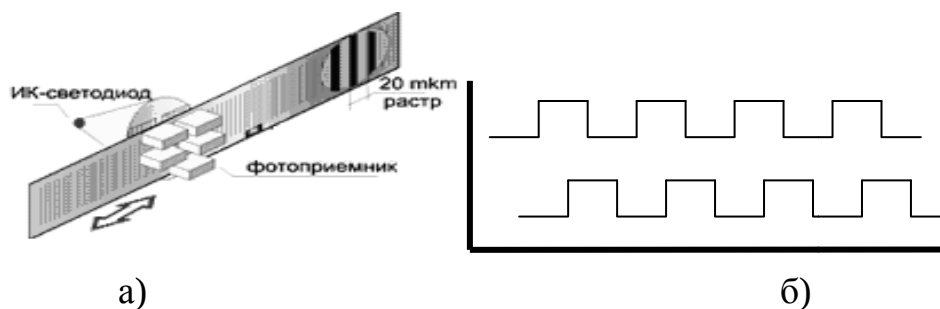


Рис. 1. Принцип измерения перемещения: а) измерительная линейка датчика перемещения б) диаграмма смены состояний выходов датчика перемещения

Разработанный контроллер позволяет преобразовать сигналы инкрементального датчика в непрерывную аналоговую величину, синхронно меняющуюся с перемещением штока датчика в заданном направлении и с заданным коэффициентом масштабирования, а также формировать двоичный эквивалент положения датчика с последующей передачей по последовательному каналу.

Функционально устройство представляет собой два независимых канала, включающих в себя сдвига-шифрации, счетчик, сдвиговый (масштабирующий) регистр, цифро-аналоговый преобразователь и фильтр. Общим для двух каналов является последовательный интерфейс, используемый для опроса комбинации на выходе сумматора персональным компьютером. На рис. 2. представлена функциональная схема одного канала преобразователя, часть которого реализована микроконтроллером общего назначения программно.

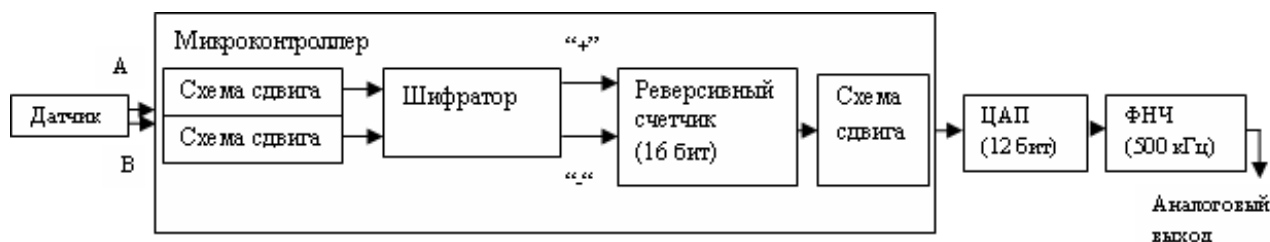


Рис. 2. Функциональная схема одного канала преобразователя

На рис. 3 представлен внешний вид датчика перемещений с контроллером, подключенными к ноутбуку.

Технические характеристики контроллера:

- Число подключаемых датчиков – 2

- Логические уровни интерфейса датчиков – ТТЛ
- Максимальная скорость перемещения рабочей части датчика 1мкм/мкс
- Разрядность счетчика приращений – 16
- Число аналоговых каналов – 2
- Разрядность цифро-аналоговых преобразователей – 12
- Динамический диапазон цифро-аналогового преобразователя – 0..5 В
- Коэффициенты преобразования – 8;4;2;1;0.5;0.25;0.125
- Управление коэффициентами преобразования по каналам – независимое
- Хранение коэффициентов преобразования – энергонезависимое
- Тип интерфейса – RS232
- Скорость обмена по последовательному интерфейсу – 115200 бод
- Напряжение питания – 7..12 В
- Потребляемая мощность (без датчиков) – 3 Вт
- Рабочий диапазон температур – – 40..50°C

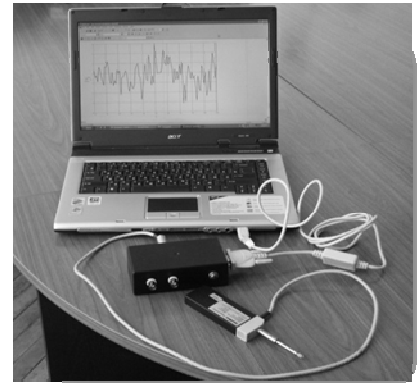
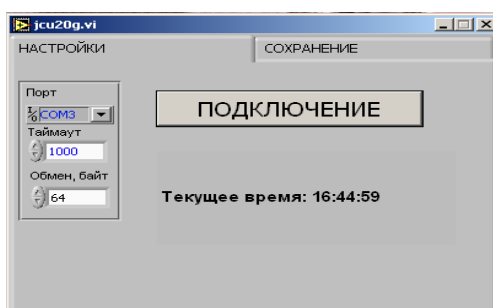


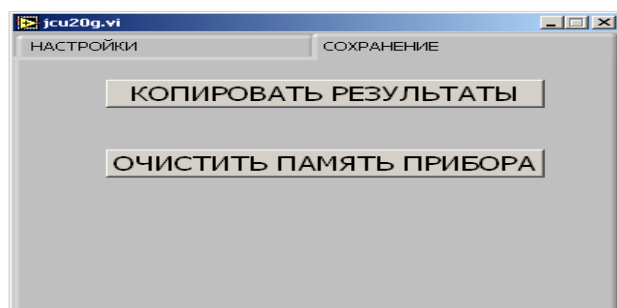
Рис. 3. Внешний вид прибора с подключенным датчиком перемещения

Разработанное программное обеспечение позволяет с помощью персонального компьютера производить настройку коэффициентов преобразования независимо для каждого канала, а также наблюдать за показаниями каждого датчика в реальном масштабе времени (рис. 4). Программное обеспечение позволяет также с помощью персонального компьютера производить считывание и визуализацию накопленных результатов регистрации. На рис. 4, а представлен интерфейс программы конфигурации, на рис. 4, б, в – интерфейсы программы копирования с устройства и визуализации накопленных данных на экране.

а



б



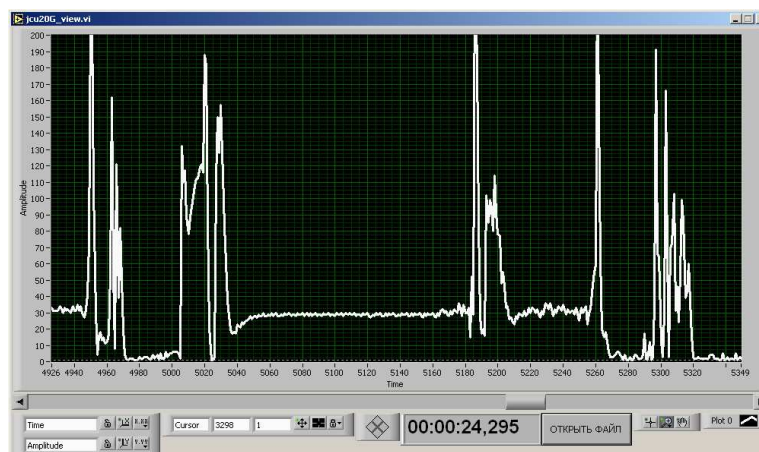


Рис. 4. Интерфейс программного обеспечения

На рис. 5 представлен пресс с датчиком MS-30. Разработаны различные модификации конструкций сопряжения датчика с образцами различной конфигурации для возможности измерения продольных или поперечных перемещений.



Рис. 5. Внешний вид датчика продольных перемещений в стенде при эксперименте на образце розового мелкозернистого мрамора

Датчик позволяет измерять величины перемещений в образце до 1 мкм в продольном либо поперечном направлении относительно оси образца.

Канал регистрации перемещения позволяет существующей системе АСИ-2 синхронно регистрировать совместно с деформационными характеристиками напряжения в образце и сопутствующее ЭМИ-излучение, что позволит выявить новые закономерности в образце на стадиях предразрушения.

Проведены тестовые измерения сигналов ЭМИ, нагрузки и деформации, на образцах диабазов, мраморов, кварцах, получены хорошие результаты.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проекты № 11-05-00051, № 09-08-00193), ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы П. №№ 235, 354.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Курленя М.В., Вострецов А.Г., Кулаков Г.И., Яковицкая Г.Е. Регистрация и обработка сигналов электромагнитного излучения // Новосибирск: Изд-во СО РАН. – 2000. – 232 с.
2. Разрушение // под ред. Г. Либовица. – Т. 2. – М.: Изд. «Мир». – 1975. – 763 с.
3. Садовский М.А., Болховитинов Л.Г., Писаренко В.Ф. Деформирование геофизической среды и сейсмический процесс // М.: Наука. – 1987.
4. Гельман М.М. Аналого-цифровые преобразователи для информационно-измерительных систем // М.: Изд-во стандартов. – 1989. – 320 с.
5. Воробьев А.А., Завадовская Е.К., Сальников В.Н. Изменение электропроводимости и радиоизлучения горных пород и минералов при физико-химических процессах в них // Доклады АН СССР. – 1975. – Т. 220. – № 1. – С. 82 – 85.

© А.А. Бизяев, А.В. Кривецкий, Г.Е. Яковицкая, 2011

УДК 622.352.1:622.356.4:658.589:622.238.52

В.Н. Опарин, Д.А. Цыганков

ИГД СО РАН, Новосибирск

РАЗРУШЕНИЕ ХРУПКИХ МАТЕРИАЛОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПЛАСТИЧНЫХ ВЕЩЕСТВ – НОВОЕ НАПРАВЛЕНИЕ В ДОБЫЧЕ И ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКЕ ПРИРОДНОГО КАМНЯ

Рассматривается история возникновения и основные принципы способа направленного разрушения хрупких материалов с применением пластичных веществ. Приводятся краткие данные по добыче природного камня в различных регионах мира. Указываются основные области применения технологии разрушения камня естественного и искусственного происхождения с применением пластичных веществ, а также её основные достоинства.

V.N. Oparin, D.A. Tsygankov

Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk
Krasny Prospekt 54, 630091, Russian Federation

DESTRUCTION OF FRAGILE MATERIALS WITH THE APPLICATION OF PLASTIC SUBSTANCES – A NEW DIRECTION IN THE EXTRACTION AND PREPROCESSING OF A NATURAL STONE

It is considered the history of occurrence and main principles of the way of the directed destruction of fragile materials with the application of plastic substances. It is cited the short data on extraction of a natural stone in various regions of the world. There are specified the basic scopes of the technology of the destruction of a stone of a natural and artificial origin with the application of plastic substances and also its basic advantages.

1. Разрушение горных пород направленными трещинами.

В ИГД СО РАН развиваются несколько методов разрушения природного камня, основанных на различных основополагающих принципах. Идея одного из них была сформулирована О. И. Черновым и включает в себя формирование ориентированных щелей в массиве горных пород при его гидравлическом разрушении. Им же введён термин «ориентированный флюидоразрыв». Первоначально метод разрабатывался в целях управления труднообрушаемыми кровлями в угольной промышленности Кузбасса [1].

Несколько позднее сотрудником лаборатории «Нетрадиционных геотехнологий» Н. Г. Кю было предложено использовать пластичные вещества в ориентированном флюидоразрыве горных пород [2]. Им же предложен и опробован динамический вариант этого способа, а в ходе выполнения экспериментов по разрушению хрупкой среды пластичными веществами

установлена возможность управления процессом формирования направленной трещины [3].

В настоящий момент в ИГД СО РАН разрабатывается технология ведения горных работ по отбойке блоков камня с применением клиновых методов и пластичных веществ при их ударном вытеснении из шпуров в формируемые трещины [4]. Данная технология включает использование специально подбираемых пластичных веществ с высокой динамической вязкостью (типа пластилина), внедряемых в разрушаемый массив через шпуры или скважины посредством специальных ударных инструментов. При этом на стенках шпуров или скважин во время процесса вытеснения пластичного вещества или до него формируются специальные надрезы, выполняющие роль концентраторов напряжений, что позволяет проводить процесс разрушения при значительно меньших ударных нагрузках. Применение пластичного вещества, в таком случае, обеспечивает направленное развитие магистральных трещин, что обеспечивает возможность решения ряда задач горного производства.

Принципиальная схема формирования направленной и ненаправленной продольной и поперечной трещин при статическом и динамическом вытеснении пластичного вещества из шпуров приведена на рисунке [4].

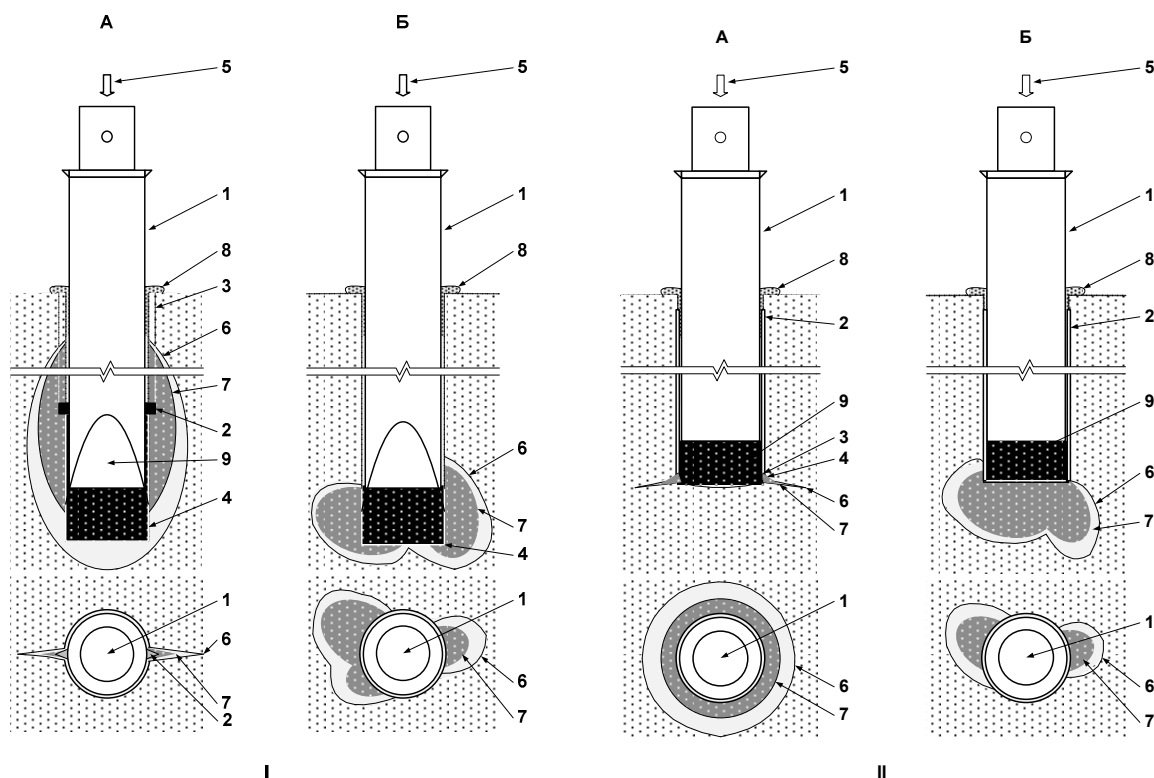


Рис. Принципиальные схемы формирования направленной А и ненаправленной Б продольной I и поперечной II трещины при статическом и динамическом вытеснении пластичного вещества из шпура.

I: 1 – цилиндрическая штанга; 2 – вставка (вставки) из твёрдого сплава; 3 – борозды-концентраторы напряжений; 4 – шпур, заполненный пластичным веществом; 5 – направление приложения нагрузки; 6 – фронт трещины; 7 – фронт зоны заполнения трещины пластичным веществом; 8 – герметизирующая

пробка из сыпучего материала; 9 – клиновидный наконечник. II: 1 – цилиндрическая штанга; 2 – труба, заполненная пластичным веществом; 3 – внутренняя коническая фаска; 4 – иницирующая щель дисковой формы; 5 – направление приложения нагрузки; 6 – фронт трещины; 7 – фронт зоны заполнения трещины пластичным веществом; 8 – герметизирующая пробка из сыпучего материала; 9 – шпур

2. Краткие сведения о добыче природного камня в мире.

С целью упорядочивания имеющихся статистических данных добычу природного камня целесообразно разделить на четыре основные категории, с которыми связаны наибольшие объёмы его производства: А – гранит в блоках; В – мрамор в блоках; С – базальт, кварц, кварцит, серпентин и сланец; D – дроблёный камень и щебень. Сведения по добыче природного камня в ряде стран приводятся в таблице [5].

Таблица. Добыча природного камня в мире, тыс. т/г.

Годы	Австралия		Афганистан		Индия	КНР		Иран			
	С	D	В	С		А	В	А	В	С	D
2000	30	95	582	20	321	296700	75200	200	7110	500	12650
2004	26	108	903	4	323	315100	96000	835	4014	935	21383
2007	28	112	1200	5	300	345370	120220	1355	5100	1450	28952

Годы	Испания			Италия				ФРГ	
	А	В	С	А	В	С	D	С	D
2000	1188	3687	10599	100	3125	4400	1530	100095	200000
2004	1400	5000	12540	100	3125	4400	1530	100095	200000
2007	1550	4870	12658	100	3125	4400	1530	200342	85300

Годы	США			Аргентина				Бразилия	
	А	В	D	А	В	С	D	В	D
2000	1100	64	92	49	218	2700	18495	100	65980
2004	159	103	139	57	99	4076	27784	100	65980
2007	144	145	200	76	140	4224	24342	100	65980

Годы	ЮАР		Канада	Египет			
	А	D		А	В	С	D
2000	649	23849	139188	80	280	600	24000
2004	527	21961	127559	80	280	650	22000
2007	647	23456	126775	85	240	620	24000

Мировым лидером по добыче камня в блоках является КНР. В 2007 г. в этой стране добыто и реализовано 470 млн. т такого камня. Второе место с небольшим отличием друг от друга занимают Иран, Испания и Италия. Основными недостатками большинства камня, производимого в КНР, являются его сравнительно низкое природное качество (внутренние трещины), невысокая популярность многих расцветок, а также низкое качество поверхностей изделий, поставляемых с заводов по обработке камня потребителям. В Европе

наибольшее производство камня в блоках приходится на Испанию и Италию, в 2007 г там добыто и реализовано 200,3 млн. т. По дроблёному камню первое место принадлежит ФРГ, где в период с 2000 г по 2004 г его добывалось по 200 млн. т/ г. В Латинской Америке первенство принадлежит Аргентине (267 тыс. т/ г) и Бразилии (66 млн. т/ г).

Суммарная добыча природного камня по 14 странам составляет: в 2000 г. – 1,9 млрд. т; в 2004 г – 0,7 млрд. т; в 2007 г – 1,2 млрд. т. Таким образом, суммарная добыча природного камня в мире соизмерима с добычей угля и превышает добычу железной руды. В России добыча камня в блоках не превышает 400-450 тыс. т в год. Потребность в такой продукции покрывается за счёт импорта из КНР, Украины, Казахстана и Турции.

3. Технология разрушения камня естественного и искусственного происхождения с применением пластичных веществ и основные области её применения.

Разрабатываемая в ИГД СО РАН новая технология ведения горных работ по отбойке блочного камня на основе клинового способа включает использование в процессе добычи камня пластичных веществ в сочетании с ударной нагрузкой [4, 5].

Широкое применение взрывных работ при добыче блочного камня сдерживается, во-первых, наличием в массиве природных трещин и, во-вторых, при взрывных работах в массиве горных пород и в отбиваемых блоках всегда формируются дополнительные трещины, что приводит к большим отходам добытого материала. Предлагаемый метод позволяет проводить отбойку блоков при наличии трещин в массиве горных пород, а также при пассивировке отбитых блоков в условиях карьеров.

Экспериментальные исследования рассматриваемого способа проведены на ряде карьеров по добыче природного камня в Новосибирской области. Помимо отбойки блочного камня разработанная технология опробована на различных видах негабаритов известняка, мрамора, гранита и песчаника. Дополнительно к этому метод эффективен при добыче слюды и драгоценных камней, а также в местностях, где должно быть исключено применение взрывных работ [4, 5]. Разработаны варианты использования рассматриваемого способа при отбойке блочного камня в условиях подземных горных работ. В частности, разработан почвоуступный вариант одноуступномногослоевой технологической схемы добычи блочного камня малой прочности. Предложен вариант технологической схемы «камера-лава» добычи блочного камня малой прочности [6].

Выводы

1. В мире наблюдается общее наращивание объёмов добычи природного камня всех видов. При этом Западная Европа, Северная Африка и Ближний Восток уступают лидерство Азиатскому региону, в котором лидерство принадлежит КНР.

2. Добыча природного камня во всём мире ведётся при неуклонно ухудшающихся горнотехнических и горногеологических условиях, что требует

усовершенствования имеющихся, а также разработки и внедрения новых технологий его отбойки.

3. Одной из таких новых технологий является разрабатываемая в ИГД СО РАН технология отбойки блоков камня с применением пластичных веществ, эффективная в трещиноватых горных породах, пригодная для разрушения камня любой известной прочности и обеспечивающая ровную плоскость откола. При этом она сохраняет естественные свойства природного камня, а рекомендуемые пластичные вещества имеют низкую себестоимость при отсутствии необходимости разработки и изготовления специальных дорогостоящих технических средств.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чернов О. И., Черкасов В. С., Горбачёв А. Т. Движение жидкости в угольных пластах. – Новосибирск: Наука. – 1981. – 129 с.
2. А. с. 1535992 СССР, МКИ G 01 В 7/32, Е 21 С 39/00. Способ ориентированного гидроразрыва горных пород / Курленя М. В., Чернов О. И., Кю Н. Г. [и др.]. Заявл. 29.08.85. Опубл. 28.02.88. БИ № 2.
3. Кю Н. Г., Цыганков Д. А. Направленное разрушение пластичным веществом // Изв. вузов. Строительство. – 2003. – С. 130-133.
4. Цыганков Д. А. Разработка основ технологии отбойки блочного камня с применением пластичных веществ. Автореф. дисс. д. т. н. по спец. 25.00.22. – Новосибирск: ИГД СО РАН. – 2010. – 38 с.
5. Цыганков Д. А. Разработка основ технологии отбойки блочного камня с применением пластичных веществ. Дисс. д. т. н. по спец. 25.00.22. – Новосибирск: ИГД СО РАН. – 2010. – 328 с.
6. Цыганков Д. А. Новая технология подземной добычи природного камня // Изв. вузов. Горный журнал. – 2005. – С. 25-29.

© В.Н. Опарин, Д.А. Цыганков, 2011