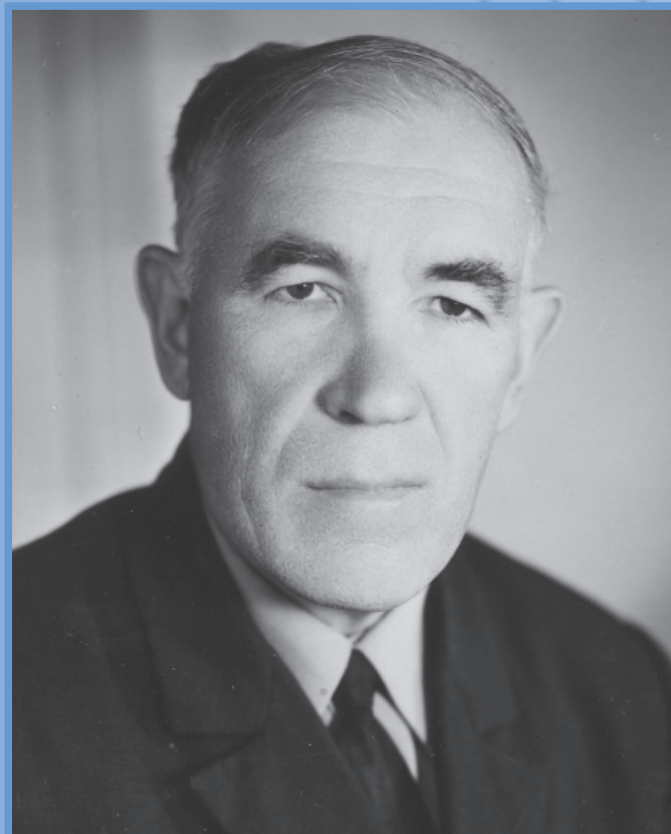


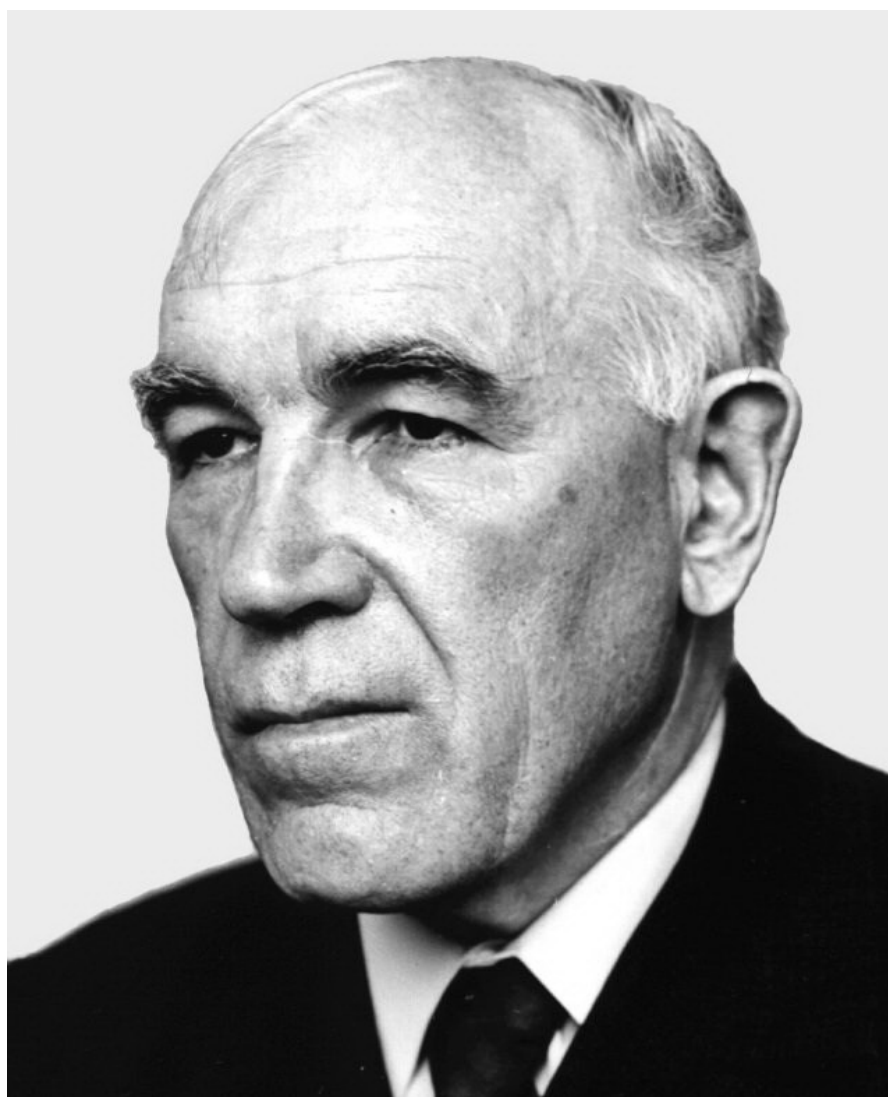
НАУЧНЫЙ СОВЕТ РАН
ПО ПРОБЛЕМАМ ПРИКЛАДНОЙ ГЕОФИЗИКИ
ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ СЛУЖБА РАН
ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ УРО РАН
ПЕРМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПЕРМСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ ЕВРО-АЗИАТСКОГО
ГЕОФИЗИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА

ВОПРОСЫ ОБРАБОТКИ И ИНТЕРПРЕТАЦИИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Материалы конференции,
посвященной
100-летию со дня рождения
Александра Кирилловича Маловичко



Обнинск–Пермь
2012



Александр Кириллович Маловичко
1911 – 1996

А. Маловичко

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ РАН
ПО ПРОБЛЕМАМ ПРИКЛАДНОЙ ГЕОФИЗИКИ
ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ СЛУЖБА РАН
ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ УРО РАН
ПЕРМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПЕРМСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ ЕВРО-АЗИАТСКОГО
ГЕОФИЗИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА**

**ВОПРОСЫ ОБРАБОТКИ
И ИНТЕРПРЕТАЦИИ
ГЕОФИЗИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ**

**МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ,
ПОСВЯЩЕННОЙ 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ
АЛЕКСАНДРА КИРИЛЛОВИЧА МАЛОВИЧКО**

ОБНИНСК–ПЕРМЬ – 2012

УДК 550.3

Вопросы обработки и интерпретации геофизических наблюдений. Материалы научно-практической конференции. – Обнинск–Пермь: ГС РАН–ПГНИУ, 2012. – 316 с.: ил.

Сборник содержит материалы, представленные на научно-практической конференции «Вопросы обработки и интерпретации геофизических наблюдений», посвященной 100-летию со дня рождения основателя пермской школы геофизиков, первого заведующего кафедрой геофизики Пермского государственного университета, доктора технических наук Александра Кирилловича Маловичко, состоявшейся в г. Перми 27–28 октября 2011 года.

Рассматривается широкий круг вопросов современной геофизики.

Публикуемые материалы представляют интерес для геофизиков, сейсмологов, геологов и других специалистов в области наук о Земле.

Редакционная коллегия

Член-корреспондент РАН А.А. Маловичко (отв. редактор), С.Г. Пойгина (техн. редактор), д-р техн. наук, проф. В.И. Костицын, канд. геол.-мин. наук С.В. Горожанцев.

ISBN 978-5-903258-22-2 © Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Геофизическая служба Российской академии наук, 2012
© Пермский государственный национальный
исследовательский университет, 2012

К 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ ИЗВЕСТНОГО РОССИЙСКОГО ГЕОФИЗИКА АЛЕКСАНДРА КИРИЛЛОВИЧА МАЛОВИЧКО

¹А.А. Маловичко, член-корр. РАН, ²В.И. Костицын, д.т.н., проф.

¹*Геофизическая служба РАН, г. Обнинск*

²*Пермский государственный национальный
исследовательский университет, г. Пермь*

Аннотация. Маловичко Александр Кириллович (1911–1996), известный российский геофизик, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники РСФСР, основатель и первый заведующий кафедрой геофизики Пермского государственного университета (1954–1989), создатель пермской научной школы геофизиков, автор более десяти классических монографий по различным вопросам гравиметрии.

Александр Кириллович Маловичко родился 12 декабря 1911 г. на Украине в селе Верещаки Черкасской области в крестьянской семье.

В семье **Кирилла Ивановича** (1873–1921) и **Евдокии Евдокимовны** (1873–1946) **Маловичко** было 12 детей. Половина из них из-за болезней и эпидемий ушла из жизни, не выйдя из детского и юношеского возраста. Наиболее заметный след оставили две дочери – **Прасковья Кирилловна** (1893–1963) и **Оксана Кирилловна** (1893–1972), а также четверо сыновей – **Макар** (1894), **Григорий** (1906), **Иван** (1909) и **Александр** (1911).

Старший сын – **Макар Кириллович** – отслужил солдатом в Первую мировую войну и умер в 1920 г. от тифа. В 1921 г., когда младшим детям было 14, 12 и 10 лет, умер отец – Кирилл Иванович. Учителя настоятельно советовали матери продолжать их обучение. Ей это удалось. В итоге все дети окончили семилетку, а средний брат – Иван – даже профтехшколу.

Старший брат – **Григорий Кириллович** – в 20-летнем возрасте уехал на Дальний Восток. После окончания разных курсов он успешно работал в различных государственных учреждениях в г. Владивосток. Долгие годы занимал высокие посты в региональном таможенном ведомстве. Он прожил до 62-летнего возраста.

Средний брат – **Иван Кириллович** – сдал экстерном экзамены на учителя. Год работал в школе, а затем активно занялся литературной деятельностью и стал известным на Украине поэтом. Опубликовал несколько поэтических сборников («Штефи», «Головам на плечах», «Соціалістична весна» и др.). Политические репрессии 30-х годов прошлого века затронули очень многих украинских литераторов, в том числе и наиболее близких друзей Ивана Кирилловича. В 1937 г. поэт **И.К. Маловичко** был арестован, репрессирован и осужден на десять лет заключения. Он умер в тюрьме от воспаления легких 26 ноября 1942 года. В 1956 г. его реабилитировали и восстановили в Союзе писателей.

Александр, по примеру среднего брата Ивана, тоже сдал экстерном экзамены на учителя и начал педагогическую деятельность сначала в школе села Велика Вовняка Тарашанского района Киевской области (1929–1930), а затем – в селе Тарасивка Звенигородского района Киевской области (1930–1931). Затем работал литературным сотрудником в редакции газеты «Соціалістичний наступ» г. Звенигородка Киевской области.

У. Р. С. Р.
ГОЛОВПРОФОСВІТА
БІЛОЦЕРКІВСЬКИЙ
ПЕДАГОГІЧНИЙ ТЕХНІКУМ
27 квітня 1929 р.
Ч. 488
м. Б.-Церква, на Київщині.

По закінченні стажу тимчасове
посвідчення повинно бути замінене
на постійне свідоцтво.

ТИМЧАСОВЕ ПОСВІДЧЕННЯ.

Видано це посвідчення Білоцерківським Педагогічним
Технікумом громадянину *Маловіткому* *Алек-*
сандрову *Кириловичу* . . . який народився
Зрудис 12 груд. . . 19 *11* року в с. *Верецькани* .
М. Миско району, *Гусятської* . . .
округу про те, що він дійсно склав . . . перед Іспитовою
Комісією при Б.-Ц. Підтехнікумі ІСПИТ на право вчителю-
вання в 4-х річній школі Соцвуху по встановленому ПКО
програму.

На підставі положення про іспити на право вчителю-
вання від 26 серпня 1926 року, № 46575/сн19 громадянин
Маловітко *А. К.* . . допускається до проходження
обов'язкового стажу однорічного в установах Соцвуху.



Член Іспитової Комісії: *Дзятелько* /Дзятелько/
Кузнецов /Кузнецов/
Черченко /Черченко/
ТВО Секретаря *Дьяконов* /Дьяконов/

В 1932 г. Александр по рекомендации старшего брата переезжает в г. Владивосток и с мая 1932 г. становится корректором и литсотрудником областной газеты «Красное Знамя» в г. Владивостоке. Его ежедневной нормой как литсотрудника было 150 строчек в газету оригинального материала. В этот период Александр встречался с очень многими интересными людьми, в том числе с руководителями предприятий и организаций Владивостока. Одна из этих встреч – с ректором Дальневосточного государственного университета – решила дальнейшую судьбу Александра. Ректор рассказал об открытии новой специальности – «Астрономия – геодезия» – и порекомендовал пойти учиться. Несколько осложняло ситуацию наличие только семилетнего образования. Однако Александр за три недели (!) закончил годичные подготовительные курсы при университете, что открыло ему дорогу в высшее учебное заведение.

С сентября 1932 г. по октябрь 1937 г. Александр Маловичко являлся студентом Дальневосточного государственного университета (г. Владивосток). Уже в студенческие годы проявились его яркие способности к самостоятельной исследовательской работе. В 1935 г. во всесоюзном сборнике «Астрономический календарь» в числе авторов, подготовивших список звезд для покрытия Луной, была названа фамилия студента II курса А.К. Маловичко. На IV курсе Александр Кириллович написал курсовую работу «Прожектерство вместо научной популяризации», посвященную критическому анализу гравиметрии. Эту работу, оформленную в виде статьи, он направил в выходивший в Москве и входивший в перечень ВАК журнал «Фронт науки и техники». Через полгода эта статья была опубликована. Для Дальневосточного госуниверситета это был первый случай публикации статьи сотрудника (в данном случае – студента) в столь солидном издании.

В 1937 г. Александр Кириллович с отличием окончил учебу по специальности «Геодезия» и, учитывая его несомненные исследовательские способности, был оставлен на работу помощником декана и ассистентом Дальневосточного государственного университета. В марте 1938 г. он поступает в аспирантуру **Астрономического института им. П.К. Штернберга Московского государственного университета** (г. Москва) и занимается анализом данных по Московской гравитационной аномалии.



По результатам исследований он подготовил диссертацию на тему «**Об интерпретации гравитационных аномалий**» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, которую успешно защитил на заседании Ученого совета механико-математического факультета МГУ 26 мая 1941 г. (ровно за месяц до Великой Отечественной войны). Официальными оппонентами по его диссертации были известные ученые доктор физико-математических наук, профессор **Л.В. Сорокин** и кандидат физико-математических наук, доцент **Н.Н. Парийский**.

После защиты диссертации Наркомпрос РСФСР направил А.К. Маловичко работать в **Иркутский государственный университет**, где он был сразу же назначен на должность доцента кафедры геодезии и картографии (1941–1944). Затем в течение 10 лет являлся доцентом кафедры астрономии и гравиметрии **Новосибирского института инженеров геодезии, аэросъемки и картографии** (1945–1954). В это время он опубликовал целый ряд оригинальных работ по вопросам геодезии и гравиметрии, в том числе солидный учебник «**Элементы геодезии и картографии**» (1948) [1, 2 в «Списке научных трудов профессора А.К. Маловичко» в наст. сб.].

ВЫ П И С К А

из протокола № 43 заседания Совета Московского ордена Ленина
Государственного Университета им. М. В. Ломоносова
от 26-го мая 194 I г.

(Подлинник протокола находится в делах Совета МГУ)

Слушали: 5. Об утверждении МАЛОВИЧКО Александра Кирилловича в ученой степени кандидата физико-математических наук, на защитившего диссертацию.

Постановили: Утвердить МАЛОВИЧКО Александра Кирилловича в ученой степени кандидата физико-математических наук на основании защиты 22 мая 1941г. при Совете секции астрономии Механико-математического факультета Московского ордена Ленина Государственного университета им. М. В. Ломоносова диссертации на тему: "Об интерпретации гравитационных аномалий".

Председатель Совета
Московского ордена Ленина Государственного
Университета им. М. В. Ломоносова

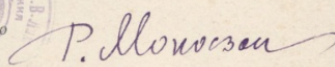
проф. А. С. Бутягин

Ученый секретарь Совета

Р. И. Монозон.

Верно:

Ученый секретарь Совета
Московского ордена Ленина Государственного
Университета им. М. В. Ломоносова



№ 5. VI _____ 194 / г.

Выписка из приказа № 260-К

по Молотовскому государственному университету им. А. М. Горького
от 24 июня _____ м-ца 195 3 г.

§ 2.

Тов. МАЛОВИЧКО Александра Кирилловича,
назначить на должность зав. кафедрой геодезии
и черчения с 29 августа 1953 года.

ОСНОВАНИЕ: Приказ по управлению университетов
и юридических ВУЗОВ № 320 от
18 июня 1953 года.

Ректор
Молотовского государственного университета
им. Горького

(В. Туннов).

Инспектор по кадрам

Верно: Секретарь Кадры
Университета

1951-343

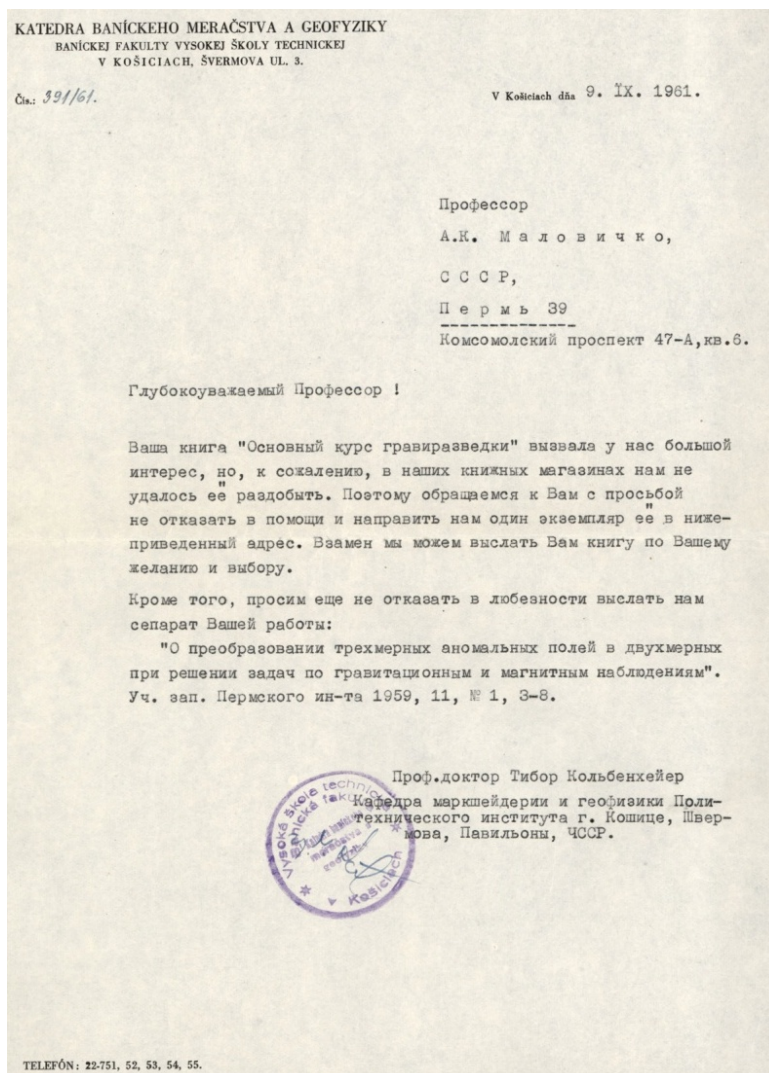
В 1954 г. А.К. Маловичко был избран по конкурсу на должность заведующего кафедрой геофизики, организованной в Пермском государственном университете. С этого времени вся его последующая жизнь и работа (в течение 42 лет) были неразрывно связаны с Пермским университетом, при этом 35 лет он был заведующим кафедрой. В течение семи лет (с августа 1955 по февраль 1962 г.) он одновременно исполнял обязанности декана геологического факультета.

Период 1950–1960 гг. был исключительно плодотворным для А.К. Маловичко.

В 1956 г. Александр Кириллович издает в Москве монографию «Методы аналитического продолжения аномалий силы тяжести и их приложения к задачам гравиразведки» [3], которая определила новое научное направление – аналитическое продолжение аномалий – и кардинальным образом расширила возможности интерпретации в гравиметрии. На тот период времени это была единственная в советской геофизической литературе монография по этим вопросам.

В 1958 г. он издает еще одну монографию – «Проблемы и задачи геодезической гравиметрии» [4], в которой он развертывает научную дискуссию с членом-корреспондентом АН СССР М.С. Молоденским.

В 1960 и 1962 гг. Александр Кириллович выпускает классический учебник «Основной курс гравиразведки» в двух томах [5, 6]. На тот период это был единственный в СССР современный учебник по гравиметрии. Высокая востребованность учебника обусловила необходимость его повторного издания (в 1966 и 1968 гг.) в переработанном и дополненном виде [7, 9].



Для нескольких поколений советских геофизиков «Основной курс гравиразведки» стал настольной книгой и благодаря ему гравиразведка в 60–70-е годы прошлого века получила значительный импульс развития и заняла ведущее место в комплексе геолого-разведочных работ на многие виды полезных ископаемых. Фактически уже в начале 1960-х годов высокий авторитет А.К. Маловичко в области теории и практики гравиметрии был общепризнан. Его учебник был востребован не только во всех республиках СССР, но и во многих странах социалистического содружества.

В это время к Александру Кирилловичу по различным вопросам обращались специалисты в области разведочной геофизики, и прежде всего гравиметристы, из самых разных регионов СССР. А.К. Маловичко всегда находил время для обстоятельных ответов и консультаций на все обращения. К примеру, он дал согласие на научное руководство геофизиком-гравиметристом Ю.С. Шманенко из Узбекистана. Этот контакт получился чрезвычайно плодотворным – Ю.С. Шманенко стал кандидатом наук, затем доктором, а в последующие годы возглавил в Узбекистане направление работ, связанное с повышением эффективности гравиметрической разведки в горных районах.

У В А Ж А Е М Ы Й
АЛЕКСАНДР КИРИЛЛОВИЧ !

Я, Шманенко Ю.С., инженер-геофизик, имеющий достаточно большой опыт работы в разведочной геофизике, особенно в области магниторазведки и гравиразведки, в настоящее время готовлюсь поступить в заочную аспирантуру.

Предполагаемую диссертационную работу я хочу посвятить "Вопросам геологической эффективности изучения гравитационного поля в горных районах Узбекистана", с освещением особенностей методики полевых работ, обработки и интерпретации результатов гравиметрических наблюдений и с представлением определенных геологических выводов по конкретным горным массивам. Все это – на основании региональных гравиметрических работ, т.к. в настоящее время горные районы исследуются гравиметровой съемкой масштаба 1:500000.

В связи с этим прошу Вас дать согласие быть моим научным руководителем.

Мною поданы документы для поступления в заочную аспирантуру в Институт геологии АН Уз.ССР.

Администрация Института предложила мне предварительно заручиться согласием известного специалиста-гравиметриста – быть моим научным руководителем, т.к. в АН Уз.ССР / и, вообще, в Средней Азии / нет научных работников-гравиметристов.

Убедительно прошу Вас дать свое согласие, после чего Институт геологии АН Уз.ССР заключит с Вами соответствующее соглашение.

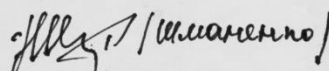
Ответ прошу прислать по адресу:

Ташкентская область,
Пос.Орджоникидзе, п/о Б,
Центральная стационарная геофизическая партия
Узгеофизтреста.

Шманенко Ю.С.

10 мая 1963 г.

С уважением



Закономерно, что в 1962 г. Ученый совет Пермского госуниверситета вышел с ходатайством о присуждении ученого звания профессора Александру Кирилловичу (*без ученой степени доктора наук*), и **ВАК утвердил его в этом звании** в том же 1962 году.

В 1967 г. известные украинские ученые профессора А.А. Юньков и К.Ф. Тяпкин предложили А.К. Маловичко защиту докторской диссертации в форме научного доклада по опубликованным работам на **Ученом совете Днепропетровского горного института**. Александр Кириллович с благодарностью принял это предложение. Он подготовил научный доклад на тему **«Исследования по вопросам гравиметрической разведки»** и в 1968 г. после успешной защиты на Ученом совете ДГУ ему была присвоена **ученая степень доктора технических наук**. Тогда ему было 57 лет, хотя, по существу, его научный уровень как доктора наук сложился значительно раньше.

В 1967 г. в соавторстве с Н.И. Дергачёвым и М.С. Чадаевым он публикует монографию **«Детальные гравиметрические наблюдения при разведочных работах на нефть и газ»** [8]. Эта монография была исключительно актуальной, поскольку обобщала широко востребованный опыт проведения детальных гравиметрических разведочных работ на нефть и газ. Главной особенностью этих работ было решение принципиально новых задач, связанных с выделением и интерпретацией малоинтенсивных гравитационных аномалий.

Основные научные работы А.К. Маловичко посвящены развитию широкого круга фундаментальных теоретических и методических основ гравиметрического метода: аналитическому продолжению аномалий силы тяжести, высшим производным гравитационного потенциала, учету поправок за влияние рельефа, методике гравиметрической съемки, исследованию ошибок определения аномалий, выделению локальных полей. Много внимания А.К. Маловичко уделял развитию высокоточной гравиразведки. Он многократно отмечал, что неправомерно рассматривать детальную гравиразведку в качестве крупномасштабного варианта региональной гравиметрической съемки. Если в основе региональной съемки лежит принцип равномерной точности, то перенесение его на детальную гравиразведку вступает в противоречие с ее целями и задачами. При детальной гравиразведке необходимо ориентироваться на принцип **максимальной локальной точности между соседними пунктами**, то есть на достижение высокой точности на каждом приращении. Разработанная им методика измерения отдельных приращений (МИОП) стала на долгие годы основным методом высокоточной гравиразведки во многих регионах СССР.

К середине 70-х годов прошлого века стало общепризнанным, что благодаря активной и многогранной деятельности Александра Кирилловича и его учеников, работавших в различных научных и производственных организациях Западного Урала, в Перми сформировалась исключительно сильная школа геофизиков. Эта школа фактически стала полноценным региональным научным геофизическим центром и составила достойную компанию известным в то время центрам – Московскому, Ленинградскому и Днепропетровскому. Если иметь в виду **гравиметрическое** направление, то его уровень после успешных защит в 1974 и 1975 гг. двух докторских диссертаций – С.А. Шиховым и В.М. Новоселицким – позволил говорить о лидирующих позициях этого направления, как в СССР, так и в последующем в Российской Федерации.

В последующие годы столь же динамичное развитие получили и другие направления пермской школы геофизики – **сейсмическое** (а затем и **сейсмологическое**), **электроразведочное**, **геофизические исследования скважин** и целый ряд других (см. статью В.И. Костицына в настоящем сборнике).

А.К. Маловичко являлся **основателем и главным редактором** кафедрального, а затем межведомственного и межвузовского сборника научных трудов с 1959 по 1989 г. (**25 выпусков**), который был включен специалистами в число **15 наиболее известных сборников** мировой геофизической информации. Сборник научных трудов

издавался с 1959 г. под названием «**Вопросы обработки и интерпретации геофизических наблюдений**», а с 1979 г. – как межвузовский сборник научных трудов под названием «**Геофизические методы поисков и разведки месторождений нефти и газа**». Благодаря публикациям в этом сборнике многие десятки пермских (и не только пермских) геофизиков сделали свои первые шаги на научном поприще. Александр Кириллович был непревзойденным редактором и многие авторы сборника получили бесценные уроки научного «правописания», о которых спустя многие годы вспоминали с искренней благодарностью.

Под руководством Александра Кирилловича **кафедра геофизики ПГУ за 42 года** работы подготовила более **2300 инженеров-геофизиков**, многие из них работают ведущими специалистами, главными инженерами и генеральными директорами производственных объединений, экспедиций и геофизических организаций не только в Российской Федерации, но и во многих других республиках бывшего СССР.

Кафедра геофизики первой в Пермском университете создала филиалы в производственной и научно-исследовательской организациях: в 1984 г. – в **ОАО «Пермнефтегеофизика»** и в 1990 г. – в **Горном институте Уральского отделения Российской академии наук**.

Из его учеников **один стал членом-корреспондентом РАН** – А.А. Маловичко (2003); **12 человек – докторами наук**: С.А. Шихов (1974), В.М. Новоселицкий (1975), Р.П. Савёлов (1988), В.А. Силаев (1988), А.А. Маловичко (1991), В.И. Костицын (1992), М.С. Чадаев (1994), О.Л. Горбушина (1997), В.А. Гершанок (1999), М.Г. Губайдуллин (2004), А.И. Губина (2007), С.Г. Бычков (2011).



**Профессор А.К. Маловичко и его научная школа
(12 декабря 1986 г. – 70-летний юбилей учителя)**

Сидят: доц. Н.И. Дергачев, доц. О.Л. Горбушина, проф. С.А. Шихов, проф. А.К. Маловичко, проф. В.М. Новоселицкий, к.г.-м.н. Л.К. Орлов; стоят: проф. М.С. Чадаев, к.г.-м.н. Е.В. Ахматов, доц. В.А. Березнев, доц. В.А. Гершанок, проф. В.И. Костицын, проф. В.А. Силаев, доц. Р.П. Савёлов, д.г.-м.н. С.Г. Бычков, доц. С.В. Горожанцев

Под научным руководством А.К. Маловичко **защитили кандидатские диссертации 25 человек**: С.А. Шихов (1966), В.М. Новоселицкий (1966), О.Л. Горбушина (1967), М.С. Чадаев (1967), Л.К. Орлов (1972), В.А. Силаев (1972), В.А. Гершанок (1972), Л.П. Неволин (1973), Ю.А. Сусеков (1974), В.И. Костицын (1975), Р.П. Савёлов (1975), Ю.С. Шманенко (1975), В.А. Березнев (1976), В.К. Серов (1978), Е.В. Ахматов (1980), Е.Ф. Безматерных (1981), М.Г. Губайдуллин (1981), В.М. Мегеря (1982), Е.И. Мурашко (1982), С.Г. Бычков (1982), С.В. Горожанцев (1986), В.Л. Благиных (1988), Л.А. Гершанок (1990), В.М. Ласкин (1990), А.В. Горожанцев (1990).

Александр Кириллович является автором и соавтором 17 монографий, учебников и учебных пособий (см. «Список научных трудов профессора А.К. Маловичко» в наст. сб.), в том числе фундаментального двухтомника (два издания) «Основной курс гравиразведки» (1960, 1962 и 1966, 1968), монографий «Методы аналитического продолжения аномалий силы тяжести и их приложения к задачам гравиразведки» (1956), «Детальная гравиразведка на нефть и газ» (1979, 1989), «Использование высших производных при обработке и интерпретации результатов геофизических наблюдений» (1981), учебника для вузов «Гравиразведка» (1992) и более 125 научных статей в ведущих научных журналах и сборниках бывшего СССР («Доклады АН СССР», «Известия АН СССР. Сер. геофизическая», «Геодезия и картография», «Разведочная и промысловая геофизика», «Разведка недр», «Разведочная геофизика», «Прикладная геофизика», «Разведка и охрана недр», «Геофизическая разведка», «Нефтегазовая геология и геофизика» и др.).

Влияние А.К. Маловичко на развитие геофизики, и гравиметрии в частности, очень точно охарактеризовал **В.И. Старостенко, директор Института геофизики НАН Украины, академик НАН Украины (г. Киев)**: *«Творческая активность профессора А.К. Маловичко была чрезвычайно высокой и продолжительной. На протяжении многих десятков лет в геофизический мир мощно и стремительно врвался поток его статей, монографий и учебников. Они не могли не обращать на себя внимания специалистов по трем причинам: 1) вопросы, которые рассматривались в работах, были актуальны; 2) диапазон решаемых задач отличался широтой (это и методика проведения полевых работ, обработка и интерпретация данных наблюдений, геодезическая гравиметрия и т.д.); 3) общий объем публикаций значительно превышал обычные стандарты. Но помимо этого (наряду с активнейшей педагогической деятельностью) очевидного влияния А.К. Маловичко на состояние и развитие гравиметрии, было еще одно, не видимое для постороннего глаза. Оно стимулировало интерес к предмету и оставляло у специалистов глубокий след при формировании профессиональных идей и системы приоритетов»* (Старостенко В.И. Несколько слов о профессоре А.К. Маловичко и гравиметрии // Профессор А.К. Маловичко и пермская школа геофизиков. – Екатеринбург: УрО РАН, 1998).

Профессор А.К. Маловичко скончался 30 августа 1996 г., не дожив до 85-летнего юбилея три с половиной месяца. Уже прошло 15 лет, как нет с нами нашего учителя, основателя кафедры геофизики и пермской научной школы геофизиков. Мы, его ученики, искренне признательны и благодарны Александру Кирилловичу за первые навыки научной и редакторской работы, за глубокие знания и научные идеи, за отеческое отношение к нам и создание творческой атмосферы в коллективе кафедры.

В честь заслуг Александра Кирилловича в 2011 г. Пермское отделение Евро-Азиатского геофизического общества (ЕАГО) учредило **медаль «Имени выдающегося геофизика А.К. Маловичко»**. К награждению медалью представляются российские и зарубежные ученые, геофизики производственных организаций, входящие в состав Пермского отделения ЕАГО и внесшие значительный вклад в развитие, разработку, внедрение результатов геофизической науки, производства и образования.

КАФЕДРА ГЕОФИЗИКИ ПЕРМСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА В ДАТАХ И ЦИФРАХ

В.И. Костицын, д.т.н., проф.
*Пермский государственный национальный
исследовательский университет, г. Пермь*

1951 г. Открыта специальность «**Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых**» в Пермском университете. Организацией обучения по новой для Пермского университета специальности в первые годы занималась кафедра поисков и разведки месторождений полезных ископаемых (заведующий – доцент **В.А. Апродов**). Для проведения учебных занятий приглашались специалисты треста «Пермнефтегеофизика» (управляющий – **А.И. Гершанок**). Для постоянной работы был приглашен в Пермский государственный университет известный гравиметрист **Б.Ю. Козловский** (из рода поэта А.С. Пушкина; к сожалению, в апреле 1953 г. он умер). Первым преподавателем кафедры геофизики был выпускник МГУ 1953 года **М.А. Ефременков** (табл. 1).

1954 г. Основана **кафедра геофизических методов поисков и разведки полезных ископаемых (геофизики)**. Заведующим избран **А.К. Маловичко**, геодезист-гравиметрист, доцент Новосибирского института инженеров геодезии, аэро съемки и картографии. С 1 сентября 1954 г. на кафедре работали **Д.Т. Филин**, доцент Ташкентской геофизической обсерватории и **М.А. Ефременков**, ассистент. Кафедра в составе трех человек обеспечивала учебный процесс со студентами I, II и IV курсов по всем геофизическим дисциплинам. Для проведения учебных занятий по сейсморазведке штатных преподавателей не было. В связи с этим в октябре 1954 г. из Москвы был приглашен на штатную должность кандидат геолого-минералогических наук, доцент **А.К. Урупов**, проработавший на кафедре до 1966 г. (табл. 1).

1955 г. **Геолого-географический факультет разделен на два факультета: геологический и географический.** Деканом геологического факультета назначен доцент **А.К. Маловичко**. Из Перми уехал доцент Д.Т. Филин. На кафедру приглашены инженер Новосибирского аэрогеодезического предприятия **Г.И. Каратаев** и инженер-геофизик, выпускник Московского нефтяного института **Н.И. Дергачев**, работавший до этого по гравиразведке и магниторазведке в Коми АССР (табл. 1).

1956 г. В феврале 1956 г. приехал по направлению из Москвы для проведения занятий по электроразведке и геофизическим исследованиям скважин **Б.К. Матвеев**, окончивший аспирантуру в МГУ под руководством профессора А.И. Заборовского. К февралю 1956 г. кафедра была полностью укомплектована квалифицированными преподавателями.

1960 г. Открыта **аспирантура** на кафедре геофизических методов. Появилась возможность готовить аспирантов и соискателей в Пермском университете на соискание ученой степени кандидата наук.

1961 г. Разрешено открыть **вечернюю форму обучения** по специальности «Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых».

1962 г. Восстановлена **очная форма обучения студентов** по специальности «Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых» и открыта **заочная форма обучения**.

1979 г. Кафедра геофизики отметила **25-летний юбилей** со дня основания.

**Таблица 1. Список преподавателей,
работавших на кафедре геофизики в период с 1954 по 2011 год**

№	Ф.И.О.	Должность	Период работы
1	Ефременков М.А.	Ассистент	02.1954–08.1956
2	Маловичко А.К.	Зав. кафедрой, профессор	09.1954–08.1996
3	Филин Д.Т.	Доцент	09.1954–08.1955
4	Урупов А.К.	Доцент, профессор	10.1954–05.1966
5	Каратаев Г.И.	Ассистент	09.1955–08.1958
6	Дергачев Н.И.	Ассистент, ст. преподаватель, доцент	10.1955–2000
7	Матвеев Б.К.	Ст. преподаватель, доцент, профессор	02.1956–по наст. вр.
8	Кивокурцев В.И.	Ассистент	09.1962–02.1966
9	Горбушина О.Л. (Тарунина)	Ассистент, ст. преподаватель, доцент, профессор	09.1963–08.1964 09.1963–2009
10	Новоселицкий В.М.	Ассистент, профессор	09.1963–08.1964 12.1997–2000
11	Бяков Ю.А.	Ассистент, доцент	09.1964–12.1970
12	Юдин М.И.	Ассистент	09.1964–08.1966
13	Чадаев М.С.	Ассистент, профессор, председатель ГАК и ГЭК	09.1964–08.1965 1998–по наст. вр.
14	Гершанок В.А.	Ассистент, доцент, профессор	02.1966–по наст. вр.
15	Лапин С.И.	Ассистент, доцент	09.1966–08.1967 10.1970–2005
16	Спасский Б.А.	Ассистент, доцент, профессор	09.1966–по наст. вр.
17	Гершанок Л.А.	Ассистент, доцент, профессор	09.1966– по наст. вр.
18	Меновщиков В.Д.	Ассистент	09.1967–08.1969
19	Костицын В.И.	Ассистент, доцент, профессор, зав. кафедрой	03.1968–по наст. вр.
20	Савёлов Р.П.	Ассистент, доцент, профессор, зав. кафедрой	07.1968–11.09.2001
21	Скумбин И.М.	Ассистент	10.1969–09.1988
22	Березнев В.А.	Ассистент	10.1970–08.1973
23	Шувалов В.М.	Ассистент, доцент	09.1969–02.1978
24	Горожанцев С.В.	Ассистент, ст. преподаватель, доцент	10.1976–2008
25	Поносов В.А.	Ассистент, доцент	10.1976–по наст. вр.
26	Степанов Ю.И.	Ассистент, ст. преподаватель, доцент	10.1979–по наст. вр.
27	Горожанцев А.В.	Ассистент, ст. преподаватель, доцент	09.1983–по наст. вр.
28	Орлов Л.К.	Доцент, зав. филиалом кафедры в ПНГФ	10.1984–08.2008
29	Митюнина И.Ю.	Ассистент, ст. преподаватель, доцент	09.1989–по наст. вр.
30	Силаев В.А.	Профессор	09.1991–по наст. вр.
31	Виноградов А.В.	Ассистент	10.1993–2001
32	Луппов В.И.	Инженер, вед. инженер, ассистент	03.1995–по наст. вр.
33	Верхоланцев Ф.Г.	Вед. инженер, ассистент	07.1995–2000
34	Маловичко А.А.	Профессор, зав. филиалом кафедры в ГИ УрО РАН	09.1995–2009
35	Некрасов А.С.	Доцент, профессор	09.1996–по наст. вр.
36	Колесников В.П.	Профессор	09.1996–по наст. вр.
37	Санфиоров И.А.	Профессор, зав. филиалом кафедры в ГИ УрО РАН	09.1997–по наст. вр.
38	Долгаль А.С.	Профессор	2002–по наст. вр.
39	Килейко Е.С.	Доцент, зав. филиалом кафедры в ПНГФ	2001–2008
40	Цветков Г.А.	Профессор	2000–по наст. вр.
41	Савич А.Д.	Доцент	1984–по наст. вр.
42	Костливых Л.Н.	Ст. преподаватель	1996–по наст. вр.
43	Собакин Ф.И.	Ст. преподаватель	2002–по наст. вр.
44	Шумилов А.В.	Доцент	2001–по наст. вр.
45	Татаркин А.В.	Ассистент, ст. преподаватель, доцент	1999–по наст. вр.

№	Ф.И.О.	Должность	Период работы
46	Трушников Э.Б.	Доцент	1997–по наст. вр.
47	Герасимова И.Ю.	Ассистент, ст. преподаватель, доцент	1999–по наст. вр.
48	Огородова И.В.	Инженер, вед. инженер, ассистент	2002– по наст. вр.
49	Бабкин А.И.	Доцент	2003– по наст. вр.
50	Дягилев Р.А.	Ст. преподаватель, доцент	2002– по наст. вр.
51	Иванова Ю.В.	Ассистент	2003–2011
52	Блинова Т.С.	Доцент, профессор	2004–2010
53	Лаптев А.П.	Доцент, зав. филиалом кафедры в ПНГФ	2005– по наст. вр.
54	Петров Ю.П.	Профессор	2005– по наст. вр.
55	Пугин А.В.	Доцент	2007– по наст. вр.
56	Косков В.Н.	Доцент	2008– по наст. вр.
57	Губина А.И.	Профессор	2009– по наст. вр.
58	Некрасов А.Н.	Ассистент	2009– по наст. вр.
59	Пригара А.М.	Доцент	2010– по наст. вр.
60	Бычков С.Г.	Профессор	2011– по наст. вр.
61	Неганов В.М.	Профессор	2011– по наст. вр.
62	Белов С.В.	Доцент	2011– по наст. вр.

1982 г. Заведующему кафедрой геофизики, профессору **А.К. Маловичко** присвоено почетное звание «**Заслуженный деятель науки и техники РСФСР**».

1984 г. Открыт филиал кафедры геофизики в тресте «Пермнефтегеофизика». Заведующим филиалом с 1984 по 2001 г. являлся **Л.К. Орлов**, главный инженер треста, а затем доцент кафедры геофизики. С 2001 по 2008 г. заведующим был **Е.С. Килейко**, генеральный директор ОАО «Пермнефтегеофизика». В настоящее время филиалом руководит **А.П. Лаптев**, главный инженер ОАО «Пермнефтегеофизика», кандидат геолого-минералогических наук.

1989 г. Профессор А.К. Маловичко не участвовал в выборах на должность заведующего кафедрой. **Александр Кириллович** работал в должности заведующего кафедрой геофизики в течение **35 лет** (с 1954 по 1989 г.). Заведующим кафедрой избран **Р.П. Савёлов**, доктор геолого-минералогических наук, профессор.

1990 г. Открыт второй филиал кафедры геофизики в Горном институте Уральского отделения РАН. Заведующим филиалом с 1990 г. по август 2009 г. являлся **А.А. Маловичко**, заместитель директора по науке Горного института (позднее – директор Геофизической службы РАН), доктор технических наук, член-корреспондент РАН. С 1 сентября 2009 г. филиалом руководит **И.А. Санфилов**, заместитель директора по науке Горного института, доктор технических наук, профессор.

1993 г. Создан диссертационный (докторский) совет Д 063.59.02 по двум специальностям, в том числе по научной специальности **04.00.12 «Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых»** (геолого-минералогические и технические науки), приказ ВАК № 247-в от 21.07.1993 года.

1995 г. Заведующим кафедрой избран **В.И. Костицын**, доктор технических наук, профессор.

Кафедра геофизических методов поисков и разведки полезных ископаемых решением Ученого совета ПГУ переименована в кафедру геофизики в соответствии с названием специальности «Геофизика» в классических университетах, приказ № 240 от 13.11.1995 года.

1996 г. Профессору **Б.К. Матвееву** присвоено почетное звание «**Заслуженный деятель науки Российской Федерации**».

1998 г. Утвержден новый состав диссертационного совета Д 063.59.02 по трем специальностям, в том числе по научной специальности **04.00.12 «Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых»** (геолого-минералогические и технические науки).

1999 г. Заведующему филиалом кафедры в Горном институте УрО РАН **А.А. Маловичко** присвоено почетное звание **«Заслуженный деятель науки Российской Федерации»**.

2000 г. Открыта докторантура по научной специальности **«Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых»**.

2001 г. Создан новый диссертационный совет Д 212.189.01 по трем специальностям, в том числе по новой научной специальности **25.00.10 «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых»** (геолого-минералогические и технические науки).

Доцент **С.И. Лапин** награжден нагрудным знаком **«Почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации»**.

2003 г. Заведующий филиалом кафедры геофизики в Горном институте УрО РАН **А.А. Маловичко** избран членом-корреспондентом РАН.

Профессору **В.И. Костицыну** присвоено почетное звание **«Заслуженный работник высшей школы Российской Федерации»**.

2004 г. Кафедра геофизики отметила **50-летний юбилей** со дня основания и переехала в новый корпус № 8 на шестой этаж (аудитории 609–622). Создано **пять учебных лабораторий**: гравиразведки, магниторазведки, электроразведки, сейсморазведки, геофизических исследований скважин и компьютерный класс.

2005 г. Профессору **В.А. Гершанку** и профессору **Б.А. Спасскому** присвоено почетное звание **«Заслуженный работник высшей школы Российской Федерации»**.

2006 г. Профессору **Б.К. Матвееву** присвоено почетное звание **«Заслуженный профессор Пермского государственного университета»**.

Профессор **О.Л. Горбушина** награждена нагрудным знаком **«Почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации»**.

2006–2007 гг. Кафедра геофизики принимала активное участие в реализации **национального проекта «Образование»**. Для всех учебных лабораторий приобретено новое геофизическое оборудование, установлено 80 компьютеров, стационарные мультимедийные проекторы и видеонаблюдение. Все штатные преподаватели получили личные ноутбуки для чтения лекций, проведения практических и лабораторных занятий.

2008 г. Кафедра геофизики признана **ведущей научной школой России** и получила **грант Президента Российской Федерации**.

2009 г. Кафедра геофизики отметила **55-летний юбилей** со дня основания. В честь заслуг основателя и первого заведующего кафедрой геофизики профессора **А.К. Маловичко** установлена мемориальная доска.

Доцент **Л.А. Гершанок** и доцент **В.А. Поносов** награждены нагрудным знаком **«Почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации»**.

2010 г. Пермский государственный университет получил статус **«Национальный исследовательский университет»**. Кафедра геофизики принимает участие в реализации проекта.

2011 г. Геофизическая общественность России отметила **100-летие со дня рождения Александра Кирилловича Маловичко**, доктора технических наук, профессора, заслуженного деятеля науки РСФСР, основателя кафедры геофизики Пермского государственного университета и пермской научной школы геофизиков. Пермским отделением Евро-Азиатского геофизического общества учреждена **медаль имени А.К. Маловичко**.

За 57 лет кафедры геофизики ПГУ подготовила **3342 специалиста** (табл. 2). Подготовка осуществлялась на дневном, заочном и вечернем отделениях, причем большая часть выпускников (57%) окончили дневное отделение. Вечернее отделение было открыто по ходатайству конторы (позднее треста) «Пермнефтегеофизика», просуществовало 10 лет и было закрыто в связи с исчерпанием контингента на обучение. Заочное отделение открыто в 1962 г. и в последние 50 лет успешно работает. На его долю приходится 1305 выпускников (39%) (табл. 2).

Таблица 2. Выпуск инженеров-геофизиков за период с 1956 по 2011 год

Год	Количество выпускников по отделениям			
	Дневное	Вечернее	Заочное	Общее количество
1956	36	–	–	36
1957	40	–	–	40
1958	25	–	–	25
1959	22	–	–	22
1960	24	–	–	24
1961	15	–	–	15
1962	8	–	–	8
1963	12	–	–	12
1964	–	–	–	0
1965	17	16	–	33
1966	21	21	2	44
1967	14	–	–	14
1968	54	13	9	76
1969	34	15	4	53
1970	33	14	14	61
1971	42	15	12	69
1972	48	17	10	75
1973	26	18	20	64
1974	37	–	15	52
1975	46	–	13	59
1976	43	–	20	63
1977	40	–	25	65
1978	42	–	29	71
1979	46	–	36	82
1980	47	–	30	77
1981	44	–	27	71
1982	39	–	29	68
1983	45	–	38	83
1984	34	–	34	68

Год	Количество выпускников по отделениям			
	Дневное	Вечернее	Заочное	Общее количество
1985	46	–	40	86
1986	40	–	46	86
1987	19	–	30	49
1988	19	–	50	69
1989	35	–	53	88
1990	39	–	43	82
1991	39	–	39	78
1992	60	–	38	98
1993	61	–	39	100
1994	34	–	36	70
1995	38	–	21	59
1996	38	–	22	60
1997	14	–	3	17
1998	24	–	11	35
1999	25	–	14	39
2000	25	–	14	39
2001	18	–	21	39
2002	36	–	16	52
2003	34	–	22	56
2004	40	–	32	72
2005	48	–	52	100
2006	55	–	50	105
2007	37	–	61	98
2008	41	–	62	103
2009	44	–	54	98
2010	37	–	29	66
2011	28	–	40	68
Всего	1908	129	1305	3342

Многие выпускники кафедры геофизики стали ведущими специалистами, главными инженерами и генеральными директорами производственных объединений, экспедиций, геофизических партий и научно-производственных организаций. Выпускник А.А. Маловичко избран членом-корреспондентом РАН, 23 человека защитили докторские диссертации (табл. 3) и 66 человек – кандидатские диссертации (табл. 4).

Таблица 3. Выпускники кафедры геофизики – доктора наук

№	Ф.И.О.	Год окончания ПГУ	Год защиты диссертации
1	Шихов Степан Александрович	1956	1974
2	Новоселицкий Владимир Маркович	1958	1975
3	Шкабарня Николай Григорьевич	1957	1984
4	Юдин Михаил Николаевич	1961	1985
5	Корягин Виктор Владимирович	1956	1985
6	Савёлов Рудольф Павлович	1967	1988
7	Силаев Валерий Аркадьевич	1965	1988
8	Маловичко Алексей Александрович, член-корреспондент РАН	1974	1991
9	Спасский Борис Алексеевич	1961	1992
10	Костицын Владимир Ильич	1968	1992
11	Чадаев Михаил Сергеевич	1961	1994
12	Колесников Владимир Петрович	1969	1995
13	Санфиоров Игорь Александрович	1977	1996
14	Горбушина Ольга Леонидовна	1956	1997
15	Гершанок Валентин Александрович	1963	1999
16	Растегаев Александр Васильевич	1977	2000
17	Губайдуллин Марсель Григорьевич	1972	2004
18	Блинова Татьяна Сергеевна	1975	2004
19	Некрасов Александр Сергеевич	1973	2007
20	Губина Августа Ивановна	1969	2007
21	Галкин Сергей Владиславович	1995	2007
22	Бычков Сергей Габриэльевич	1975	2011

Таблица 4. Выпускники кафедры – кандидаты наук

№	Ф.И.О.	Год окончания ПГУ	Год защиты диссертации
1	Бяков Юрий Алексеевич	1959	1966
2	Новоселицкий Владимир Маркович	1958	1966
3	Шихов Степан Александрович	1956	1966
4	Шкабарня Николай Григорьевич	1957	1966
5	Горбушина Ольга Леонидовна	1956	1967
6	Чадаев Михаил Сергеевич	1961	1967
7	Корягин Виктор Владимирович	1956	1968
8	Спасский Борис Алексеевич	1961	1968
9	Юдин Михаил Николаевич	1961	1970
10	Белецкий Вячеслав Георгиевич	1956	1971
11	Ерхов Венедикт Алексеевич	1959	1971
12	Коновалов Юрий Георгиевич	1960	1971
13	Липин Юрий Николаевич	1958	1971
14	Гершанок Валентин Александрович	1963	1972
15	Гипш Александр Абрамович	1966	1972
16	Орлов Лев Константинович	1956	1972
17	Силаев Валерий Аркадьевич	1965	1972
18	Неволин Лев Павлович	1968	1973

№	Ф.И.О.	Год окончания ПГУ	Год защиты диссертации
19	Сусеков Юрий Афанасьевич	1966	1974
20	Костицын Владимир Ильич	1968	1975
21	Савёлов Рудольф Павлович	1967	1975
22	Березнев Виктор Акимович	1970	1976
23	Гаврин Юрий Георгиевич	1956	1976
24	Колесников Владимир Петрович	1969	1978
25	Лисин Виктор Прохорович	1971	1979
26	Маловичко Алексей Александрович	1974	1979
27	Скумбин Игорь Михайлович	1962	1979
28	Ахматов Евгений Владимирович	1966	1980
29	Деткова (Проценко) Наталья В.	1957	1980
30	Безматерных Евгений Федорович	1973	1981
31	Губайдуллин Марсель Григорьевич	1972	1981
32	Бычков Сергей Габриэльевич	1975	1982
33	Курочкин Петр Африканович	1971	1982
34	Мегеря Владимир Михайлович	1960	1982
35	Поносов Владимир Александрович	1965	1982
36	Шувалов Виктор Михайлович	1969	1983
37	Санфилов Игорь Александрович	1977	1985
38	Бутолин Александр Панфилович	1969	1986
39	Горожанцев Сергей Владимирович	1974	1986
40	Лунев Вадим Геннадьевич	1977	1986
41	Растегаев Александр Васильевич	1977	1986
42	Семенов Борис Александрович	1966	1987
43	Благиных Валерий Леонидович	1966	1988
44	Косков Владимир Николаевич	1963	1988
45	Блинова Татьяна Сергеевна	1975	1989
46	Ипатов Юрий Павлович	1981	1989
47	Скрепинский Сергей Борисович	1979	1989
48	Юзвак Виталий Павлович	1969	1989
49	Гершанок Лариса Алексеевна	1966	1990
50	Горожанцев Андрей Владимирович	1975	1990
51	Ласкин Валерий Михайлович	1973	1990
52	Орлова Елена Львовна	1979	1990
53	Близнецов Михаил Тимофеевич	1971	1991
54	Бухман Станислав Хаимович	1974	1991
55	Губина Августа Ивановна	1969	1991
56	Трушников Эдуард Болеславович	1985	1992
57	Сиротенко Леонид Васильевич	1974	1993
58	Токарев Александр Александрович	1975	1993
59	Конанова Надежда Витальевна	1981	1994
60	Митюнина Ирина Юрьевна	1975	1995
61	Некрасов Александр Сергеевич	1973	1995
62	Погадаев Сергей Владимирович	1990	1996

№	Ф.И.О.	Год окончания ПГУ	Год защиты диссертации
63	Семерикова Ирина Ивановна	1984	1997
64	Льжорова Татьяна Анатольевна	1985	1997
65	Галкин Сергей Владиславович	1995	1998
66	Урдабаев Ахметжан Тюлегенович	1975	1999
67	Савич Анатолий Данилович	1968	2000
68	Степанов Юрий Иванович	1979	2001
69	Бабкин Андрей Иванович	1992	2001
70	Попов Сергей Геннадьевич	1990	2002
71	Дягилев Руслан Андреевич	1996	2003
72	Пригара Андрей Михайлович	1998	2003
73	Ярославцев Александр Геннадьевич	1998	2004
74	Маловичко Дмитрий Алексеевич	2000	2004
75	Татаркин Алексей Викторович	1999	2004
76	Белов Сергей Владимирович	1985	2004
77	Герасимова Ирина Юрьевна	1994	2004
78	Лаптев Александр Павлович	1977	2005
79	Глебов Сергей Валерьевич	1992	2006
80	Косков Борис Владимирович	1996	2006
81	Пугин Алексей Витальевич	2003	2007
82	Путилов Иван Сергеевич	2004	2007
83	Балдин Анатолий Валентинович	1980	2008
84	Фатькин Константин Борисович	1997	2008
85	Бяков Алексей Юрьевич	1992	2009
86	Ковин Олег Николаевич, доктор философии (США)	1976	2010
87	Чугаев Александр Валентинович	2003	2011
88	Маловичко Лилия Рамисовна	2000	2011
89	Шулаков Денис Юрьевич	1996	2011

СПИСОК НАУЧНЫХ ТРУДОВ ПРОФЕССОРА А.К. МАЛОВИЧКО¹

МОНОГРАФИИ, УЧЕБНИКИ И УЧЕБНЫЕ ПОСОБИЯ

1. Элементы геодезии и картографии. – Новосибирск: Новосибирский педагогический институт, 1948. – 172 с.
2. Картографические вычисления: лекции для студентов картографического факультета. – Новосибирск: Институт инженеров геодезии, картографии, аэросъемки и картографии, 1949. – 32 с.
3. Методы аналитического продолжения аномалий силы тяжести и их приложения к задачам гравиразведки. – М.: Гостоптехиздат, 1956. – 160 с.
4. Проблемы и задачи геодезической гравиметрии. – Пермь: Пермский университет, 1958. – 80 с.
5. Основной курс гравиразведки. Ч. 1. – Пермь: Пермский университет, 1960. – 324 с.
6. Основной курс гравиразведки. Ч. 2. – Пермь: Пермский университет, 1962. – 278 с.
7. Основной курс гравиразведки. Ч. 1. – Изд. 2-е, испр. и доп. – Пермь: Пермский университет, 1966. – 326 с.
8. Детальные гравиметрические наблюдения при разведочных работах на нефть и газ / Соавт.: Н.И. Дергачёв, М.С. Чадаев. – Пермь: Пермский университет, 1967. – 131 с.
9. Основной курс гравиразведки. Ч. 2. – Изд. 2-е, испр. и доп. – Пермь: Пермский университет, 1968. – 288 с.
10. Высшие производные гравитационного потенциала и их применение при геологической интерпретации аномалий / Соавт.: О.Л. Тарунина. – М.: Недра, 1972. – 150 с.
11. Методы изучения глубинных недр Земли: учебное пособие. – Пермь: Пермский университет, 1978. – 96 с.
12. Детальная гравиразведка на нефть и газ / Соавт.: В.И. Костицын, О.Л. Тарунина. – М.: Недра, 1979. – 190 с.
13. Использование высших производных при обработке и интерпретации результатов геофизических наблюдений / Соавт.: О.Л. Тарунина. – М.: Недра, 1981. – 185 с.
14. Методы геолого-геофизической интерпретации гравитационных аномалий: учебное пособие / Соавт.: В.А. Гершанок. – Пермь: Пермский университет, 1982. – 100 с.
15. Детальная гравиразведка на нефть и газ / Соавт.: В.И. Костицын, О.Л. Тарунина. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1989. – 224 с.
16. Гравиразведка: учебник для вузов с грифом Государственного комитета СССР по народному образованию / Соавт.: В.И. Костицын. – М.: Недра, 1992. – 357 с.
17. Магниторазведка. Ч. 2. Интерпретация магнитных аномалий: учебное пособие / Соавт.: Л.А. Гершанок. – Пермь: Пермский университет, 1993. – 100 с.

¹ В список не включены многочисленные тезисы докладов, депонированные работы, научно-технические отчеты, газетные публикации в центральной и местной печати.

СТАТЬИ

1. Об интерпретации Московской гравитационной аномалии // Бюлл. Астрономического ин-та им. П.К. Штернберга. – М.: Изд-во Московского ун-та, 1940. – № 3. – 12 с.
2. Определение залегания возмущающей массы по горизонтальным градиентам силы тяжести // Докл. АН СССР. – 1941. – Т. XXXIII, № 6. – С. 399–401.
3. К вопросу о проекции карт полушарий // Тр. Новосибирского ин-та инженеров геодезии, аэрофотосъемки и картографии. – 1947. – Т. I. – С. 26–31.
4. К вопросу об аналитическом определении глубины аномальных масс // Уч. зап. Новосибирского пед. ин-та. – 1948. – Вып. 6. – С. 33–46.
5. О вычислении косых проекций при помощи конформного преобразования прямоугольных координат / Соавт.: М.А. Степик // Уч. зап. Новосибирского пед. ин-та. – 1948. – Вып. 6. – С. 47–58.
6. О сравнительных достоинствах равноугольных и равнопромежуточных конических проекций // Тр. Новосибирского ин-та инженеров геодезии, аэрофотосъемки и картографии. – 1948. – Т. II. – С. 13–20.
7. К вопросу о целесообразности применения равнопромежуточных проекций // Сб. статей по геодезии, картографии. – М.: Геодиздат. – 1948. – Вып. XXI. – С. 94–97.
8. Об определении контактной поверхности по гравитационным аномалиям // Прикладная геофизика. – М.: Гостоптехиздат, 1948. – Вып. 5. – С. 77–97.
9. К вопросу об определении контактной поверхности по гравитационным аномалиям // Уч. зап. Новосибирского пед. ин-та. – 1949. – Вып. 8. – С. 49–60.
10. Об изображении ортодромий на картах в конических проекциях // Уч. зап. Новосибирского пед. ин-та. – 1949. – Вып. 8. – С. 61–74.
11. О поправках в астрономические координаты за действие рельефа центральной зоны // Тр. Новосибирского ин-та инженеров геодезии, аэрофотосъемки и картографии. – 1950. – Т. III, вып. 1. – С. 21–29.
12. О классификации решений обратной гравиметрической задачи // Тр. Новосибирского ин-та инженеров геодезии, аэрофотосъемки и картографии. – 1950. – Т. III, вып. 1. – С. 29–40.
13. О наибольших искажениях углов и оценка достоинства проекций // Сб. науч.-техн. и производств. статей по геодезии, картографии. – М.: Геодиздат, 1950. – Вып. XXXII. – С. 6–8.
14. К теоретическим основам картометрии рек // Тр. Новосибирского ин-та инженеров геодезии, аэрофотосъемки и картографии. – 1951. – Т. III, вып. 3. – С. 17–32.
15. О теории круговой проекции для мировых карт / Соавт.: В.Д. Усольцев // Тр. Новосибирского ин-та инженеров геодезии, аэрофотосъемки и картографии. – 1951. – Т. III, вып. 3.
16. К вопросу об осреднении аномальных полей // Изв. АН СССР. Сер. географ. и геофиз. – 1951. – № 2. – С. 40–42.
17. Исследования по аналитическому продолжению гравитационных аномалий // Тр. Новосибирского ин-та инженеров геодезии, аэрофотосъемки и картографии. – 1951. – Т. 4. – С. 3–28.
18. Способ аналитического продолжения гравитационных аномалий // Изв. АН СССР. Сер. геофиз. – 1952. – № 1. – С. 35–39.

19. О выделении из общего поля гравитационных аномалий региональных и локальных полей // Тр. Новосибирского ин-та инженеров геодезии, аэрофотосъемки и картографии. – 1952. – Т. 5. – С. 21–34.
20. О дискуссии по поводу картометрических закономерностей // Тр. Новосибирского ин-та инженеров геодезии, аэрофотосъемки и картографии. – 1952. – Т. 5. – С. 74–80.
21. К вопросу о целесообразности применения гравитационных вариометров и гравиметров // Разведка недр. – 1952. – № 5. – С. 40–42.
22. Об исключении влияния регионального гравиметрического фона и интерпретации аномалий // Разведка недр. – 1953. – № 2. – С. 43–45.
23. О решении обратной гравиметрической задачи // Изв. АН СССР. Сер. геофиз. – 1953. – № 3. – С. 228–231.
24. Об интерпретации гравиметрических наблюдений в связи с поисками структур, перспективных на нефть и газ // Прикладная геофизика. – М.: Гостоптехиздат, 1955. – Вып. 13. – С. 63–79.
25. Об оценке размеров области, учитываемой при вычислении поправки за влияние рельефа при наблюдении с гравиметром // Геофизические методы разведки. – М.: Госгеолтехиздат, 1955. – С. 60–63.
26. О густоте и форме сети при площадной съемке с гравиметрами // Разведочная и промысловая геофизика. – М.: Гостоптехиздат, 1956. – Вып. 15. – С. 37–40.
27. Об определении глубины тела по гравитационным и магнитным аномалиям // Разведка и охрана недр. – 1957. – № 5. – С. 57–58.
28. О значении аномального вертикального градиента силы тяжести в гравиразведке // Прикладная геофизика. – М.: Гостоптехиздат, 1957. – Вып. 17. – С. 162–169.
29. О преобразовании трехмерных аномальных полей в двумерные при решении задач по гравитационным и магнитным наблюдениям. Информационный сборник. – № 8. – Л.: Изд-во Всесоюз. науч.-исслед. ин-та методики и техники разведки, 1958. – С. 39–41.
30. К вопросу о возможности определения фигуры геоида на основе использования одних лишь геодезических и гравиметрических данных // Геодезия и картография. – 1958. – № 2. – С. 11–13.
31. По поводу измерения на картах кривых линий // Геодезия и картография. – 1958. – № 8. – С. 59–61.
32. Гравиметрическая съемка с выравниванием аномалий по маршрутам // Прикладная геофизика. – М.: Гостоптехиздат, 1958. – Вып. 21. – С. 56–73.
33. Об учете поправки за влияние рельефа ближних кольцевых зон при гравиметрических наблюдениях. Информационный сборник. – № 12. – Л.: Изд-во Всесоюз. науч.-исслед. ин-та методики и техники разведки, 1958. – С. 72–75.
34. О применении вертикального контакта при интерпретации аномалий общей гравиметрической съемки // Вопросы обработки и интерпретации геофизических наблюдений: Уч. зап. Пермского ун-та. – 1959. – Т. XI, вып. 1. – С. 53–63.
35. Об определении глубины кристаллического фундамента по аномалиям общей гравиметрической съемки // Докл. геол. фак-та: Уч. зап. Пермского ун-та. – 1959. – Т. XIV, вып. 1. – С. 57–60.
36. Оценка точности гравиметрических наблюдений // Разведочная и промысловая геофизика. – М.: Гостоптехиздат, 1959. – Вып. 32. – С. 52–56.

37. Целесообразно ли вычислять вторые производные? // Геофизическая разведка. – М.: Гостоптехиздат, 1960. – Вып. 1. – С. 72–79.
38. О служебных допусках по точности при детальной гравиметрической съемке // Докл. геол. фак-та: Уч. зап. Пермского ун-та. – 1960. – Т. XV, вып. 1. – С. 57–62.
39. К методике выявления аномальных полей, соизмеримых с ошибками наблюдений / Соавт.: О.Л. Тарунина // Геофизическая разведка. – М.: Гостоптехиздат, 1961. – Вып. 4. – С. 44–48.
40. Об источниках погрешностей, служебных допусках и оценке точности гравиметрических наблюдений // Вопросы обработки и интерпретации геофизических наблюдений. №2: Уч. зап. Пермского ун-та. – 1961. – Т. XVIII, вып. 4. – С. 3–18.
41. Палетка для вычисления гравитационного эффекта структур / Соавт.: О.Л. Тарунина // Вопросы обработки и интерпретации геофизических наблюдений. №2: Уч. зап. Пермского ун-та. – 1961. – Т. XVIII, вып. 4. – С. 89–94.
42. Вычисление гравитационного аномального эффекта, создаваемого структурами третьего порядка // Вопросы обработки и интерпретации геофизических наблюдений. № 3: Уч. зап. Пермского ун-та. – 1962. – Т. XXIV, вып. 2. – С. 3–10.
43. О допусках и формулах «Технической инструкции по гравиметрической разведке» для оценки точности результатов // Вопросы обработки и интерпретации геофизических наблюдений. № 3: Уч. зап. Пермского ун-та. – 1962. – Т. XXIV, вып. 2. – С. 33–40.
44. Об исследованиях М.С. Молоденского по вопросам теории внешнего гравитационного поля и фигуры физической поверхности Земли // Вопросы обработки и интерпретации геофизических наблюдений. № 3: Уч. зап. Пермского ун-та. – 1962. – Т. XXIV, вып. 2. – С. 119–128.
45. О действии картографических погрешностей при определении поправки за влияние рельефа при гравиметрических наблюдениях / Соавт.: Н.И. Дергачев // Прикладная геофизика. – М.: Гостоптехиздат, 1963. – Вып. 37. – С. 154–159.
46. О вычислении горизонтальных производных по результатам наблюдений по профилю / Соавт.: В.А. Гершанок // Разведочная и промысловая геофизика. – М.: Гостоптехиздат, 1963. – Вып. 48. – С. 78–82.
47. О распределении невязки гравиметрического рейса по параболическому закону // Геофизическая разведка. – М.: Гостоптехиздат, 1963. – Вып. 14. – С. 92–96.
48. Методика гравиметрической съемки, основанная на измерении приращений между пунктами маршрута // Вопросы обработки и интерпретации геофизических наблюдений. № 4: Уч. зап. Пермского ун-та. – 1963. – № 102. – С. 3–8.
49. Об аналитическом приближении и сглаживании аномальных графиков // Вопросы обработки и интерпретации геофизических наблюдений. № 4: Уч. зап. Пермского ун-та. – 1963. – № 102. – С. 37–49.
50. Сто лет работы Ф.А. Слудского о притяжении однородных многогранников // Вопросы обработки и интерпретации геофизических наблюдений. № 4: Уч. зап. Пермского ун-та. – 1963. – № 102. – С. 108–110.
51. Об исследованиях М.С. Молоденского по вопросам теории внешнего гравитационного поля и фигуры физической поверхности Земли // Вопросы обработки и интерпретации геофизических наблюдений. № 4: Уч. зап. Пермского ун-та. – 1963. – № 102. – С. 111–118.
52. Двухмерная палетка для учета влияния овражно-обрывных форм рельефа / Соавт.: А.С. Копытов // Разведочная и промысловая геофизика. – М.: Гостоптехиздат, 1964. – Вып. 51. – С. 76–80.

53. Об оценке точности опорных гравиметрических пунктов и общих принципах развития опорных сетей // Вопросы обработки и интерпретации геофизических наблюдений. № 5: Уч. зап. Пермского ун-та. – 1964. – № 122. – С. 3–9.
54. Об интерпретации гравитационных и магнитных аномалий методом подбора / Соавт.: О.Л. Тарунина // Вопросы обработки и интерпретации геофизических наблюдений. № 5: Уч. зап. Пермского ун-та. – 1964. – № 122. – С. 40–48.
55. Об исследованиях М.С. Молоденского по вопросам теории внешнего гравитационного поля и фигуры физической поверхности Земли. Статья 3 // Вопросы обработки и интерпретации геофизических наблюдений. № 5: Уч. зап. Пермского ун-та. – 1964. – № 122. – С. 98–106.
56. О поисковых и разведочных особенностях гравитационного аномального поля в зоне Камско-Кинельской впадины / Соавт.: С.А. Шихов, А.А. Шилова // Нефтегазовая геология и геофизика. – М.: ПНИИТЭнефтегаз, 1965. – Вып. 7. – С. 20–22.
57. О повышении точности вычисления по аномалиям силы тяжести вторых производных // Вопросы обработки и интерпретации геофизических наблюдений. № 6: Уч. зап. Пермского ун-та. – 1965. – № 127. – С. 3–6.
58. Исследования по вычислению высших производных гравитационного аномального потенциала // Вопросы обработки и интерпретации геофизических наблюдений. № 6: Уч. зап. Пермского ун-та. – 1965. – № 127. – С. 27–50.
59. Об исследованиях М.С. Молоденского по вопросам теории внешнего гравитационного поля и фигуры физической поверхности Земли. Статья 4 // Вопросы обработки и интерпретации геофизических наблюдений. № 6: Уч. зап. Пермского ун-та. – 1964. – № 127. – С. 145–152.
60. Об особых точках потенциала и их значении при интерпретации гравитационных аномалий / Соавт.: М.С. Чадаев // Прикладная геофизика. – М.: Недра, 1965. – Вып. 46. – С. 149–155.
61. О книге В.В. Федынского «Разведочная геофизика, геофизические методы исследования земной коры, поисков и разведки полезных ископаемых» // Советская геология. – 1966. – № 3. – С. 162–163.
62. Строение кристаллического фундамента Верхнекамской впадины по геофизическим данным / Соавт.: О.Л. Тарунина, С.А. Шихов // Нефтегазовая геология и геофизика. – М.: ПНИИТЭнефтегаз, 1966. – Вып. 11. – С. 31–34.
63. О некоторых методических вопросах высокоточных гравиметрических наблюдений / Соавт.: М.С. Чадаев // Разведочная геофизика. – М.: Недра, 1966. – Вып. 16. – С. 54–59.
64. О зависимости между точностью определения аномалий и густотой сети при гравиметрической съемке / Соавт.: М.С. Чадаев // Разведочная геофизика. – М.: Недра, 1966. – Вып. 17. – С. 75–81.
65. Изучение строения осадочной толщи методами гравиразведки в Пермской области / Соавт.: С.А. Шихов, О.Л. Тарунина, В.М. Новоселицкий // Методика, техника и результаты геофизической разведки: Материалы V Всесоюз. науч.-техн. геофиз. конф. в г. Новосибирске. – М.: Недра, 1967. – С. 70–75.
66. Исследования по вопросам гравиметрической разведки: доклад по опубликованным работам, представленным на соискание ученой степени доктора технических наук. – Днепропетровск, 1967. – 36 с.

67. Вычисление средних квадратических ошибок по конечным разностям высших порядков / Соавт.: М.С. Чадаев // Вопросы обработки и интерпретации геофизических наблюдений. № 7: Уч. зап. Пермского ун-та. – 1967. – № 154. – С. 3–8.
68. Исследования по методике вычисления высших производных аномалий силы тяжести / Соавт.: О.Л. Тарунина // Вопросы обработки и интерпретации геофизических наблюдений. № 7: Уч. зап. Пермского ун-та. – 1967. – № 154. – С. 24–42.
69. О расчете по способу Юнькова гравитационного аномального эффекта тел, ограниченных по простиранию // Вопросы обработки и интерпретации геофизических наблюдений. № 7: Уч. зап. Пермского ун-та. – 1967. – № 154. – С. 68–71.
70. Вычисление гравиметрических поправок за влияние рельефа по графикам функционального изображения профиля местности // Вопросы обработки и интерпретации геофизических наблюдений. № 8: Уч. зап. Пермского ун-та. – 1969. – № 197. – С. 3–8.
71. Вычисление высших производных с оценкой точности результата / Соавт.: О.Л. Тарунина // Вопросы обработки и интерпретации геофизических наблюдений. № 8: Уч. зап. Пермского ун-та. – 1969. – № 197. – С. 26–32.
72. Учет поправки за влияние рельефа при градиентометрических наблюдениях / Соавт.: Ж.А. Поздеев // Вопросы обработки и интерпретации геофизических наблюдений. № 8: Уч. зап. Пермского ун-та. – 1969. – № 197. – С. 33–34.
73. Результаты и перспективы детальной гравиразведки и радиометрии по изучению нефтегазоносных структур в Пермском Прикамье / Соавт.: В.М. Новоселицкий, Л.К. Орлов, В.К. Серов, М.С. Чадаев // Геология нефти и газа. – 1969. – № 10. – С. 58–61.
74. Об изучении по аномалиям силы тяжести глубинного строения земной коры // Теоретические обоснования и практика трансформации геофизических полей для решения региональных геологических задач. – М., 1969. – С. 134–145.
75. Об оценке точности сглаживания при помощи аппроксимации графика функциями с ограниченным дискретным спектром // Вопросы обработки и интерпретации геофизических наблюдений. № 9: Уч. зап. Пермского ун-та. – 1971. – № 233. – С. 3–7.
76. Об оценке различных способов учета влияния рельефа при гравиметрических наблюдениях / Соавт.: В.И. Костицын, Е.Н. Чупин // Вопросы обработки и интерпретации геофизических наблюдений. № 9: Уч. зап. Пермского ун-та. – 1971. – № 233. – С. 33–40.
77. Об определении регионального гравитационного фона в условиях сложного аномального поля / Соавт.: В.А. Гершанок // Вопросы обработки и интерпретации геофизических наблюдений. № 9: Уч. зап. Пермского ун-та. – 1971. – № 233. – С. 46–53.
78. Определение нулевого уровня аномального гравиметрического графика / Соавт.: Г.И. Бослер // Прикладная геофизика. – М.: Недра, 1971. – Вып. 63. – С. 148–150.
79. Об учете влияния верхней терригенной толщи при обработке детальных гравиразведочных и сейсморазведочных наблюдений / Соавт.: В.К. Серов, В.Л. Благинных, С.П. Демина, В.И. Кузнецов, И.В. Платонов // Вопросы обработки и интерпретации геофизических наблюдений. № 10: Уч. зап. Пермского ун-та. – 1972. – № 292. – С. 3–11.
80. О сглаживании гистограмм относительных частот / Соавт.: В.И. Костицын // Вопросы обработки и интерпретации геофизических наблюдений. № 10: Уч. зап. Пермского ун-та. – 1992. – № 292. – С. 75–82.
81. К вопросу оценки точности опорных гравиметрических пунктов // Вопросы обработки и интерпретации геофизических наблюдений. № 10: Уч. зап. Пермского ун-та. – 1972. – № 292. – С. 138–140.

82. Решение прямой двумерной задачи гравиразведки / Соавт.: Л.В. Шаньгин // Разведочная геофизика. – М.: Недра, 1973. – Вып. 56. – С. 80–82.
83. Предисловие к книге О.А. Одекова, Г.И. Каратаева, О.К. Басова, Б.А. Курбансхатова «Атлас корреляционных функций гравитационных и магнитных аномалий тел правильной формы». – Ашхабад: «Ылым», 1973. – С. 3–4.
84. О строении Шалымского прогиба и Осинско-Сарапульской впадины в свете образования разного порядка структурных форм земной коры / Соавт.: В.А. Гершанок // Геология и нефтегазоносность севера Урало-Поволжья: Труды КО ВНИГНИ. – Пермь, 1973. – Вып. 123. – С. 88–93.
85. Интерпретация поправки за влияние рельефа при детальной гравиметрической съемке / Соавт.: В.И. Костицын // Вопросы обработки и интерпретации геофизических наблюдений. № И: Уч. зап. Пермского ун-та. – 1974. – № 312. – С. 3–11.
86. О строении внутреннего ядра Земли // Геофизический сборник. – Киев: Наукова думка, 1974. – Вып. 59. – С. 16–19.
87. Формирование локальных платформенных структур и возможности их исследования геофизическими методами / Соавт.: В.А. Березнев // Вопросы обработки и интерпретации геофизических наблюдений. № 12: Уч. зап. Пермского ун-та. – 1974. – № 339. – С. 3–13.
88. Об условных трансформациях потенциальных полей // Вопросы обработки и интерпретации геофизических наблюдений. № 12: Уч. зап. Пермского ун-та. – 1974. – № 339. – С. 79–86.
89. 20 лет деятельности кафедры геофизических методов поисков и разведки месторождений полезных ископаемых // Вопросы обработки и интерпретации геофизических наблюдений. № 12: Уч. зап. Пермского ун-та. – 1974. – № 339. – С. 181–183.
90. О зависимости латеральных неоднородностей верхней терригенной толщи от характера рельефа местности // Прикладная геофизика. – М.: Недра, 1975. – Вып. 77. – С. 167–170.
91. О распределении невязок гравиметрического рейса по методу математических сплайнов / Соавт.: В.И. Костицын // Геофизические изыскания. Вып. 1: Уч. зап. Пермского ун-та. – 1975. – № 305. – С. 129–131.
92. Модель нефтегазоносной структуры в терригенной толще в связи с интерпретацией гравитационных аномалий / Соавт.: В.Л. Благиных, В.И. Костицын // Вопросы обработки и интерпретации геофизических наблюдений. № 13: Уч. зап. Пермского ун-та. – 1975. – № 357. – С. 3–9.
93. Вычисление нормальных значений силы тяжести при наблюдениях высокой точности // Вопросы обработки и интерпретации геофизических наблюдений. № 13: Уч. зап. Пермского ун-та. – № 357. – С. 63–68.
94. Так прививаются навыки поиска // Вестник высшей школы. – № 4. – С. 42–43.
95. Изучение смещения нуля-пункта в связи с гравиметрическими наблюдениями высокой точности / Соавт.: В.И. Костицын // Вопросы обработки и интерпретации геофизических аномалий: Межвед. сб. науч. тр. – Пермь: Пермский ун-т, 1977. – С. 3–12.
96. Об учете влияния рельефа при гравиметрических наблюдениях в буровых скважинах / Соавт.: М.С. Чадаев, А.В. Горожанцев // Вопросы обработки и интерпретации геофизических аномалий: Межвед. сб. науч. тр. – Пермь: Пермский ун-т, 1977. – С. 72–80.

97. О влиянии атмосферных процессов на гравиметрические и наклономерные наблюдения / Соавт.: Н.О. Дутлова // Геофизический сборник АН УССР. – Киев: Наукова думка, 1978. – Вып. 81. – С. 19–21.
98. Об интерпретации аномалий силы тяжести в условиях слоистого разреза с различными значениями плотности / Соавт.: С.В. Горожанцев // Методика поисков и разведки глубокозалегающих рудных месторождений: Межвуз. науч. темат. сб. – Свердловск: Свердловский горный ин-т, 1977. – С. 98–101.
99. Гравитационная модель земной коры северо-восточной части Волго-Уральской нефтегазоносной провинции / Соавт.: Г.Г. Кассин, В.М. Новоселицкий, С.А. Шихов, А.А. Шилова, В.П. Юзвак, М.Г. Губайдуллин // Гравитационная модель коры и верхней мантии Земли. – Киев: Наукова думка, 1979. – С. 168–175.
100. О вычислении высших производных гравитационного потенциала при помощи сплайнов / Соавт.: В.М. Мегеря // Геофизические методы поисков и разведки месторождений нефти и газа: Межвуз. сб. науч. тр. – Пермь: Пермский ун-т, 1979. – С. 6–10.
101. О целесообразности применения корреляционных методов при обработке и интерпретации потенциальных полей // Геофизические методы поисков и разведки месторождений нефти и газа: Межвуз. сб. науч. тр. – Пермь: Пермский ун-т, 1979. – С. 53–57.
102. О книге М.А. Демидовой и Л.В. Каламкарлова «Использование преобразований гравитационного поля для изучения нефтегазоносных районов» // Советская геология. – 1980. – № 7. – С. 121–122.
103. Об изучении геологического разреза по высшим производным аномалий силы тяжести / Соавт.: О.Л. Тарунина // Геофизические методы поисков и разведки месторождений нефти и газа: Межвуз. сб. науч. тр. – Пермь: Пермский ун-т, 1980. – № 2(16). – С. 3–12.
104. Исключение из аномалий силы тяжести влияния верхней части разреза / Соавт.: С.Г. Бычков // Геофизические методы поисков и разведки месторождений нефти и газа: Межвуз. сб. науч. тр. – Пермь: Пермский ун-т, 1980. – № 2(16). – С. 21–26.
105. Применение численного дифференцирования при интерпретации вертикальных годографов / Соавт.: Н.О. Дутлова // Нефтегазовая геология и геофизика: Реф. науч.-техн. сб. – М.: ВНИИОЭНГ, 1980. – Вып. 8. – С. 47–49.
106. Применение сглаживания и регуляризации при обработке и интерпретации аномалий силы тяжести / Соавт.: М.Г. Губайдуллин // Прикладная геофизика. – М.: Недра, 1980. – Вып. 98. – С. 127–132.
107. О выделении из аномалий силы тяжести эффекта, обусловленного глубинным строением земной коры и верхней мантии // Геофизические методы поисков и разведки месторождений нефти и газа: Межвуз. сб. науч. тр. – Пермь: Пермский ун-т, 1981. – № 3(17). – С. 3–9.
108. А. с. № 883811 (СССР). Способ измерения приращений магнитного поля. Заявл. 14.02.80, № 2881456. Оpubл. в БИ 23.11.81 / Соавт.: Л.А. Гершанок, В.А. Макаров.
109. Картирование образований жильного льда по гравиметрическим наблюдениям / Соавт.: Н.О. Дутлова // Разведочная геофизика. – М.: Недра, 1982. – Вып. 94. – С. 116–119.
110. Об искажении аномалий силы тяжести, обусловленных нелинейным смещением нуля-пункта / Соавт.: В.А. Гершанок, В.И. Костицын // Геофизические методы поисков и разведки месторождений нефти и газа: Межвуз. сб. науч. тр. – Пермь: Пермский ун-т, 1982. – № 4(18). – С. 3–10.

111. Экспрессный метод аналитического продолжения аномалий силы тяжести / Соавт.: С.Г. Бычков // Геофизические методы поисков и разведки месторождений нефти и газа: Межвуз. сб. науч. тр. – Пермь: Пермский ун-т, 1982. – № 4(18). – С. 73–78.
112. О значении опорных пунктов при детальной гравиразведке / Соавт.: В.И. Костицын, С.В. Горожанцев // Геофизические методы поисков и разведки месторождений нефти и газа: Межвуз. сб. науч. тр. – Пермь: Пермский ун-т, 1983. – № 5(19). – С. 3–9.
113. Детальная гравиметрическая съемка без опорной сети / Соавт.: В.И. Костицын // Геофизические методы поисков и разведки месторождений нефти и газа: Межвуз. сб. науч. тр. – Пермь: Пермский ун-т, 1984. – № 6(20). – С. 3–11.
114. Об ореольных эффектах геофизических полей над нефтегазоносными месторождениями / Соавт.: В.А. Гершанок, В.М. Мегеря // Глубинное строение земной коры и верхней мантии Украины. – Киев: Наукова думка, 1984. – С. 26–30.
115. К вопросу о современном состоянии теории интерпретации гравитационных и магнитных аномалий // Геофизические методы поисков и разведки месторождений нефти и газа: Межвуз. сб. науч. тр. – Пермь: Пермский ун-т, 1985. – № 7(21). – С. 3–11.
116. О криволинейности смещения нуля-пункта отсчетного устройства гравиметра / Соавт.: В.А. Гершанок, С.Ю. Назаров // Геофизические методы поисков и разведки месторождений нефти и газа: Межвуз. сб. науч. тр. – Пермь: Пермский ун-т, 1986. – № 8(22). – С. 3–8.
117. О вычислении экстраполированных производных / Соавт.: В.И. Костицын, М.Г. Губайдуллин // Геофизические методы поисков и разведки месторождений нефти и газа: Межвуз. сб. науч. тр. – Пермь: Пермский ун-т, 1987. – № 9(23). – С. 5–10.
118. Об учете изломанности интерпретационных профилей / Соавт.: В.М. Ласкин // Геофизические методы поисков и разведки месторождений нефти и газа: Межвуз. сб. науч. тр. – Пермь: Пермский ун-т, 1988. – № 10(24). – С. 5–9.
119. О точности геологической интерпретации гравитационных аномалий // Геофизические методы поисков и разведки месторождений нефти и газа: Межвуз. сб. науч. тр. – Пермь: Пермский ун-т, 1989. – № 11(25). – С. 4–8.
120. Подготовка структур, перспективных на нефть и газ, к глубокому бурению / Соавт.: Л.К. Орлов, С.Г. Бычков // Геология нефти и газа. – М., 1991. – № 9. – С. 20–22.
121. Об учете поправки за влияние рельефа при детальной гравиметрической съемке / Соавт.: С.В. Горожанцев // Геофизические методы поисков и разведки месторождений нефти и газа: Межвуз. сб. науч. тр. – Пермь: Пермский ун-т, 1991. – № 12(26). – С. 4–9.
122. Трансформации и интерпретации аномалий силы тяжести на основании моделирования / Соавт.: А.В. Горожанцев // Геофизические методы поисков и разведки месторождений нефти и газа: Межвуз. сб. науч. тр. – Пермь: Пермский ун-т, 1992. – № 13(27). – С. 4–9.
123. О повышении инструментальной точности гравиметрической съемки // Геофизические методы поисков и разведки месторождений нефти и газа: Межвуз. сб. науч. тр. – Пермь: Пермский ун-т, 1994. – № 14(28). – С. 4–9.
124. К 40-летию деятельности кафедры геофизических методов поисков и разведки / Соавт.: Р.П. Савёлов // Геофизические методы поисков и разведки месторождений нефти и газа: Межвуз. сб. науч. тр. – Пермь: Пермский ун-т, 1994. – № 14(28). – С. 110–117.
125. О высокоточной гравиразведке / Соавт.: В.И. Костицын // Геофизические методы поисков и разведки месторождений нефти и газа: Межвуз. сб. науч. тр. – Пермь: Пермский ун-т, 1995. – № 15(29). – С. 4–8.

**Развитие научных идей
А.К. Маловичко
в современной геофизике**

ДЕТАЛЬНАЯ ГРАВИРАЗВЕДКА: ОТ А.К. МАЛОВИЧКО ДО НАШИХ ДНЕЙ

С.Г. Бычков, д.г.-м.н.
Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация. Рассмотрены современные особенности детальной гравirazведки, сформировавшейся в середине XX в. благодаря работам многих ученых, включая создателя пермской школы геофизиков А.К. Маловичко. Проведено сравнение ранее применявшихся методов обработки и интерпретации гравиметрических данных и созданных в последние годы.

Введение

Детальная гравirazведка, получившая развитие благодаря трудам многих ученых, в том числе А.К. Маловичко [1, 2], сформировалась благодаря созданию и внедрению в производство новой отечественной гравиметрической аппаратуры. Повышение точности и производительности гравиметров потребовало пересмотра существующих методик полевых работ, способов обработки и интерпретации гравиметрических данных. Основные задачи детальной гравirazведки сводились к разработке рациональной методики полевых работ с высокоточными гравиметрами, обеспечивающей максимальную точность результатов съемки при высокой производительности наблюдений, а также к созданию специализированных приемов обработки наблюденного гравитационного поля и методов интерпретации аномалий силы тяжести. Успешное решение данных задач позволило значительно повысить геологическую эффективность гравirazведки при поисках и разведке месторождений полезных ископаемых. Гравirazведка получила широкое применение при оценке перспектив нефтегазоносности территорий, трассировании тектонических нарушений в осадочном чехле и фундаменте, при поисках и разведке нефтеперспективных структур и т.д. [3].

В настоящее время также произошли принципиальные изменения в аппаратном оснащении гравиметрических исследований. Полевые работы производятся высокоточными автоматизированными гравиметрами; топографо-геодезическое обеспечение гравиметрических работ осуществляется с применением систем спутниковой навигации и электронных тахеометров. Точность современной гравиметрической съемки во много раз превышает инструктивно допускаемую [4]. В соответствии с инструментальными возможностями совершенствуются методы обработки и интерпретации гравиметрических данных. Таким образом, можно констатировать, что в настоящее время наступил новый этап развития гравirazведки, требующий переосмысления методик полевых работ, совершенствования стандартов редуцирования аномалий силы тяжести и обобщения опыта интерпретации гравиметрических данных.

Определение поправок за влияние рельефа

Методам определения поправок за влияние рельефа А.К. Маловичко уделял очень большое внимание [1, 2]. Им были созданы оригинальные методы численного решения уравнения (1), позволяющие с высокой точностью вычислять поправки. В настоящее время развитие вычислительной и периферийной техники, а также современное программное обеспечение, создание электронных версий карт и детальных матриц рельефа, распространяемых в том числе и в сети Интернет, позволяют осуществить принципиально новый подход к вычислению поправки и подготовке цифровых моделей рельефа с использованием всей имеющейся информации [4].

Предлагается проводить разбиение области учитываемого влияния рельефа на две подобласти: внутреннюю D_1 («локальный рельеф») и внешнюю D_2 («региональный рельеф») без традиционного разделения их на зоны [5]. Для каждой из выделенных подобластей используются разные исходные данные и различные алгоритмы расчета поправки за влияние рельефа δg_p .

Для подобласти D_1 , охватывающей центральную и ближнюю зоны, поправки δg_p целесообразно вычислять с использованием аналитических аппроксимаций рельефа поверхности земли, как предложено академиком В.Н. Страховым (1999–2003 гг.). Цифровые модели «локального» рельефа местности подобласти D_1 формируются путем векторизации скан-образов крупномасштабных топографических карт. Площадь подобласти D_1 может составлять от единиц до нескольких сотен квадратных километров в зависимости от требуемой точности вычисления поправок δg_p .

Для подобласти D_2 представляется более рациональным осуществлять истокообразную аппроксимацию значений δg_p , предварительно определенных в узлах сравнительно редкой регулярной сети, а затем проводить 3D-интерполяцию поправок непосредственно в гравиметрические пункты. Особенности «регионального» рельефа местности с достаточной для поставленной задачи точностью отражают матрицы высот GTOPO30 и SRTM, охватывающие практически всю поверхность Земли и свободно распространяемые в сети Интернет.

Программа, разработанная на основе данного алгоритма, позволяет быстро и с высокой точностью выполнять аналитическую аппроксимацию поправок за влияние рельефа для всего региона проведения гравиметрических исследований (например, для территории Пермского края регулярная сеть поправок с шагом 1 км в радиусе 200 км была вычислена за 1.5 часа на компьютере с процессором Intel Core2 Duo и тактовой частотой 2.666 ГГц). Последующее восстановление значений δg_p в пунктах гравиметрической сети методом 3D-интерполяции не представляет затруднений и выполняется с погрешностью, не превышающей фактическую погрешность аппроксимации. Таким образом, однократно построенная для всего региона исследований аналитическая модель поправок за влияние удаленного рельефа может затем многократно использоваться при вычислении поправок на других площадях гравиметрических работ.

Учет влияния неоднородностей верхней части разреза

В связи с повышением точности и детальности гравиразведочных работ должна быть повышена точность учета искажающего влияния верхней части разреза (ВЧР) [6], поскольку очевидно, что аппроксимация промежуточного слоя однородной плоскопараллельной горизонтальной пластиной не отвечает реальным геологическим условиям. Предлагается процедуру учета влияния неоднородностей ВЧР включать в процесс решения обратной задачи, т.к. подбор плотности промежуточного слоя, построение детальной плотностной модели верхней части разреза являются этапами интерпретации гравитационных аномалий [4].

Алгоритм интерпретации гравиметрических материалов, включающий определение средней плотности пород, выделение локальной составляющей гравитационного поля, обусловленной влиянием ВЧР, вычисление плотности пород путем решения обратной линейной задачи, выявление корреляционной зависимости между априорными скоростями упругих волн (V) и полученным массивом плотностей и решение прямой задачи гравиметрии для толщи ВЧР с переменной плотностью позволяет успешно решать поставленную задачу [7]. Итерационный процесс выделения локальной составляющей и определения плотности пород ВЧР заканчивается при достижении максимально возможного коэффициента корреляции между значениями скоростей упругих волн и плотностей горных пород, а также совпадении в пределах заданной погрешности исходного и вычисленного гравитационных полей.

На рис. 1 приведены карты аномалий силы тяжести, вычисленные при постоянной и переменной плотностях промежуточного слоя на одной из площадей на территории Пермского края. Площадные гравиметрические работы масштаба 1:25 000 проведены в 2002 г. по сети 500×100 м гравиметрами Autograv CG-3M с привязкой пунктов наблюдений системой GPS Trimble 4700. Погрешность определения значений аномалии силы тяжести, включающая погрешности определения наблюдаемых значений силы тяжести, планового положения, высот пунктов наблюдения и вычисления поправок за влияние рельефа, составила ± 0.042 мГал. При интерпретации использованы сейсмические данные ОАО «Пермнефтегеофизика», микросейсмокаротаж скважин (МСК), выполненный для изучения зоны малых скоростей при проведении сейсморазведочных работ.

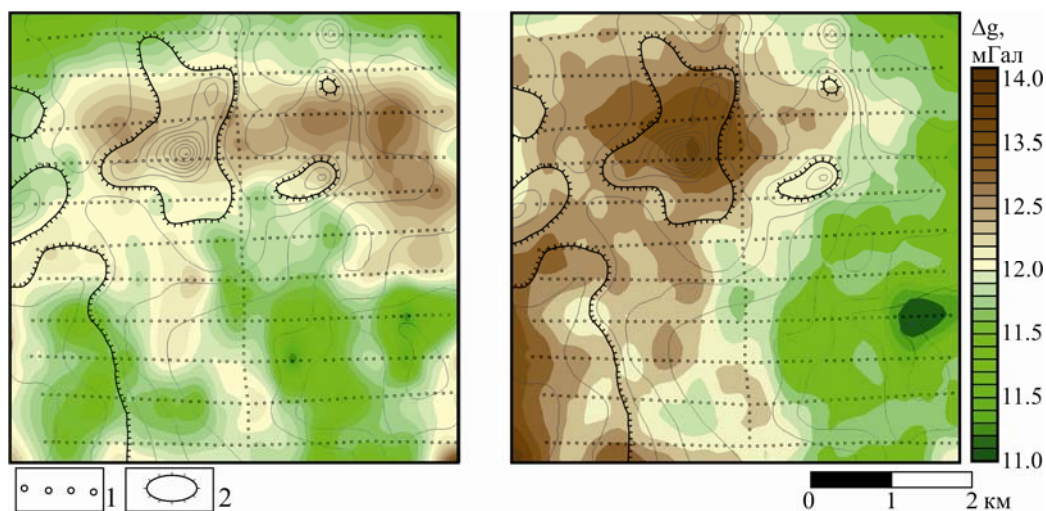


Рис. 1. Результаты учета плотностных неоднородностей верхней части разреза:
а – карта аномалий силы тяжести при постоянной плотности промежуточного слоя,
б – карта аномалий силы тяжести при переменной плотности.

1 – пункты гравиметрических наблюдений, 2 – изогипсы отражающего горизонта Ак, приуроченного к кровле карбонатных отложений артинского яруса (ОАО «Пермнефтегеофизика», 1983 г.)

Как видно из сопоставления карт аномалий Буге, вычисленных при постоянной и переменной плотностях промежуточного слоя, изменения морфологии поля весьма существенны. Область положительных аномалий теперь находится на западе площади и соответствует общему подъему кровли карбонатов, местоположение наиболее интенсивной положительной гравитационной аномалии соответствует нижнепермскому рифу, конфигурация которого существенно изменилась по данным сейсморазведки 3D. Восточнее основного рифа выделяются малоамплитудные аномалии гравитационного поля, соответствующие рифам небольшой амплитуды.

Технологии интерпретации аномалий силы тяжести

Повышение информативности геофизических методов, использующих потенциальные поля (прежде всего гравитационное и магнитное) при изучении недр Земли, связано с разработкой способов получения послойного распределения физических свойств пород [4]. Очевидно, что в общем случае решить задачу расчленения геологического разреза по вертикали по данным гравиметрии и магнитометрии принципиально невозможно [8]. Тем не менее необходимость получения трехмерных распределений плотности пород диктуется практикой геофизических работ в связи с усложнением геологических задач и высокой степенью освоения ресурсов. Поэтому, учитывая известные теоретические ограничения, используя априорную геологическую информацию, в последние годы интенсивно создаются принципиально новые методы интерпретации полей, имеющие целью построение трехмерной модели строения геологической среды, адекватной наблюдаемому полю и имеющейся априорной информации.

Одной из первых разработок в этом направлении является метод векторного сканирования, реализованный в компьютерной системе VECTOR, созданной в Горном институте УрО РАН под руководством В.М. Новоселицкого [9]. Метод базируется на устойчивом вычислении векторов горизонтальных градиентов, их обработке, трансформациях и последующем интегрировании трансформант. Следует отметить, что А.К. Маловичко много внимания уделял применению высших производных при геологической интерпретации аномалий силы тяжести [10].

Одним из основных достоинств системы VECTOR, которая определила большую ее востребованность в практике геофизических работ, является возможность получить трехмерную картину распределения физических свойств пород и локализовать источники аномалий в пространстве. На примере выделения локальных аномалий силы тяжести, обусловленных Бельским месторождением нефти, приуроченного к рифогенному массиву позднедевонского возраста в бортовой зоне Камско-Кинельской системы палеопрогибов (рис. 2), рассмотрим возможности различных методов интерпретации.

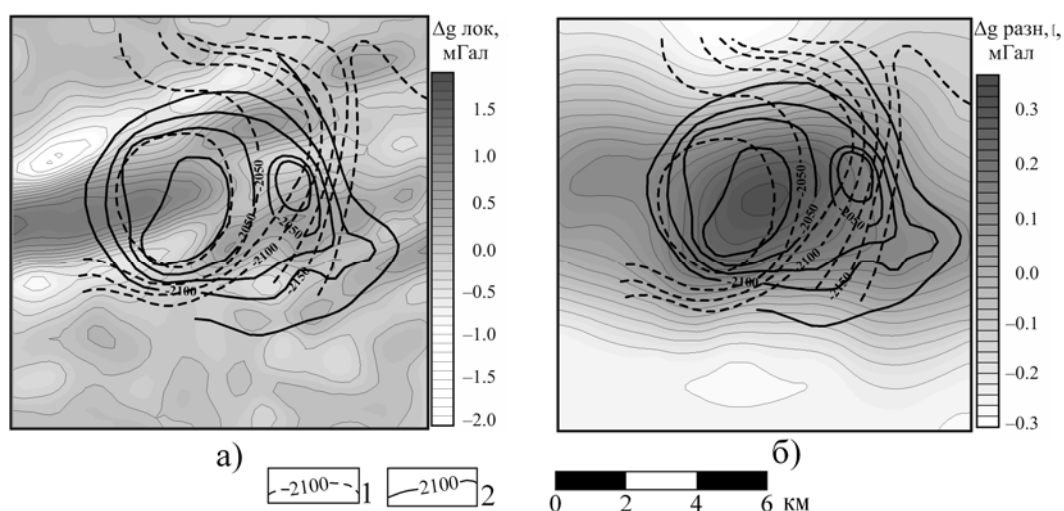


Рис. 2. Сравнение результатов интерпретации гравиметрических материалов на Бельском участке:
а) карта локальной составляющей, б) горизонтальный срез поля в системе VECTOR;
1 – структурная карта по данным сейсморазведки 1997 г.; 2 – структурная карта по данным сейсморазведки 2000 года

При традиционном способе выделения локальной (остаточной) компоненты поля с использованием осреднения в скользящем окне размером 2 км (рис. 2 а) какой-либо характерной аномалии, обусловленной рифогенным массивом, не наблюдается. На полученном в системе VECTOR горизонтальном срезе поля, соответствующем глубине залегания нижнефранско-турнейских отложений (рис. 2 б), отчетливо выделяется не только аномалия, обусловленная самой Бельской структурой, но и ее юго-восточным продолжением. Сейсморазведочные работы, проведенные здесь позднее, подтвердили наличие этого продолжения и выявили отдельную вершину – Восточно-Бельское поднятие [11].

Заключение

Проведение гравиметрических работ с применением современных методов обработки и интерпретации существенно повышает результативность гравиразведки в комплексе геолого-геофизических методов при исследованиях на нефть и газ. Детальная гравиразведка, в формировании и развитии которой активно участвовал А.К. Маловичко, вступила на новый этап своего развития, позволяющий успешно решать задачи не только по выявлению нефтеперспективных объектов в сложных физико-геологических условиях, но изучать их строение, локализовывать плотностные неоднородности отдельных интервалов геологического разреза.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 11-05-96013), а также по программе фундаментальных исследований ОНЗ РАН № 09-Т-5-1031.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Маловичко А.К., Дергачев Н.И., Чадаев М.С.* Детальные гравиметрические наблюдения при разведочных работах на нефть и газ. – Пермь: Пермский ун-т, 1967. – 131 с.
2. *Маловичко А.К., Костицын В.И., Тарунина О.Л.* Детальная гравиразведка на нефть и газ. – М.: Недра, 1989. – 224 с.
3. *Маловичко А.К., Бычков С.Г., Орлов Л.К.* Подготовка структур, перспективных на нефть и газ, к глубокому бурению // Геология нефти и газа. – 1991. – № 9. – С. 20–22.
4. *Бычков С.Г.* Методы обработки и интерпретации гравиметрических наблюдений при решении задач нефтегазовой геологии. – Екатеринбург: УрО РАН, 2010. – 187 с.
5. *Долгаль А.С., Бычков С.Г., Антипин В.В.* Повышение точности определения поправок за влияние рельефа при гравиметрической съемке // Геофизика. – 2003. – № 6. – С. 44–50.
6. *Маловичко А.К., Бычков С.Г.* Исключение из аномалий силы тяжести влияния верхней части разреза // Геофизические методы поисков и разведки нефти и газа. – Пермь: Пермский ун-т, 1980. – С. 21–26.
7. *Бычков С.Г., Митюнина И.Ю.* Учет влияния неоднородностей верхней части разреза по сейсмическим и гравиметрическим данным // Известия вузов. Нефть и газ. – 2009. – № 5. – С. 22–27.
8. *Маловичко А.К.* Методы аналитического продолжения аномалий силы тяжести и их приложения к задачам гравиразведки. – М.: Гостоптехиздат, 1956. – 160 с.
9. *Бычков С.Г., Новоселицкий В.М., Простолупов Г.В., Щербинина Г.П.* Информационная технология содержательной интерпретации геопотенциальных полей // Геоинформатика. – Киев: НАНУ, 2004. – № 3. – С. 52–57.
10. *Маловичко А.К., Тарунина О.Л.* Высшие производные гравитационного потенциала и их применение при геологической интерпретации аномалий. – М.: Недра, 1972. – 152 с.
11. *Бычков С.Г., Простолупов Г.В., Щербинина Г.П.* Гравиметрические исследования нефтеперспективных объектов Камско-Кинельской системы прогибов // Нефть. Газ. Новации. – Самара: РОССИНГ, 2009. – № 4. – С. 6–11.

СИСТЕМА СЕЙСМОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В РОССИИ: СОСТОЯНИЕ, РАЗВИТИЕ И НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ

А.А. Маловичко, член-корреспондент РАН
Геофизическая служба РАН, г. Обнинск

Аннотация. Рассмотрено состояние отечественной системы сейсмологических наблюдений за последние 20 лет. Описана структура, состояние и тенденции ее развития. Сформулированы новые направления развития инструментальной сейсмологии и новые задачи, решение которых стало возможным благодаря внедрению более совершенных средств инструментальных наблюдений (с широкой полосой частот и большим динамическим диапазоном). Приведены примеры эффективного использования цифровых сейсмологических данных для решения самых различных задач особенностей глубинного строения разреза сейсмоактивных регионов и прогнозирования геодинамической обстановки на локальных объектах по результатам мониторинга на различных масштабных уровнях природной и техногенной сейсмичности.

Введение

В начале 1990-х годов после распада СССР система сейсмологических наблюдений переживала тяжелые времена. Из-за недостатка финансирования была закрыта почти четвертая часть сейсмических станций, функционировавших на территории Российской Федерации в составе различных организаций Академии наук СССР, а также других ведомств. Под угрозой прекращения оказались работы по сейсмическому мониторингу даже в сейсмоопасных регионах.

В этот сложный период по инициативе Российской академии наук, и прежде всего вице-президента РАН академика Н.П. Лаверова, а также директора Института физики Земли РАН академика В.Н. Страхова и директора Центральной опытно-методической экспедиции ИФЗ РАН О.Е. Старовойта Правительство Российской Федерации приняло в 1993 г. два постановления (№ 444 и 1346) о создании Федеральной системы сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений [1, 2]. Ядром этой системы должна была стать Геофизическая служба Российской академии наук (ГС РАН). В мае 1994 г. она была создана в соответствии с постановлением Президиума РАН. ГС РАН объединила в своем составе опытно-методические экспедиции и партии на всей территории Российской Федерации, начиная от экспедиций Камчатки и Сахалина на Дальнем Востоке и кончая экспедициями Северного Кавказа и Кольского полуострова на юге и северо-западе европейской части Российской Федерации.

Динамика развития российской системы сейсмологических наблюдений

Организация ГС РАН, а затем ГС Сибирского отделения (СО) РАН позволила выправить ситуацию с неблагоприятным состоянием сейсмической сети. Благодаря созданию ГС РАН и получению целевого и устойчивого финансирования, начиная с 1995 г., была достигнута стабилизация ситуации, а начиная с 2000 г. стало возможным говорить о развитии и модернизации системы сейсмологических наблюдений. За 11 лет в различных регионах Российской Федерации были запущены в эксплуатацию более 140 цифровых телесеismicких и региональных станций (рис. 1).

Основной целью деятельности Геофизической службы РАН было определено обеспечение непрерывного телесеismicкого, регионального и локального сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира с оперативным оповещением центральных и местных органов исполнительной власти, а также заинтересованных ведомств и организаций о произошедших землетрясениях и их возможных последствиях.

Помимо главной цели – мониторинга землетрясений – на ГС РАН в соответствии со специальными постановлениями Правительства РФ было также возложено:

- обеспечение функционирования системы предупреждения о цунами на Дальнем Востоке (совместно с Росгидрометом);
- обеспечение контроля за ядерными взрывами в рамках Международного договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (совместно с Министерством обороны РФ).

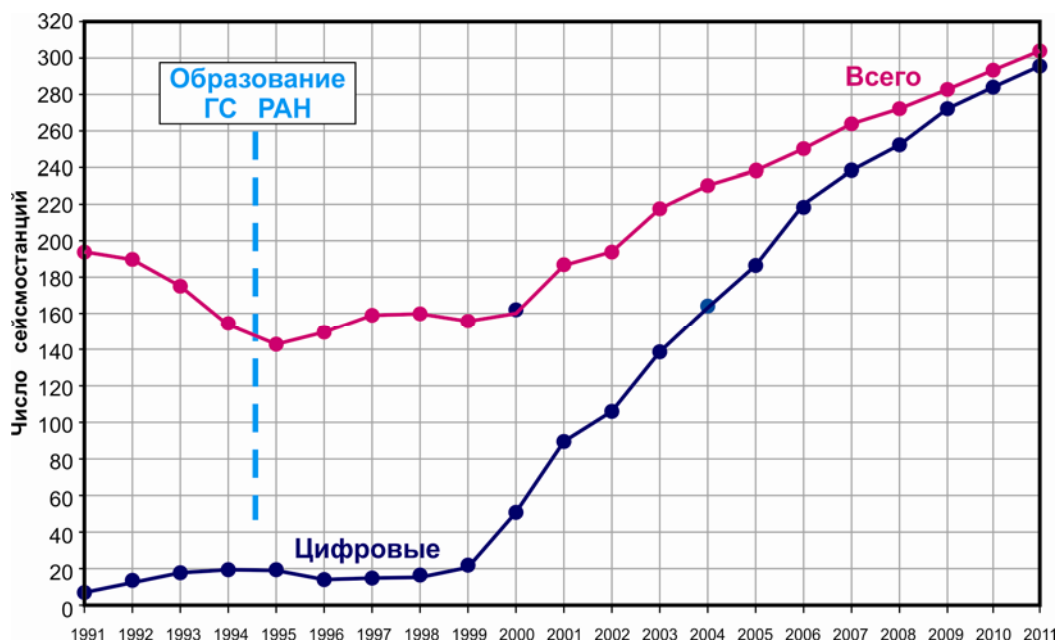


Рис. 1. Динамика развития российской сейсмологической сети в 1991–2011 гг.

Наряду с мониторингом землетрясений и ядерных взрывов Геофизическая служба РАН осуществляет также проведение других видов мониторинга за процессами как природного, так и техногенного характера:

- осуществление мониторинга за извержениями вулканов на территории Камчатского полуострова и Курильских островов;
- осуществление мониторинга за медленными геодинамическими процессами в земной коре и деформациями земной поверхности с использованием методов спутниковой геодезии на территории как в целом России, так и основных сейсмоопасных регионов.

Успешное выполнение перечисленных выше задач глобального и федерального мониторинга требует согласованной работы всей многоуровневой системы сейсмологических наблюдений, а также постоянного взаимодействия с международными и зарубежными национальными сейсмологическими центрами с целью обмена данными в режиме, близком к реальному времени.

По состоянию на начало 2012 г. ГС РАН и ГС СО РАН обеспечивают функционирование в непрерывном режиме трехуровневой системы сейсмологических наблюдений, включающей более чем 300 сейсмических станций и 11 региональных обрабатывающих центров (рис. 2), развернутых во всех филиалах: Камчатском (KRSC), Сахалинском (SKHL), Магаданском (NERS), Якутском (YARS), Байкальском (BYKL), Бурятском (BURS), Алтае-Саянском (ASRS), Кольском (KORS), Дагестанском (DRS), Северо-Осетинском (NORS), а также на базе Кавминводского полигона (KIV) на Северном Кавказе. В штате ГС РАН и ГС СО РАН работают более 1000 высококвалифицированных специалистов в области сейсмологии, геофизики, геоинформатики и систем телекоммуникационных технологий.

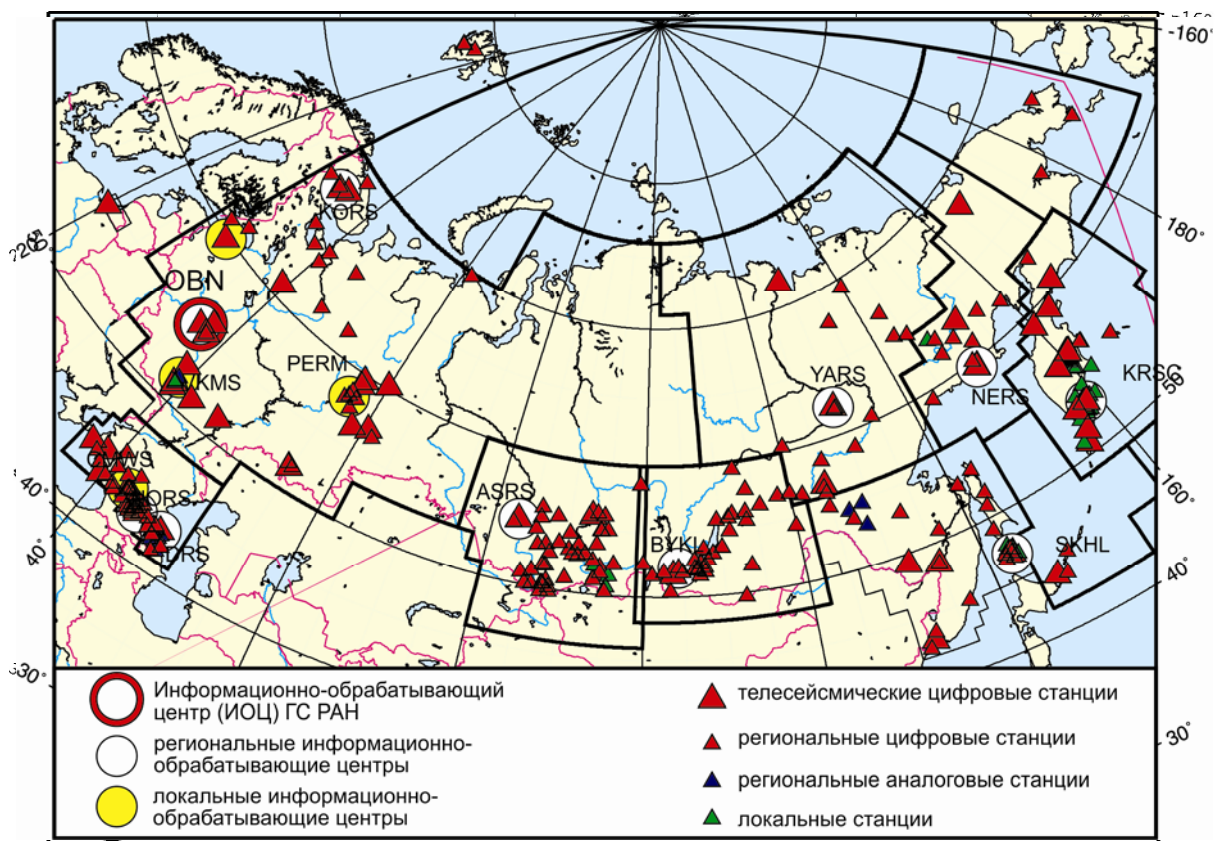


Рис. 2. Схема размещения стационарных сейсмических станций на территории Российской Федерации

Система сейсмологических наблюдений функционирует на базе современных цифровых технологий, обеспечивающих в режиме реального времени регистрацию, сбор, обработку и передачу сейсмических и геофизических данных по телеметрическим каналам связи. Подавляющее большинство сейсмических станций оснащено оборудованием отечественного производства. В качестве датчиков используются сейсмоприемники СМЗ-КВ (короткопериодные) или СМЗ-ОС (с расширенным диапазоном низких частот). В качестве регистраторов используются сеймостанции SDAS и UGRA, выпускаемые НПП «Микросейсм» (г. Обнинск), а также «Байкал-10» и «Байкал-11», выпускаемые в г. Новосибирске.

В методическом и технологическом отношении система ГС РАН органично интегрирована в мировую систему сейсмических наблюдений. Развитие обмена сейсмологическими и геофизическими данными и результатами обработки с международными и национальными сейсмологическими центрами является одним из приоритетных направлений деятельности ГС РАН. При этом самое пристальное внимание уделяется развитию технологий приема и обработки данных с зарубежных сейсмических станций в режиме, близком к реальному времени. Количество таких данных в последние годы имеет стабильную тенденцию к возрастанию. К примеру, в первой половине 2011 г. в процессе глобального мониторинга сейсмичности в Сейсмологическом центре ГС РАН (г. Обнинск) по различным телекоммуникационным каналам связи осуществлялся прием данных в режиме, близком к реальному времени (Near Real Time System – NRTS), с 104 сейсмических станций (рис. 3), из которых 38 являются российскими и 66 – зарубежными, входящими в Глобальную сейсмическую сеть (GSN) и Международную систему мониторинга (IMS), действующую в соответствии с Договором о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ).

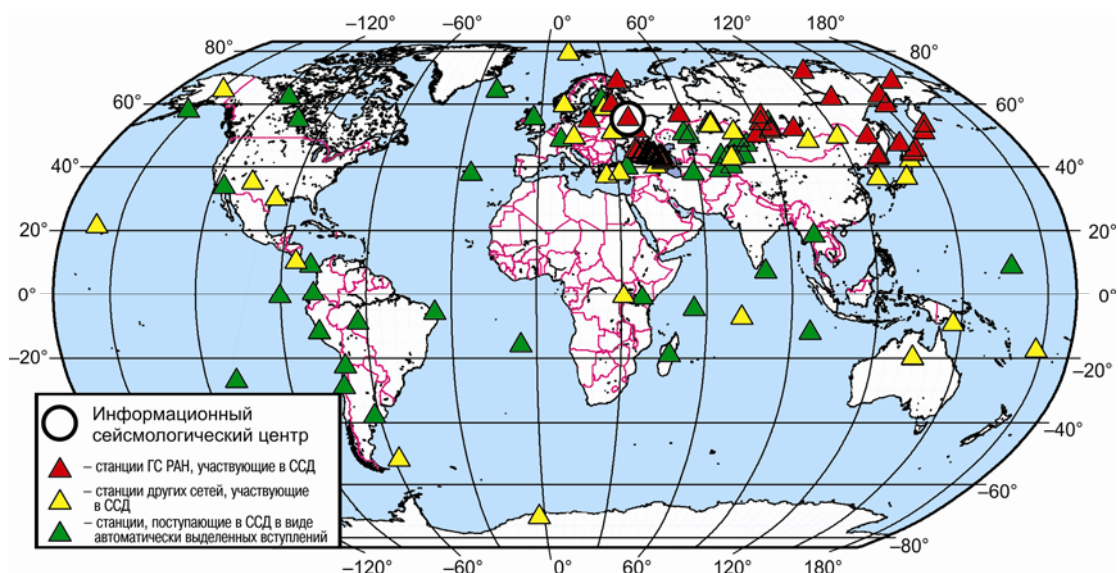


Рис. 3. Российские и зарубежные сейсмические станции, данные которых в режиме, близком к реальному времени, поступают в Сейсмологический центр ГС РАН (г. Обнинск)

Благодаря развитию системы сейсмологических наблюдений (и прежде всего увеличению числа сейсмических станций, доступных обработке в режиме, близком к реальному времени) в последние 10 лет существенно повысилась эффективность работы служб срочных донесений (ССД) в системе ГС РАН. ССД функционируют в Обнинске, а также в региональных филиалах, расположенных в наиболее сейсмоопасных регионах России (Камчатском, Сахалинском, Байкальском, Северо-Осетинском).

Расширение возможностей мониторинга в режиме реального времени на телесеismicком уровне, который осуществляет ССД в г. Обнинске, иллюстрирует рис. 4.

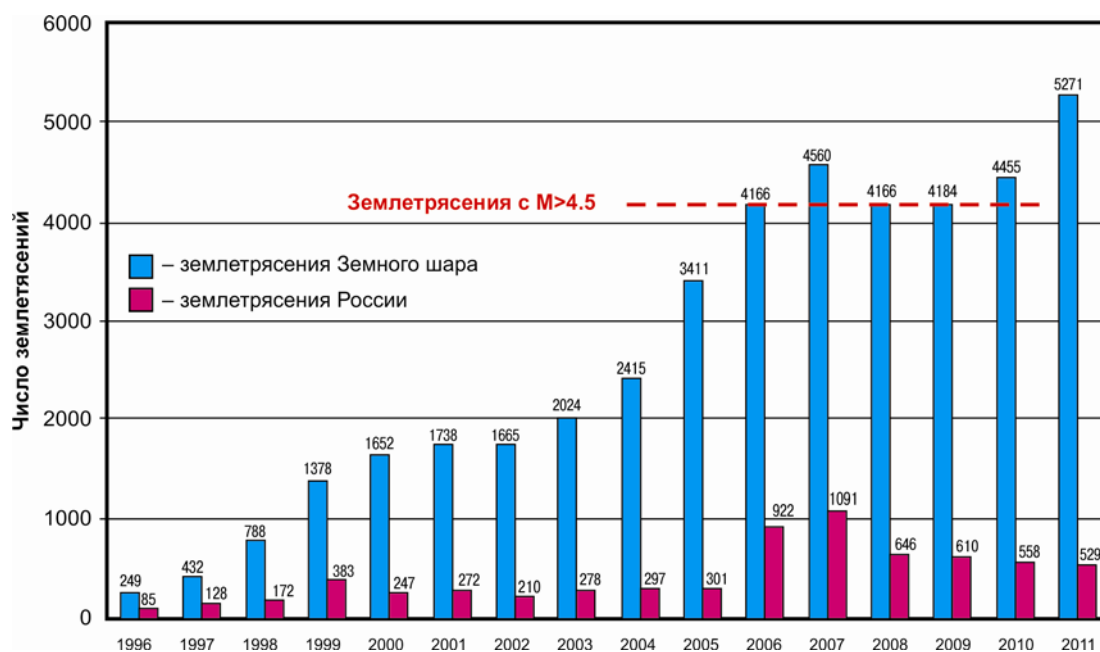


Рис. 4. Число землетрясений, обработанных Службой срочных донесений ГС РАН (г. Обнинск) в 1996–2011 гг.

Видно, что за 16-летний период число ежегодно обрабатываемых землетрясений увеличилось более чем на порядок. С 2006 г. число регистрируемых в режиме реального времени землетрясений составило 4.1–4.5 тыс. в год.

Этот уровень примерно соответствует числу ежегодно происходящих на земном шаре землетрясений, которые имеют магнитуды $M > 4.5$ (уровень показан на рис. 4 пунктирной линией). Таким образом, на телесеismicком (глобальном) уровне система сейсмологических наблюдений ГС РАН фиксирует все землетрясения, происходящие на земном шаре, и магнитуды которых превышают 4.5.

Отметим заметное возрастание (почти на 25%) числа зарегистрированных землетрясений в 2011 году. Это связано с интенсивными и многочисленными афтершоками катастрофического землетрясения в Тохоку, произошедшего вблизи острова Хонсю (Япония) 11 марта 2011 года [3].

Модернизация системы сейсмологических наблюдений в рамках Федеральной целевой программы «Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Российской Федерации до 2010 года»

В период 2006–2010 гг., благодаря участию Геофизической службы РАН в Федеральной целевой программе (ФЦП) «Снижение рисков и смягчение последствий ...», была осуществлена масштабная модернизация системы сейсмологических наблюдений [4].

За 5 лет в рамках ФЦП выполнена реализация следующих крупных мероприятий:

- коренная модернизация сейсмической подсистемы Системы предупреждения о цунами (СПЦ) на Дальнем Востоке Российской Федерации;
- создание спутникового сегмента связи для высокоскоростной и помехоустойчивой передачи в реальном времени сейсмических данных с удаленных и труднодоступных сейсмических станций;
- развитие комплексного геодинамического полигона на территории одного из самых сейсмоопасных регионов России – Камчатского края;
- создание новых высокочувствительных сейсмических станций на Северном Кавказе;
- развитие специализированного программного обеспечения для передачи, сбора, хранения и оперативной обработки больших объемов мониторинговой сейсмической информации в системе распределенных на обширной территории Российской Федерации информационно-обрабатывающих центров ГС РАН.

Коренная модернизация сейсмической подсистемы Системы предупреждения о цунами на Дальнем Востоке России

В результате коренной модернизации сейсмической подсистемы СПЦ на Дальнем Востоке России в конце 2010 г. запущена в эксплуатацию первая очередь такой подсистемы, основу которой составили одиннадцать новых широкополосных станций (рис. 5): пять опорных («Петропавловск-Камчатский», «Южно-Сахалинск», «Южно-Курильск», «Усть-Камчатск», «Северо-Курильск» (о. Парамушир)) и шесть вспомогательных («Владивосток», «Курильск», «Гиличики», «Оха», «Никольское» (о. Беринга), «Малокурильское» (о. Шикотан)).

Каждая опорная станция представляет собой локальную группу и состоит из одного центрального и четырех выносных широкополосных пунктов сейсмических наблюдений. Комплект оборудования широкополосной базовой станции включает:

- один широкополосный велосиметр типа GURALP CMG-3ESPC (три компоненты, частотный диапазон – 0.0083–50 Гц);
- пять акселерометров GURALP CMG-5T (три компоненты, частотный диапазон – 0–100 Гц, максимальный регистрируемый без искажений сигнал – 2 g);
- пять комплектов сейсмических регистраторов GSR-24 (АЦП 24 разряда, три канала) со вспомогательным оборудованием (GPS-приемники Garmin, источники бесперебойного питания, устройства управления и обработки данных на базе микро-PC и др.).



Рис. 5. Сеть станций сейсмической подсистемы Системы предупреждения о цунами по состоянию на конец 2010 года

На рис. 6 приведен пример конфигурации опорной сейсмостанции «Южно-Сахалинск», для которой выносные пункты удалены на расстояния от 27 до 55 км от центрального пункта.

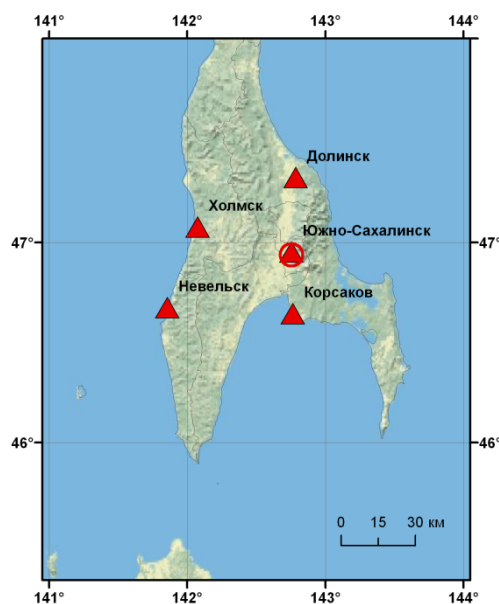


Рис. 6. Схема расположения пунктов наблюдений в составе локальной группы опорной широкополосной сейсмостанции «Южно-Сахалинск»

Данные с опорных и вспомогательных сейсмостанций в режиме реального времени передаются в информационно-обрабатывающие центры в городах Петропавловск-Камчатский, Южно-Сахалинск и Владивосток. В случае возникновения в Дальневосточном регионе РФ цунамигенного землетрясения специально разработанное программное обеспечение для автоматической обработки и анализа сейсмических сигналов позволяет выдать предупреждение об угрозе цунами в первые минуты после его регистрации сейсмическими станциями.

Эффективность работы новой сейсмической подсистемы СПЦ была продемонстрирована в ходе регистрации катастрофического землетрясения в Тохоку (Япония) 11 марта 2011 года. В результате экспресс-обработки данных, полученных южным сегментом Дальневосточной сети сейсмостанций, через 9.5 мин после момента землетрясения Сахалинским филиалом ГС РАН было правильно оценены параметры этого землетрясения (его координаты, магнитуда 8.9 и цунамигенный характер) и выдано сообщение об угрозе волны цунами для побережья островов Курильской гряды. Это обеспечило 30-минутный запас времени для жителей островов для того, чтобы покинуть цунамиопасные участки побережья.

Создание спутникового сегмента связи обеспечило высокоскоростную и помехоустойчивую передачу в реальном времени сейсмических данных с удаленных и труднодоступных сейсмических станций в региональные информационно-обрабатывающие центры. В 2006–2010 гг. в основных сейсмоопасных регионах Российской Федерации было установлено 60 спутниковых терминалов (рис. 7), в том числе в Дальневосточном регионе – 31 терминал, в Сибирском – 10 и Северо-Кавказском – 11.



Рис. 7. Схема распределения спутниковых терминалов в сейсмической сети ГС РАН

Это позволило принципиально на новом уровне решать вопросы передачи и оперативной обработки сейсмологических данных во всех регионально-обрабатывающих центрах ГС РАН. В частности, в Дальневосточном регионе оказалось возможным создать зеркальные обрабатывающие центры в гг. Петропавловск-Камчатский и Южно-Сахалинск, когда, в случае выхода из строя одного из центров, второй может незамедлительно приступить к обработке данных по всей территории региона.

Создание новых высокочувствительных сейсмических станций на Северном Кавказе

В последние годы пристальное внимание уделялось развитию сети сейсмических наблюдений в Северо-Кавказском регионе. В центральной части региона была создана сеть станций Северо-Осетинского филиала ГС РАН (рис. 8). 12 современных цифровых станций обеспечили установление надежного контроля за сейсмическими событиями с магнитудного уровня 2.0 не только на территории Республики Северная Осетия–Алания, но и на прилегающих территориях Чеченской Республики, Кабардино-Балкарской Республики и в северной части Грузии [5].

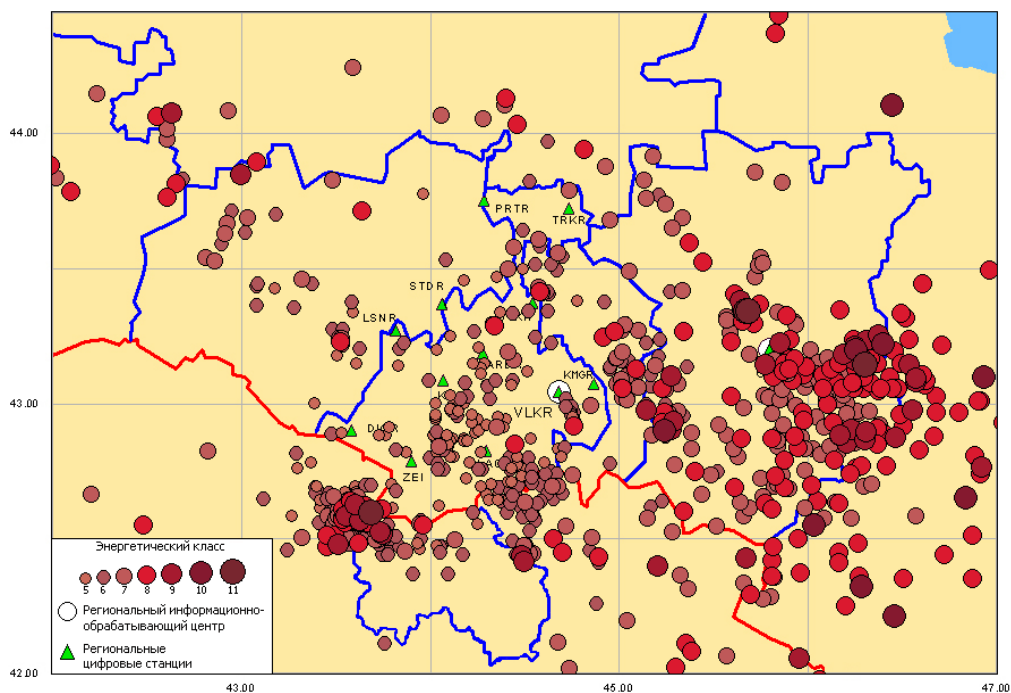


Рис. 8. Сейсмичность центральной части Северного Кавказа в 2010 г. по результатам мониторинга сетью станций Северо-Осетинского филиала ГС РАН

На рис. 8 показаны результаты мониторинга за 2010 год. Хорошо видны особенности пространственной неоднородности сейсмических процессов на территории региона. Наиболее крупные зоны концентрации сейсмических событий выделяются в восточной части Чеченской Республики, а также в пределах очаговой зоны известного Рача-Джавского землетрясения 29.04.1991 г. на территории Республики Южная Осетия.

В Кабардино-Балкарской Республике в 2009 г. была развернута новая опорная сейсмическая станция «Нейтрино» [6]. Она размещена в уникальной штольне Баксанской нейтринной обсерватории Института ядерных исследований РАН на расстоянии 3.8 км от входа. Штольня располагается всего в 20 км от наиболее высокой вершины Кавказа – горы Эльбрус. По уровню микросейсмических шумов эта сейсмостанция является одной из самых «тихих» в Кавказском регионе (рис. 9).

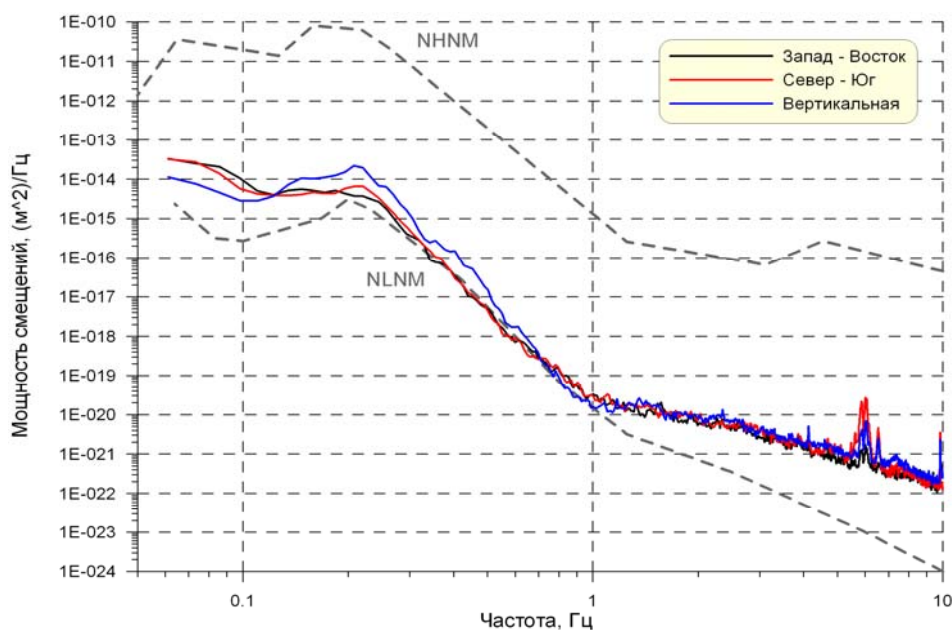


Рис. 9. Спектральная мощность микросейсмических шумов на станции «Нейтрино»

Вовлечение станции «Нейтрино» в обработку данных региональных обрабатывающих центров Северного Кавказа позволило существенно повысить надежность определения параметров землетрясений, происходящих на территории региона. Вместе с лабораторией прикладной геофизики и вулканологии Института физики Земли РАН и лабораторией лазерной интерферометрии ГАИШ Московского университета [7] на базе Баксанской нейтринной обсерватории фактически создана не имеющая аналогов комплексная геофизическая обсерватория. Она включает целый ряд уникальных измерительных систем, которые работают в режиме непрерывного мониторинга: длиннобазовый (длина плеча – 75 м) лазерный интерферометр-деформограф, кварцевый наклонномер НК-2 конструкции Д.Г. Гриднева, трехкомпонентная магнитовариационная станция, кварцевый гравиметр СКГ-М, магнитометр POS-1 для измерения модуля индукции магнитного поля, сейсмометр для изучения высокочастотных сейсмических шумов. Совместная обработка и интерпретация этих данных позволят получить принципиально новую информацию о структуре и динамике геодинамических процессов в районе Эльбрусского вулканического центра.

Мониторинг европейской части Российской Федерации

В течение многих лет основные работы ГС РАН по сейсмологическому мониторингу были сосредоточены в наиболее сейсмоопасных регионах России – на Дальнем Востоке, на юге Сибири и на Кавказе. Остальные регионы России считались несейсмоопасными. В частности, территория европейской части России до последнего времени считалась геодинамически спокойной и поэтому была крайне слабо охвачена сейсмологическими наблюдениями. Между тем именно здесь проживает значительная часть населения и именно здесь имеет место аномально высокая плотность концентрации различных промышленных объектов и экологически опасных производств. В этих условиях последствия даже не самого крупного природного или техногенного землетрясения могут стать катастрофическими. Землетрясение, произошедшее 21 сентября 2004 г. в Калининграде, – яркий пример активизации сейсмичности в районе, который до этого считался сейсмически спокойным [8]. Ущерб в Калининградской области от этого, далеко не самого сильного, землетрясения ($m_b=5.1$), составил более 140 млн рублей. При этом повреждения получили более 1150 зданий.

За последние 20 лет на территории европейской части России в дополнение к 17 существовавшим сейсмическим станциям было открыто более 40 новых [9]. Ряд станций были открыты благодаря тесной кооперации ГС РАН с региональными академическими институтами – Горным институтом Уральского отделения (УрО) РАН на Западном Урале (восемь станций) и Институтом экологических проблем Севера УрО РАН в Архангельской области (четыре станции). В кооперации с Воронежским государственным университетом развита сеть из шести станций в пределах Воронежского кристаллического массива. Открытие новых станций значительно расширило возможности изучения умеренной и слабой сейсмичности платформенных территорий (рис. 10).

В 1995 г. уровень надежной регистрации землетрясений на большей части территории Восточно-Европейской платформы (за исключением северо-востока) ограничивался магнитудой 3.0. Лишь на Кольском полуострове за счет взаимодействия сетей Кольского регионального сейсмологического центра РАН и Норвежского центра NOR-SAR достигался уровень $M=2.5$. К 2010 г. возможности мониторинга слабых землетрясений существенно расширились (рис. 10). Землетрясения с $M \geq 2.5$ стали надежно регистрироваться еще в трех обширных зонах – на Среднем Урале, в центральной части Восточно-Европейской платформы и на территории Ленинградской области. В этих зонах уже в самом ближайшем будущем возможна постановка мониторинговых работ более детального уровня, связанных с сейсмическим контролем состояния массивов вблизи различных ответственных объектов.

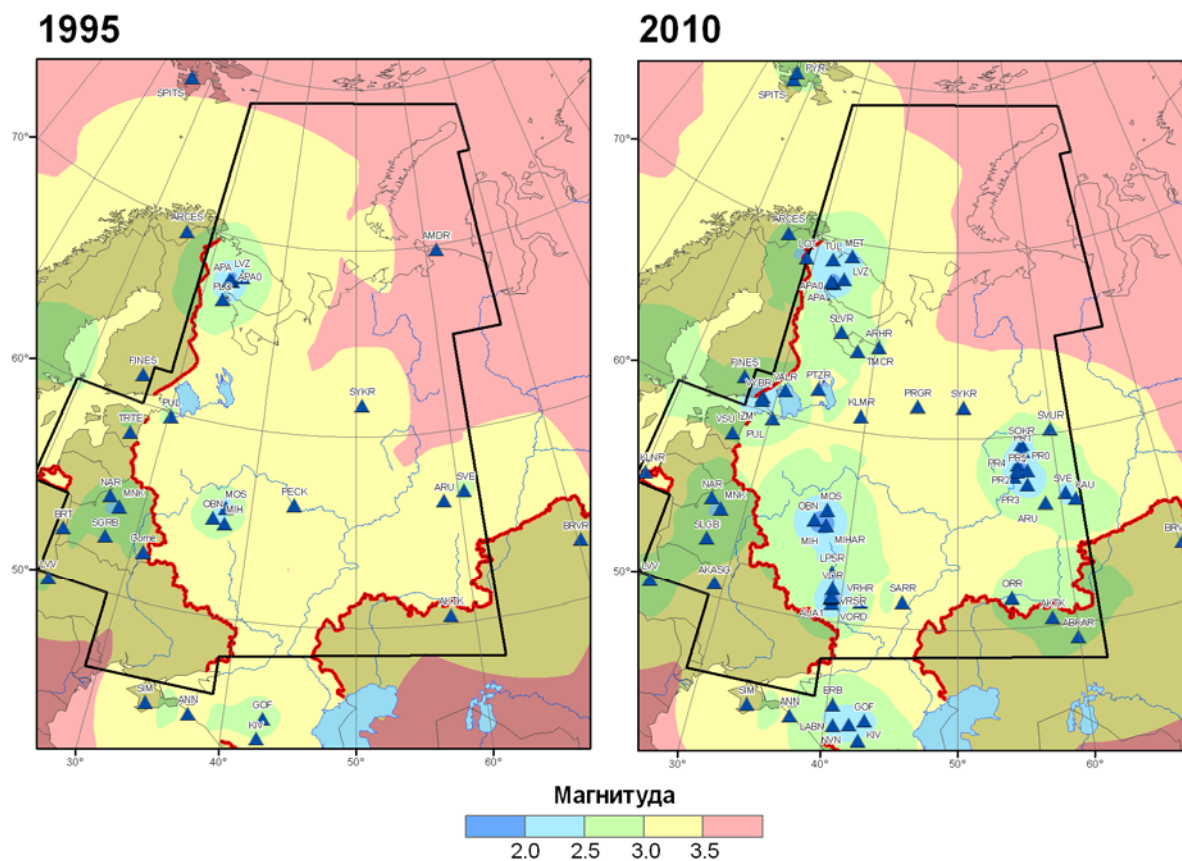


Рис. 10. Сравнение регистрационных возможностей систем сейсмического мониторинга на территории Восточно-Европейской платформы в 1995 и 2010 годах

На рис. 11 показан пример регистрации Качканарского землетрясения, произошедшего 29 марта 2010 г. на Среднем Урале [10]. Магнитуды землетрясения составили: локальная – $M_L=4.4$, по продольной волне – $m_b=4.2$. Это землетрясение стало одним из наиболее сильных, зафиксированных за последние годы на территории региона. Землетрясение было зарегистрировано десятью региональными сейсмостанциями, что позволило впервые для Уральского региона количественно оценить механизм его очага [10].

Мониторинг техногенной сейсмичности

Результаты исследований, проведенные в последние десятилетия, показывают, что в недрах европейской части России (Кольский полуостров, Урал, Татарстан, Воронежский щит и др.) и Кемеровской области в Сибири фиксируются землетрясения, часть из которых имеют ярко выраженный природно-техногенный характер, связанный с интенсивным освоением недр (горнодобывающая деятельность, разработка нефтяных и газовых месторождений, эксплуатация водозаборов, закачка отходов в глубокие поглощающие горизонты и др.) [11, 12]. Магнитуды этих техногенных землетрясений могут достигать 5.0 и более. Поскольку глубины их очагов составляют первые единицы километров, то эти землетрясения могут вызывать на земной поверхности аномально высокие воздействия, которые могут оказаться критическими для многих промышленных объектов, построенных несколько десятилетий назад без соответствующих антисейсмических мероприятий (АЭС, химические производства, магистральные нефте- и газопроводы и т.д.).

Последние несколько лет дали ряд примеров эффективного применения сейсмологического мониторинга для решения различных задач изучения техногенной активизации [13, 14].

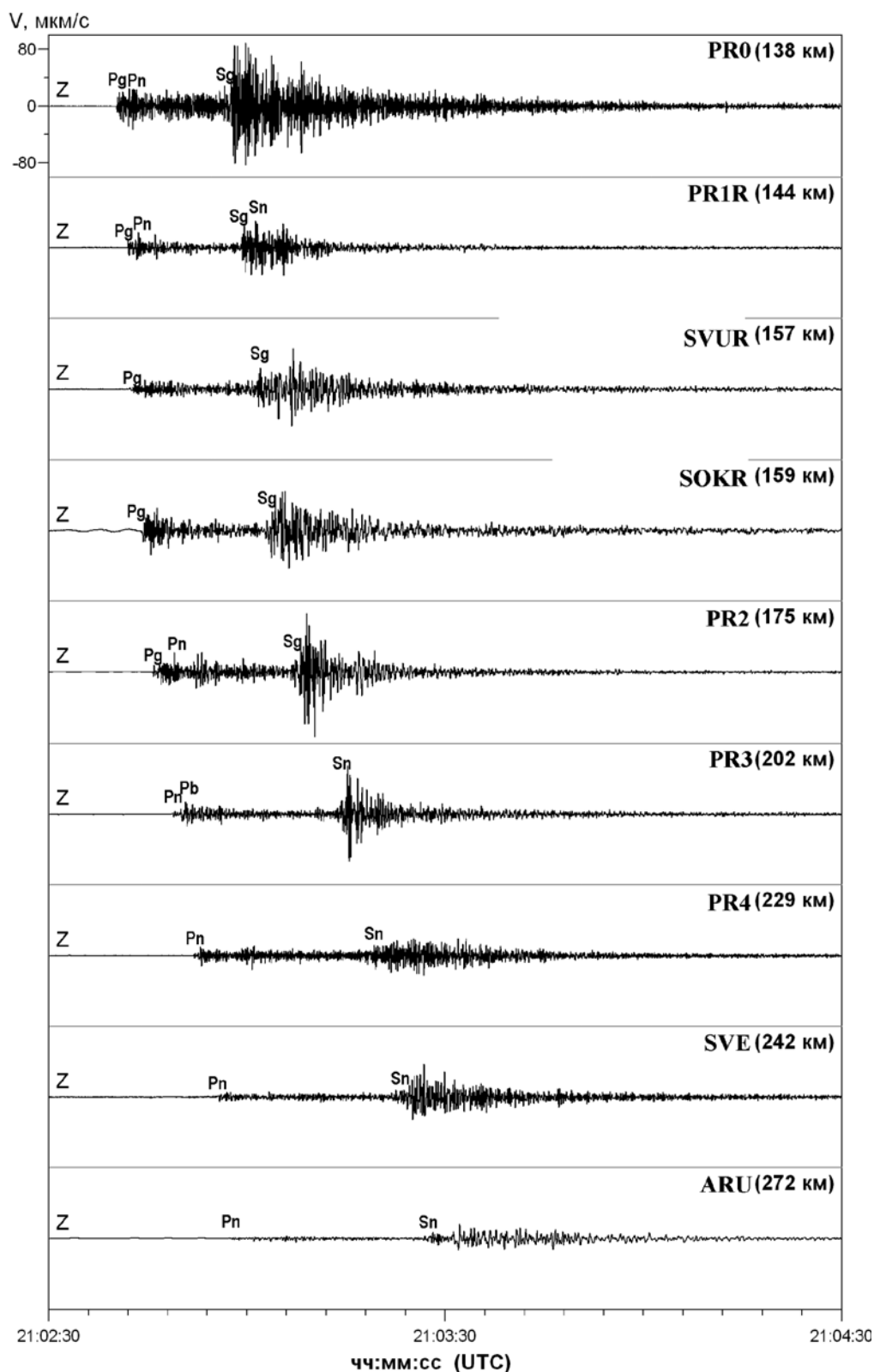


Рис. 11. Сейсмограмма землетрясения, произошедшего 29 марта 2010 г. вблизи г. Качканар (Свердловская область)

В октябре 2006 г. на Верхнекамском месторождении солей на Западном Урале возникла аварийная ситуация – в результате нарушения сплошности водозащитной толщи (пачки слоев над горными выработками) началось неконтролируемое затопление Первого калийного рудника (БКПРУ-1) ОАО «Уралкалий» [13].

Рудник располагался под крупным промышленным центром Западного Урала – городом Березники с населением более 200 тысяч жителей. Возникла необходимость оперативного решения целого ряда задач: локализации участка нарушения водозащитной толщи, оценки масштабов процессов соляного карста и организации их мониторинга. В комплексе применявшихся геофизических методов одно из главных мест занял сейсмологический мониторинг. Развертывание наземно-скважинно-подземной системы сейсмологического мониторинга позволило организовать непрерывный контроль за развитием процессов в подработанном массиве и, в конечном итоге, установить местоположение участка нарушения водозащитной толщи, оценить размеры возможного провала, проконтролировать его образование и динамику развития.

После образования провала 27 июля 2007 г. непрерывный сейсмологический мониторинг обеспечил осуществление эффективного контроля за его развитием. Анализ пространственного распространения и группирования очагов слабых сейсмических событий (магнитудного уровня $-2.0 \div -4.0$) позволил достаточно надежно оценить направление дальнейшего развития провала. Так, начиная с августа 2007 г., провал стал интенсивно развиваться в восточном направлении – в направлении железной дороги федерального уровня (рис. 12).

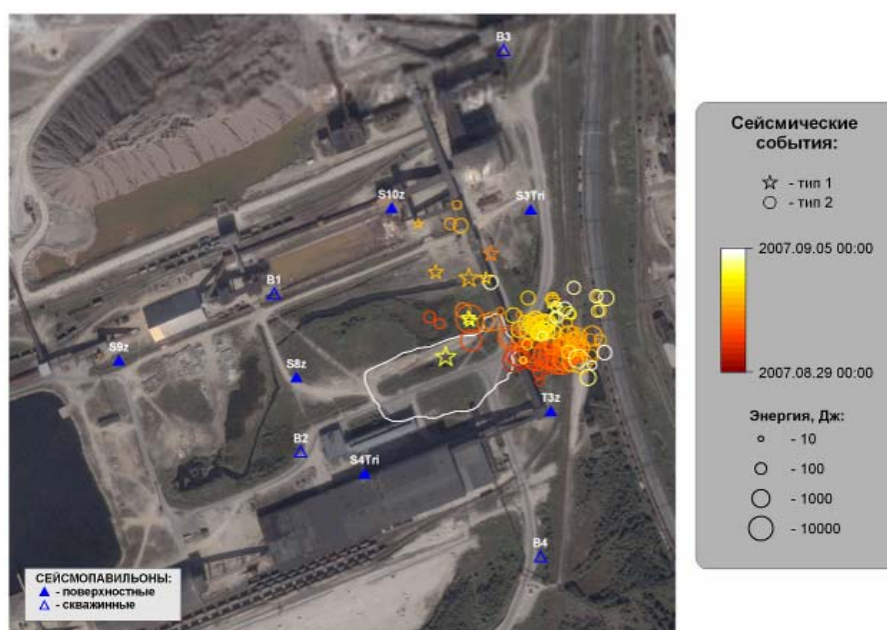


Рис. 12. Динамика развития сейсмических процессов в районе провала в период с 29 августа по 5 сентября 2007 года

При сопоставлении эпицентров сейсмических событий с положением контура провала удалось установить, что события опережают развитие контура провала примерно на 1–2 недели. Такая корреляция позволила осуществлять прогноз характера развития бортов провала в период наиболее активного развития карстовой полости. Принятие на основе этой информации соответствующих превентивных мер (своевременный перенос железной дороги) позволило избежать более серьезных последствий в результате этой природно-техногенной аварии.

В 2007 г. заметная техногенная активизация была отмечена в районе г. Польшаево в Кемеровской области. В городе периодически фиксировались ощутимые сотрясения. Первые же сейсмологические мониторинговые наблюдения [14] позволили обнаружить две зоны техногенных сейсмических активизаций, приуроченные к лавам шахты «Польшаевская», где велись работы по добыче угля. В ходе дальнейших мониторинговых работ были выявлены еще две зоны сейсмических активизаций, одна из которых пространственно привязана к участку готовящейся лавы, а другая – к участку, где горные работы отсутствовали.

Сейсмологические исследования на локальном уровне

Развитие методов цифровой регистрации и систем удаленной передачи данных позволило разработать и внедрить в разных подразделениях ГС РАН технологии сейсмологических исследований на самых различных локальных объектах.

Сейсмический мониторинг действующих вулканов Камчатки

Камчатским филиалом ГС РАН интенсивно развиваются системы мониторинга на действующих вулканах. К настоящему времени системы работают на пяти объектах (рис. 13): вулканы Ключевской группы – 9 станций, вулканы Авачинской группы – пять станций, вулкан Шивелуч – три станции, вулканы Мутновский и Горелый – три станции, вулкан Алаид – две станции [15].

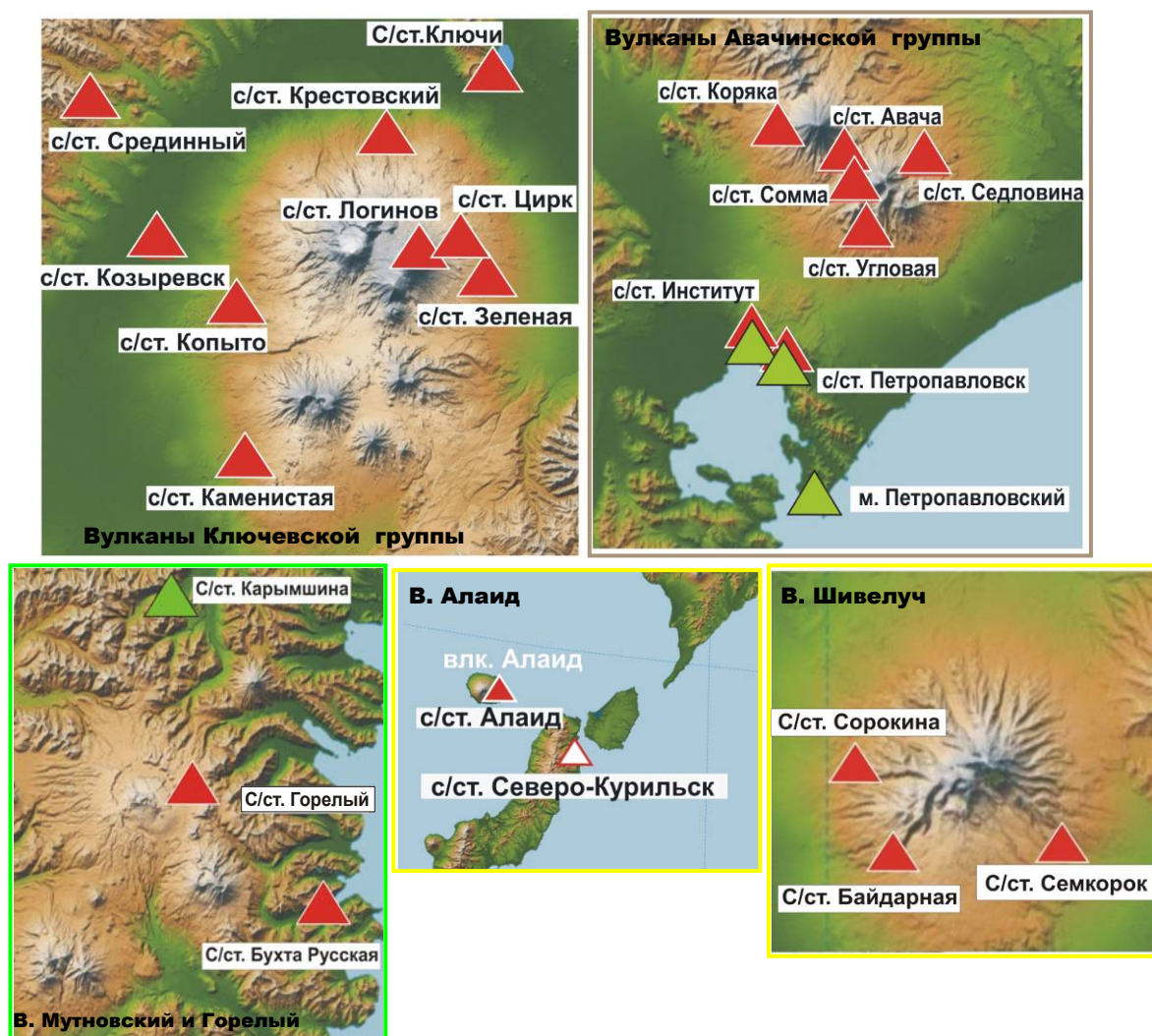


Рис. 13. Системы сейсмического мониторинга на действующих вулканах Камчатки

В рамках новой Федеральной целевой программы «Снижение рисков и последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Российской Федерации до 2015 года» планируется развитие существующих систем мониторинга и открытие пунктов наблюдений на ряде новых вулканов. На новых пунктах будут устанавливаться широкополосные велосиметры CMG-6TD или акселерометры CMG-5TD, мощные системы автономного питания на базе солнечных батарей и каналы (спутниковый или RadioEthernet) для непрерывной передачи данных. На ряде пунктов предполагается установить IP-видеокамеры, измерительный GPS-приемник, наклономер, аппаратуру для анализа состава вулканических газов, а также другие измерительные устройства, имеющие сетевой интерфейс или аналоговый выход.

Сейсмический мониторинг объектов ядерной энергетики

Лабораторией сейсмического мониторинга Воронежского кристаллического массива ГС РАН в течение ряда лет ведутся непрерывные инструментальные наблюдения за динамикой сейсмических процессов вблизи Нововоронежской атомной станции (НВАЭС). Развернутая там локальная сеть станций включает широкополосную сейсмическую станцию на площадке АЭС и две станции в ближней зоне (на расстояниях 5–7 км). Еще две станции расположены в дальней от АЭС зоне (на расстояниях до 75 км).

Созданная локальная сеть сейсмических станций позволяет осуществлять кондиционные режимные наблюдения и успешно решать поставленные перед сейсмическим мониторингом задачи: регистрация и определение параметров (координаты и интенсивность) местных землетрясений, микроземлетрясений и взрывов, а также телесеизмических землетрясений.

В 2011 г. аналогичные работы были начаты вблизи Курской АЭС.

Сейсмическое микрорайонирование локальных участков и зон, связанных со строительством зданий и проектированием и прокладкой новых транспортных магистралей

Сейсмическое микрорайонирование, позволяющее с высокой детальностью оценивать локальные инженерно-сейсмические условия, имеет исключительно важное значение для повышения безопасности гражданского и промышленного строительства в сейсмоопасных регионах. Большие объемы таких исследований в самое последнее время выполнены подразделениями ГС РАН в районе Большого Сочи, где ведется интенсивное строительство многочисленных объектов транспортной инфраструктуры, а также объектов олимпийского комплекса. На рис. 14 приведен пример полученной карты изменения сейсмической интенсивности колебаний для 6-километрового участка обходного тоннеля в районе пос. Мамайка (Сочи). Видно, что грунтовые условия вдоль будущей трассы существенно меняются (почти на 2 балла), что должно быть учтено при проектировании тоннельного сооружения.

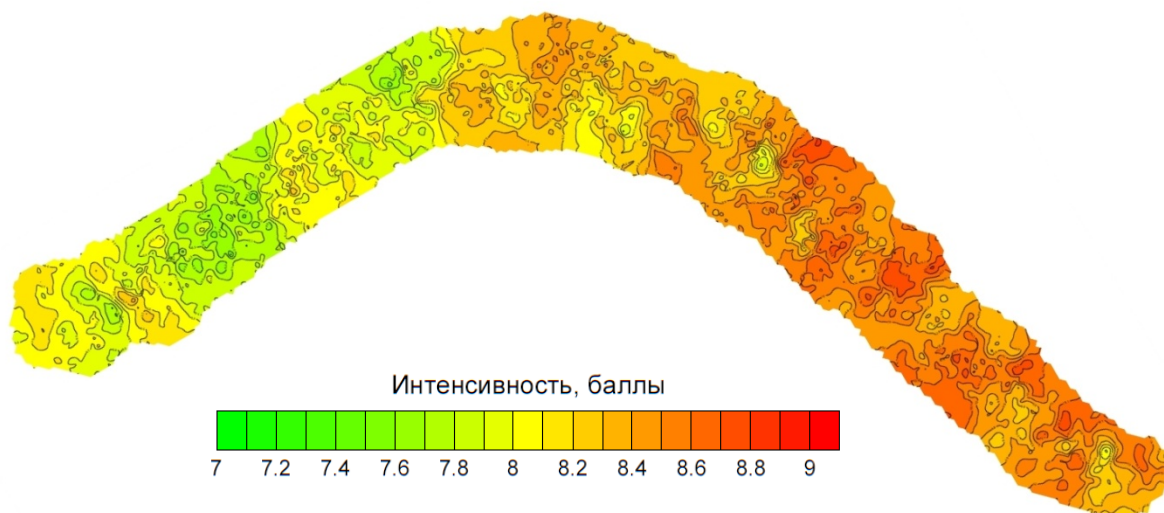


Рис. 14. Карта изменения сейсмической интенсивности для среднепериодного диапазона колебаний на трассе 4-го тоннеля на участке Туапсе–Адлер Северо-Кавказской железной дороги

Сейсмический мониторинг высотных зданий

В тесной кооперации с сотрудниками физического факультета Московского государственного университета специалистами ГС РАН в 2009–2010 гг. разработана, установлена и запущена в эксплуатацию стационарная система сейсмологического мониторинга главного здания МГУ.

Она включает трехкомпонентные наблюдения на 13 уровнях и пункт сбора цифровых данных в реальном времени на 13 этаже здания (рис. 15). Эта первая и единственная в России система сейсмического контроля высотного здания, позволяющая с высокой детальностью фиксировать картину колебаний уникального сооружения. Регистрация на восьми нижних уровнях ведется с использованием комплектов широкополосных сейсмометров СМЗ-ОС, на пяти верхних – трехканальных акселерометров АС-63.

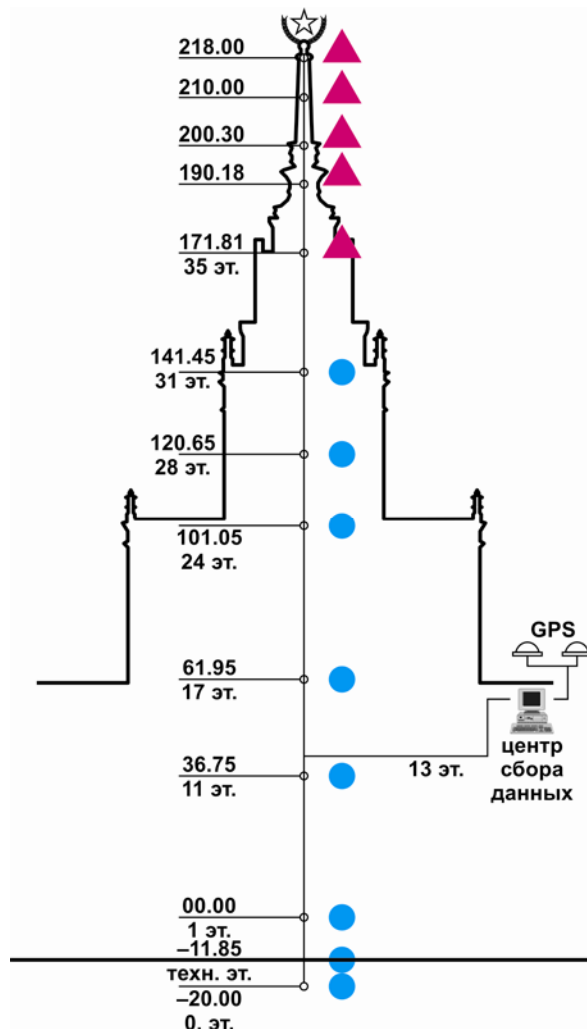


Рис. 15. Схема расположения пунктов сейсмометрических мониторинговых наблюдений в главном здании МГУ

Сейсмологические обследования и микросейсмический мониторинг на объектах нефтяной и газовой отрасли

С использованием мобильных сейсмологических комплексов специалистами ГС РАН в кооперации с лабораторией природной и техногенной сейсмичности Горного института УрО РАН выполнено значительное количество проектов, связанных с обследованием магистральных газопроводов и мониторинговыми измерениями на нефтяных и газовых месторождениях или нефтегазоперспективных участках. Эти исследования базируются на использовании специально разработанных технологий [16, 17] пространственно-временного анализа микросейсмических шумов в пределах изучаемых объектов. Так, микросейсмические съемки, проводимые вдоль трасс магистральных газопроводов, позволяют прогнозировать локальные участки с аномальными уровнями вибраций – зоны технологических и геодинамических аномалий (рис. 16). К последним приурочены зоны развития интенсивных стресс-коррозийных процессов. Эти зоны фактически представляют собой потенциально аварийно-опасные участки газопроводов [18, 19].

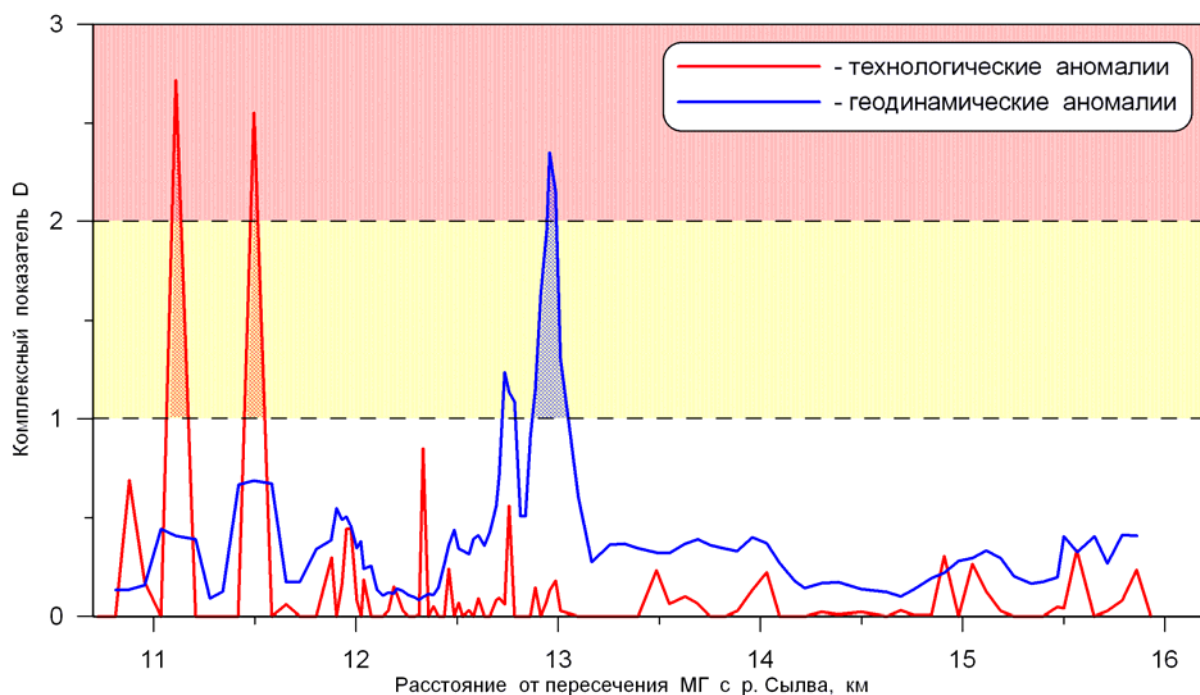


Рис. 16. Выделение геодинамических и технологических аномалий на Мазуевском участке магистральных газопроводов ОАО «Пермтрансгаз»

Эффективной технологией повышения результативности поисково-разведочных работ на нефтяных и газовых объектах является методика пассивной микросейсмической съемки (ПМСС). Детальный анализ структуры микросейсмических шумов, регистрируемых на земной поверхности, позволяет осуществлять прогнозирование нефтегазоносных объектов в разрезе [20] и тем самым сократить затраты на разбуривание «пустых» структур.

Заключение

1. За последние десять лет отечественная система сейсмологических наблюдений получила существенное развитие – открыто более 120 новых цифровых станций во всех сейсмоактивных регионах Российской Федерации. За этот же период качественно изменился состав оборудования на сейсмических станциях. В результате технического перевооружения количество станций, оснащенных современным цифровым оборудованием, увеличилось до 270.

2. В 2006–2010 гг. создана первая очередь современной сейсмической подсистемы в Системе предупреждения о цунами на Дальнем Востоке РФ в составе 11 сеймостанций, оснащенных новейшим широкополосным и высокочувствительным сейсмологическим оборудованием, что позволило принципиальным образом повысить уровень защищенности населения от цунамигенных землетрясений.

3. Начата масштабная перестройка системы сейсмологических наблюдений на современные информационные технологии, обеспечивающие в режиме реального времени сбор и передачу сейсмических и геофизических данных по телеметрическим каналам связи. К концу 2010 г. завершено развертывание спутникового сегмента передачи данных в составе 60 терминальных станций, что обеспечило непрерывную передачу данных в региональные информационно-обрабатывающие центры со всех станций, расположенных в удаленных и труднодоступных местах.

4. Запуск в работу региональной сейсмологической сети Северо-Осетинского филиала ГС РАН позволил установить надежный мониторинг сейсмических процессов в центральной части Северного Кавказа, обеспечив регистрацию всех умеренных и слабых землетрясений в этом регионе.

5. В последние годы в целом ряде регионов Российской Федерации накоплен значительный опыт сейсмического контроля за разномасштабными проявлениями техногенной сейсмичности. Разработаны и успешно апробированы технологии, которые позволили оценить масштабы и динамику техногенных и природно-техногенных событий, в том числе в режиме чрезвычайных ситуаций.

6. Расширяются примеры успешного применения сейсмологических мониторинговых технологий для решения самых разнообразных задач: проведение сейсмического микрорайонирования для участков строительства новых крупных и ответственных объектов (особенно в районе Большого Сочи); сейсмический мониторинг объектов атомной энергетики; сейсмический мониторинг высотных зданий; сейсмологические обследования трасс магистральных газопроводов; сейсмологический мониторинг месторождений углеводородов и др.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Постановление Правительства Российской Федерации от 11 мая 1993 г. № 444.* О Федеральной системе сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений.
2. *Постановление Правительства Российской Федерации от 25 декабря 1993 г. № 1346.* Положение о Федеральной системе сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений.
3. *Маловичко А.А., Старовойт О.Е., Габсатарова И.П., Коломиец М.В., Чепкунас Л.С.* Катастрофическое землетрясение Тохоку 11 марта 2011 г. в Японии // Сейсмические приборы. – 2011. – Т. 47, № 1. – С. 5–16.
4. *Лаверов Н.П., Маловичко А.А., Старовойт О.Е.* Российская сеть сейсмологических наблюдений: состояние и перспективы развития // Сейсмичность Северной Евразии. Материалы Международной конференции. – Обнинск: ГС РАН, 2008. – С. 5–14.
5. *Погода Э.В., Головкова Л.В., Калоева И.Ю., Морозова Я.Н., Саяпина А.А.* Сейсмичность центральной части Северного Кавказа в 2005–2008 гг. // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Четвертой Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2009. – С. 163–167.
6. *Маловичко А.А., Мехрюшев Д.Ю., Горожанцев С.В., Шевченко А.В.* Новая сейсмическая станция на территории Кабардино-Балкарии // Сейсмические приборы. – 2011. – Т. 47, № 1. – С. 68–76.
7. *Собисевич А.Л., Гриднев Д.Г., Собисевич Л.Е., Канониди К.Х.* Аппаратурный комплекс Северокавказской геофизической обсерватории // Сейсмические приборы. – 2008. – Т. 44, № 1. – С. 21–42.
8. *Калининградское землетрясение 21 сентября 2004 года.* – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2009. – 169 с.
9. *Маловичко А.А., Габсатарова И.П., Чепкунас Л.С., Старовойт О.Е.* Инструментальные сейсмические наблюдения на Восточно-Европейской платформе // Землетрясения и микросейсмичность в задачах современной геодинамики Восточно-Европейской платформы. Кн.1: Землетрясения. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. – С. 14–66.
10. *Дягилев Р.А., Голубева И.В.* Параметры Качканарского землетрясения 29 марта 2010 г. по инструментальным данным // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Пятой Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2010. – С. 89–93.
11. *Маловичко А.А., Завьялов А.Д., Козырев А.А.* Горные удары // Природные опасности России. Том 1. Сейсмические опасности. – М.: ИФ «КРУК», 2000. – С. 243–293.
12. *Адушкин В.В., Турунтаев С.Б.* Техногенные процессы в земной коре (опасности и катастрофы). – М.: ИНЭК, 2005. – 250 с.
13. *Маловичко Д.А., Дягилев Р.А., Шулаков Д.Ю., Бутырин П.Г.* Технология сейсмологического мониторинга карстовых процессов (на примере рудника БКПРУ-1 Верхнекамского месторождения калийных солей) // Сейсмические процессы и катастрофы. Т. 1. Изменение окружающей среды и климата: природные и связанные с ними техногенные катастрофы / Пред. ред. кол. Н.П. Лаверов. – М.: ИФЗ РАН, 2008. – С. 237–254.

14. **Еманов А.Ф., Еманов А.А., Лескова Е.В., Фатеев А.В., Сёмин А.Ю., Демидова А.А., Янкайтис В.В.** Техногенная сейсмичность в Кузбассе // Землетрясения России в 2007 году. – Обнинск: ГС РАН, 2009. – С. 86–93.
15. **Чебров В.Н., Салтыков В.А.** Мониторинг и прогноз сейсмической и вулканической активности Камчатского региона // Геофизика XXI столетия: 2007. Сборник трудов Девярых геофизических чтений им. В.В. Федьнского. – М.–Тверь: ООО «ГЕРС», 2008. – С. 203–208.
16. **Маловичко А.А., Маловичко Д.А., Султангареев Р.Х., Шулаков Д.Ю., Дягилев Р.А., Сергеев А.А., Баранов Ю.В., Бутырин П.Г., Верхованцев Ф.Г.** Способ выявления потенциально аварийно-опасных участков на трассах газопроводов, подверженных коррозионному растрескиванию под напряжением. Патент РФ № RU2410723. – Бюлл. изобр. № 3. – 2011.
17. **Маловичко А.А., Шутлов Г.Я., Маловичко Д.А., Боровик С.Б., Дягилев Р.А., Шулаков Д.Ю., Бутырин П.Г., Сергеев А.А., Верхованцев Ф.Г., Баранов Ю.В.** Способ оценки нефтегазонасности пород. Патент РФ № RU2321024. – Бюлл. изобр. № 9. – 2008.
18. **Маловичко А.А., Маловичко Д.А., Шулаков Д.Ю., Дягилев Р.А., Сергеев А.А., Чичелов В.А., Султангареев Р.Х.** Использование микросейсмической съемки для прогнозирования участков развития стресс-коррозионных процессов на магистральных газопроводах // Пути реализации нефтегазового потенциала Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. – Ханты-Мансийск, 2006. – С. 310–315.
19. **Чичелов В.А., Султангареев Р.Х., Маловичко А.А., Шулаков Д.Ю.** Использование вибрационного мониторинга для повышения безопасности эксплуатации магистральных газопроводов. // Материалы Международной конференции «Диагностика-2005». Т. 1. – М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2005. – С. 147–152.
20. **Маловичко А.А., Маловичко Д.А., Дягилев Р.А., Сергеев А.А., Баранов Ю.В., Бутырин П.Г., Верхованцев Ф.Г., Шулаков Д.Ю.** Оценка нефтеперспективности объектов с использованием микросейсмических съемок // Пути реализации нефтегазового потенциала Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. – Ханты-Мансийск, 2006. – С. 177–180.

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ УСПЕШНОГО РАЗВИТИЯ ПЕРМСКОЙ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ ГЕОФИЗИКОВ

В.И. Костицын, д.т.н., проф.
*Пермский государственный национальный
исследовательский университет, г. Пермь*

Аннотация. Рассмотрены теоретические основы успешного развития научной школы и результаты практической работы на примере пермской научной геофизической школы, основанной профессором А.К. Маловичко.

Теоретические основы научной школы

Исследователи разных поколений в процессе научного развития передают накопленный ими интеллектуальный капитал. При этом встает проблема учителей и учеников, старшего и молодого поколений, основателей новых научных направлений и их продолжателей, т.е. проблема научных школ [1]. Научные школы – это основные ячейки науки, в которых формируются новые силы, осуществляется постоянное взаимодействие между учеными разных поколений, и представляют собой главную организационную форму успешного развития науки в определенной отрасли знаний.

Самостоятельное мышление исследователя. Хорош не тот учитель и воспитатель молодого поколения, кто передает готовые научные результаты, а тот, кто учит своих учеников самостоятельно решать встающие перед ними задачи. Только при наличии самостоятельности мышления человек может стать настоящим ученым, а не догматиком, механически повторяющим заученные им положения. Академик П.Л. Капица писал, что известный английский физик Резерфорд ценил в своих учениках именно качество самостоятельного мышления. Если кто-нибудь в его лаборатории и под его руководством выполнял работу по своей идее, то Э. Резерфорд всегда подчеркивал, что работа выполнена по идее ученика [2]. Начинаящий исследователь Г. Мозели пришел к Э. Резерфорду и выдвинул три новые темы, которые он хотел разработать сам. Резерфорд сразу указал на одну из них, как на самую важную. Мозели ее выполнил, и она принесла ему мировую славу. Это было знаменитое исследование зависимости между рентгеновским характеристическим спектром элемента и местом этого же элемента в периодической системе Д.И. Менделеева. Но даже в те моменты, когда работа велась по заведомо неправильному направлению, Резерфорд не считал возможным сказать ученику, что тот ошибается. Главное для него было то, чтобы ученик сам, на своем собственном опыте убедился в своей ошибке, и тогда этот ученик сможет научиться самостоятельно выбирать в дальнейшем правильный путь исследования [1].

П.Л. Капица вспоминал, как он однажды сказал Э. Резерфорду, что в лаборатории один сотрудник работает над заведомо безнадежной темой и только зря тратит время и использование приборов. Резерфорд ему ответил: «Я знаю это. Я знаю, что он работает над абсолютно безнадежной темой, но зато эта проблема его собственная, и если работа у него не выйдет, то она научит его самостоятельно мыслить и приведет к другой проблеме, которая уже не будет безнадежной» [2]. Резерфорд рассуждал как руководитель научной школы, для которого важнее всего было, чтобы ученик на собственном опыте выработал в себе умение самостоятельно ставить и решать научные проблемы. Он считал, что воспитать такого ученого – задача первостепенного значения.

Если у начинающего ученого не выработалось умения свободно и самостоятельно выбирать темы и направления для своих исследований, то такой человек, с точки зрения Резерфорда, не может стать настоящим творцом науки. Резерфорд считал, что если

у него работает молодой ученый и после двух лет работы приходит к нему и спрашивает: «Что мне делать дальше?», то он советовал ему бросить работу в области науки, либо понимал, что из него не может выйти настоящий ученый [2].

Научное руководство. Роль ученого состоит не только в том, чтобы толкнуть ученика на трудное дело, а затем бросить его одного на произвол судьбы: выберется сам – слава и честь ему, а не выберется – значит, не судьба... Такой фатализм не имеет ничего общего с настоящим руководством научной школой. Выработывая самостоятельность мышления у своего ученика, учитель вместе с тем пристально следит за ходом его мыслей, за развитием его исследований, направляет их по нужному пути. Этим оказывается ученику реальная научная помощь [1].

Такая помощь предполагает критическое отношение к тому, что делает ученик, к его идеям и мыслям, к его поискам решения изучаемой проблемы. Научная критика, споры, требования искать новые аргументы в подтверждение своей точки зрения – все это помогает ученику сложиться в подлинного ученого, способного не только искать и находить истину, но и отстаивать ее в научных спорах и дискуссиях, обосновывать ее справедливость.

Омоложение научной школы. Особенно важно, когда учитель не только радуется, что ученики обгоняют его, но и сам всемерно способствует этому. Без такого подхода не может успешно осуществляться передача научного капитала от старшего поколения ученых к младшему, иначе наука не сможет омолаживаться. Но для этого руководитель научной школы должен прививать своим ученикам мотивацию данных исследований, видеть новизну исследований и развивать творческие способности у начинающего исследователя. Без этого чувства нельзя двигать науку вперед, нельзя улавливать новые точки роста, раскрывающие перспективы дальнейшего научного развития.

Во всех научных школах рано или поздно возникает вопрос об их будущей судьбе, о том, кто и как подхватит инициативу дальнейшего развития научных идей и привет ее молодым поколениям ученых, которые продолжают дело, начатое основателем данной школы. Это обстоятельство показывает жизнеспособность данного научного направления, плодovitость того дерева, которое было посажено его основателем, а также живучесть идей, высказанных им и должным образом воспринятых его учениками [1].

Естественным является тот факт, что многие ученые, вышедшие из хороших научных школ, сами становятся со временем основателями новых научных направлений, продолжая лучшие традиции своих учителей. Благодаря этому и осуществляется та преемственность в научном движении, которая составляет важную закономерность развития современной науки.

Новаторство научного направления. Чувство нового, которым обладают руководители научных школ и которое они прививают своим ученикам и последователям, означает, что соответствующие научные школы обращены своим лицом к прогрессу науки. Далеко не всякое направление в науке, которое сплотило вокруг себя достаточное число людей с учеными степенями и званиями, занимает достойное место в научных организациях и вузах и может быть названо научной школой.

Распад научной школы. Но бывает иногда и так, что цветущая и многообещающая научная школа, возглавляемая первоклассным ученым, объединившим над разработкой своих идей большую группу учеников, вдруг начинает распадаться после кончины ее основателя и постепенно отодвигается на второй план научного развития. Одной из причин этого является то, что руководитель школы чрезвычайно ограничивал инициативу своих учеников и последователей. Они были исполнителями его замыслов и не имели фактической возможности достаточно развернуть свои собственные исследования. Поставщиком основных идей был неизменно руководитель школы, сконцентрировавший в себе эту функцию.

Бывает так, что основатель школы слишком поглощен своими идеями и не видит, что его школа, если ей суждено будет продолжиться в новых школах, должна вырабатывать у его учеников способность самостоятельного научного творчества.

Таким образом, можно сформулировать основные **критерии успешного развития научной школы** [1].

1. **Научная школа – это структурная ячейка современной науки**, существующая внутри научного сообщества и позволяющая концентрировать усилия большой группы ученых под непосредственным руководством основателя данного научного направления на решении определенной проблемы в той или иной отрасли науки. При переходе границы развития области исследований научной школы одним из ее участников образуется новое **дочернее направление** и возможность его отпочкования от данной школы.

2. **Научная школа – это тесно сплоченный коллектив ученых старшего и младшего поколений**, в рамках которого осуществляется передача научного капитала от основателя научной школы к его ученикам. Сплоченность коллектива обеспечивается не какими-то внешними условиями и тем более не административным инструментом, а исключительно преданностью участников коллектива интересам разработки общей идеи, над которой они трудятся сообща и которую заложил в науку их учитель. Авторитет учителя есть результат его научной компетентности, его преданности науке, его талантливости и смелости, с какой он не только сам выдвигал новые проблемы, но и всячески способствовал тому, чтобы его ученики превосходили его самого.

3. **Научная школа должна** не только находиться на перспективной линии развития науки, но и **создавать здоровую и крепкую основу для появления новых научных направлений**, способных обеспечить расширенное воспроизводство научных идей в данной отрасли знаний.

4. Для научной школы важно, что **число последователей и продолжателей** данного научного направления **растет из поколения в поколение** в возрастающих пропорциях и **появляются новые дочерние школы**.

Основные результаты развития пермской научной школы по геофизике

Рассмотрим развитие научной школы на примере кафедры геофизики Пермского государственного университета, основанной **Александром Кирилловичем Маловичко**, впоследствии доктором технических наук, профессором, заслуженным деятелем науки и техники РСФСР, создателем **пермской научной школы геофизиков** [3].

Под руководством Александра Кирилловича кафедра геофизики ПГУ за 42 года работы подготовила 2300 инженеров-геофизиков, многие из них работают ведущими специалистами, главными инженерами и генеральными директорами производственных объединений, экспедиций и геофизических организаций не только в Российской Федерации, но и во многих других республиках бывшего СССР. Кафедра геофизики первой в Пермском университете создала филиалы в тресте «Пермнефтегеофизика» (1984 г.) и в Горном институте Уральского отделения Российской академии наук (1990 г.).

А.К. Маловичко являлся основателем и главным редактором кафедрального, а затем межведомственного и межвузовского сборника научных трудов с 1959 по 1989 г. (25 выпусков), который был включен специалистами в число 15 наиболее известных сборников мировой геофизической информации.

Сборник научных трудов издавался с 1959 г. под названием «Вопросы обработки интерпретации геофизических наблюдений», а с 1979 г. – как межвузовский сборник научных трудов под названием «Геофизические методы поисков и разведки месторождений нефти и газа». Благодаря публикациям в этом сборнике многие десятки пермских (и не только пермских) геофизиков сделали свои первые шаги на научном поприще. Александр Кириллович был непревзойденным научным редактором, и многие авторы сборника получили бесценные уроки «правописания» научных статей, о которых спустя многие годы вспоминают с искренней благодарностью.

Из его учеников один стал членом-корреспондентом РАН – А.А. Маловичко (2003); 11 человек – докторами наук: С.А. Шихов (1974), В.М. Новоселицкий (1975), Р.П. Савёлов (1988), В.А. Силаев (1988), А.А. Маловичко (1991), В.И. Костицын (1992), М.С. Чадаев (1994), О.Л. Горбушина (1997), В.А. Гершанок (1999), М.Г. Губайдуллин (2004), С.Г. Бычков (2011).

Под научным руководством А.К. Маловичко защитили кандидатские диссертации 25 человек: С.А. Шихов (1966), В.М. Новоселицкий (1966), О.Л. Горбушина (1967), М.С. Чадаев (1967), Л.К. Орлов (1972), В.А. Силаев (1972), В.А. Гершанок (1972), Л.П. Неволин (1973), Ю.А. Сусеков (1974), В.И. Костицын (1975), Р.П. Савёлов (1975), Ю.С. Шманенко (1975), В.А. Березнев (1976), В.К. Серов (1978), Е.В. Ахматов (1980), Е.Ф. Безматерных (1981), М.Г. Губайдуллин (1981), В.М. Мегеря (1982), Е.И. Мурашко (1982), С.Г. Бычков (1982), С.В. Горожанцев (1986), В.Л. Благиных (1988), Л.А. Гершанок (1990), В.М. Ласкин (1990), А.В. Горожанцев (1990).

К середине 1970-х годов стало общепризнанным, что благодаря активной и многогранной деятельности Александра Кирилловича и его учеников, работавших в различных научных и производственных организациях Западного Урала, в Перми сформировалась исключительно сильная школа геофизиков.

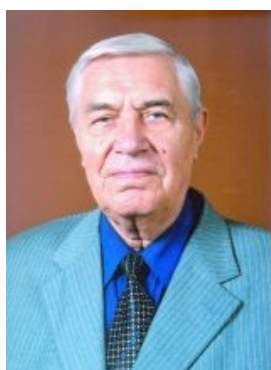


Фото 1986 г.: преподаватели и сотрудники кафедры геофизики ПГУ. Слева направо, первый ряд: О.Л. Горбушина (Тарунина), Н.И. Дергачев, Б.К. Матвеев, А.К. Маловичко, Р.П. Савёлов, Л.А. Гершанок; второй ряд: И.Ю. Митюнина, В.П. Колесников, В.А. Гершанок, Б.А. Спаский, В.И. Костицын, В.А. Поносов, С.И. Лапин, А.П. Сиротина, Ю.И. Степанов; третий ряд: С.В. Горожанцев, А.И. Колосов, И.М. Скумбин, Ю.В. Рошмаков, А.В. Горожанцев, И.Е. Королев

Научная деятельность пермской геофизической школы развивается по следующим основным направлениям [4, 5].

1. **Гравиметрическое направление** на кафедре геофизики ПГУ создал основатель научной школы *Александр Кириллович Маловичко* и в настоящее время развивают его ученики и последователи: профессора В.А. Гершанок, О.Л. Горбушина, В.И. Костицын, А.С. Долгаль, Ю.П. Петров, доценты С.В. Горожанцев, А.В. Горожанцев, А.В. Пугин. Разработаны методы аналитического продолжения гравитационных аномалий, высших производных гравитационного потенциала, теория и макеты гравиметров на магнитных подвесах, компьютерные технологии обработки и интерпретации

данных гравиразведки при поисках месторождений нефти, газа и твердых полезных ископаемых. По двухтомному учебнику А.К. Маловичко «Основной курс гравиразведки» обучались студенты геофизической специальности во всех вузах Советского Союза. В 1992 г. он был переиздан под названием «Гравиразведка» (соавтор В.И. Костицын) с грифом Государственного комитета СССР по народному образованию в качестве учебника для студентов геофизических специальностей вузов. По нему до настоящего времени обучаются студенты вузов России. В последние годы изданы монографии и учебные пособия: А.С. Долгаль «Компьютерные технологии обработки и интерпретации данных гравиметрической и магнитной съемок в горной местности»; В.А. Гершанок «Сборник задач по векторной алгебре и элементам теории поля» с грифом Отделения геологии УМО университетов; О.Л. Тарунина «Гравиразведка в комплексе структурно-фациального картирования на нефть, газ и твердые полезные ископаемые»; Ю.П. Петров «Гравиинерциальные преобразователи гравиметров, градиентометров и сейсмоприемников на магнитных подвесах»; А.С. Долгаль, В.И. Костицын «Гравиразведка: способы учета влияния рельефа местности».



А.К. Урупов

2. Основателем **сейсмического направления** в научной школе стал приглашенный А.К. Маловичко из Московского института нефтехимической и газовой промышленности (МИНХиГП) **Адам Константинович Урупов** (1923–2008), впоследствии профессор, заслуженный деятель науки и заслуженный геолог Российской Федерации. Это направление в 1970–1990-е гг. развивали его ученики: Ю.А. Бяков, Б.А. Спасский, С.И. Лапин, И.М. Скумбин, Л.П. Неволин, В.П. Лисин, В.А. Силаев, А.А. Маловичко, Э.Б. Трушников и др. В настоящее время данное направление продолжает профессор **Борис Алексеевич Спасский**, а также его ученики: доценты И.Ю. Митюнина, И.Ю. Герасимова и ассистент И.В. Огородова.

Научные исследования выполняются в области обработки и интерпретации результатов сейморазведки методами отраженных и преломленных волн, а также изучении упругих характеристик горных пород верхней части геологического разреза. В результате созданы компьютерные системы обработки и интерпретации сейсмических данных для выделения зон микротрещиноватости и поисков месторождений нефти и газа. Такие исследования особенно важны при инженерно-геологических работах и изучении территории рудников, например в пределах Верхнекамского месторождения калийных солей. Создание трехмерных скоростных моделей надсолевых отложений в пределах рудников позволяет обнаружить наиболее опасные участки и так спланировать направление работ при эксплуатации месторождений, чтобы до минимума сократить риски возникновения чрезвычайных происшествий. В этом направлении в последние годы опубликованы учебно-методические пособия: Б.А. Спасский, И.Ю. Герасимова «Сейсмостратиграфия»; И.Ю. Митюнина «Компьютерные технологии в геофизике»; Т.С. Блинова «Геодинамика и сейсмичность»; Р.А. Дягилев, Д.А. Маловичко «Микросейсмическое районирование»; С.В. Горожанцев «Взрывные работы в сейморазведке». В 2011 г. Б.А. Спасский и И.Ю. Герасимова опубликовали учебное пособие «Теоретические основы обработки геофизических данных».

3. Основателем **электроразведочного направления** пермской геофизической школы является выпускник МГУ **Борис Константинович Матвеев**, профессор, заслуженный деятель науки РФ, заслуженный профессор ПГУ. Он и его ученики – профессор **Владимир Петрович Колесников**, доценты В.А. Поносов, В.М. Шувалов, Ю.И. Степанов и А.В. Татаркин – вносят значительный вклад в развитие теории и способов решения прямых и обратных задач геоэлектрики применительно к наземным и подземным условиям наблюдений, в создание программного обеспечения и компьютерной технологии обработки и интерпретации результатов электроразведочных работ.



Б.К. Матвеев

Разработанные методики и технологии успешно используются при решении геолого-поисковых, гидрогеологических, инженерно-геологических, экологических и геотехнических задач. Учебник профессора Б.К. Матвеева «Электроразведка» являлся одним из основных при обучении студентов вузов бывшего СССР и в настоящее время широко используется в вузах России. В 2007 г. профессор В.П. Колесников опубликовал монографию «Основы интерпретации электрических зондирований» в издательстве «Научный мир» (г. Москва) на основании конкурса по гранту Российского фонда фундаментальных исследований.

4. Магнитометрическое направление (основатель – профессор А.К. Маловичко) развивает его ученик, профессор *Лариса Алексеевна Гершанок*. В области данного направления разработаны теоретические основы детальной магниторазведки при поисках месторождений нефти и газа, калийных солей, изучении тектонического строения Волго-Уральской нефтегазоносной провинции и глубинных недр Земли. Л.А. Гершанок опубликовала в 2006 и 2009 гг. учебное пособие и учебник «Магниторазведка» с грифом Методического совета Пермского государственного университета.

5. Направление по геофизическим исследованиям скважин в научной школе начинал А.К. Маловичко, затем продолжил Б.К. Матвеев и в настоящее время развивают профессора А.С. Некрасов, А.И. Губина, Г.А. Цветков, доценты В.А. Поносов, А.Д. Савич, А.В. Шумилов, В.Н. Косков, С.В. Белов, старший преподаватель Л.Н. Костливых и ассистент В.И. Луппов. Широко развивается комплексное использование геофизических методов, аэрокосмических исследований, волнового акустического телевизора и гидродинамических исследований скважин при рациональной разработке месторождений нефти. А.С. Некрасов издал фундаментальную монографию «Геолого-геофизические исследования карбонатных коллекторов нефтяных месторождений», обобщающую результаты работ по 30 нефтяным месторождениям России. За последние пять лет опубликованы оригинальные учебно-методические пособия: А.В. Шумилов «Диагностика нефтяных скважин геофизическими методами» (2007), В.А. Поносов, С.В. Горожанцев, А.С. Некрасов «Геофизические методы контроля за разработкой нефтяных и газовых месторождений» (2007), учебные пособия: О.Л. Тарунина «Геофизические методы стратиграфической корреляции» (2008), А.В. Шумилов «Геофизические исследования скважин: регистрирующие системы и оборудование» (соавторы Д.Л. Бурдин, А.С. Чухлов, 2010), «Геофизические исследования при эксплуатации нефтяных месторождений» – на английском языке («The Geophysical survey during oilfield operation», 2010), А.И. Губина «Геофизические методы стратиграфической корреляции» (2010). За период с 2006 по 2011 г. В.Н. Косков опубликовал пять учебных пособий: «Геофизические методы исследования скважин (измерения, обработка, интерпретация)», «Промысловая геофизика», «Контроль за разработкой залежей нефти и газа геофизическими методами», «Комплексная оценка состояния и работы нефтяных скважин промыслово-геофизическими методами», «Литология природных резервуаров с использованием фациально-циклического метода и промыслово-геофизических данных».

Дочерние направления пермской научной школы геофизиков

За последние 30 лет в пермской научной школе, созданной А.К. Маловичко, сформировались и формируются новые научные направления.

1. Направление профессора **С.А. Шихова**. Его ученики: доктора наук И.А. Санфинов, А.В. Растегаев; кандидаты наук В.Г. Лунев, В.А. Соколов, Е.Л. Орлова, О.А. Смирнов, М.Э. Мерсон, Н.А. Лядова и др.

2. Направление профессора **В.М. Новоселицкого**. Его ученики: доктора наук: А.И. Губина, И.Н. Жуланов; кандидаты наук: А.А. Шилова, Е.С. Килейко, В.К. Сидоров, Г.П. Щербинина, В.П. Юзвак, Г.А. Кутелия, С.Х. Бухман, А.И. Губина, А.А. Токарев, С.В. Погадаев, И.В. Геник, Г.А. Простолупов и др.

3. Направление профессора **Г.И. Каратаева** (Республика Беларусь, г. Минск). Оно успешно развивается, но, к сожалению, автор не имеет сведений о его учениках.

4. Направление профессора **Б.А. Спасского**. Его ученики: кандидаты наук И.Ю. Митюнина, И.Ю. Герасимова, А.П. Лаптев, Л.Р. Маловичко.

5. Направление члена-корреспондента РАН **А.А. Маловично**. Его ученики: доктор наук Т.С. Блинова, кандидаты наук Р.А. Дягилев, Д.А. Маловичко, Д.Ю. Шулаков и др.

6. Направление профессора **В.И. Костицына**. Его ученики: доктора наук Ю.П. Петров, А.С. Некрасов, В.М. Неганов, В.К. Теплухин; кандидаты наук А.Р. Князев, Л.А. Христенко.

7. Направление профессора **М.Г. Губайдуллина** (Арктический (Северный) федеральный университет, г. Архангельск). Его ученики: кандидаты наук А.В. Гладько, С.В. Коробов, А.А. Худякова, Н.А. Макарский.

8. Направление профессора **В.П. Колесникова**. Его ученики: кандидат наук А.В. Татаркин, студент V курса А.А. Филимончиков и др.

Внучатые направления пермской научной школы геофизиков

В настоящее время формируются новые научные направления, руководителями которых являются ученики школ С.А. Шихова, В.М. Новоселицкого и др.

1. Направление профессора **И.А. Санфирова**. Его ученики: кандидаты наук А.И. Бабкин, И.И. Семерикова, А.М. Пригара, А.Г. Ярославцев и др.

2. Направление профессора **А.С. Некрасова**. Его ученики: аспиранты А.В. Габнасыров, Н.С. Попова.

3. Направление профессора **А.И. Губиной**. Ее ученики: аспиранты Ю.В. Уточкин, В.Г. Кубарев, Е.С. Антипина.

Студенческая наука

Все преподаватели кафедры и научной геофизической школы, за исключением профессора Б.К. Матвеева, доцентов Н.И. Дергачева и С.И. Лапина, являются выпускниками кафедры геофизики ПГУ. Каждый из них в студенческие годы активно занимался научной работой, имел две-три опубликованные работы. Поступив на работу в качестве ассистента, продолжал заниматься научной работой в области данной школы, защитив диссертацию и получив ученую степень кандидата или доктора наук, продолжает активно работать доцентом или профессором. Об этом свидетельствуют высокие результаты научно-исследовательской работы нынешних студентов [6].

В настоящее время Евро-Азиатское геофизическое общество (ЕАГО) ежегодно проводит конкурс студенческих работ в области разведочной геофизики. Студенты кафедры геофизики ПГУ ежегодно в нем участвуют и занимают призовые места: Н.Г. Лушникова (1 место, 2005 г., руководитель – профессор В.А. Гершанок), Т.В. Байбакова (1 место, 2006 г., руководитель – профессор И.А. Санфиров), А.В. Верхованцев (2 место, 2007 г., руководитель – доцент Р.А. Дягилев), Е.М. Райнич (1 место, 2008 г., руководитель – профессор А.С. Некрасов), Т.В. Верхованцева (2 место, 2010 г., руководитель – доцент Р.А. Дягилев).

Стипендиаты Евро-Азиатского геофизического общества (ЕАГО): С.Б. Немченко (2005), А.Н. Михайленко (2005), Е.В. Торгашов (2006), К.А. Култышева (2007, 2008), Т.В. Верхованцева (2008), Л.И. Рахмангулова (2009, 2010), Е.В. Дурновцева (2010, 2011).

Дипломами Всероссийской студенческой олимпиады по геофизическим методам поисков и разведки месторождений полезных ископаемых награждены: за 1 место – Ю.В. Ванькова и А.Ф. Шархимуллин (2005 г.), А.Ф. Шархимуллин (2006 г.), за 3 место

в 2007 г. – О.А. Бурдина, К.А. Култышева, А.В. Свалов; за 2 место в 2008 г. – В.Г. Кубаров, Н.С. Попова, Д.Ф. Нигматуллин; за 2 место в 2009 г. – В.Г. Кубарев, Н.С. Попова, А.А. Тайницкий; за 1 место в 2010 г. – А.А. Филимончиков, Т.В. Верховланцева, Л.И. Рахмангулова.

В Пермском государственном университете учреждена стипендия имени основателя пермской научной геофизической школы А.К. Маловичко за отличную учебу и активное участие в научно-исследовательской работе. Эту стипендию с 2006 по 2011 г. получали А.В. Мичурин, Е.М. Райнич, Н.С. Попова, Т.В. Верховланцева и др.

Студенты специальности «Геофизика» Н.С. Попова и А.А. Шишкарева являлись победителями престижного конкурса фонда В. Потанина, причем А.А. Шишкарева – в течение пяти лет. Стипендиатом Президента Российской Федерации в 2011/2012 учебном году является магистрант Т.В. Верховланцева. Стипендиатами Правительства Российской Федерации в последние годы были Н.С. Попова, Т.В. Верховланцева. Стипендиат имени первого ректора ПГУ, профессора К.Д. Покровского – Л.И. Рахмангулова. Стипендиаты Совета попечителей ПГУ – Н.С. Попова (2009), Т.В. Верховланцева (2010), А.А. Дерендяева (2010). Международный стипендиат им. Вернадского – Н.С. Попова.

Дипломом за 3 место Всероссийской студенческой олимпиады в конкурсе выпускных квалификационных работ по специальности «Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых» в 2010 г. награждена Н.С. Попова.

Диплом за 3 место в естественно-научной номинации конкурса дипломных работ выпускников высшего профессионального образования г. Перми в 2010 г. и грамотой за лучший доклад на подсекции «Геофизика» Международной конференции «Ломоносов-2009» награждена Т.В. Верховланцева.

Грамотой за активное участие в итало-российской школе-семинаре награждены Н.С. Попова (2009), Т.В. Верховланцева (2011).

Заслуги и награды кафедры геофизики

1. Пермский государственный университет в 2006 и 2007 гг. являлся победителем конкурса высших учебных заведений России по национальному проекту «Образование», в котором участвовало 197 вузов. Благодаря активному участию кафедры геофизики в данном проекте значительно улучшилась материально-техническая база кафедры, приобретено новое геофизическое оборудование и компьютерная техника для шести специализированных лабораторий кафедры, издано 14 новых учебных пособий, прошли повышение квалификации 17 преподавателей в вузах и геофизических организациях России, Англии и Канады.



2. Решением Президиума Российской академии естествознания (РАЕ) от 10.01.2008 г. кафедра геофизики ПГУ награждена дипломом «Золотая кафедра России» за заслуги в области развития отечественного образования.

3. Федеральное агентство по науке и Совет по грантам Президента Российской Федерации признали кафедру геофизики ПГУ победителем конкурса 2008 г. среди ведущих научных школ в номинации «Науки о Земле» на соискание средств государственной поддержки научных исследований,

проводимых по теме «Геофизические исследования и мониторинг месторождений нефти, калийных солей и окружающей среды» в 2008–2009 гг., грант НШ-2973.2008.5 [7].

4. В настоящее время кафедра геофизики принимает участие в реализации проекта по приоритетному направлению «Рациональное природопользование», который выиграл Пермский государственный университет и получил статус «Национального исследовательского университета».



5. В 2009 г. установлена мемориальная доска Александру Кирилловичу Маловичко, основателю кафедры геофизики и пермской научной школы геофизиков в Пермском государственном университете в честь его заслуг в области науки, высшего геофизического образования и в связи с 55-летним юбилеем кафедры геофизики.

6. В 2010 г. создано Пермское отделение Евро-Азиатского геофизического общества, которое способствует объединению геолого-геофизических предприятий и всех геофизиков не только Пермского края, но и Обнинска, Ижевска, Когалыма и других городов России. Председателем правления избран заместитель генерального директора по промышленной геофизике ОАО «Пермнефтегеофизика» доцент кафедры геофизики ПГУ Александр Владимирович Шумилов, который уже за первый год сделал очень много для объединения пермских геофизиков, издания отдельного выпуска (№ 5) журнала «Геофизика» к 100-летию Александра Кирилловича Маловичко.

7. В 2011 г. в честь заслуг Александра Кирилловича Маловичко, основателя кафедры геофизики в ПГУ и пермской научной школы геофизиков, и в связи со 100-летием со дня его рождения Пермское отделение Евро-Азиатского геофизического общества (ЕАГО) учредило медаль имени А.К. Маловичко «За достижения в геофизике». Этой награды в 2011 г. удостоены известные геофизики Пермского края, Удмуртской Республики, ОАО «Когалымнефтегеофизика» и старейшие преподаватели кафедры геофизики ПГУ и ПГТУ (см. раздел «Торжественное заседание...» в наст. сб.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Кедров Б.М.** Научная школа и ее руководитель // Школы в науке. – М.: Наука, 1977. – С. 300–310.
2. **Капица П.Л.** Воспоминания о профессоре Э. Резерфорде // Жизнь для науки. Сер. 6. – М., 1965. – С. 52–53.
3. **Профессор А.К. Маловичко и пермская школа геофизиков** / Сост. В.И. Костицын. – Екатеринбург: УрО РАН, 1998. – 196 с.
4. **Кафедра геофизики Пермского государственного университета** / Сост. В.И. Костицын. – Пермь: Пермский ун-т, 2004. – 328 с.
5. **Геофизики Пермского университета (1951–2009)** / Сост. В.И. Костицын. – Пермь: Пермский гос. ун-т, 2009. – 264 с.
6. **Костицын В.И.** Научная и образовательная деятельность кафедры геофизики за 5-летний период с 2006 по 2011 г. // Геологический факультет: 80 лет. – Пермь: Пермский гос. ун-т, 2011. – С. 97–109.
7. **Победители конкурса ведущих научных школ** // Газета «Поиск». – 21 марта (№ 12 (982)). – 2008. – С. 17.

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ НАСЫЩЕННОСТИ ЧЕРЕЗ ОБСАДНУЮ КОЛОННУ ДЛЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПЕРМСКОГО ПРИКАМЬЯ

Е.С. Антипина
ООО «ПИТЦ “Геофизика”», г. Пермь

Аннотация. В настоящее время существуют различные технологии для исследования текущего насыщения через обсадную металлическую колонну. Проанализированы результаты применения радиоактивных, электрических и акустических методов измерения в обсаженном стволе, приводится оценка области применения каждого метода и возможности их комплексирования. Особое внимание уделено методу углеродно-кислородного каротажа, опробование и внедрение которого в настоящее время проводится на месторождениях Пермского Прикамья.

Введение

Большинство месторождений Пермского Прикамья находятся на поздней стадии разработки, характеризующейся выработанностью залежей нефти и высоким обводнением продукции. В стремлении повысить производительность месторождений нефтяные компании нуждаются в возможности находить пропущенные пласты-коллекторы, отслеживать изменения в степени насыщенности и обнаруживать перемещение контактов между флюидами в залежи.

Имеется в виду необходимость проведения исследований через обсадную колонну и цементное кольцо, а также сложный, зависящий от большого числа различных факторов, процесс изменения физических свойств разрабатываемого объекта. Такого рода данные, которые ранее получали только в условиях открытого ствола, сейчас можно получать в обсаженных скважинах.

Анализ эффективности методов

Для получения информации о характере текущего насыщения коллекторов при исследовании через колонну применяются радиоактивные, электрические и акустические методы (рис. 1).

Традиционно определение текущего насыщения в обсадной колонне связывают с применением импульсного нейтрон-нейтронного каротажа (ИННК), но из-за опреснения пластовых вод эффективность метода упала, так как по ИННК пресная вода и нефть имеют высокие значения времени жизни тепловых нейтронов и разделить их по насыщению затруднительно (по данным 2009–2010 гг., эффективность метода ИННК в Пермском Прикамье составляет около 79%).

С 2005 г. ООО «ПИТЦ “Геофизика”» совместно с НПП «ВНИИГИС» (г. Октябрьский) начали освоение технологии выделения нефтенасыщенных коллекторов при помощи спектрометрических модификаций гамма- и нейтронного гамма-каротажа по хлору (СГК и СНГК-С1). За это время были проведены работы на Уньвинском, Осинском, Кокуйском и других месторождениях. Было исследовано более 200 скважин и в большинстве из них получены достоверные результаты. Было установлено, что комплекс методов ИННК и СНГК-С1 повышает достоверность результатов интерпретации в случаях закачки на месторождении вод разного состава. В 2010 г. ООО «ПИТЦ “Геофизика”» совместно с НПП «ВНИИГИС» сделали вывод о том, что по комплексу методов ИННК и СНГК-С1 возможно определять насыщение пластов в интервале перфорации по технологии вызова притока из пластов (предварительный спуск геофизических приборов под глубинный насос) [1].



Рис. 1. Анализ методов определения текущего насыщения коллекторов в обсаженных скважинах

Метод спектрального гамма-каротажа (СГК) внедряется в комплекс геофизических исследований скважин (ГИС) с конца 90-х годов XX века. СГК регистрирует гамма-излучение естественно-радиоактивных элементов в скважине – содержание тория, урана, калия. Повторный гамма-каротаж (ПГК) является методом определения интервалов обводненных коллекторов по радиогеохимическим аномалиям (РГХА). РГХА возникают в очаге нагнетания при закачке сточных и пластовых вод в результате выпадения в ближней зоне коллектора небольшого количества радиокальцита или радиобарита, содержащих изотопы радия, и выделяются по расхождению временных замеров ГК, записанных в открытом стволе. Однако такой прием не всегда эффективен. Так, при бурении боковых и горизонтальных стволов на нефтяных месторождениях, длительно разрабатываемых с поддержанием пластового давления, наличие промытых зон возможно уже при проведении замера в открытом стволе. В этом случае только по СГК (наличию урановой составляющей) можно отделить зоны коллекторов, промытых закачиваемыми водами, от глинистых пород [2].

Углеродно-кислородный каротаж (УКК) применяется на месторождениях Западной Сибири, но для месторождений Пермского Прикамья он не эффективен ввиду ограничения использования метода в карбонатных разрезах из-за наличия углеродосодержащих веществ.

Общий недостаток радиоактивных методов – малая зона исследования пласта от стенки скважины – около 30 см.

Из акустических методов приведены два – метод акустической шумометрии (АКШ) и метод естественной акустической эмиссии (КСАЭ).

Нефтенасыщенность зависит от сжимаемости нефтеносного и водоносного пластов, которую можно определить по акустическим параметрам. Метод АКШ обеспечивает получение количественной информации о нефтенасыщенности, но является косвенным способом, а достоверность и точность его прямо зависят от точности оценки коэффициента пористости и содержания физически связанной воды, которые в свою очередь зависят от многих литологических (глинистость, цементированность, строение порового пространства пород и т.п.) и физико-химических свойств (минерализация воды, поверхностная проводимость, фобизация поверхности пор) горных пород [3]. Для корректного определения насыщенности методом АКШ необходим жесткий акустический контакт колонны и породы с цементным камнем, что не всегда имеет место в скважинах старого фонда.

В июле-августе 2005 г. был проведен комплекс исследований: ИННК, СНГК и КСАЭ аппаратурой ААВ-400 на скважинах № 1096 Шагир-Гожанской площади, № 312 Рассветовской площади и № 909 Москудьинской с целью выделения насыщенности пластов-коллекторов. Исследования ИННК и СНГК проводились ООО «ПИТЦ “Геофизика”». Исследования КСАЭ проводились ООО НПФ «Интенсоник» (г. Екатеринбург).

Нефтенасыщенность по КСАЭ определяется путем сопоставления шумов в высокочастотной и низкочастотной части спектра, причем высокий уровень амплитуд в высокочастотной части спектра связывают с наличием в коллекторе нефти или газа, а минимальный – с наличием водоносного коллектора. Использование этого способа, как отмечают сами авторы, требует набора статистических данных, необходимых для интерпретации результатов измерений САЭ с учетом особенностей геологического строения, состава и свойств коллектора. На площадях Пермского Прикамья метод КСАЭ видимую эффективность не проявил. Во всех трех скважинах почти по всем пластам идет несовпадение характера насыщения пластов-коллекторов, выделенных по комплексу радиоактивных методов ИННК-СНГК и методом сейсмоакустической эмиссии САЭ. Кроме того, отмечается нестабильность аппаратуры, слабый сигнал и отсутствие привязки к разрезу [4].

Электрические методы, определяющие текущую насыщенность через колонну, измеряют удельное электрическое сопротивление (УЭС) в диапазоне 0–100 Ом·м (технологии ЭКОС, ЭКРАН), 0–150 Ом·м (наноэлектрический каротаж). В карбонатных коллекторах Пермского Прикамья УЭС породы может достигать до 300 Ом·м и более. Применение электрических методов во многом зависит от качества контакта электродов с колонной, поэтому исследование в сильно коррозированных, неоднократно перфорированных интервалах и при нарушении целостности колонны некорректно. В скважинах старого фонда внутренняя стенка обсадных эксплуатационных колонн чаще всего коррозирована или имеет какие-либо повреждения. Кроме того, электрические методы имеют ограничения в определении насыщения на месторождениях с пресной закачкой.

Выводы

Выбор комплекса методов для определения текущего насыщения через обсадную колонну будет зависеть от возраста скважины, качества цементирования колонны с породой, минерализации закачиваемых вод на исследуемом месторождении, типа пород исследуемых пластов, их петрофизических характеристик, электропроводности пластов, расформированности зоны проникновения и др.

Учитывая условия доработки месторождений Пермского Прикамья, наиболее эффективно применять комплекс методов СНГК-СИ и ИННК. В скважинах старого фонда эффективно проводить повторные исследования ГК, а в боковых стволах – СГК, что позволит определить зоны вторичной наведенной радиоактивности (промытые зоны).

Для мониторинга и контроля состояния залежей Пермского Прикамья с закачкой вод различной минерализации и исследования текущей нефтенасыщенности преимущественно скважин старого фонда приемлемой альтернативой ядерно-физическим методам по экономичности и эффективности в обсаженных скважинах на данный момент не существует.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Лысенков А.И., Губина А.И.* Применение комплекса нейтронных методов на нефтегазовых месторождениях Пермской области // НТВ «Каротажник». – Тверь, 2007. – Вып. 3 (156). – С. 22–37.
2. *Балдин А.В., Лысенков А.И.* Опыт применения спектрального гамма-каротажа для решения геологических задач в разрезах Пермского Прикамья // НТВ «Каротажник». – Тверь, 2007. – Вып. 1 (154). – С. 9–20.
3. *Полякова Е.Е., Фельдман А.Я., Ищенко В.И., Федорова Е.А.* Применение широкополосного волнового акустического каротажа для определения характера насыщения и ФЕС коллекторов через колонну // ВНИИгеосистем, НПК «Ресурс-М».
4. *Гуляев П.Н.* Отчет о проведении комплекса исследований методами ИННК, СНГК, САЭ. – Пермь: ООО «ПИТЦ “Геофизика”», 2008.

ОПТИМАЛЬНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ ГРАВИРАЗВЕДКИ

¹П.И. Балк, д.ф.-м.н., ²А.С. Долгаль, д.ф.-м.н.,
³А.Ф. Шархимуллин
¹г. Берлин, Германия
²Горный институт УрО РАН, г. Пермь
³Пермский государственный национальный
исследовательский университет, г. Пермь

Аннотация. В качестве оптимального результата интерпретации предлагается рассматривать репрезентативную выборку допустимых решений обратной задачи гравirazведки в смешанной постановке, позволяющую охарактеризовать вероятности обнаружения плотностных неоднородностей в изучаемом объеме геологической среды.

Введение

В процессе построения интерпретационных моделей в гравirazведке используются три основных принципа – модельности, оптимальности и целенаправленности. Принцип оптимальности заключается в том, что «среди всех допустимых (удовлетворяющих аномальному полю и априорной информации о среде и поле) интерпретаций нас интересует та и только та, которая экстремизирует (обычно – минимизирует) некоторый априорно заданный функционал качества интерпретации» [1]. До сих пор представление о результатах количественной интерпретации гравиметрических данных, как оптимальных (в том или ином смысле) оценках параметров модели возмущающих объектов, служит объединяющим началом известных методов решения обратных задач – понятия «результат интерпретации» и «единичное оптимальное приближенное решение обратной задачи» в теории интерпретации отождествляются.

Анализ множества допустимых решений обратной задачи гравirazведки

Информативность интерпретации во многом предопределена тем, в каких терминах выражен ее итог. Спрашивается, являются ли точечные оценки параметров геоплотностной модели безальтернативной (или, хотя бы, наилучшей) формой представления результатов интерпретации. Традиционные рассуждения на этот счет, казалось бы, не могут быть оспорены: коль скоро моделью изучаемого объекта служит элемент \hat{x} пространства X , то и результатом интерпретации данных измерений геофизического поля также должен быть элемент x^* этого же пространства, удовлетворяющий априорной информации G . С этим можно было бы согласиться, если сходимость приближенных решений к истинному, являющаяся по современным представлениям признаком состоятельности алгоритма, могла быть реализована на практике. В реальности же, где не только нельзя фактически обеспечить сходимость помех измерений к нулю (а приближенного решения к точному), но и норма помехи является неизвестной, всегда имеется множество $X_0 \subset X$ допустимых решений обратной задачи гравirazведки (ОЗГ), не противоречащих всей априорной информации. Если модельные представления адекватны физико-геологическим условиям, то можно лишь утверждать, что точное решение \hat{x} содержится в множестве X_0 , тогда как каждый элемент из X_0 вправе претендовать на то, что именно он совпадает с истинным решением \hat{x} .

В такой ситуации бессмысленно среди элементов множества X_0 пытаться выделить какой-то один, обладающий неким дополнительным, не заложенным в информации G , экстремальным свойством, и объявлять его «оптимальным». При решении практических задач при ограниченном объеме данных возможности гравиразведки всецело определяются структурой множества X_0 . Если любое множество не может быть достаточно полно представлено каким-то одним из своих элементов, то и всякий математический метод решения ОЗГ, ориентированный лишь на построение какого-то одного из возможных вариантов интерпретации, не в состоянии решить проблему максимального извлечения из данных полевых наблюдений достоверной информации о геологической среде.

Гарантированный подход к оценке достоверности интерпретации

Осознание того, что в практических условиях, характеризующихся нехваткой априорной информации и размытыми представлениями об уровне помех в измерениях поля, сходимость играет второстепенную роль, приводит к мысли, что выбор «оптимального» решения $x^* \in X_0$ обязан быть жестко, а, главное, не формально, связан со структурой множества X_0 . Уже существует подход, учитывающий конкретное «наполнение» множества X_0 : если обратная задача гравиметрии сводится к системе линейных уравнений, правая часть которой содержит помеху с известной нормой, то итоговое решение, согласно [2], следует искать путем усреднения конечного числа допустимых решений. Можно пойти еще дальше и потребовать, чтобы при выборе «оптимального» решения x^* учитывались расхождения его со всеми остальными решениями из X_0 . Желательно также учитывать и вероятности (точнее, значения плотности вероятностей) событий $x = \hat{x}$, $x \in X_0$. Тогда при выборе наилучшего решения $x^* \in X_0$ будут активно участвовать уже все элементы множества X_0 и полностью будет учтена его структура. В качестве наилучшего можно взять решение, обеспечивающее минимум математического ожидания его ошибки. В [3] такой подход удалось реализовать при наличии слабых и довольно правдоподобных предположений о помехе в результатах измерений гравитационного поля.

По мнению авторов, основной недостаток известных методов решения обратных задач заключается в отсутствии монотонной зависимости качества результатов интерпретации от объема используемой информации. Эту монотонность невозможно обеспечить, оставаясь в рамках концепции точечного оценивания параметров модели возмущающего объекта. Ее возможности в вопросах достоверности извлекаемой информации тем более весьма ограничены: при любом критерии оптимальности информацию, содержащуюся в отдельном допустимом решении, невозможно расщепить на достоверную и сомнительную.

Анализ достоверности результатов количественной интерпретации может быть осуществлен на основе гарантированного подхода, идеей которого является поиск общих свойств, присущих всем решениям обратной задачи (следовательно, и неизвестному точному решению) на множестве ее допустимых решений. Отметим, что концепция гарантированного подхода в области геофизики впервые была введена Л.В. Канторовичем [4], ее развитию посвящены многие работы П.И. Балка [5, 6].

Также следует упомянуть об оригинальном методе оценки качества интерпретации, предложенном В.В. Ломтадзе, базирующемся на многократном решении ОЗГ при добавлении синтезированных помех к значениям наблюдаемого поля. По результатам серии решений ОЗГ находят средние оценки параметров модели, а также коэффициенты парной корреляции между ними [7].

Постановка и решение смешанной обратной задачи гравirazведки

Благодаря многочисленным примерам совпадения аномальных эффектов различных однородных тел сложилось мнение, что результаты совместного оценивания физических и геометрических параметров объекта не могут быть удовлетворительными. Но именно смешанные постановки ОЗГ, будучи адекватными реалиям, востребованы на практике, и проблема состоит лишь в том, чтобы обнаружить те типы априорной информации, которые способны подавить возросшую неопределенность, довести «размеры» множества всех возможных вариантов интерпретации X_0 до приемлемых, а также подобрать подходящий математический аппарат для их построения.

Базируясь на гарантированном подходе, авторами был разработан метод определения параметров источника моногеничной аномалии силы тяжести – трехмерного возмущающего тела Ω^T , обладающего интервально заданной аномальной плотностью σ : $\sigma_{\min} \leq \sigma \leq \sigma_{\max}$ при наличии априорной информации о его геометрических характеристиках [8]. С позиций теории вероятности анализируется набор независимых частных решений ОЗГ – векторов геометрических $\Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_N$ и плотностных $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_N$ параметров модельных источников. Эти векторы являются выборкой, при большом числе N характеризующей структуру множества $X_0(\delta)$ допустимых решений ОЗГ. Каждое из этих решений обеспечивает требуемую точность совпадения полей δ , отвечает имеющимся априорным ограничениям и является одним из равноправных вариантов интерпретации.

В результате синтеза частных решений строится функция локализации $v(\omega_\alpha)^*$, характеризующая вероятность P присутствия аномалиеобразующего объекта в элементарном объеме среды ω_α , полученную в результате N равновозможных исходов эксперимента. Очевидно, что в пределах области с нулевыми значениями функции $v^*=0$ аномалиеобразующие массы будут отсутствовать, а область значений $v^*=1$ представляет собой фрагмент, гарантированно принадлежащий возмущающему объекту Ω^T .

Рассмотрим модельный пример: гравитационная аномалия, зафиксированная на профиле длиной 10 км с постоянным шагом между измерениями 200 м, обусловлена объектом с плотностью 0.25 г/см^3 , с глубинами залегания кровли 250 м, подошвы – 1500 м. Высотные отметки точек изменяются от 90 до 240 м, в «наблюденном» поле присутствуют помеха ($\text{СКО}=\pm 0.3 \text{ мГал}$) и региональный фон вида $\Delta g_\phi=0.5x+1.25$. Решение задачи выполнялось в двух вариантах при использовании различных априорных данных (табл.).

Таблица. Априорные данные, использующиеся при решении ОЗГ

Номер варианта	Горизонтальная мощность m^x объекта, км		Горизонтальная мощность m^z объекта, км		Глубины залегания объекта h , км		Плотность объекта, г/см^3	
	m_{\min}^x	m_{\max}^x	m_{\min}^z	m_{\max}^z	h_{\min}	h_{\max}	σ_{\min}	σ_{\max}
1	0.2	4.5	0.1	2	0.5	6	0.15	0.35
2	0.2	4.5	0.2	1	0.5	4	0.2	0.3

Иллюстрацией синтеза 50 частных решений ОЗГ является рисунок, на котором, помимо пространственного распределения функции v , в разрезе показаны контуры областей D_1 и D_2 . Область D_1 содержит всю совокупность полученных решений ОЗГ; область D_2 объединяет элементарные объемы геологического пространства, внутри которых наиболее высока вероятность присутствия искомого объекта.

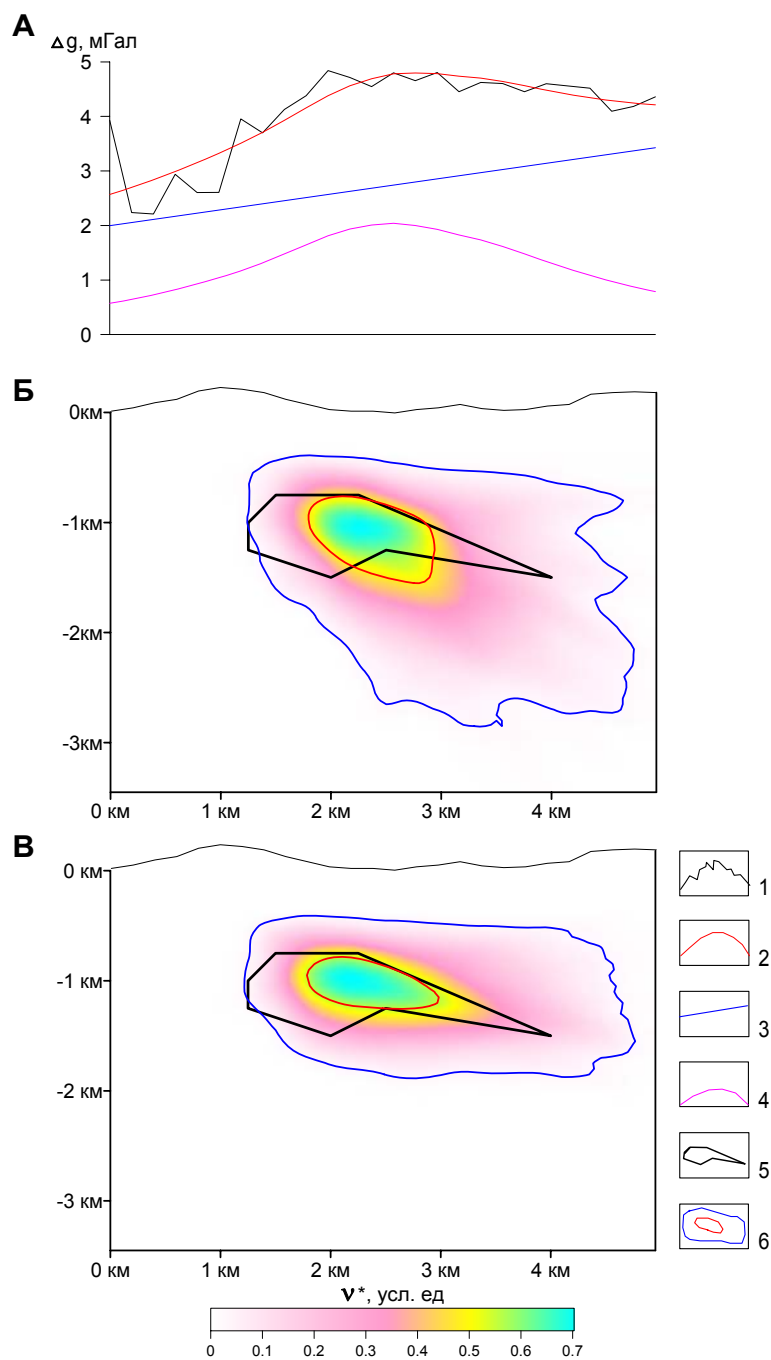


Рис. Результаты решения обратной задачи гравirazведки при разной априорной информации:

А – графики поля; Б – решение 1; В – решение 2.

Графики поля: 1 – «наблюденого», 2 – «наблюденого» без помехи, 3 – фонового, 4 – локальной составляющей, 5 – аномалиеобразующий объект, 6 – контуры подобластей D_1 (синий) и D_2 (красный)

Принцип оконтуривания области D_2 близок к выбору значения доверительной вероятности при проверке статистических гипотез, т.е. несет в себе некоторые черты субъективизма. В данном случае максимальное значение $v^*=0.7$ свидетельствует о том, что при имеющемся уровне помех и глубине залегания объекта мы не можем указать ни одного элемента ω_α , который ему гарантированно принадлежит. Как очевидно, результаты решения ОЗГ в варианте 2 обладают меньшей неоднозначностью (ϵ -эквивалентностью). Легко заметить повышение качества интерпретации за счет увеличения объема априорной информации.

Следовательно, можно построить методику двухэтапного решения практических задач: на первом этапе выполняется уточнение априорных сведений; на втором – проводится повторное решение ОЗГ с новыми, более жесткими, ограничениями на искомые параметры. Данный метод, реализованный для моногеничных аномалий, может быть развит применительно к наличию в моделируемом разрезе серии геоплотностных неоднородностей. Функцию локализации v^* можно применить также и для комплексной интерпретации данных гравиразведки и магниторазведки при интервальном представлении априорных данных о плотности σ : $\sigma_{\min} \leq \sigma \leq \sigma_{\max}$ и намагниченности J : $J_{\min} \leq J \leq J_{\max}$ изучаемых объектов.

Вывод

С целью обеспечения оптимальности результатов количественной интерпретации целесообразно осуществлять пространственно-статистический анализ репрезентативной выборки, характеризующей множество допустимых решений смешанной ОЗГ (с учетом априорной информации о среде и поле), осуществляя тем самым ранжирование геологического пространства по вероятности обнаружения искомых плотностных неоднородностей.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 10-05-96023_p_урал_a) и программы исследований ОНЗ РАН (проект 09-Т-5-1031).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гравиразведка: Справочник геофизика*. 2-е издание, перераб. и доп. / Под ред. Е.А. Мудрецовой, К.Е. Веселова. – М.: Недра, 1990. – С. 607.
2. *Страхов В.Н.* Критический анализ классической теории линейных некорректных задач // Геофизика. – 1999. – № 3. – С. 3–9.
3. *Балк П.И., Долгаль А.С., Мичурин А.В.* Смешанный вероятностно-детерминистский подход к интерпретации данных гравиразведки, магниторазведки и электроразведки // Доклады Академии наук. – 2011. – Т. 438, № 4. – С. 532–537.
4. *Канторович Л.В.* О некоторых новых подходах к вычислительным методам и обработке наблюдений // Сибирский математический журнал. – 1962. – Т. 3, № 5. – С. 701–709.
5. *Балк П.И.* О надежности результатов количественной интерпретации гравитационных аномалий // Известия АН СССР. Физика Земли. – 1980. – № 6. – С. 43–57.
6. *Балк П.И., Долгаль А.С., Христенко Л.А.* Теория и опыт применения монтажного подхода к решению трехмерных обратных задач гравиметрии // Геофизический журнал. – 2009. – Т. 31, № 5. – С. 128–140.
7. *Ломтадзе В.В.* Оценка точности и однозначности решения задач оптимизации параметров модели на примере гравиметрии // Геоинформатика. – 2010. – № 4. – С. 33–35.
8. *Долгаль А.С., Шархимуллин А.Ф.* Определения параметров одиночных геоплотностных неоднородностей с использованием функции локализации // Шестые научные чтения памяти Ю.П. Булашевича. Материалы конференции. – Екатеринбург: ИГФ УрО РАН, 2011. – С. 121–124.

СОВМЕСТНАЯ ОЦЕНКА ФИЗИЧЕСКИХ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОБЪЕКТОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИЙ ГЕОПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ПОЛЕЙ

¹П.И. Балк, д.ф.-м.н., ²Л.А. Христенко, к.г.-м.н.
¹г. Берлин, Германия
²Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация. Предлагается новый подход к совместной оценке физических и геометрических параметров геологических объектов по результатам измерений гравитационного (магнитного) поля. Он реализуется путем модификации монтажного метода решения нелинейной обратной задачи «рудного» типа за счет замены предположения об известных точных значениях плотности (намагниченности) тел на интервальную форму задания допустимых значений петрофизических параметров.

Введение

В процессе интерпретации данных гравиразведки (магниторазведки) неопределенность значений физических параметров – неотъемлемый атрибут любой постановки обратной задачи. Попытки создания алгоритмов решения обратных задач с неполной априорной информацией как о геометрических, так и о физических параметрах аномалиеобразующих тел (будем называть такие задачи смешанными), на основе классических методов условной минимизации уже предпринимались [1], но такие алгоритмы не в состоянии учесть весь объем имеющейся априорной информации. Авторами предлагается не практиковавшийся ранее подход к совместной оценке физических и геометрических параметров геологических объектов по результатам измерений гравитационного (магнитного) поля. Представлена модификация монтажного метода решения нелинейной обратной задачи «рудного» типа при замене предположения об известных точных значениях плотности (намагниченности) тел на более слабое условие, по которому информация о петрофизических параметрах носит размытый характер, что в большей степени отвечает реальным физико-геологическим условиям.

Постановка задачи

Пусть аномалия гравитационного поля $\Delta\hat{g}$ задана своими приближенными значениями $\Delta\hat{g}_i = \Delta\hat{g}(X_i) + \xi_i$, $i = 1, 2, \dots, n$ на множестве точек X_i произвольного рельефа и обусловлена массами, распределенными с избыточными плотностями $\hat{\delta}_k > 0$ по K односвязным объемам (парциальным носителям) $\hat{S}_k \in \mathbf{R}^3$, а априорные сведения о свойствах помех ξ_i , векторе плотностей $\hat{\delta} = (\hat{\delta}_1, \hat{\delta}_2, \dots, \hat{\delta}_k)$, пространственном расположении и геометрии тел \hat{S}_k содержат неопределенность, свойственную практическим постановкам задач количественной интерпретации.

Операции с конфигурациями, необходимые при реализации монтажного подхода, выполняются с использованием понятия ядра конфигурации Ω :

$$\mathcal{A}[\Omega] = \{T_n \in T : T_n \subset \Omega\},$$

а также понятий оболочки, границы и внутренности конфигурации – множеств соответственно [2–4]. В компьютерных технологиях все операции в конфигурационном классе производятся с множествами номеров элементов замощения, составляющих их ядра, что позволяет обходиться лишь целочисленной арифметикой и радикально упрощает вычислительный процесс.

Идея монтажного подхода возникла из понимания плохой совместимости классических методов минимизации и нелинейных постановок обратной задачи в сеточных классах источников поля. Схема, по которой выстраиваются монтажные алгоритмы решения обратной задачи при известных плотностях, представляет собой конечный итерационный процесс последовательного уточнения множества $\Omega_j^* = \{\Omega_{1,j}^*, \Omega_{2,j}^*, \dots, \Omega_{K,j}^*\}$ оценок $\Omega_{k,j}^*$ неизвестных носителей \hat{S}_k , построенных на предыдущем шаге j , $j \geq 0$, при условии, что текущие приближения $\Omega_{k,j+1}^*$ наследуют качественные особенности предшествующих приближений $\Omega_{k,j}^*$, предписанные априорной информацией.

Простейшая версия монтажного метода, модификация которой будет здесь использована, – алгоритм регулируемой направленной кристаллизации (РНК). В алгоритме РНК очередное j -е приближение $\Omega_j^* = \{\Omega_{1,j}^*, \Omega_{2,j}^*, \dots, \Omega_{K,j}^*\}$ образуется путем наращивания ядра одного парциального носителя (пусть r – его номер) из предшествующего приближения Ω_{j-1}^* на один элемент замощения $T_n \in O[\Omega_{r,j-1}^*]$:

$$\mathcal{Y}[\Omega_{r,j}^*] = \mathcal{Y}[\Omega_{r,j-1}^*] \cup \{T_n\}, \quad \mathcal{Y}[\Omega_{k,j}^*] = \mathcal{Y}[\Omega_{k,j-1}^*], \quad k \neq r.$$

Процедура контроля за соблюдением всех условий, предъявляемых к допустимым вариантам перехода к очередному приближению Ω_j^* и обусловленных постановкой задачи, может быть подвергнута радикальной декомпозиции и в этом главное достоинство монтажных алгоритмов. Итак, пусть T_n – некий элемент из оболочки $O[\Omega_{r,j-1}^*]$, и требуется установить, является ли вариант включения этого элемента в ядро $\mathcal{Y}[\Omega_{r,j-1}^*]$ допустимым. Начнем с того, что при такой простой организации итерационного шага, как в методе РНК, конфигурация $\Omega_{r,j}^*$ автоматически наследует свойство связности конфигурации $\Omega_{r,j-1}^*$. Связная конфигурация является к тому же односвязной, если ее оболочка является ядром связной конфигурации. Пусть $\mathcal{Y}[\Omega^{(1)}]$ – ядро конфигурации, состоящее из единственного элемента замощения T_m , принадлежащего множеству $O[\Omega_{r,j}^*]$. Организуем итерационный процесс на базе следующего рекуррентного соотношения $\mathcal{Y}[\Omega^{(t+1)}] = \mathcal{Y}[\Omega^{(t)}] \cup (O[\Omega^{(t)}] \cap O[\Omega_{r,j}^*])$, $t \geq 1$. Если $\mathcal{Y}[\Omega^{(p+1)}] = O[\Omega_{r,j}^*]$ на некотором шаге $t = p$, то множество $O[\Omega_{r,j}^*]$ является ядром некоторой связной конфигурации, а конфигурация $\Omega_{r,j}^*$ – односвязной. Напротив, если $\mathcal{Y}[\Omega^{(t)}] = \mathcal{Y}[\Omega^{(t-1)}]$ на некотором шаге t и при этом $\mathcal{Y}[\Omega^{(t)}] \neq \mathcal{Y}[\Omega_{r,j}^*]$, то конфигурация $\Omega_{r,j}^*$ не является односвязной и, соответственно, рассматриваемый вариант перехода от Ω_{j-1}^* к Ω_j^* исключается из рассмотрения. Аналогичный вывод следует, если $T_n \notin D_r$ или $T_n \cap S_r^- \neq \emptyset$. Недопустимым является также вариант, приводящий к взаимопересечению парциальных носителей – $T_n \in \mathcal{Y}[\Omega_{k,j-1}^*]$ для какого-либо $k \neq r$. Чтобы установить, не противоречит ли пробный вариант $\langle r, T_n \rangle$ сформулированным в постановке задачи условиям контактирования парциальных носителей, построим индексное множество $I = \{s : T_n \in O[\Omega_{s,j-1}^*], s = 1, 2, \dots, K; s \neq r\}$. Если $\lambda_{r,s} = 0$ хотя бы для одного индекса $s \in I$, то вариант наращивания ядра $\mathcal{Y}[\Omega_{r,j-1}^*]$ на элемент замощения T_n не приемлем. Если постановка задачи содержит ограничение на минимально допустимые расстояния $\rho_{s,t}$ между парами носителей \hat{S}_s и \hat{S}_t , то (с учетом размеров элементов замощения) следует пред-

варительно перейти к ограничениям на минимально допустимые расстояния $\rho_A(\Omega_{s,j}^*, \Omega_{t,j}^*)$.

Пусть (s, t) – фиксированная пара индексов. Положим $\Omega^{(0)} = \Omega_{s,j}^*$ и организуем итерационный процесс $\mathcal{Y}[\Omega^{(i)}] = \mathcal{Y}[\Omega^{(i-1)}] \cup O[\Omega^{(i-1)}]$, $i \geq 1$. Тогда $\rho_A(\Omega_{s,j}^*, \Omega_{t,j}^*) = i_0 - 1$, где i_0 – минимальное значение индекса i , при котором выполняется неравенство $\mathcal{Y}[\Omega_{t,j}^*] \cap \mathcal{Y}[\Omega^{(i)}] \neq \emptyset$. Из «нелинейной» части постановки не рассмотренным остается условие гладкости носителя. Если $O[T_n] \cap B[\Omega_{r,j}^*] \neq \emptyset$, то элемент T_n не входит ни в один отросток H пробной конфигурации $\Omega_{r,j}^*$. Если указанное неравенство не выполняется, а априорные ограничения допускают наличие у приближенных решений отростков, длина которых не превышает заданного L , то необходимо положить $\Omega^{(0)} = T_n$ и организовать итерационный процесс $\mathcal{Y}[\Omega^{(i)}] = \mathcal{Y}[\Omega^{(i-1)}] \cup (O[\Omega^{(i-1)}] \cap \Gamma[\Omega_{r,j}^*])$, $i \geq 1$, с критерием останова $\mathcal{Y}[\Omega^{(i)}] = \mathcal{Y}[\Omega^{(i-1)}]$. Тогда длина L отростка $H \supset T_n$ равна числу элементов, составляющих ядро конфигурации $\Omega^{(1)}$.

Таким образом, множество P_j складывается из всевозможных вариантов включения элементов замощения, входящих в объединение оболочек парциальных носителей $\Omega_{k,j-1}^*$ и прошедших (с помощью описанных выше процедур) контроль за соблюдением заданных условий задачи, в ядра парциальных носителей.

Осталось определиться с выбором номера r парциального носителя $\Omega_{r,j-1}^*$, ядро которого на шаге j было бы наиболее выгодно пополнить элементом замощения T_n , и собственно номера $n = n(r, j)$ такого элемента. Выбрать его необходимо с прицелом на глобальное условие, по которому на некоторой итерации $j = j_0$ все плотности $\delta_{k,j}^*$, минимизирующие невязку ε_j наблюдаемого и подобранного (модельного) полей, обязаны попасть в априори заданные интервалы $[\delta_k', \delta_k'']$, а само значение ε_j – в интервал $[\varepsilon_{\min}, \varepsilon_{\max}]$. Предлагается организовать итерационный процесс так, чтобы на начальной стадии итерационного процесса плотности $\delta_{k,j}^*$, $k = 1, 2, \dots, K$, согласованно стягивались к границам δ_k'' интервалов $[\delta_k', \delta_k'']$, а на заключительной стадии уже не выходили за пределы указанных интервалов. При этом заключительная стадия вступает в силу, как только на предыдущей итерации $j-1$ плотность $\delta_{1,j-1}^*$, доставляющая совместно с плотностями $\delta_{k,j-1}^*$, $k = 2, 3, \dots, K$, минимальное значение функционала невязки Φ , окажется меньше δ_1'' . Как один из возможных вариантов предлагается использовать функции
$$\varphi_k(x) = \delta_k' + \frac{\delta_k'' - \delta_k'}{\delta_1'' - \delta_1'}(x - \delta_1') + \delta_k', \quad k = 2, 3, \dots, K.$$

Если на итерации j достигнуто допустимое расхождение ε_j наблюдаемого поля и поля масс, распределенных с плотностями $\delta_{k,j}^*$ по парциальным объемам $\Omega_{k,j}^*$, то пара $\langle \Omega_j^*, \delta_j^* \rangle$ принимается за приближенное решение обратной задачи.

Рассмотрим модельный пример: аномалия Δg задана в $n = 40$ равноотстоящих точках оси x и обусловлена однородным телом \hat{S} с избыточной плотностью $\hat{\delta} = 0.3 \text{ г/см}^3$. Предполагается, что плотность $\hat{\delta}$ не известна и ее возможное значение

может лежать в интервале от 0.15 до 0.5 г/см³. Выполнены три варианта расчетов: 1) по точным значениям поля $\Delta\tilde{g}(x)$; 2) по полю $\Delta\tilde{g}(x)$, осложненному нормально распределенной помехой, среднеквадратическое значение которой составляет 5% от максимального значения аномалии; 3) по полю $\Delta\tilde{g}(x)$, осложненному асимметричной помехой той же интенсивности, что и в варианте 2. Результаты расчетов представлены на рисунке, основные числовые характеристики решений вынесены в табл. 1 и 2.

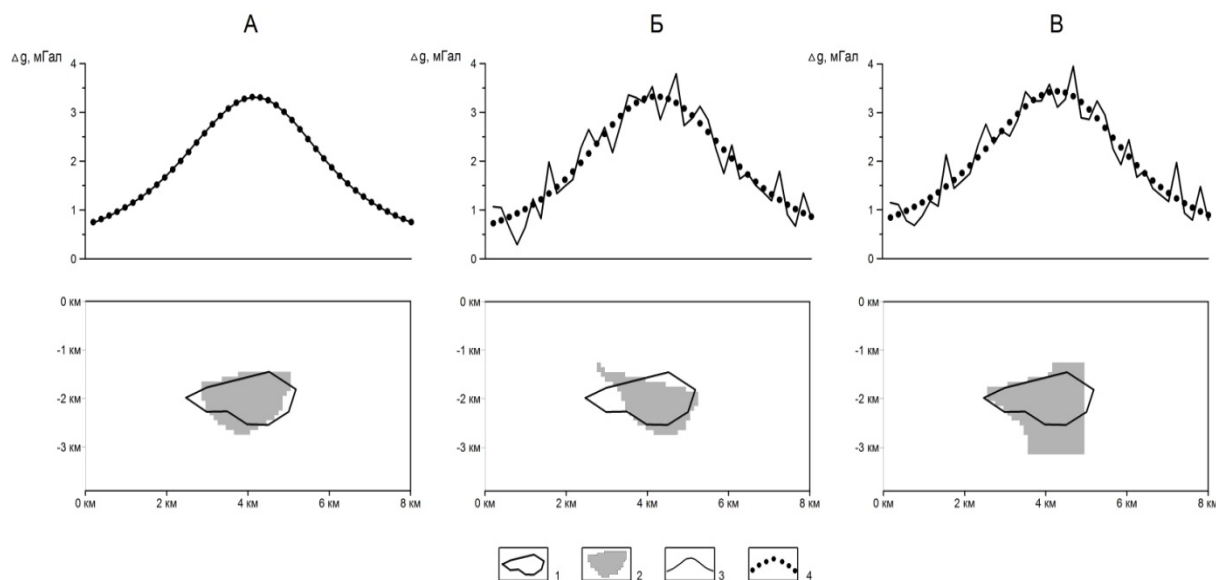


Рис. Допустимые решения смешанной обратной задачи гравиразведки, отвечающие минимуму невязки:

А – по точно заданному полю; **Б** – по полю, осложненному нормально распределенной помехой; **В** – по полю, осложненному асимметричной помехой. **1** – аномалиеобразующий объект; **2** – подобранный объект; **3** – график исходного поля; **4** – дискретные значения выбранного поля

Таблица 1. Основные параметры решений обратной задачи, отвечающие минимуму невязки наблюдаемого и выбранного полей

Номер варианта	Число итераций	Невязка, мГал	Подобранная плотность, г/см ³	Точность $p^{S,\delta}$
1	207	0.0061	0.259	0.687
2	177	0.3226	0.294	0.521
3	309	0.3021	0.192	0.614

Таблица 2. Основные параметры решений обратной задачи при точно заданном значении плотности аномалиеобразующего объекта

Номер варианта	Число итераций	Невязка, мГал	Подобранная плотность, г/см ³	Точность $p^{S,\delta}$
1	179	0.0082	0.300	0.647
2	185	0.3229	0.300	0.534
3	198	0.3024	0.300	0.484

В варианте 1 самая высокая степень близости выбранного и точного поля, что важно с точки зрения оценки способности предлагаемого алгоритма выйти на допустимое значение невязки. Как и ожидалось, во всех вариантах глобальный минимум невяз-

ки, качество решения обратной задачи и истинное значение плотности не согласуются друг с другом (все три указанные величины достигаются на различных итерациях).

В обоих вариантах с помехами точность приближенных решений, доставляющих минимальное значение невязки, равно как и тех, что отвечают точному значению плотности, не является наивысшим – экстремальными (т.е. обладающими максимальными значениями метрики $\rho^{S,\delta}$, характеризующей расстояние между физико-геометрическими параметрами исходной модели и полученными характеристиками) оказываются «рядовые» допустимые решения обратной задачи.

Вывод

Свойства отдельных решений обратной задачи являются случайными, и если плотность не известна, то анализ структуры множества допустимых решений смешанной обратной задачи, отвечающих интервалу возможных значений плотности, совершенно необходим.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Майер В.И., Никонова Ф.И., Федорова Н.В.* Численная оптимизация при интерпретации гравитационных и магнитных аномалий // Известия АН СССР. Физика Земли. – 1985. – № 5. – С. 46–57.
2. *Балк П.И., Балк С.П.* О решении нелинейной обратной задачи гравиметрии с использованием конечно-элементных представлений источников поля // Доклады Академии наук. – 2000. – Т. 371, № 2. – С. 231–234.
3. *Балк П.И., Долгаль А.С., Христенко Л.А.* Теория и опыт применения монтажного подхода к решению трехмерных обратных задач гравиметрии // Геофизический журнал. – 2009. – Т. 31, № 5. – С. 128–140.
4. *Балк П.И., Долгаль А.С., Христенко Л.А.* Синтез линейной и нелинейной остановок обратной задачи в гравиразведке и магниторазведке // Геофизический журнал. – 2011. – Т. 33, № 5. – С. 51–65.

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ПОДТВЕРЖДЕНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ

¹В.А. Березнев, к.г.-м.н., ²И.А. Санфиров, д.т.н.,
²В.В. Никифоров, ²А.Г. Ярославцев, к.т.н.
¹ФГБОУ ВПО «Пермская государственная
сельскохозяйственная академия», г. Пермь
²Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Территория любого современного города находится под комплексным воздействием негативных инженерно-геологических процессов природно-техногенного происхождения. Независимо от наличия в их пределах известных природных предпосылок в виде карстующихся пород, оползневых склонов и погребенных палеодолин, возникают деформационные явления различных зданий и сооружений. Данные явления большей частью не связаны со строительными дефектами, а обусловлены интенсивностью техногенного воздействия на основания, что приводит к изменению инженерно-геологических условий. К наиболее существенным техногенным факторам можно отнести утечки из разного рода коммуникаций, нарушения гидрогеологического режима за счет строительства и изменения естественного положения водоемов. Инженерно-геологическое описание реализации подобных негативных явлений основано на определении пространственных закономерностей в распределении структурно-физических параметров приповерхностных отложений, а их «результативность» определяется строением и свойствами деформируемой конструкции.

Комплексность задач требует и постановки комплекса методов. Для их решения предлагаются малоглубинная сейсморазведка по методике многократных перекрытий отраженных волн, электроразведочные исследования водно-физических параметров грунтов, многоканальная акустика и георадар, инженерно-геологическое опробование.

Сейсмо- и электроразведочные исследования выступают как «региональные» и направлены на изучение особенностей геологического строения территории с объектами исследований. Сейсмические наблюдения выполняются для расчленения геологического разреза отложений, подстилающих фундаменты, определения пространственных закономерностей распределения его структурных и физических параметров, выявления участков разуплотнения и количественной оценки степени разуплотнения. Применение отраженных волн по методике общей глубинной точки (МОГТ) наиболее предпочтительно для получения данной инженерно-геологической информации как при сейсмических, так и акустических наблюдениях.

Электроразведочные работы нацелены на картирование водных потоков, направленных под обследуемое здание. С этой целью по методике измерений градиентов потенциалов оценивается естественное поле (ЕП) и проводится симметричное электропрофилирование (СЭП). В пределах аномальных зон, выявленных профилированием, выполняется вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ) для уточнения геоэлектрических параметров разреза, указывающих на его водонасыщенность.

Информация о возможных деформациях в самих объектах добывается на основе акустических и георадарных наблюдений. Комплексная интерпретация геофизических данных по отмеченным направлениям базируется на результатах параметрического обеспечения геофизических интерпретационных заключений. С этой целью традиционно применяются лабораторные испытания монолитов, отобранных в инженерно-геологических скважинах, заверяющих геофизические аномалии.

Лабораторные испытания включают в себя определение физико-механических свойств грунтов по стандартным методикам. В процессе испытаний определяются плотность и влажность грунта, компрессионный модуль деформации и характеристики прочности – угол внутреннего трения и удельное сцепление. По данным влажности и плотности вычисляются пористость, коэффициент пористости и степень влажности.

Все перечисленные характеристики имеют различную информативность. В пределах одного разреза выделяются несколько инженерно-геологических элементов, для каждого из которых методами математической статистики определяются нормативные значения тех или иных физических свойств.

Наибольший интерес представляют не абсолютные значения характеристик, которые изменяются в довольно широких пределах, а их пространственные закономерности и их согласованность с изменениями сейсмо- и электроразведочных параметров. Выполняется также сопоставление с результатами определений на момент проектирования обследуемого объекта. Такой анализ позволяет сделать заключение об изменении инженерно-геологических условий в пространстве и во времени.

Подобная схема комплексных инженерно-геологических и инженерно-геофизических исследований успешно зарекомендовала себя при оценке причин деформаций целого ряда ответственных объектов на территории Пермского края и за его пределами. Приведем пример ее использования на одном из строительных объектов г. Перми.

Появление небольших деформаций в конструкциях здания обусловило необходимость постановки изыскательских работ, которые включали комплекс геофизических методов, определение физико-механических характеристик грунта по скважинам, пробуренным по данным геофизики в аномальной зоне и контрольной – за ее пределами. Расчеты основания по второй группе предельных состояний показали существенное увеличение деформаций по сравнению с проектными. Весьма информативными оказались изменения коэффициента пористости, которые полностью подтвердили границы выделенной по МОГТ аномальной зоны. Уменьшение коэффициента пористости несущего для свайного фундамента слоя привело к уменьшению расчетного сопротивления свай по острию, а увеличение влажности вышележащих слоев – по боковой поверхности. Проведенное впоследствии статическое зондирование полностью подтвердило выполненные расчеты, а, следовательно, и правильность избранной методики исследований.

ИНТЕГРАЦИЯ ВУЗОВСКОЙ, АКАДЕМИЧЕСКОЙ И ОТРАСЛЕВОЙ НАУКИ ОРГАНИЗАЦИЙ МОСКВЫ, КОСТРОМЫ, ПЕРМИ И ПЕТРОПАВЛОВСКА-К. ПРИ ГЕОФИЗИЧЕСКОМ ИЗУЧЕНИИ ПОДВОДНЫХ ВУЛКАНОВ КУРИЛЬСКОЙ ОСТРОВНОЙ ДУГИ

¹Ю.И. Блох, д.ф.-м.н., проф., ²В.И. Бондаренко, к.г.-м.н., доц.,

^{3,4}А.С. Долгаль, д.ф.-м.н., ³П.Н. Новикова,

⁵В.А. Рашидов, к.т.н., ⁶А.А. Трусов, к.т.н.

¹*Российский государственный геологоразведочный университет, г. Москва*

²*Костромской государственный университет им. Н.А. Некрасова, г. Кострома*

³*Горный институт УрО РАН, г. Пермь*

⁴*Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь*

⁵*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский*

⁶*ЗАО «ГНПП Аэрогеофизика», г. Москва*

Аннотация. Изучение подводных вулканов Курильской островной дуги оказалось весьма плодотворным благодаря интеграции вузовской, академической и отраслевой науки организаций Москвы, Костромы, Перми и Петропавловска-Камчатского.

Введение

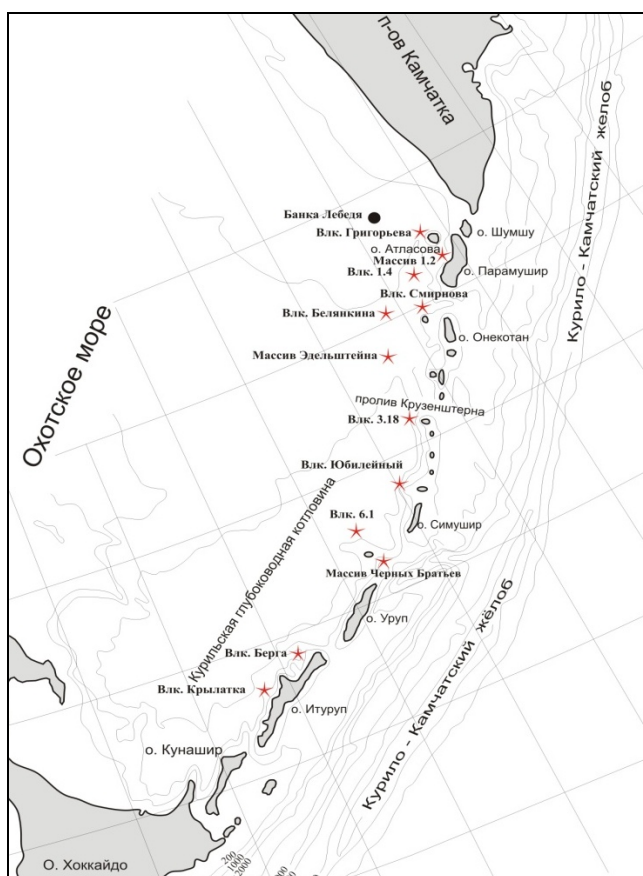
В последние годы наблюдается как существенная нехватка средств на проведение в должном объеме морских научно-исследовательских экспедиционных работ, так и заметное старение научного флота и кадрового состава. Нет и специализированной программы по изучению геологии морей России. Опытные, компетентные специалисты в области морских геофизических исследований лишены возможности передать свой бесценный опыт талантливой молодежи. Многие материалы, не архивированные должным образом по ряду причин, безвозвратно теряются. Все это приводит к заметному снижению интеллектуального потенциала отечественных исследователей Мирового океана. В то же время наблюдается резкий скачок в области обработки и интерпретации геофизических исследований, связанный прежде всего с созданием новых компьютерных технологий, ГИС, методических и аппаратурных разработок.

Тем не менее, используя интеграцию академической, вузовской и отраслевой науки, современные геофизические технологии и имеющиеся научные контакты пока еще возможно сохранить и передать научной молодежи. Можно также сделать достоянием российской и мировой науки уникальные данные, полученные в прошлые годы во время проведения отечественных морских экспедиционных исследований в различных регионах Мирового океана.

Одним из таких регионов, изучавшимся ранее отечественными учеными во время морских экспедиционных работ, является Курильская островная дуга (КОД), на Охотоморском склоне которой располагается множество подводных вулканов. В настоящее время авторский коллектив, состоящий из представителей классических отечественных геофизических школ – МГРИ (РГГРУ) им. Серго Орджоникидзе, МГУ им. М.В. Ломоносова, Свердловского горного института, ПГНИУ (ПГУ) – плодотворно занимается изучением подводных вулканов КОД.

Изучение подводного вулканизма Курильской островной дуги

Планомерное изучение подводного вулканизма КОД осуществлялось в 11 рейсах научно-исследовательского судна «Вулканолог» с 1981 по 1991 г. [1]. В настоящее время в пределах КОД выделено 117 подводных вулканов. В комплекс проведенных исследований входили эхолотный промер, непрерывное сейсмоакустическое профилирование (НСП), модульная гидромагнитная съемка (ГМС) и геологическое опробование. Общий объем отработанных профилей составил 60000 погонных километров. Работы проводились в два этапа: на первом выполнялись профильные и площадные геофизические исследования, а на втором обрабатывались станции геологического опробования в точках, выбранных по результатам геофизических работ. Полигонные геофизические исследования проводились по сетям профилей, выбранных с учетом задач комплексных вулканогеологических исследований. Зачастую сети съемочных профилей оказывались нерегулярными, а их плотность – невысокой.



Для интерпретации материалов, полученных при изучении подводных вулканов КОД (рис. 1), авторами разработана эффективная технология количественной интерпретации материалов ГМС в комплексе с эхолотным промером, НСП и анализом естественной остаточной намагниченности и химического состава драгированных горных пород, предназначенная для анализа результатов наблюдений, полученных на весьма нерегулярных сетях.

Она позволяет проводить интерпретацию непосредственно по исходным данным, не прибегая к некорректной процедуре их предварительного восстановления в узлах регулярной сети [2, 3].

Рис. 1. Местоположение изученных подводных вулканов Курильской островной дуги

Разработанная технология заключается в последовательном применении разнообразных методов интерпретации, одни из которых ориентированы на 2D- и 2.5D-анализ поля на отдельных галсах (профилях), а другие – на 3D-анализ по всему массиву наблюдений.

Интерпретация данных ГМС начинается с анализа особых точек функций, описывающих аномальные поля на отдельных галсах, с помощью интегрированной системы СИНГУЛЯР, которая предоставляет возможность синтезировать результаты анализа тремя независимыми методами: В.Н. Страхова, В.М. Березкина и Г.А. Трошкова [4, 5], а также с 2.5D-моделирования [6–8]. Результаты анализа особых точек весьма информативны, особенно для сравнительно неглубоко расположенных вулканов, где особенности отмечаются не только на верхней кромке магнитных объектов, но зачастую и в более глубоко залегающих магматических камерах (рис. 2).

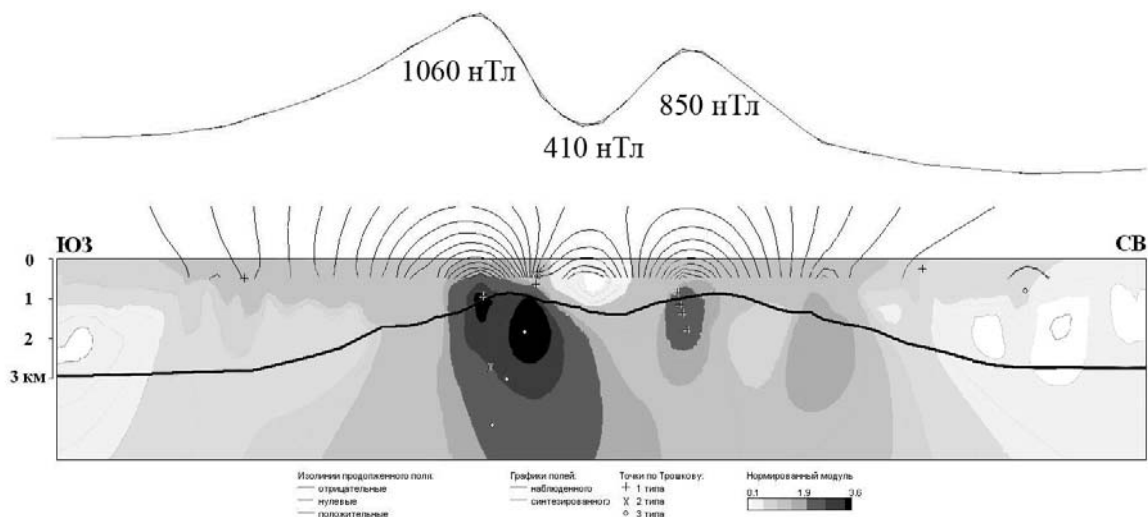


Рис. 2. Анализ особых точек функции, описывающей аномальное геомагнитное поле подводного вулканического массива Эдельштейна

Следует отметить, что профильный (а не 3D) анализ обладает рядом недостатков, в частности, неотъемлемо присущими ему тенденциями переносить эффекты от объектов, залегающих сбоку, на интерпретируемый профиль. Благодаря этой неприятной особенности 2D-интерпретации, ряд локализуемых особенностей оказывается в толще воды над аномалиеобразующими телами. Впрочем, полученные при эхолотном промере данные о поверхности океанического дна позволяют в данном случае легко выявлять и отсекают эти боковые влияния.

Как при 2.5D (рис. 3), так и при 3D-моделировании непременно используется истинный рельеф вулканических построек, с учетом погребенного под осадками основания, полученный по данным эхолотного промера и НСП.

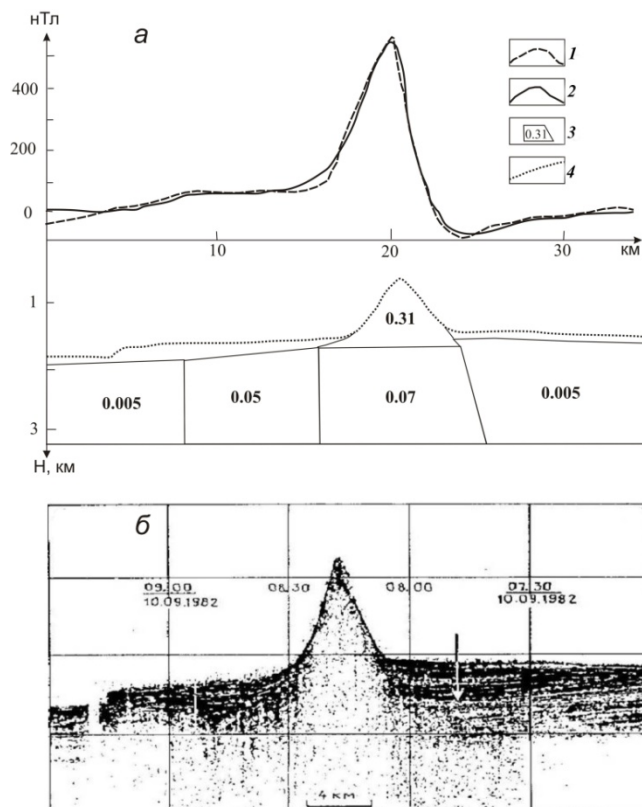


Рис. 3. 2.5D-магнитное моделирование подводного вулкана Белянкина (а) и фрагмент сейсмограммы НСП (б):

1 – аномальное магнитное поле ΔT_a ; 2 – модельное магнитное поле; 3 – аномалиеобразующие тела со значениями эффективной намагниченности; 4 – рельеф вулканической постройки. Стрелкой показана линия разделения осадочной толщи. Местоположение вулкана представлено на рис. 1

Опираясь на предварительную информацию о строении изучаемого вулкана, интерпретаторы далее переходят к 3D-моделированию с применением различных методик. Поскольку для этого необходимо знать усредненное направление вектора намагниченности горных пород, этот этап начинается с применения программы ИГЛА (рис. 4), предназначенной для интерактивной экспресс-интерпретации локальных аномалий гравитационного и магнитного полей [9]. Вулканическая постройка, расположение верхней кромки которой установлено по данным эхолотного промера и НСП, аппроксимируется усеченной пирамидой, и ее параметры, в том числе компоненты вектора магнитного момента, оцениваются с учетом регионального фона в интерактивно задаваемом многоугольном интерпретационном окне.

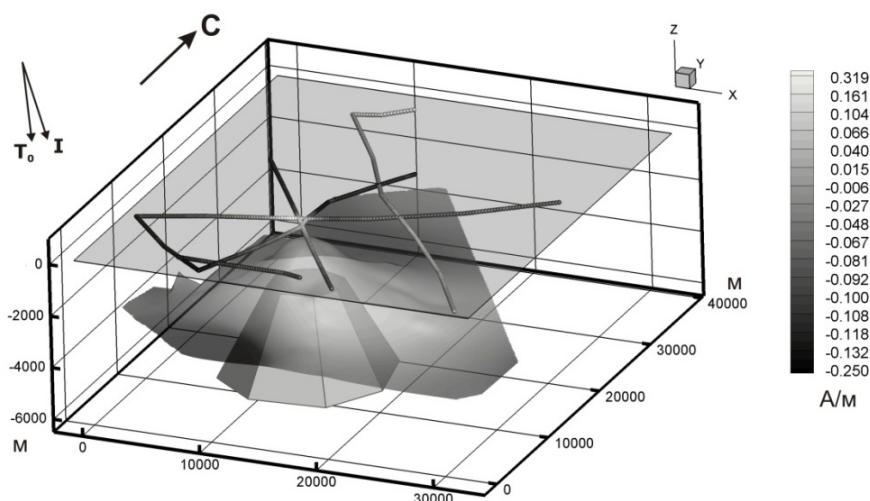


Рис. 4. Уточнение ориентации вектора намагниченности подводного вулкана 6.1 с помощью программы ИГЛА. Местоположение вулкана представлено на рис. 1

3D-моделирование выполняется по программе REIST из пакета программ СИГМА-3D [10]. С ее помощью по всему массиву исходных данных проводится аппроксимация источников магнитного поля на базе модели субгоризонтального слоя с латерально изменяющейся по модулю намагниченностью (рис. 5). Верхняя кромка слоя задается по данным эхолотного промера и НСП, а нижняя, как правило, принимается горизонтальной, и ее глубина задается исходя из анализа особых точек, предварительного 2.5D-моделирования и расчетов с программой ИГЛА. Поскольку геометрия аппроксимирующего слоя известна заранее, как и направление вектора намагниченности пород, определение изменения модуля намагниченности по латерали по отношению к некоторой точке, обычно задаваемой в центре интерпретационного участка, осуществляется единственным образом [11].

Для уточнения глубинного строения подводных вулканов КОД, помимо анализа особых точек, применяются томографический анализ и монтажный метод решения обратной задачи магнитометрии в 2.5D-варианте (рис. 6), учитывающем наличие линейного регионального фона в измеренных значениях поля [12, 13].

Интерпретационная томография позволила получить приближенную трехмерную картину распределения физических свойств геологической среды и выделить контрастный сильномагнитный субвертикальный объект. В результате моделирования монтажным методом проведена количественная интерпретация подводного вулкана 6.1, определено среднее значение намагниченности, равное 2 A/м для всех профилей. Максимальная невязка между модельным и наблюдаемым полями $\pm 21.5 \text{ нТл}$ сопоставима с точностью ГМС.

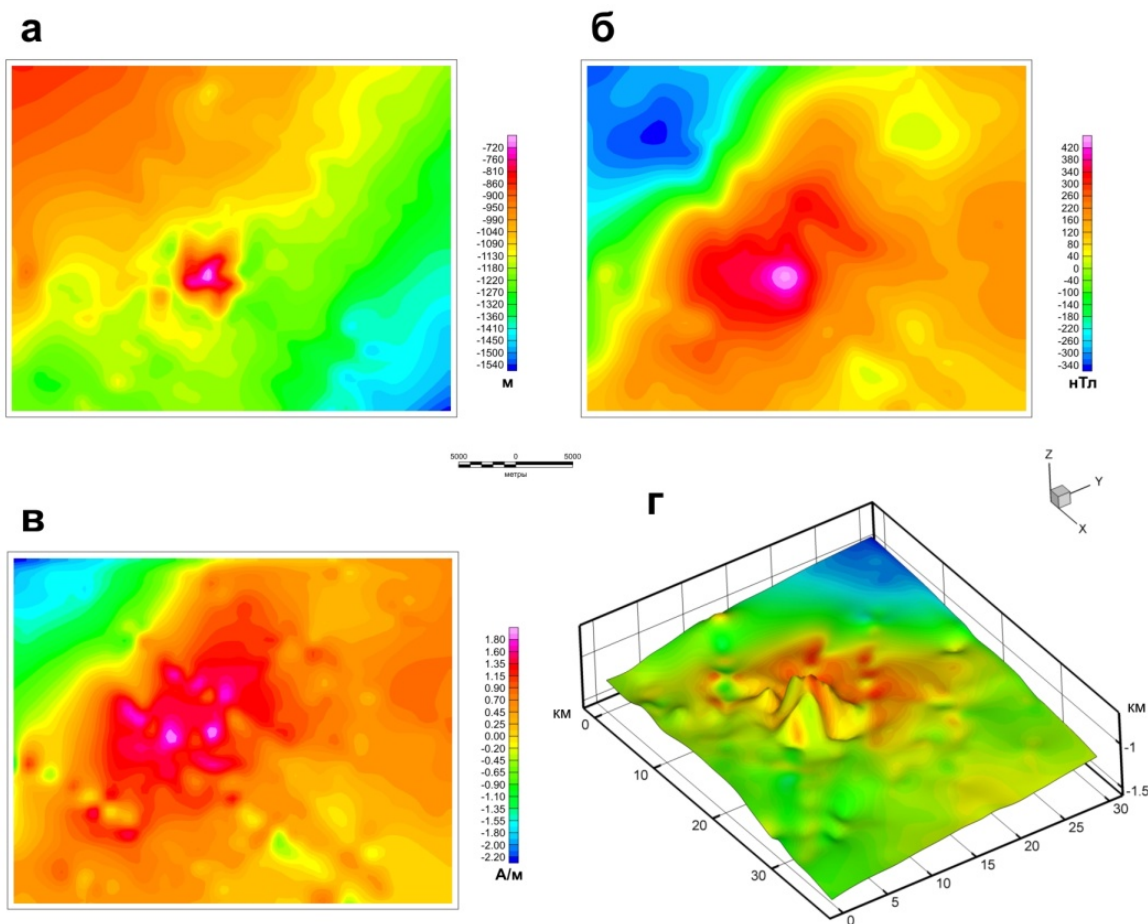


Рис. 5. 3D-магнитное моделирование подводного вулкана 1.4:
 а – батиметрия; б – аномальное магнитное поле ΔT_a ; в – распределение эффективной намагниченности вулкана; г – распределение эффективной намагниченности, изображенное на поверхности вулкана. Местоположение вулкана представлено на рис. 1

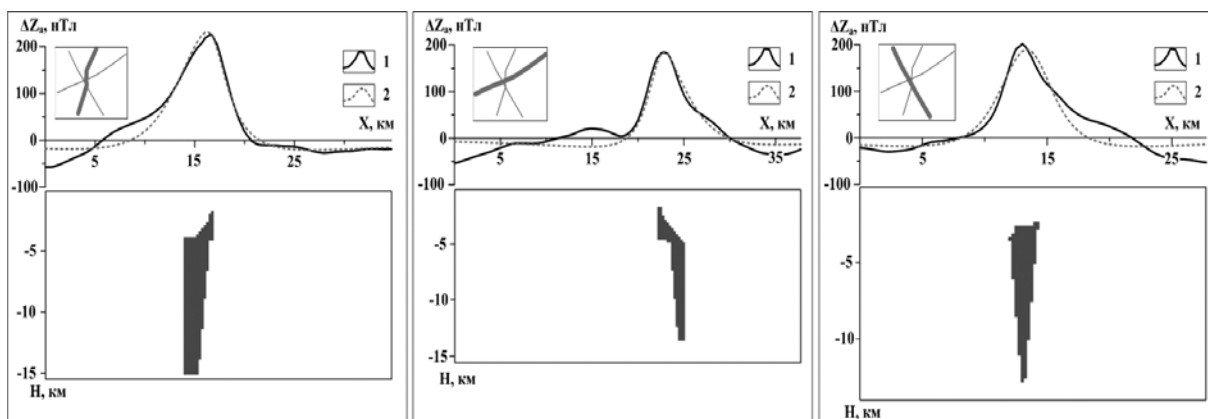


Рис. 6. Решения обратной задачи магниторазведки монтажным методом для подводного вулкана 6.1:
 1 – исходное поле; 2 – модельное поле. Намагниченность объекта – 2 A/m; снят линейный региональный фон $Y=4.95X-180.5$ (Y в нТл, X в км). Местоположение вулкана представлено на рис. 1

Выводы

Применение современных геофизических технологий для комплексной интерпретации материалов геофизических исследований подводных вулканов КОД позволило выделить в постройках вулканов отдельные блоки, лавовые потоки, кальдеры, магматические камеры и подводящие каналы.

Изучение подводных вулканов Курильской островной дуги в рамках проекта 09-III-A-08-427 Президиума ДВО РАН оказалось весьма плодотворным благодаря интеграции вузовской, академической и отраслевой науки организаций городов Москвы, Костромы, Перми и Петропавловска-Камчатского и привлечению аспирантов для выполнения фундаментальных научных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Подводный вулканизм и зональность Курильской островной дуги* / Отв. ред. Ю.М. Пушаровский. – М.: Наука, 1992. – 528 с.
2. *Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Долгаль А.С., Новикова П.Н., Рашидов В.А., Трусов А.А.* Геофизические исследования подводного вулкана 6.1 (Курильская островная дуга) // Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей. Материалы 38 сессии Международного научного семинара им. Д.Г. Успенского. – Пермь: ГИ УрО РАН, 2011. – С. 32–35.
3. *Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Долгаль А.С., Новикова П.Н., Рашидов В.А., Трусов А.А.* Применение современных интерпретационных технологий при изучении подводного вулкана 6.1 (Курильская островная дуга) // Глубинное строение. Геодинамика. Мониторинг. Тепловое поле Земли. Интерпретация геофизических полей. Шестые научные чтения памяти Ю.П. Булашевича. Материалы конференции. – Екатеринбург: ИГФ УрО РАН, 2011. – С. 41–43.
4. *Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Рашидов В.А., Трусов А.А.* Применение интегрированной системы «СИНГУЛЯР» для изучения глубинного строения подводных вулканов Курильской островной дуги: вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей. Материалы 37 сессии Международного семинара им. Д.Г. Успенского. – М.: ИФЗ РАН, 2010. – С. 62–65.
5. *Блох Ю.И., Каплун Д.В., Коняев О.Н.* Возможности интерпретации потенциальных полей методами особых точек в интегрированной системе «СИНГУЛЯР» // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 1993. – № 6. – С. 123–127.
6. *Рашидов В.А., Бондаренко В.И.* Геофизические исследования подводных вулканов Белянкина и Смирнова (Курильская островная дуга) // Вулканология и сейсмология. – 1998. – № 6. – С. 107–114.
7. *Рашидов В.А., Бондаренко В.И.* Подводный вулканический массив Эдельштейна (Курильская островная дуга) // Вулканология и сейсмология. – 2003. – № 1. – С. 3–13.
8. *Рашидов В.А., Бондаренко В.И.* Геофизические исследования подводного вулкана Крылатка (Курильская островная дуга) // Вулканология и сейсмология. – 2004. – № 4. – С. 65–76.
9. *Блох Ю.И., Трусов А.А.* Программа «IGLA» для интерактивной экспресс-интерпретации локальных гравитационных и магнитных аномалий // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей. Материалы 34 сессии Международного семинара им. Д.Г. Успенского. – М.: ИФЗ РАН, 2007. – С. 36–38.
10. *Бабаянц П.С., Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Рашидов В.А., Трусов А.А.* Применение пакета программ структурной интерпретации СИГМА-3D при изучении подводных вулканов Курильской островной дуги // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. – 2005. – № 2, вып. 6. – С. 67–76.
11. *Блох Ю.И.* Интерпретация гравитационных и магнитных аномалий. Учебное пособие. – М., 2009. – Режим доступа: <http://sigma3d.com/content/view/24/2/>.
12. *Балк П.И., Долгаль А.С., Балк Т.В.* Сеточные методы решения обратных задач и опыт их применения при прослеживании дифференцированных интрузий по данным гравиразведки // Геология и геофизика. – 1993. – № 5. – С. 127–134.
13. *Долгаль А.С.* Компьютерные технологии обработки и интерпретации данных гравиметрической и магнитной съемок в горной местности. – Абакан: ООО «Фирма-МАРТ», 2002. – 188 с.

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДОЛЬМЕНОВ КАВКАЗА

¹А.Ю. Бяков, к.т.н., ²А.А. Бяков, ³М.С. Пятунин

¹Геофизическая служба РАН, г. Геленджик

²Кубанский государственный университет, г. Краснодар

³Геофизическая служба РАН, г. Пермь

Аннотация. Произведен краткий обзор различных гипотез назначения дольменов, представлены материалы исследований геофизических полей вблизи мегалитов, анализ полученных результатов. Выявлена приуроченность дольменов к зонам тектонических нарушений и подземных водотоков, особенности сейсмо-акустических свойств сооружений.

Введение

Дольмены. Этим словом, означавшим по-древнебретонски «каменный стол», загадочные Кавказские мегалиты были названы иностранцами. Симон Палас «открыл» их в Тамани в 1794 году. Затем Фредерик Монперэ осмотрел эти каменные исполины в 1837 году. Их породнили с мегалитами Европы, Азии, Америки, после чего утвердилось мнение, что такие дольмены разбросаны по всему земному шару.

Сооружения, которые у разных народов Кавказа называются как «испун», «спыун», «кеуж», «адамра», «мдишкуде», «одзвале», «садавале», протянулись узкой полосой вдоль восточного побережья Черного моря (от Тамани до города Очамчира в Абхазии) на 480 км. На этой каменной «ленте» шириной от 30 до 75 км находится более 2300 древнейших сооружений [1]. Большинство из них имеют прямоугольную либо трапециевидную форму и сделаны из плит окремнелого известняка и песчаника. Четыре плиты – стены, и две – пол–потолок. Размеры плит достигают до 5 м в длину, 3 м в ширину и 0.5 м в толщину, а вес – до 10 т каждая.

Есть дольмены «корытообразные». Они высечены целиком в скальной глыбе, а сверху накрыты многотонной плитой. Совсем редкий вид – дольмены-монолиты, полностью высеченные в толще огромного валуна. Но все они имеют строгие пропорции: соотношение длины камеры к ширине и высоте соответствует параметрам, известным у архитекторов как «золотое сечение».

Для прочности соединений стены имеют специальные пазы и гнезда-шпонки. Герметичность настолько высока, что внутрь камеры не попадает даже лучик света. Как строились эти исполины – не известно. На многих плитах есть следы механической обработки: отфрезерованы пазы, видны полосы линейного строгания торцов и сверления круглых отверстий.

На внутренних стенах и на торцах плит сохранились полосы из выбитых зигзагообразных линий явно не декоративного характера. А на потолках видны вкрапления металлических блесков в виде разнообразнейших рисунков из нитей и узлов, очень напоминающие электронные платы. При некоторых различиях форм и размеров все кавказские дольмены имеют два обязательных сходства: у каждого есть круглое отверстие в передней стене диаметром 30–40 см и оно обязательно смотрит в сторону воды (море или река). Кое-где сохранились и каменные грибообразные пробки-втулки, закрывающие эти отверстия, весом до 200 кг каждая.

Большинство сооружений имеют на фасаде своеобразный портал за счет козырька верхней и выступающих боковых плит. А перед некоторыми вообще сооружен своеобразный амфитеатр для посетителей с полукруглыми каменными крыльями–ступенями и мощеным полом. Встречаются и выбитые рядом каменные чаши явно ритуального характера. Некоторые из них – в рост человека.

На первый взгляд эти памятники кажутся очень примитивными: менгир – всего лишь каменный столб, кромлехи – выложенные из камней круги, дольмены – «карточные домики» из гигантских плит, между которыми нельзя просунуть даже лезвие бритвы.

А между тем с этими культовыми сооружениями – мегалитами – связано множество тайн [2]. В сентябре 2005 г. Краснодарское краевое отделение Евро-Азиатского геофизического общества (ККО ЕАГО) организовало съемки документального фильма, посвященного загадкам и тайнам дольменов Кавказа совместно с проектом «О Видео» для телеканала «Культура». Впоследствии исследования были продолжены [3].

Отцом и сыном Кондряковыми в 1995 г. было произведено интересное исследование. Ища ответ на вопрос «...почему от поселка Дагомыс до абхазской реки Хашупсе дольменов в прибрежной части нет, хотя строительного материала вполне достаточно», ими были нанесены известные дольмены на топографическую основу масштаба 1:100000. На эту же карту перенесли информацию с неотектонической карты, составленной в СКТГУ в 1976 г., и геологической карты СССР, а именно: геологические нарушения, представленные надвигами, сдвигами, сбросами и т.д. В результате было обнаружено, что все дольмены, откартированные Н.В. Кондряковым и М.К. Тешевым, стоят на линиях фронтальных частей крупных надвигов и оперяющих к ним разрывов [4].

Проведенные работы

Предварительная рекогносцировка и выезд для съемок подтвердили в работах [3, 4] предположения о приуроченности расположения дольменов к тектоническим нарушениям. Для построений использовались данные собственных наблюдений прибором GPS Garmin 48 и тектоническая карта Северного Кавказа масштаба 1: 500 000. К сожалению, количества картированных дольменов, использовавшихся в построениях, явно недостаточно, и работа в этом направлении должна быть продолжена.

Обращает на себя внимание и тот факт, что Северный Кавказ является сейсмически активным регионом с развитым грязевым вулканизмом и диапиризмом, и разломные зоны являются, по сути дела, проводниками, волноводами сейсмической энергии дальних и ближних землетрясений [5–7]. Возникает естественный вопрос: случайно ли дольмены расположены в зонах разломных нарушений?

Дальнейшие наши исследования были направлены на изучение геофизических полей вблизи дольменов. Для этого использовались методы ЕП и ЕИМПЗ (приборы Адонис и ЭРП-1), показавшие хорошие результаты при взаимной корреляции для целей поисков грунтовых вод и разломных зон в геологических условиях Северного Кавказа, используемые в ООО «Водолей Бурводсервис» (г. Геленджик) [8].

Электроразведка является одним из эффективных современных методов геологического картирования и разведки полезных ископаемых, а также исследований при решении инженерно-геологических и гидрогеологических задач [9, 10]. Электроразведка основана на изучении электрических и электромагнитных полей, существующих в земле в силу естественных физико-химических и глубинных процессов, или создаваемых искусственно [11, 12]. Интенсивность и структура электрических или электромагнитных полей зависит от электромагнитных свойств пород и их геометрических характеристик, т.е. определяется геоэлектрическим разрезом изучаемого района.

Как показывает практика наших работ, оптимальным комплексом исследований в геологических условиях Кавказского хребта и его предгорий является комплексирование площадных исследований ЕП и ЕИМПЗ с целью определения местоположения грунтовых вод и водоносных горизонтов в плане с последующим проведением исследований ВЭЗ (при физической возможности разложить питающую магистраль) для изучения строения геологической среды и определения глубины залегания грунтовых вод, что, по сути дела, дает возможность трехмерного представления полученных результатов [10, 11]. Аналогичную методику мы решили применить и для изучения геофизических свойств дольменов и прилегающей к ним территории.

На рисунке представлен внешний вид Шебского дольмена (п. Широкая щель) и графики ЕИМПЗ (рис. а, б) и ЕП (рис. в, г). На графиках а и в представлены первичные данные без обработки, характеризующиеся явным всплеском ЕИМПЗ и ЕП на крышке дольмена. Возможно, они обусловлены помехой, вызванной камерой телеоператора, и были убраны в виде нескольких «ураганных» значений на рис. б и г. На графиках ЕП и ЕИМПЗ прослеживается визуальная корреляция полей в виде зоны пониженного количества импульсов ЕИМПЗ и повышенных значений потенциала ЕП, пересекающей участок съемки по диагонали.

В 2011 г. на этом же дольмене сотрудниками ГС РАН был проведен замер микро-сейсмического шума с использованием автономного 3-компонентного регистратора Guralp CMG-6TD [13]. На графике АЧХ (рис. д) выделены зоны резонанса частот в районе 5, 10 и 15 Гц. Интересно отметить выявленный археологами факт, что «пяточный камень» дольмена, т.е. находящаяся внутри него плита, расположен на песчано-глинистой подушке между ним и коренными породами, что в соответствии с общеизвестными законами о преломлении и отражении волн можно рассматривать как проводящую зону сейсмических волн, обеспечивающую их преломление на контакте двух сред с близкими по значению характеристиками плотности. В дольменной же камере, наоборот, появляется контакт плиты песчаника и воздуха, на котором волна отражается от стенок и пола дольмена.

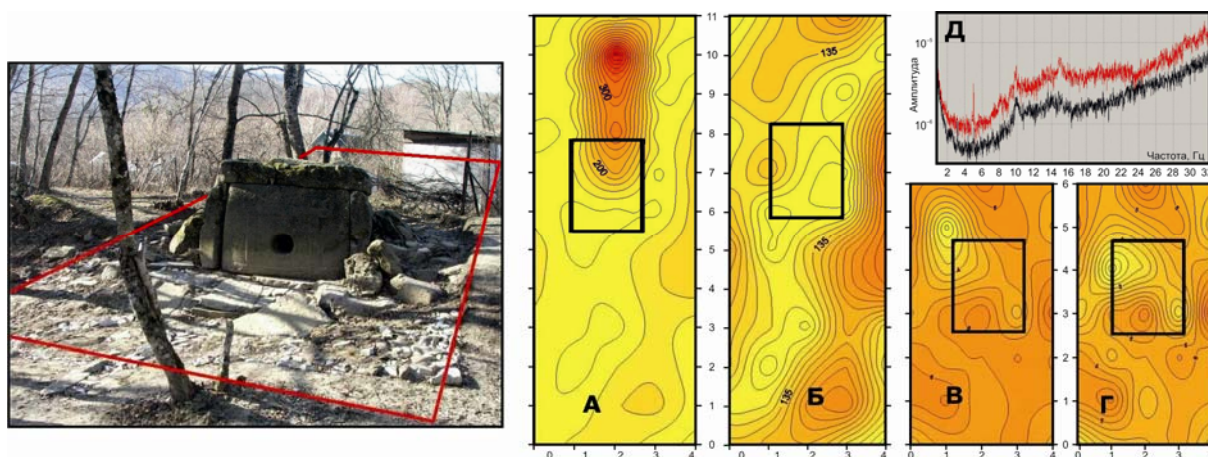


Рис. Комбинированная съемка ЕП и ЕИМПЗ дольмена Широкой щели

Дольменный комплекс горы Нексис состоит из двух дольменов (Лунный и Солнечный), расположенных на двух вершинах горы Нексис, разделенных седловиной. Интересен комплекс прежде всего тем, что расположен на вершине горы, в отличие от большинства дольменов, расположенных в долинах, также известен оригинальной архитектурой дольменов и петроглифами внутри них.

Исследования производились в два этапа: сначала в непосредственной близости от дольмена и затем с захватом более широкой площади вокруг дольмена размером 40×20 м с периодом в один год.

На измерениях количества импульсов ЕИМПЗ вблизи дольмена в 2010 г. поле ЕИМПЗ носит в целом спокойный характер с некоторым аномальным повышением как справа перед дольменом, так и справа за ним. Также выделяется зона повышенного количества импульсов перед дольменом. По опыту наших работ такая картина характерна для тектонических нарушений.

В 2011 г. были произведены измерения прилегающей к дольмену площади с более широким охватом. Результаты измерения количества импульсов ЕИМПЗ показаны на карте распределения потенциала, где также выделяется зона повышенного потенциала ЕП справа от дольмена. В наших гидрогеологических условиях повышенный потенциал

ЕП соответствует слабому обводнению. Вероятно, картина потенциала ЕП, представленная на рисунке и разделенная по диагонали на зоны повышенного потенциала справа и пониженного слева, может объясняться тем, что дольмен расположен на водоразделе. Аналогичная картина просматривается и на карте ЕИМПЗ, где виден явный градиентный характер поля с нарастанием слева направо. Подобная картина поля ЕИМПЗ, как правило, связана с тектоническими нарушениями и протекающими, возникающими в них статическими и динамическими нагрузками и вторичным сейсмoeлектрическим эффектом.

В 2011 г. также были произведены исследования седловины между дольменами горы Нексис.

Результаты съемки ЕП достаточно характерны для наших условий и могут объясняться обводненным тектоническим нарушением по середине седловины, однако интересно векторное представление структуры распределения поля потенциала ЕП. Оно носит некую «полосатую» структуру. Аналогичное чередование зон повышенного и пониженного потенциала и количества импульсов ЕИМПЗ наблюдалось нами на Шебском дольмене (рис. б). Возможно, это связано с переслаиванием пачки горных пород.

Хотелось бы отметить, что при проведенных измерениях мы сталкивались с аномальным поведением геофизических приборов, так, например, при измерениях в 2010 г. на Солнечном дольмене разрядился аккумулятор прибора ЭПР-1, а в следующем году при измерениях на этом же дольмене вышел из строя телефон оператора съемочной группы. При измерениях в седловине без видимых причин начал сбивать, а потом и вообще вышел из строя прибор «Адонис-32».

Выводы

Результаты проведенных исследований инструментально подтвердили теорию о приуроченности дольменов к зонам тектонических нарушений, зафиксировали частотный резонанс в камере дольмена и выявили небольшие аномалии электрических и электромагнитных полей вблизи дольменов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Марковин В.И.* Испун – дома карликов: заметки о дольменах Западного Кавказа. – Краснодар, 1985. – 42 с.
2. *Швайдак Ю., Фурдуй Р.* Прелесть тайны. – Киев: Лыбидь, 1992. – 120 с.
3. *Бяков А.Ю.* Съемки документального фильма «Дольмены Кавказа. История людей» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://eago.gelendzhik.ws/content/view/252/41>.
4. *Кондряков Н.В.* Тайны Сочинских дольменов. – 2002. – 15 с.
5. *Шевченко В.И., Гусев Т.В., Мишин А.В., Прилепин М.Т., Рейлинджер Р.Э., Лукк А.Я., Хамбургер М.У., Шемпелев А.Г., Юнга С.Л.* Современная геодинамика Кавказа (по результатам GPS измерений и сейсмическим данным) // Физика Земли. – 1999. – № 9. – 18 с.
6. *Хромовских В.С., Никонов А.А.* По следам сильных землетрясений. – М.: Наука, 1984. – 144 с.
7. *Лебедева Н.Б.* Условия и некоторые вопросы механизма образования глиняных диапиров Керченско-Таманской области // Складчатые деформации земной коры, их типы и механизм образования. – М.: Изд-во АН СССР, 1962.
8. *Сайт ООО «Водолей Бурводсервис»* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://vodoleibur.ucoz.ru>.
9. *Геофизические методы исследования земной коры* / Под ред. В.К. Хмелевского. – М.: Недра, 1988.
10. *Хмелевской В.К.* Основной курс электроразведки. Ч. 1. – М.: Изд-во Московского университета, 1970.
11. *Электроразведка. Справочник геофизика.* В двух книгах. Книга первая. 2-е изд., перераб. и доп. / Под ред. В.К. Хмелевского и В.М. Бондаренко. – М.: Недра, 1989. – 438 с.
12. *Якубовский Ю.В., Ляхов Л.Л.* Электроразведка. – М.: Недра, 1988.
13. *Сайт Guralp* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.guralp.com>.

О ГЛУБИННОЙ ПРИРОДЕ СЕЙСМИЧНОСТИ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКОГО РЕГИОНА

¹Ю.А. Бяков, к.г.-м.н., доц., ²А.Ю. Бяков, к.т.н.,
³Б.В. Сенин, д.г.-м.н., ⁴В.Л. Устьянцев, ¹В.А. Фоменко, к.т.н.
¹ФГУГП ГНЦ «Южморгеология», г. Геленджик
²Геофизическая служба РАН, г. Геленджик
³ОАО «Союзморгео», г. Геленджик
⁴Морской филиал ФГУНПП «Росгеолфонд», г. Геленджик

Аннотация. Рассматриваются результаты изучения возможной глубинной природы и характера сейсмической активности юго-восточной части Азово-Черноморского региона на основе использования каталогов землетрясений Геофизической службы РАН (г. Обнинск) за период с 2000 по 2009 г. и инструментальных измерений сейсмичности станциями «Дельта-Геон», осуществлявшихся Государственным научным центром «Южморгеология» (ГНЦ ЮМГ) в период с 2005 по 2010 год.

Изучение особенностей проявления сейсмичности Азово-Черноморского региона, относящегося к районам высокого сейсмического риска, является актуальной проблемой общегосударственного значения в связи с исключительно высокими темпами социально-экономического развития этого региона, в том числе с подготовкой к предстоящим в 2014 г. зимним Олимпийским и Паралимпийским играм в районе Сочи, планированием новых трубопроводных систем в прибрежной части и через акваторию Черного моря (южный поток), а также с возможным строительством в восточной части акватории Черного моря нефтяных и газовых промыслов.

Сопоставление данных о структуре земной коры Азово-Черноморского региона и прилегающих территорий с распределением эпицентров землетрясений, зафиксированных в регионе по данным исторических источников, каталогов и других публикаций за период, начиная с I тысячелетия до наших дней [1–6], позволяет отметить некоторые общие черты его региональной сейсмичности. Суть этих черт состоит в концентрации наибольшего количества очагов землетрясений в пределах некоторых более или менее ограниченных по площади областей, иногда имеющих в плане форму сейсмоактивных поясов.

Один из таких активных поясов протягивается между южными и юго-западными склонами Крымского и Кавказского орогенов и подножьями континентальных склонов восточной части глубоководной Черноморской впадины. Сопоставление его положения с данными о региональной разломно-блоковой структуре [7, 8] показывает его соответствие зоне геодинамического взаимодействия северных и северо-восточных окраин Эвксинской глыбовой системы, погруженной в воды Черного моря и его кайнозойский осадочный чехол, и представляющей, возможно, остатки древней Понто-Каспийской плиты по [9].

В связи с зависимостью разрушительных последствий землетрясений от балльности и глубины их очагов была предпринята попытка выявления глубинной природы современных землетрясений рассматриваемого региона за период с 2000 по 2010 год. В целях привлечения большего количества данных о землетрясениях наряду с каталогами Геофизической службы РАН (г. Обнинск) использовались данные аналогичного каталога Государственного научного центра «Южморгеология», составленного по данным измерений, с использованием десяти станций «Дельта-Геон» в период с 2005 по 2010 г. на площади порядка 500 тыс. км² в полосе от г. Темрюк до г. Сочи шириной до 150 км.

Система наблюдений ГС РАН в Азово-Черноморской зоне включала как станции федеральной сети России в городах Анапа, Геленджик и Сочи, так и станции на сопредельных территориях Северо-Кавказского округа (Северная Осетия–Алания, Кабардино-Балкария, Ставропольский край и др.) и в соседних зарубежных (Крым, Армения, Турция и др.).

При построении графиков распределения очагов землетрясений в системе координат магнитуа–глубина, представленных на рис. 1а и б, с использованием указанных каталогов была выявлена приуроченность очагов землетрясений к трем зонам (интервалам глубин), различающимся количеством сейсмических событий разной магнитуды и, соответственно, уровнем сейсмической активности. Такими зонами являются:

- первая (I), занимающая глубинный интервал от 0 до 12 км;
- вторая (II) – в диапазоне глубин от 12 до 38 км;
- третья (III) – на глубинах более 38 км.

При этом максимальное количество событий во всех трех глубинных зонах связано с интервалом магнитуд 1.8–3.3.

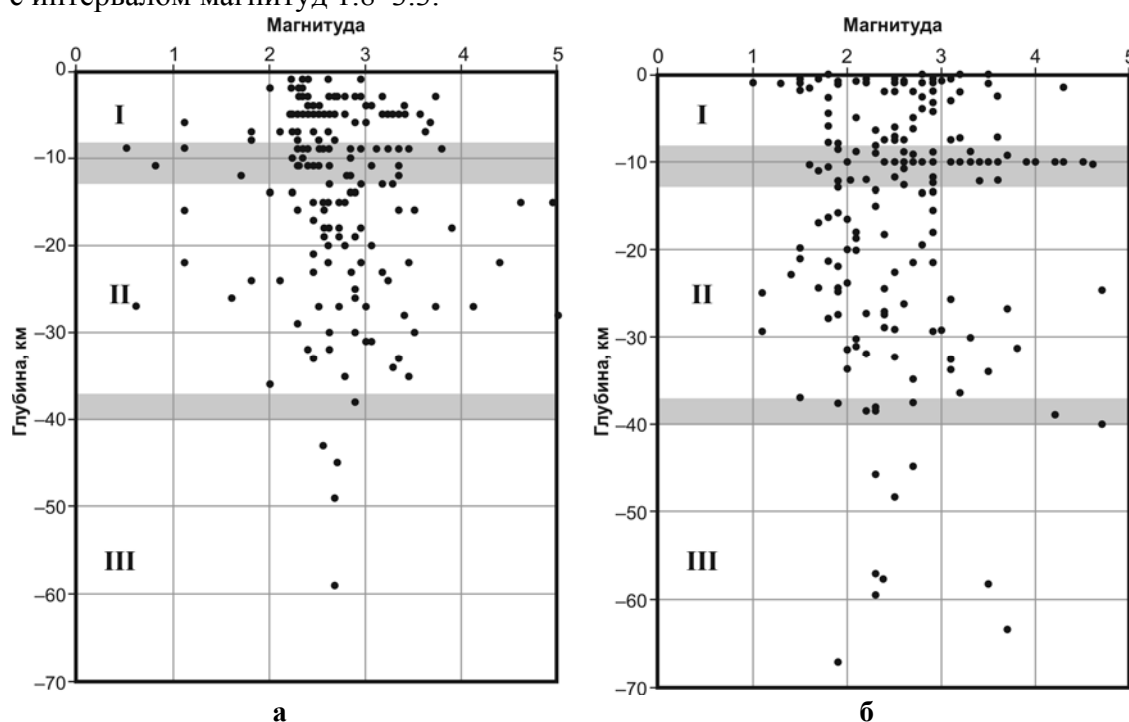


Рис. 1. Распределения гипоцентров сейсмических событий в зависимости от магнитуды по данным каталогов ГС РАН (а) и ГНЦ ЮМГ (б)

Первая зона характеризуется наибольшим количеством (плотностью) событий с магнитудой 2–3, которое резко сокращается на глубинах более 12 км. На глубине 4–5 км (по каталогу ГС РАН) выделяется еще одна подзона концентрации сейсмических событий с магнитудой 2–3. Нижняя граница первой зоны сейсмической активности, возможно, соответствует осредненному положению подошвы осадочного чехла вблизи континентального склона Черноморской впадины и его подножья (район Туапсинского прогиба), где зафиксирована значительная часть землетрясений региона.

Вторая зона характеризуется, как отмечено выше, сокращением количества сейсмических событий и некоторым расширением интервала их магнитуд. В ее пределах также наблюдаются подзоны, наиболее отчетливая граница между которыми отмечается на глубине 25–28 км. Относительно этой границы происходит смещение интервалов характерных магнитуд землетрясений в область меньших значений (1.5–3.0) выше нее и в область больших значений (2.0–3.5) – ниже этой границы. Нижнее ограничение этой зоны, возможно, связано с осредненным положением подошвы земной коры в районе зафиксированных землетрясений.

Третья глубинная зона отличается почти полным отсутствием сейсмических событий, на фоне которого, в интервале глубин 43–50 и 56–59 км фиксируются редкие землетрясения с магнитудой до 3.5.

С точки зрения оценки сейсмической опасности как для промышленных и социальных объектов, так и для морских объектов нефтегазовой и коммуникационной инфраструктуры (подводные трубопроводы, кабельные линии, морские нефтепромыслы) наибольший интерес представляют уточнение стратификации очагов землетрясений в верхней сейсмоактивной зоне, которая соответствует достаточно хорошо изученной морской сейморазведкой части осадочного чехла в Прикавказской зоне Черноморской глубоководной впадины (Туапсинский прогиб), и привязка очагов к конкретным геологическим структурам в ее разрезе.

С целью изучения этих особенностей сейсмичности региона была выполнена привязка очагов землетрясений к временному сейсмическому разрезу, пересекающему Туапсинский прогиб (рис. 2). Привязка производилась путем сноса (проектирования) на линию сейсмического профиля № 60040 (вдоль осей пересекаемых им линейных структурных зон прогиба) гипоцентров землетрясений, зафиксированных на относительно небольшом удалении от него в полосе (0 ± 20 км), и пересчета глубин соответствующих этим гипоцентрам очагов во временные сейсмические интервалы, с использованием характерных для соответствующего отрезка профиля графиков средних скоростей.

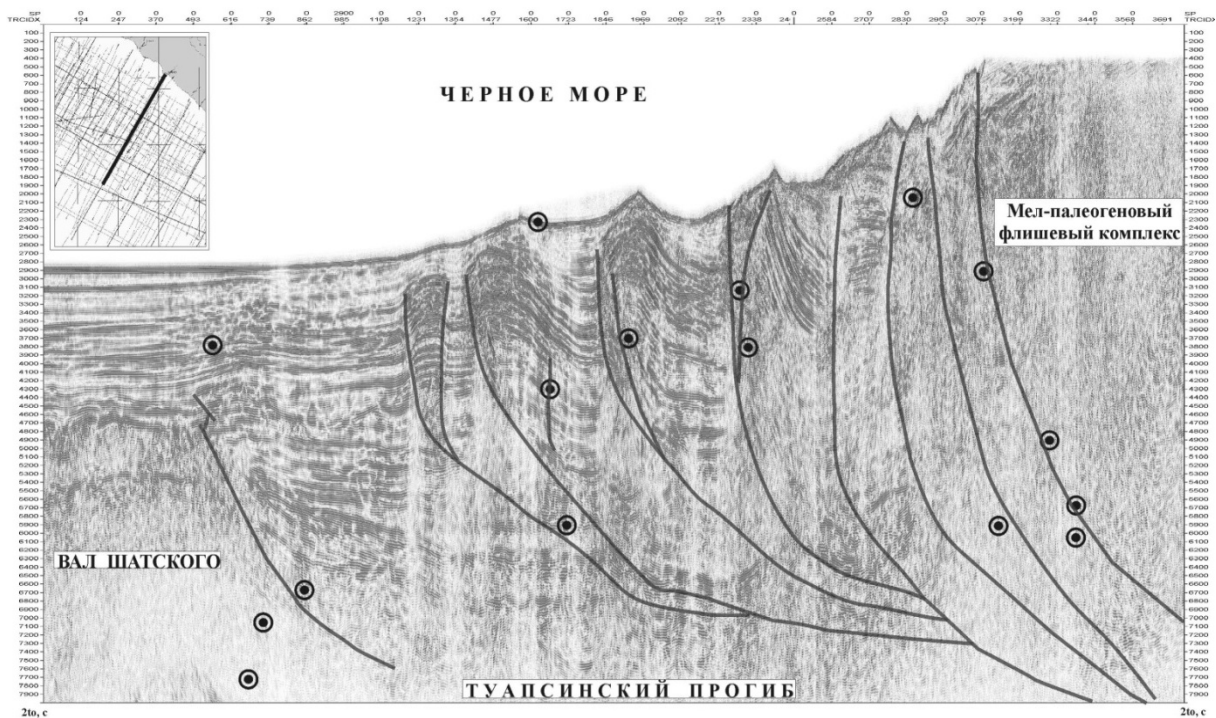


Рис. 2. Распределение очагов землетрясений в структуре Туапсинского прогиба в районе сейсмического профиля 60040 (ОАО «Союзморгео», 2000, интерпретация М.И. Леончика).
Черные кружки – проекции очагов землетрясений

В результате выполнения указанных процедур наметилась связь очагов землетрясений с четырьмя группами сейсмоактивных геологических структур (рис. 2).

Первая группа представлена системой фронтальных взбросо-сдвиговых нарушений, ограничивающих с юго-запада распространение мел-палеогеновых карбонатно-флишевых комплексов Северо-западного Кавказа.

Вторая группа образована взбросо-надвиговыми структурами, которые ограничивают складки, развитые в олигоцен-миоценовом осадочном разрезе Туапсинского прогиба.

Третья группа сейсмоактивных геологических структур представлена нарушениями неясной природы в жестком основании/фундаменте Эвксинской глыбовой системы (вал Шатского – Туапсинский прогиб).

Четвертая группа связана с поверхностной или приповерхностной геологической структурой дна Черноморской глубоководной котловины и обусловлена, скорее всего, кратковременными и достаточно мощными обвально-оползновыми событиями в нижней зоне континентального склона, в частности – ударным воздействием подводных обвально-оползневых масс на возвышающиеся над дном позднекайнозойские складчатые гряды, стоящие на пути движения этих масс. Не исключаются и другие причины возникновения «донных» очагов.

Таким образом, в результате проведенных исследований подтверждена вертикальная стратификация сейсмической активности, предположительно обусловленная различными физическими свойствами земной коры (литосферы) на разных ее глубинных горизонтах, и выявлен ряд дополнительных особенностей распределения сейсмичности в регионе. Наряду с установленными ранее комплексами сейсмогенных неотектонических структур, характерными, в основном, для орогенной приморской зоны северо-западного Кавказа (его Новороссийско-Лазаревского синклинория), выявлен ряд сейсмоактивных зон, связанных со структурой и динамикой развития приорогенного прогиба, каковым является Туапсинский прогиб в глубоководной области Черного моря. Все эти особенности распределения сейсмичности характеризуют сейсмоактивный пояс южных и юго-западных склонов Крымско-Кавказской орогенной системы и, безусловно, должны учитываться при планировании и строительстве инженерно-технических сооружений в приморской зоне Кавказского побережья и в районах акватории Черного моря, примыкающих к той зоне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Атлас карт сейсмической сотрясаемости территорий СССР* / Отв. ред. Ю.В. Ризниченко. – М.: АН СССР–МСССР, 1979.
2. *Геофизические параметры литосферы южного сектора альпийского орогена*. – Киев: Наукова думка, 1996. – 216 с.
3. *Горшков Г.П.* Региональная сеймотектоника территорий Юга СССР // Альпийский пояс. – М.: Недра, 1984. – 272 с.
4. *Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г.* – М.: Наука, 1977. – 536 с.
5. *Тулиани Л.И.* Сейсмичность и сейсмическая опасность: на основе термодинамических и геологических параметров тектоносферы. – М.: Научный мир, 1999. – 216 с.
6. *Eva C. Riuscetti, Slejko D.* Seismicity of the Black Sea Region // Monograph on the Black Sea. Bolletino di geofisica, teorica et applicata. – 1988. – Vol. XXX, 117–118. – P. 53–66.
7. *Сенин Б.В.* Черное море // Тектоника южного обрамления Восточно-Европейской платформы / Под ред. В.Е. Хаина, В.И. Попкова. – Краснодар: Кубанский гос. ун-т, 2009. – С. 162–171.
8. *Хаин В.Е.* Тектоническое районирование региона // Тектоника южного обрамления Восточно-Европейской платформы / Под ред. В.Е. Хаина, В.И. Попкова. – Краснодар: Кубанский гос. ун-т, 2009. – С. 7–24.
9. *Бончев Е.* Понто-Каспийская плита и ее геотектоническое положение // *Geologica Balcanica*. – 5.1. – Sofia, 1975. – P. 5–26.

ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЯ МИКРОСЕЙСМИЧЕСКОГО ШУМА С ГЛУБИНОЙ (НА ПРИМЕРЕ Г. БЕРЕЗНИКИ, ПЕРМСКИЙ КРАЙ)

Ю.В. Варлашова, П.Г. Бутырин
Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация. Приводятся результаты изучения изменений уровня микросейсмического шума с глубиной на примере Березниковской градопромышленной агломерации.

При решении многих задач сейсмологии высокочувствительные наблюдения являются основой, определяющей уровень исследований. Это, в частности, относится к изучению сейсмического режима крупных градопромышленных агломераций. Одним из возможных путей увеличения регистрационных возможностей аппаратуры являются наблюдения в скважинах.

Сейсмический шум, образованный в основном поверхностными волнами, убывает с глубиной. Однако и полезный сигнал во внутренних точках среды может быть слабее, чем на поверхности. Это связано с изменением амплитуды колебаний при достижении ими свободной поверхности. Возможный выигрыш чувствительности аппаратуры при погружении сейсмоприемника определяется тем, насколько быстрее убывает с глубиной уровень помех, чем полезный сигнал.

При изучении сейсмического режима крупных промышленных центров неблагоприятные шумовые условия наблюдений сильно затрудняют, а иногда исключают возможности применения способов, основанных на селекции волн по направлению распространения и скорости или по признаку поляризации. Поэтому при изучении сейсмического режима локальных участков крупных промышленных центров сейсмические наблюдения в скважинах приобретают особый интерес [1].

Изучение закономерностей изменения уровня микросейсмического шума с глубиной проводилось на примере Березниковской градопромышленной агломерации, в районе опасной зоны затопленного рудника БКПРУ-1, где на сравнительно небольшом участке проводятся наблюдения как поверхностными приборами, так и установленными в скважинах и в горных выработках рудника.

По состоянию на конец 2011 г. здесь действует локальная система сейсмологического мониторинга [2], состоящая из следующих сейсморавильонов (рис. 1):

- шесть поверхностных (Т3z, S10z, S9z, S8z, S4Tri, S5Tri);
- восемь скважинных (В1U, В1D, В2U, В2D, В3U, В3D, В4U, В4D) – в четырех скважинах глубиной 50 м, расположенных по периметру опасной зоны; в каждой скважине размещены по два сейсмоприемника – один в забое, другой на половине высоты;
- четыре в горных выработках в районе ствола № 3 (U1Tri, U2z, U3z, U4z).

На рис. 2 представлены спектры мощностей микросейсмических шумов для наземных и скважинных сейсмоприемников. Для расчета спектров мощности выбирались непрерывные фрагменты сейсмограмм длительностью около трех минут. При обработке устранялись интервалы записи, содержащие кратковременные помехи и сигналы от автотранспорта, работы механизмов, землетрясений и т.п.

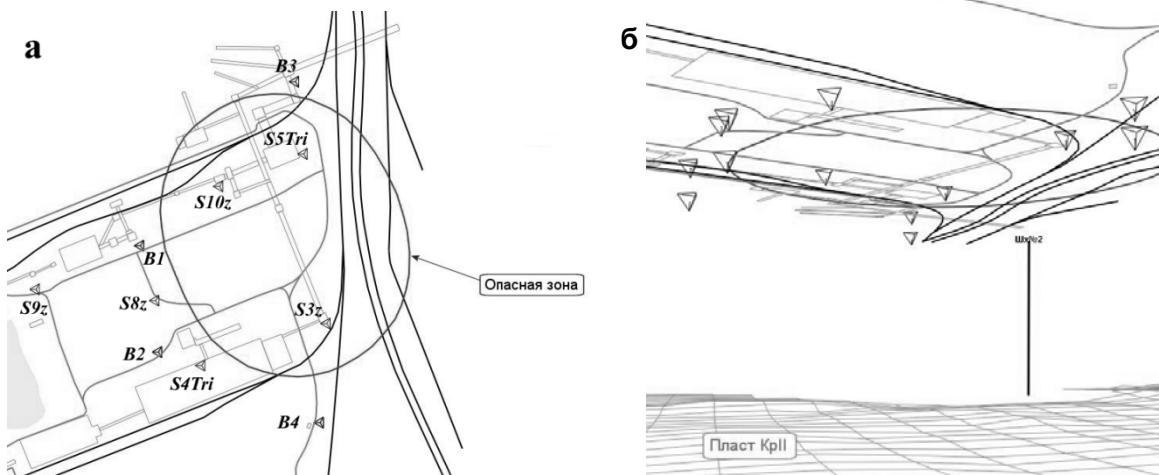


Рис. 1. Современная конфигурация локальной системы сейсмического мониторинга:
а – вид в плане, б – вид в разрезе

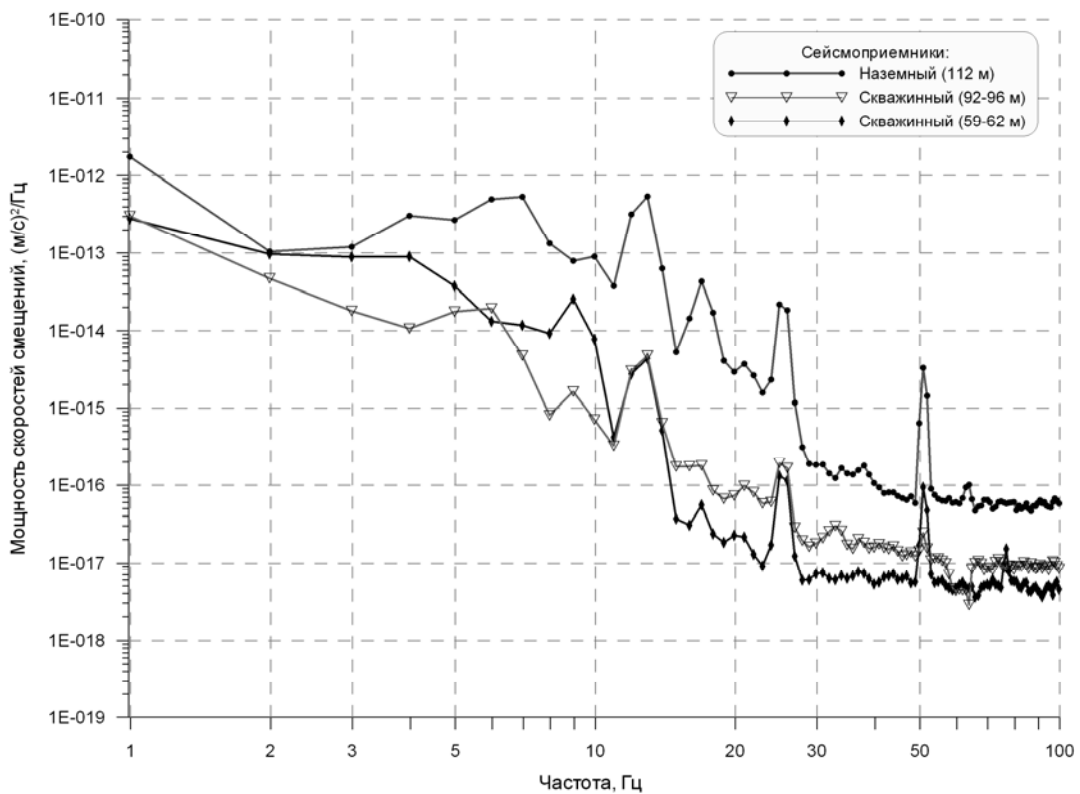


Рис. 2. Спектры мощности микросейсмических колебаний для пунктов наблюдения, расположенных на разной глубине.
В скобках – абсолютная отметка расположения сейсмоприемников

Как видно, уровень шума в скважинах по мощности примерно на полтора порядка ниже, чем на земной поверхности. На показаниях поверхностных датчиков отмечаются интенсивные монохроматические сигналы с частотами 12.5, 17.5, 25, 50 Гц, обусловленные наводкой электрических помех как непосредственно на катушки датчиков, так и на линии связи с регистраторами. Аналогичные наводки присутствуют и на скважинных сейсмоприемниках, однако они имеют существенно меньшую амплитуду. Все это приводит к тому, что скважинные сейсмоприемники позволяют фиксировать более слабые сигналы от процессов в контролируемом массиве, по сравнению с поверхностными сейсмоприемниками.

На рис. 3 приведен пример записи сейсмического события, произошедшего в зоне контроля, который демонстрирует выгоду использования скважинных сейсмоприемников. Целевой сигнал лучше прослеживается на датчиках, расположенных в скважинах (B1U, B1D, B3D, B3U). На поверхностных же датчиках S3Tri, S9z микросейсмический шум затрудняет выделение и обработку данного сигнала.

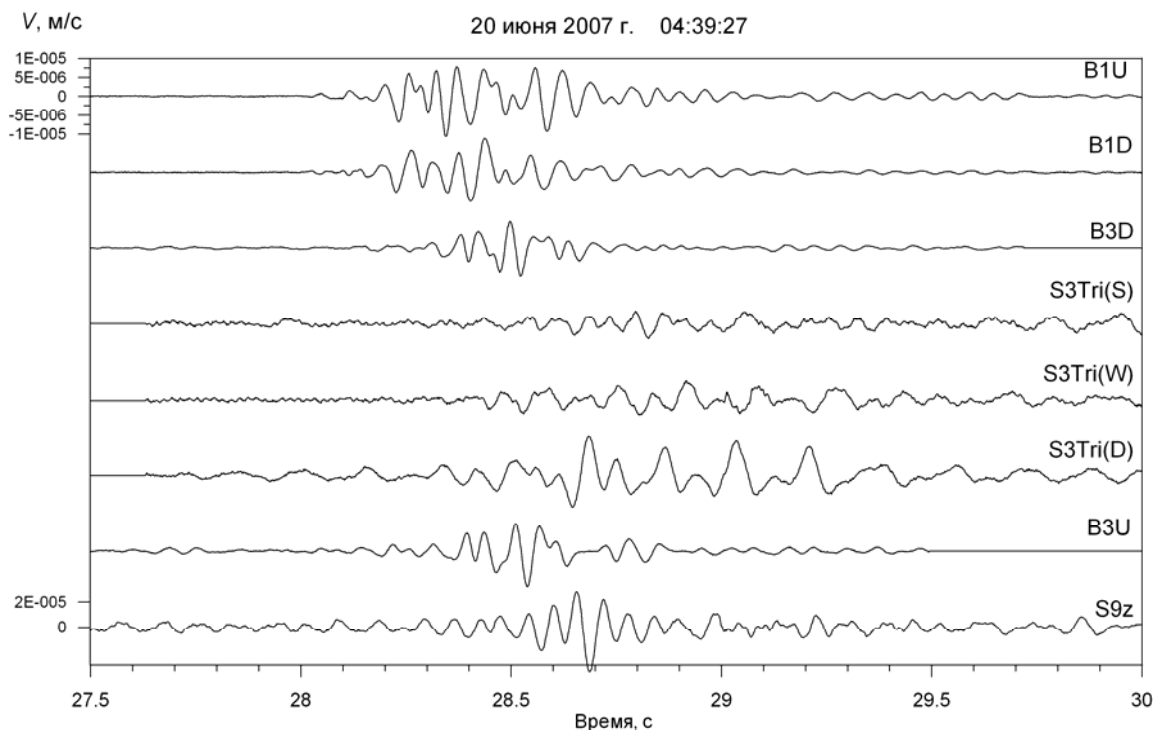


Рис. 3. Пример записи сейсмического события, произошедшего в опасной зоне на руднике БКПРУ-1

Таким образом, приведенные результаты свидетельствуют, что заглубление датчиков в скважине на 20 и более метров гарантирует уменьшение уровня сейсмического шума относительно расположения на поверхности примерно на порядок по мощности, что позволяет значительно повысить регистрационные возможности системы мониторинга.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гальперин Е.И., Нерселов И.Л., Воровской Л.М., Гальперина Р.М., Чесноков А.И.* Изучение сейсмического режима крупных промышленных центров. – М.: Наука, 1978. – 188 с.
2. *Маловичко Д.А., Дягилев Р.А., Шулаков, Д.Ю., Бутырин П.Г., Пересыпкин А.С.* Локализация и контроль карстовых процессов в соляном массиве // Горное эхо. Вестник Горного института УрО РАН. – Пермь, 2007. – № 3 (29). – С. 29–36.

МАГНИТНЫЕ МОДЕЛИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ РАЗНЫХ ТИПОВ

В.Б. Виноградов, к.г.-м.н., доц., Е.В. Кошечева
Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург

Аннотация. Описана методика моделирования рудных объектов на основе программы «МАГНИТНАЯ МОДЕЛЬ». Методика опробована на трех месторождениях разных типов.

Созданием магнитных моделей рудных месторождений на протяжении десятков лет занимались многие специалисты (А.Н. Бахвалов, В.Т. Белоголов, Ю.И. Блох, Г.Н. Константинов, О.Г. Садур, В.Н. Страхов и др.) [1]. Однако тема не теряет своей актуальности. На практике при моделировании геолого-геофизической обстановки по данным магнитной съемки широко применяют сеточные модели, состоящие из большого количества прямоугольных параллелепипедов. Главный недостаток практических сеточных моделей – сверхбольшое количество параметров – сотни тысяч, которые должны быть определены, что приводит к существенной неединственности и неустойчивости решений обратной задачи. В геологических моделях тех же территорий число геологических объектов меньше в сотни раз.

Для лучшей аппроксимации геологических поверхностей увеличивают число элементарных тел одновременно с уменьшением их объема. Стремление к высокой точности аппроксимации этим путем, как показал А.И. Кобрунов [2], не улучшает свойства сеточных моделей. Создание начальной сеточной модели требует больших затрат времени. Естественным способом преодоления некорректности обратной задачи является уменьшение числа определяемых параметров. Этого можно достичь путем использования в одной модели разных по форме элементарных тел правильной геометрической формы. Упрощается процедура составления начальной модели. Число определяемых параметров сократится в десятки раз.

Для решения прямой и обратной задач магниторазведки была составлена программа «МАГНИТНАЯ МОДЕЛЬ» для вычисления магнитных полей в диалоговом режиме. С помощью программы возможны расчеты вектора суммарной намагниченности и полей от набора элементарных тел, включающего трехосные эллипсоиды, сжатые эллипсоиды вращения, прямоугольные параллелепипеды, произвольно намагниченные тонкие пласты, ограниченные по падению и простиранию, и другие элементарные тела, а также вычисления магнитного поля в скважинах. Для обработки данных каротажа магнитной восприимчивости (КМВ) и векторной скважинной магнитометрии предусмотрены соответствующие процедуры. Некоторые способы вычисления полей элементарных тел созданы автором.

Опробование программы проведено на трех рудных месторождениях разного типа разной геометрии и минерального состава. Объемная начальная модель рудопроявления скарномагнетитового типа «Галтийское-2» построена по данным магнитных, электрических и гравитационных наблюдений. Субгоризонтальное залегание пластообразных рудных тел и рудовмещающих комплексов заметно затрудняют истолкование гравитационного и магнитного полей. Вмещающая толща метасоматически измененных андезитов и их брекчий представляет собой изометричную в плане куполовидную структуру диаметром около 800 м и высотой около 150 м. Основные сведения о магнитных свойствах получены, главным образом, по данным КМВ в скважинах. При приближении к рудному телу магнитные свойства меняются в следующей последовательности.

При переходе от неизменных пород к метасоматитам намагниченность уменьшается в 3–6 раз. На отдельных участках магнитная восприимчивость метасоматитов уменьшается до нуля. Сведения о магнитных свойствах скарнов отсутствуют, они определялись в процессе решения обратной задачи. При переходе от метасоматитов к скарнам намагниченность увеличивается в 10 раз. При переходе от скарнов к сплошным рудам намагниченность возрастает в 5–7 раз.

Подбор регионального фона проводится пользователем и, безусловно, носит субъективный характер и во многом предопределяет результат моделирования. По остаточному магнитному полю построена начальная модель магнитоактивной части изучаемого геологического участка, определенной геологическим заданием. Уточнение начальной модели проводилось посредством решения обратной задачи магниторазведки с помощью вышеназванной программы в диалоговом режиме.

Рудные тела были аппроксимированы семью сжатыми эллипсоидами вращения. Применение эллипсоидов для аппроксимации объектов с высокой магнитной восприимчивостью и остаточной намагниченностью избавляет от необходимости учета неоднородности намагничивания, обусловленной формой тела. Это особенно важно при изучении геологических объектов с высокими магнитными свойствами, в первую очередь при поисках железорудных залежей.

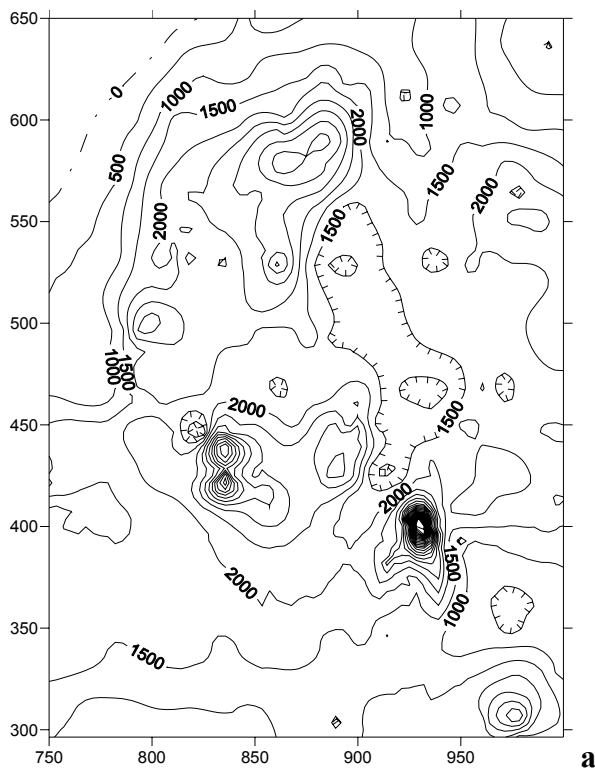
Вычисленная интенсивность магнитной аномалии, обусловленной индуцированной намагниченностью рудных тел, оказалась вдвое меньше измеренных величин. Очевидно, что индуцированная и остаточная намагниченность рудных тел близки по величине и направлению. Амплитуда магнитной аномалии, обусловленной толщей метасоматитов, достигает -50 нТл (по результатам расчетов). Магнитное поле вмещающей толщи включает максимум и два минимума. Амплитуда изменений поля достигает 450 нТл . Минимальные значения пространственно совпадают с максимальными значениями магнитных аномалий, обусловленными зоной скарнов и рудными телами. На рудопроявлении «Талтийское-2» рудные тела располагаются друг под другом, что позволяет оценить их взаимное влияние по методике Ю.И. Блоха [3]. Аномальное поле взаимного влияния сопоставимо по величине с полем тел, расположенных под субгоризонтально залегающим, самым большим пластообразным телом. В вычисленном поле существенно преобладает влияние двух верхних рудных тел.

Построение двух магнитных моделей рудопроявления проведено разными исполнителями с разными пакетами программ, отличающихся набором элементарных тел, из которых создается модель. Такой прием позволяет оценить погрешности, обусловленные избранной аппроксимирующей конструкцией, и погрешности, вызванные неравномерным распределением намагниченности, обусловленной формой тела.

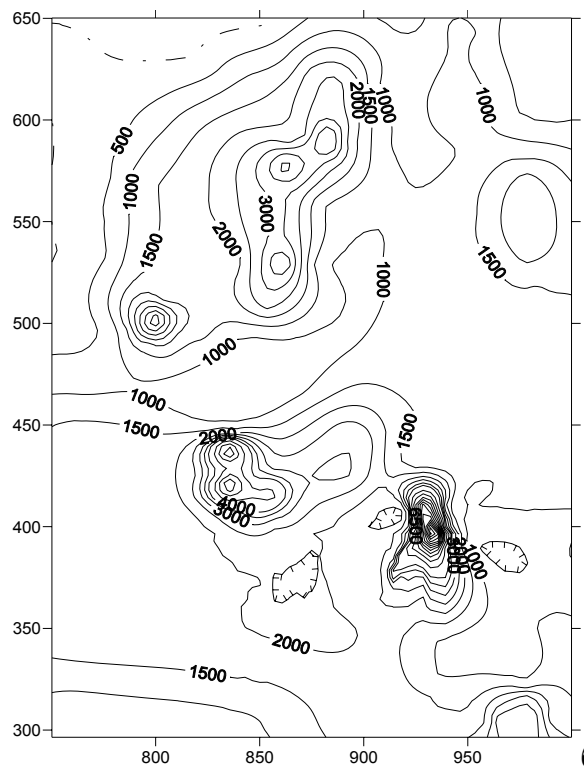
Были проведены расчеты поля для тех же семи рудных тел, погруженных на 100 м ниже. Интенсивность аномалии при увеличении глубины до тел на 200 м уменьшилась в шесть раз. Это свидетельствует о том, что подобные объекты, расположенные на глубине более 200 м, неизбежно пропускаются. Для их обнаружения данные магниторазведки необходимо дополнить результатами других методов.

Южнее на 10 км от рудопроявления расположен перспективный участок, где скважинами вскрыта залежь магнетита. Методика опробована на площади, где была проведена магнитная съемка масштаба 1:5000. Горизонтальные размеры участка – 750 м с запада на восток и 800 м с юга на север. При использовании сеточной модели в заданном масштабе потребовалось бы более 5000 прямоугольных параллелепипедов, с учетом определения магнитных свойств для ее описания потребовалось не менее 35000 параметров.

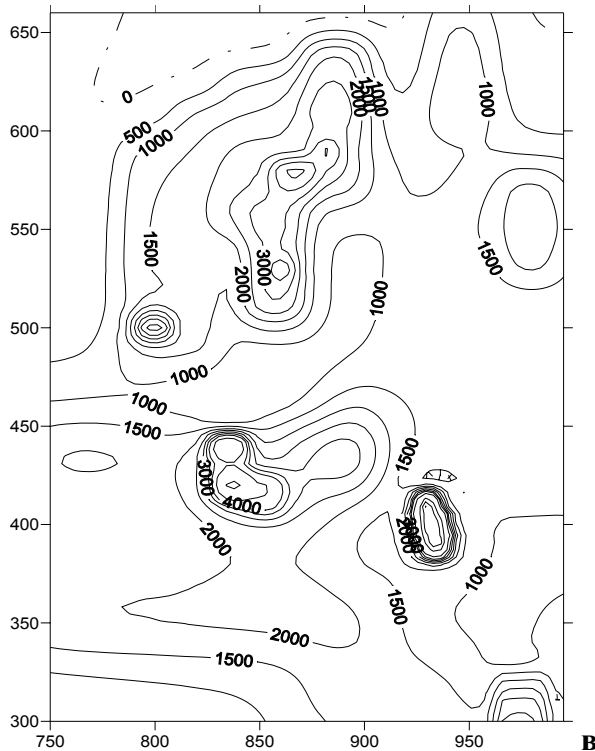
В рассматриваемом случае региональный фон вычислялся как поле нижней магнитоактивной границы, соответствующей глубине исследования, указанной в геологическом задании. По остаточному полю создана модель магнитоактивной части изучаемого участка в заданном масштабе исследований. Было проведено моделирование детальных участков в крупном масштабе, соответствующем масштабу детальных работ, и добавление их в основную модель (две интенсивных аномалии в южной части площади, рис.).



а



б



в

Рис. Планы изодинам:
а – измеренного поля; б – поля, вычисленного в узлах регулярной сети; в – поля, вычисленного в точках измерений

Расчет модельного поля участка проведен в узлах регулярной сети и в пунктах наблюдения поля, что позволяет оценить фильтрующие свойства сети измерений (рис.). Чтобы учесть особенности алгоритма используемых программ, использовались две программы построения изолиний. Для оценки особенностей алгоритмов и вычислительных схем решения прямых и обратных задач, ошибок аппроксимации геологических поверхностей в используемой программе проводились оценочные расчеты с помощью ранее применяемого комплекса программ решения обратных задач магниторазведки (АДМ, В.А. Кочнев). Качество модели оценивалось по среднеквадратической погрешности, вычисленной для наблюдаемого и модельного полей.

Подобранная модель включает 109 элементарных источников. Для описания модели использовано менее 800 параметров. Расчеты магнитного поля проведены в точках измерения поля, в узлах более густой регулярной сети, чем сеть измерений, для детальных участков, где измерения поля проведены в масштабах от 1:500 до 1:200. Оценка качества созданной модели характеризуется вычисленной погрешностью аппроксимации магнитного поля в пунктах измерений и соответствием модели имеющимся геолого-геофизическим фактам и существующим представлениям о геологическом строении изучаемой территории. Результаты моделирования расчетов полей модели представлены в виде планов изодинам наблюденного поля и планов изодинам модельного поля (регионального, локального, суммарного). Выбрано девять интерпретационных профилей, по которым построены геолого-геофизические разрезы. При проведении моделирования стало ясно, что интерпретационные профили выбраны не совсем удачно, графики поля по ним не отражают пространственного изменения полей, скорее, искажают его. Для получения более объективного представления о магнитном поле площади необходимо дополнить сеть субширотных профилей двумя меридиональными профилями.

Создание начальной модели осуществляется более эффективно, если используются вертикальные карты магнитной восприимчивости, горизонтальной и вертикальной составляющих вектора магнитного поля, построенные по измерениям в скважинах по одному или нескольким профилям. По этим же данным проводится оценка мощностей и углов падения намагниченных тел. В тех случаях, когда расстояние между профилями велико, на вертикальных картах Z , H и магнитной восприимчивости могут проявиться ложные направления корреляции.

С помощью программы «МАГНИТНАЯ МОДЕЛЬ» на основе данных векторной скважинной магнитометрии и КМВ была построена модель рудного месторождения стратиформного типа, в котором источником аномалий были пласты магнетита мощностью до 10 м, находящиеся на близком расстоянии друг от друга. Проведенная оценка их взаимного влияния позволила проводить расчеты на основе принципа суперпозиции. Поскольку наземная магнитная съемка не проводилась, было проведено вычисление модельного магнитного поля на земной поверхности. Интенсивность ожидаемых аномалий не превысила 100 нТл.

Автор в течение ряда лет работает над задачей создания моделей эксплуатационного блока Гусевгорского месторождения магматогенных титаномагнетитовых железных руд. Программа «МАГНИТНАЯ МОДЕЛЬ» применена для моделирования эксплуатационного блока Гусевгорского месторождения. Магнитная модель – эксплуатационный блок с размерами 100×20×15 м в Северном карьере Качканарского ГОКа – была представлена в виде набора 60 непересекающихся намагниченных эллипсоидов вращения с разными линейными размерами. Для него было вычислено модельное магнитное поле.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бабаянц П.С., Блох Ю.И., Трусов А.А.* Возможности структурно-вещественного картирования по данным магниторазведки и гравиразведки в пакете программ «СИГМА-3D» // Геофизический вестник. – 2004. – № 3. – С. 11–15.
2. *Кобрунов А.И.* Теоретические основы решения обратных задач геофизики. – Ухта: УИИ, 1995. – 226 с.
3. *Блох Ю.И.* Взаимное влияние намагничивающихся эллиптических цилиндров и эллипсоидов вращения // Известия вузов. Геология и разведка. – 1974. – № 4. – С. 120–125.

К РЕАЛИЗАЦИИ ИДЕЙ А.К. МАЛОВИЧКО ПО МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКЕ СТУДЕНТОВ-ГЕОФИЗИКОВ

В.А. Гершанок, д.т.н., проф., Н.И. Дергачёв, к.г.-м.н., доц.
*Пермский государственный национальный
исследовательский университет, г. Пермь*

Аннотация. Рассматривается проблема математической подготовки студентов-геофизиков с учетом идей А.К. Маловичко на примере подготовленного к печати учебника «Теория поля».

Математической подготовке студентов-геофизиков Александр Кириллович Маловичко уделял особое внимание, поскольку интерпретация геофизических полей не может быть основана на формальном применении математических приемов, не согласованных с принципами решения обратных геофизических задач. Выбор математических приемов должен базироваться на конкретных геологических условиях.

В 1956 г. вышла в свет небольшая по объему, но фундаментальная по своему значению монография А.К. Маловичко «Методы аналитического продолжения аномалий ...» [1]. В ней он отмечал, что в области интерпретации аномалий наблюдается неоправданное отставание. Связано оно с тем, что в теории интерпретации аномалий не нашли должного отражения вопросы приложения теории гармонических функций. Используя свойства таких функций, он предлагал искать простые и достаточно точные приемы решения различных задач гравиразведки.

Позднее, развивая тему, А.К. Маловичко отметил [2, с. 4], что математические приемы геологической интерпретации, абстрагированные от геологических условий «...представляют по существу упражнения по математике», решения которых «...являются надуманными и для практики не нужными». Этим Александр Кириллович подчеркивал важность и необходимость использования обоснованных математических приемов в интерпретации, в то же время предостерегал от применения математического аппарата в отрыве от реальных геологических условий.

Для грамотного и обоснованного использования свойств геофизических полей необходимо знать условия применения различных способов. Прежде чем применять те или иные способы обработки, следует быть уверенным в их геологической обоснованности. Применение математики для решения прикладных задач сопровождается их формализацией, которая определяется реальными геологическими условиями. Недоучет геологических условий приводит всего лишь к абстрактным упражнениям по математике.

Успехи современной математической теории стимулируют появление новых методов интерпретации полей. Реализация этих методов осуществляется с помощью использования компьютерных технологий, в которых запрограммированы алгоритмы математических приемов. Анализ условий, для которых данные алгоритмы являются допустимыми и могут быть использованы, может провести только геофизик, владеющий как априорной геологической информацией, так и фундаментальными математическими знаниями.

Одной из математических дисциплин, объединяющей все геофизические методы и связывающей фундаментальные науки – математику, физику – со специальными геофизическими, является теория поля. На теории поля базируется теория интерпретации отдельных геофизических методов, в которых изучаются разные по своей структуре поля – потенциальные, вихревые, волновые, являющиеся объектами изучения в гравиметрическом, магнитометрическом, электрометрическом, сейсмометрическом методах.

Учебная литература по теории геофизических полей появилась еще в 30-х годах прошлого столетия. В ней «китами» отечественной теоретической геофизики излагалась теория отдельных геофизических полей. В частности, до настоящих дней являются актуальными фундаментальные монографии Н.И. Идельсона по теории потенциала, В.Р. Бурсиана по систематическому изложению теории электромагнитных полей. Позднее появляются фундаментальные работы Г.А. Гамбурцева, Ю.В. Ризниченко, Г.И. Петрашени, Н.Н. Пузырева, Л.А. Рябинкина, в которых изложены теоретические вопросы интерпретации волновых полей.

Для изложения полного курса теории поля для студентов был необходим учебник, рассматривающий все геофизические поля. Такой учебник появился в 1966 г., его автором был известный геофизик Л.М. Альпин. Однако этот прекрасный теоретический учебник предназначался студентам с достаточно высокой математической подготовкой, но был труден для понимания геофизиками, занимающимися интерпретацией полей. Затем учебник был переиздан, вышли в свет также учебники И.К. Овчинникова, Ю.И. Кудрявцева и других авторов, в которых изложение материала было более приближено к практике. Учебники оказались своевременными и использовались во всех вузах, готовящих специалистов-геофизиков.

Однако со временем они перестали удовлетворять лицензионным требованиям при аттестации специальности в вузах по «возрастному» цензу и по формальным признакам не могли оставаться в основном списке рекомендуемой литературы для студентов. В 2006 г. на Всероссийском заседании заведующих геофизических кафедр в г. Геленджике нам было поручено написать новый учебник по теории поля, удовлетворяющий требованиям действующего в то время Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по специальности «Геофизика».

К этому времени нами уже были опубликованы в 1973, 1994 и 2003 гг. три издания учебного пособия «Теория поля» [3], составленного на основании многолетнего опыта чтения этой дисциплины студентам-геофизикам ПГУ. В 1998 г. в издательстве «Наукова думка» вышло в свет учебное пособие известных украинских геофизиков Е.Г. Булаха и В.Н. Шумана «Основы векторного анализа и теория поля» [4]. Структура пособия была созвучна структуре наших пособий, что свидетельствует об одинаковом с нами понимании назначения учебной литературы по курсу «Теория поля».

К настоящему времени работа над учебником завершена. На него получен гриф Учебно-методического объединения по классическому университетскому образованию о допуске его в качестве учебника для студентов, обучающихся по специальности 020302 – «Геофизика» и по направлению подготовки 020700 – «Геология» (профиль «Геофизика»). В ноябре 2011 г. он вышел в свет в московском издательстве «Юрайт».

Первый из указанных стандартов является стандартом второго поколения и предназначен для подготовки специалистов-геофизиков. Второй стандарт – стандарт третьего поколения – введен в действие с 2011/2012 учебного года и предназначен для подготовки бакалавров и магистров геологии по профилю «Геофизика».

Согласно дидактическим единицам, предусмотренным стандартом второго поколения для рассмотрения в курсе «Теория поля», учебник состоит из пяти частей, названия которых в точности соответствуют формулировке дидактических единиц [5].

Часть 1. Основы векторного исчисления.

Часть 2. Поле и его потенциалы.

Часть 3. Основы электродинамики.

Часть 4. Упругие колебания.

Часть 5. Спектральные представления в теории поля.

Первая из частей является вводной. В ней подробно рассматриваются действия над векторами и описываются основные характеристики для изучения скалярных и векторных полей: градиент скалярного поля, поток вектора, дивергенция, циркуляция, ротор, формулы преобразования интеграла по замкнутому контуру в интеграл по поверхности, интеграла по замкнутой поверхности в интеграл по объему, даются

определения потенциальных и соленоидальных полей. Указанные характеристики рассмотрены как в прямоугольных, так и в цилиндрических и сферических координатах.

Являясь вводным, тем не менее материал этого раздела чрезвычайно важен с точки зрения заложения основ математического аппарата для изучения теории поля. Современная практика преподавания показывает, что в связи с совершенно неудовлетворительной математической подготовкой, которую дает средняя школа, вводному разделу необходимо уделять самое серьезное внимание.

Вторая часть учебника посвящена потенциальным геофизическим полям. Изложение начинается с рассмотрения внутренних краевых задач теории потенциала. Этот раздел важен с точки зрения изучения условий для обоснованного применения математического аппарата, разработанного для гармонических функций. Рассмотрены формулы преобразования объемных интегралов в интегралы по поверхности (формулы Грина), гармонические функции и их свойства. Приведенная информация по гравитационному, а также магнито- и электростатическому полям является основополагающей для разработки способов регуляризации и сглаживания аномалий, выделения эффектов локальных источников, а также новых приемов интерпретации.

В третьей части рассмотрены основы электродинамики, что представляет собой теоретические основы электроразведки постоянным и переменным током. Поскольку среди физиков не сложилось четкой позиции по целесообразности повсеместного использования Международной системы единиц СИ и на практике широко применяются также единицы гауссовой системы СГС, в учебнике приведена сводка по соотношению соответствующих единиц.

Теоретическим основам сейсморазведки посвящена четвертая часть учебника. Рассмотрены понятия о нормальных и касательных напряжениях, перемещении и деформации тел и затем на основании изложенного материала рассмотрено прохождение упругих волн в различных средах.

Наконец, в пятой части рассмотрены спектральные представления в теории поля. Раздел включает вопросы преобразования непрерывных и дискретно заданных функций, корреляционный анализ результатов наблюдений.

Учитывая современную тенденцию высшего образования к сокращению часов аудиторной работы и увеличению часов самостоятельной работы студентов, все теоретические вопросы освещены с достаточной подробностью и с привлечением вспомогательного материала. Выводы формул даны с требуемой полнотой. Даны пояснения по использованию полученных выражений в конкретных геофизических методах.

Знание фундаментальных основ теории поля позволяет специалисту критически подходить к применяемым методам интерпретации, определять пределы применимости различных приемов в реальных геологических условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Маловичко А.К.* Методы аналитического продолжения аномалий силы тяжести и их приложения к задачам гравиразведки. – М.: Гостоптехиздат, 1956. – 160 с.
2. *Маловичко А.К.* К вопросу о современном состоянии теории интерпретации гравитационных и магнитных аномалий // Геофизические методы поисков и разведки месторождений нефти и газа. – Пермь: Перм. гос. ун-т, 1985. – С. 3–11.
3. *Дергачев Н.И., Гершанок В.А.* Теория поля. Учебное пособие. – Пермь: Пермский гос. ун-т, 2003. – 195 с.
4. *Булах Е.Г., Шуман В.Н.* Основы векторного анализа и теория поля. – Киев: Наукова думка, 1998. – 360 с.
5. *Матвеев Б.К., Гершанок В.А.* О содержании и структуре вузовского учебника по «Теории поля» для геофизика // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей. Материалы 35 сессии Международного семинара им. Д.Г. Успенского. – Ухта, 2008. – С. 201–204.

ИЗОБРЕТЕНИЕ А.К. МАЛОВИЧКО «СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ ПРИРАЩЕНИЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ» В РАЗРАБОТКАХ СОВРЕМЕННЫХ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ МАГНИТОМЕТРОВ

**Л.А. Гершанок, к.г.-м.н., проф.
Пермский государственный национальный
исследовательский университет, г. Пермь**

Аннотация. Рассматривается значение и роль изобретения А.К. Маловичко и Л.А. Гершанок о методике наблюдений двумя магнитометрами с целью автоматического исключения вариационных и технических помех в разработках современных приборов.

Аппаратурные разработки, основанные на совершенствовании магнитоизмерительной аппаратуры, действующей на основе микропроцессорных систем, снабженных мощными запоминающими устройствами и обеспечивающих связь с обрабатывающими комплексами, подняли сегодня магниторазведку на новую ступень развития. Магниторазведка востребована как для выполнения стандартных задач, связанных с поисками месторождений полезных ископаемых, так и для решения многочисленных специализированных задач инженерной геологии и нефтяной геофизики [1–5]. Такие задачи требуют выявления аномалий амплитудой в несколько единиц нанотесл ($nTл$) с применением приборов новых модификаций: высокочувствительных квантовых и протонных магнитометров, обеспечивающих повышение точности магнитных съемок до десятых долей $nTл$.

Получаемые магнитные аномальные представления с указанной точностью не всегда отображают истинную геологическую действительность, так как измеряемое поле отягощается многочисленными помехами, вызванными действием окружающих магнитных технических объектов и аппаратурными погрешностями. В такой ситуации необходимо учитывать, что появление разрешающей аппаратуры является необходимым, но отнюдь недостаточным условием, чтобы решать «ювелирные» геологические задачи. Для обеспечения геологической уверенности необходимо привлекать новые методические приемы постановки полевых измерений, обеспечивающих тщательный подход к учету вариаций геомагнитного поля, горизонтального градиента магнитного поля, влияния приповерхностных магнитных однородностей и аппаратурных расхождений. Эти проблемные задачи можно ослабить за счет совершенствования последовательности методики полевых наблюдений, которая сможет исключить влияние переменных помех, амплитуда которых часто превышает величину полезного сигнала и требуемую погрешность съемки.

Конечно, некоторые методические аспекты уже решены за счет разработки новых, активно внедряющихся в производство измерительных магнитных систем, к которым относятся многокомпонентные магнитометры, обеспечивающие многофункциональность действия, одновременно измеряющие модуль и градиент магнитного поля. Из таких разработок заслуживают внимания градиентометрические конструкции, которыми в процессе съемки можно ликвидировать проблему полного и качественного учета вариационных наводок на полезный геологический сигнал. Такие конструкции позволяют вести исследования в условиях интенсивных помех как естественного, так и искусственного происхождения.

Разработку новых технических средств градиентной модификации для проведения магниторазведочных работ в России проводит ФГУ НПП «Геологоразведка» (г. Санкт-Петербург). Предприятие выпустило протонный пешеходный двухканальный магнитометр ММПГ-1 для одновременной регистрации модуля индукции в двух точках. Наличие двух каналов открывает возможность определения приращения или градиента магнитного поля между двумя пунктами наблюдений независимо от протекания геомагнитных вариаций.

Аналогичные оверхаузеровские магнитометры и датчики POS-1 изготавливает лаборатория квантовой магнитометрии УГТУ-УПИ (г. Екатеринбург). Полевая модификация магнитометра называется ММПОС-1, а модель градиентометра – ММПОС-2.

За рубежом разработкой магниторазведочной аппаратуры занимаются фирмы GEM Systems (Канада), Geometrics (США), Scintrex Ltd. (Канада) и др. В России из зарубежных разработок наиболее востребован квантовый магнитометр-градиентометр SM-5 NAVMAG, рабочим веществом которого является изотоп цезия 133 [3]. Пример измерения горизонтального и вертикального градиентов в полевых условиях канадским магнитометром-градиентометром SM-5 приведен на рис. 1.

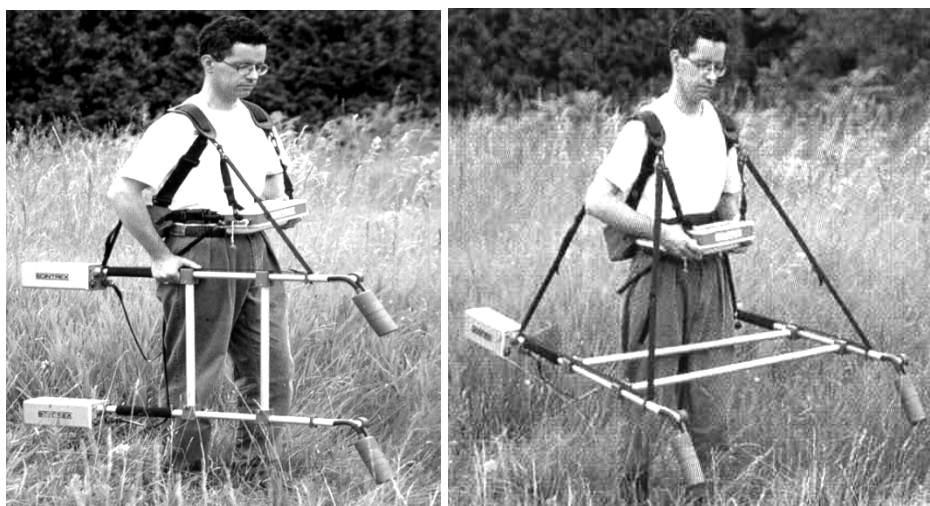


Рис. 1. Измерение горизонтального и вертикального градиентов магнитного поля [3]

В простейшей конфигурации (рис. 1) магнитометры-градиентометры состоят из двух магнитометров, расположенных на фиксированном расстоянии друг от друга, позволяющие измерять каждым прибором значения магнитной индукции и по ним вычислять градиенты в различных направлениях. В последнее время уже появились разработки градиентных систем расширенной конфигурации – из трех или более магнитометров. В аэромагнитных исследованиях магнитометры, как правило, размещаются в узлах сетки линейной, треугольной, кубической или тетраэдрической конфигураций, обеспечивая одновременное измерение нескольких компонент градиента магнитного поля. Современные магнитные конструкции включают, кроме основных функций, множество дополнительных, облегчающих и дополняющих магнитную съемку. Но, к сожалению, новые аппаратные совершенствования не только ведут к увеличению точности и качества конечного результата, но могут осложнять технологические связи между отдельными узлами систем.

Описанный способ магнитной съемки двумя магнитометрами называется градиентным. Сущность методики заключается в проведении наблюдений в такой последовательности, чтобы между каждыми соседними пунктами наблюдений можно получить приращение полного вектора магнитной индукции T . Преимуществом методики является независимость результатов измерений от геомагнитных вариаций и значений нормального поля. Такие аппаратные определения градиентов рекомендованы при решении конкретных поисковых задач в четко определенных условиях, при высоком

уровне вариаций в районе работ и на участках с интенсивными промышленными помехами. Но известный способ применим только на ограниченных площадках.

Нами исследовано, что качество полевых измерений с автоматическим исключением геомагнитных вариаций указанными магнитными устройствами обеспечивается, если гарантировано условие, что технические параметры используемых отдельных модулей связки системы абсолютно идентичны по техническим параметрам. Если между спаренными магнитометрами появляется аппаратурная невязка или в процессе включения приборов отмечается сдвиг по времени, то это при дальнейшей обработке полевых наблюдений при интегрировании градиентов (приращений) приведет к искажению результатов съемки. При постоянном систематическом расхождении разностей наблюдений, вызванных аппаратурными помехами, в представленных аномалиях будет явно виден нарастающий региональный фон, от которого трудно избавиться любыми приемами фильтрации. Съемка с такими приборами может привести к образованию искусственных магнитных аномалий с амплитудами в десятки *нТл*.

Проблемой разработки и учета расхождения показаний двух магнитометров, связанных в одну градиентную систему, занимался А.К. Маловичко в конце 70-х годов прошлого века. 14 февраля 1980 г. Государственный комитет СССР по делам изобретений и открытий выдал авторское свидетельство на изобретение: «Способ измерения приращений магнитного поля» авторам А.К. Маловичко и Л.А. Гершанок [6]. Изобретение относится к способам магнитных измерений высокой точности, проводимых на земной поверхности с целью поисков и разведки полезных ископаемых, геологического картирования, исследований на нефть и газ, а также инженерно-геологических изысканиях.

Предложенная нами методика работы с двумя магнитометрами отличается от градиентной съемки последовательностью работы на профиле двух операторов. В начале профиля два магнитометра устанавливаются на двух соседних пунктах и одновременно в один и тот же момент времени по приборам берутся отсчеты. Далее, прибор, стоящий в начальном пункте профиля, переносится вперед на два шага съемки, второй же остается на том же (прежнем) месте. Вновь одновременно берутся отсчеты, затем второй (задний) прибор снова опережает первый на два шага и т.д. Операторы по профилю съемки идут с удвоенным шагом и удвоенными по времени стоянками. Знаки приращения между показаниями двух соседних магнитометров чередуются. Предложенная А.К. Маловичко и Л.А. Гершанок методика наблюдений учитывает условия, что чередующаяся смена направления хода двух приборов учитывает не только автоматическое исключение вариации геомагнитного поля, но и аппаратурные невязки между двумя приборами. Методику измерения можно назвать «Способ измерения знакопеременных приращений магнитного поля».

Нами по этой методике выполнены многочисленные исследования магнитного поля над нефтяными структурами Пермского Прикамья. Работали двумя магнитометрами с датчиками Оверхаузера, перед полевыми работами обязательно выполнялась проверка их идентичности и синхронности выходного сигнала, а далее компоновалась рабочая пара. При производстве съемки спаренными магнитометрами соблюдалась ориентация датчиков относительно направления вектора магнитной индукции, выдерживалась постоянная высота расположения датчиков и строго соблюдалась одновременность взятия отсчетов.

Сегодня на кафедре геофизики Пермского государственного университета имеются два отдельных магнитометра GSM-19 фирмы GEM Systems (Канада) и двухканальный магнитометр-градиентометр SM-5 NAVMAG.

Наш опыт работы с современными магнитометрами показал, что у протонных магнитометров, работающих по принципу Оверхаузера, обнаружены систематические ошибки за счет влияния блока СВЧ, а у квантовых датчиков может возникать ориентационная и азимутальная погрешности, а также может появляться температурный

дрейф и смещение нуля-пункта. Нами обнаружены неполадки синхронного включения двух квантовых датчиков при работе с канадским магнитометром-градиентометром SM-5 Navmag, приобретенным кафедрой геофизики Пермского государственного университета (ПГУ). При включении датчиков этого магнитометра обнаружено, что сначала срабатывает сигнал включения одного прибора, и только через некоторый промежуток времени в работу вступает схема другого прибора. В дальнейшей эксплуатации время задержки включения второго датчика увеличилось. Это говорит о том, что технологические погрешности присущи не только российской аппаратуре, но и зарубежной. Реализация ожидаемой высокой чувствительности датчиков спаренных магнитометров возможна только после проверки синхронности их параметров, при наличии расхождений в показаниях необходимо применение специальных методик наблюдений.

Кафедрой геофизики ПГУ совместно с Горным институтом УрО РАН в условиях Прикамья выполнены опытные магнитометрические работы градиентометром SM-5 Navmag по методике А.К. Маловичко. Для удобства градиентных измерений в условиях залесенной местности операторами сделан компактный перемонтаж расположения датчиков и сенсорных устройств. Разработанные варианты установок демонстрируются на рис. 2.



Рис. 2. Монтаж измерительных датчиков магнитометра SM-5 Navmag

Изобретение, предложенное более 30 лет назад А.К. Маловичко и соавторами, актуально, востребовано и находит широкое применение и в настоящее время. Оно позволяет качественнее реализовать богатейшие возможности современной высокоточной магниторазведочной аппаратуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гершанок Л.А.* Магниторазведка. Учебник. – Пермь: Пермский ун-т, 2009. – 421 с.
2. *Гершанок Л.А.* Развитие магнитного метода разведки на кафедре геофизики Пермского государственного университета. – Пермь: Пермский ун-т, 2004. – 20 с.
3. *Руководство по эксплуатации квантового магнитометра SM-5 NAVMAG.* – Canada, 2008.
4. *Смекалова Т., Восс О., Мельников А.* Магнитная разведка в археологии. 12 лет применения Оверхаузеровского градиентометра GSM-19WG. – СПб.: Изд-во Политехнического ун-та. Цифровой типографский центр, 2007. – 72 с.
5. *Breiner S.* Applications manual for portable magnetometers. GeoMetrics 395 Java Drive Sunnyvale. – California 94086 U.S.A. – 58 p.
6. *Маловичко А.К., Гершанок Л.А., Макаров В.А.* Способ измерения приращений магнитного поля. А. с. № 883811 // Гос. комитет по делам изобретений и открытий. – 1981.

ПРИРОДНАЯ И ТЕХНОГЕННАЯ СЕЙСМИЧНОСТЬ УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА В 2010 ГОДУ

И.В. Голубева, Ф.Г. Верхоланцев, М.А. Белевская
Геофизическая служба РАН, г. Пермь

Аннотация. В работе дан обзор современного состояния изучения сейсмичности Уральского региона. Приведены результаты наблюдений и анализа сейсмической активности в 2010 году.

Введение

Начиная с 1999 г. на территории Уральского региона действует сеть сейсмических станций, которая фиксирует широкий спектр сейсмических событий [1].

В 2010 г. сейсмической сетью Уральского региона было зарегистрировано свыше тысячи сейсмических событий, которые представлены как региональными землетрясениями и микроземлетрясениями (рис. 1), так и массовыми и технологическими взрывами. Все они были зафиксированы несколькими станциями, поэтому для каждого удалось установить местоположение и магнитуду.

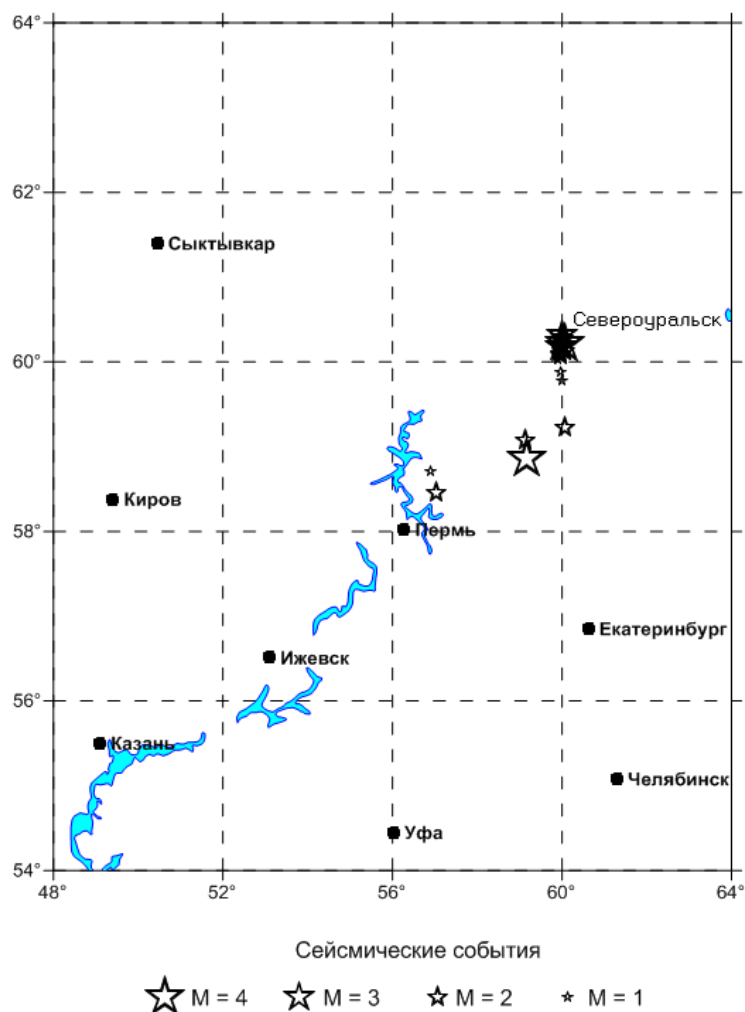


Рис. 1. Эпицентры землетрясений на территории Пермского края и Свердловской области в 2010 году

Природная составляющая сейсмичности региона

Землетрясения на территории Пермского края

Основной интерес с позиции анализа тектонической активности недр представляют землетрясения, произошедшие в пределах Пермского края. Тут можно отметить два события в Добрянском районе:

– первое было зафиксировано 13 августа четырьмя сейсмостанциями («В. Городки», «Добрянка», «Власы» и «Кунгур»). Его очаг располагался в районе пос. Голубята и имел магнитуду 2.1. Надежную оценку глубины очага (22 км) удалось обеспечить благодаря близкому расположению сейсмостанции «Добрянка» (22 км от эпицентра);

– второе землетрясение произошло 11 сентября в районе с. Перемское. Его очаг был слабее (магнитуда 1.5), поэтому, несмотря на близость четырех сейсмостанций, нечеткие вступления на их записях не позволили точно установить глубину. Ее величина принята равной 10 км, что соответствует среднему значению глубин для данного района.

Близость сейсмостанции «Кунгур» к участкам с развитием сульфатного карста в г. Кунгуре позволила зафиксировать два сравнительно слабых (магнитуда –0.8 и –0.1) события обвального типа. Оба произошли в пределах Кунгурской ледяной пещеры и были вызваны вывалами пород массой около 15 т каждый в гротах «Дружбы народов» и «Великан».

Землетрясения на прилегающих территориях

Самым сильным сейсмическим событием на контролируемой территории региона стало землетрясение в районе г. Качканар.

30 марта 2010 г. в 03:02 местного времени (29 марта в 21:02 по Гринвичу) в 25 км к северо-западу от г. Качканар на границе между Свердловской областью и Пермским краем произошло землетрясение с магнитудой $M_L=4.4$. Событие с интенсивностью в эпицентре до 5 баллов ощущалось в нескольких ближайших населенных пунктах в радиусе 40–50 км. Произошедшее землетрясение является первым и, пожалуй, единственным сильным событием на Урале, для которого определены все основные параметры очага, включая его механизм. Через 10 дней после землетрясения в данном районе имело место еще одно слабое сейсмическое событие с магнитудой $M_L=2$, которое в силу своей пространственно-временной близости к Качканарскому землетрясению было признано его единственным афтершоком [2, 3].

Так как основные тектонические структуры Урала территориально расположены в Свердловской области, здесь стоит отметить еще два события предположительно тектонической природы:

– землетрясение в районе пос. Лобва, произошедшее 14 июля 2010 г. в 20:56:32 UTC, и имевшее магнитуду 2.4;

– землетрясение 29 ноября 2010 г. в 02:39:30 UTC с магнитудой 1.9 и эпицентром недалеко от г. Волчанск.

Эпицентры всех сейсмических событий представлены на рис. 1.

Техногенная составляющая сейсмичности региона

Сейсмические события вследствие ведения горных работ

Всего за 2010 г. региональной сетью сейсмостанций зафиксировано 20 событий в районе г. Североуральска (Свердловская область) с магнитудами от 1.5 до 4.4.

Как видно из гистограммы (рис. 2), наибольшее количество событий имеют магнитуды в диапазоне 2.1–2.5. Все эти события обусловлены ведением горных работ на Североуральских бокситовых месторождениях.

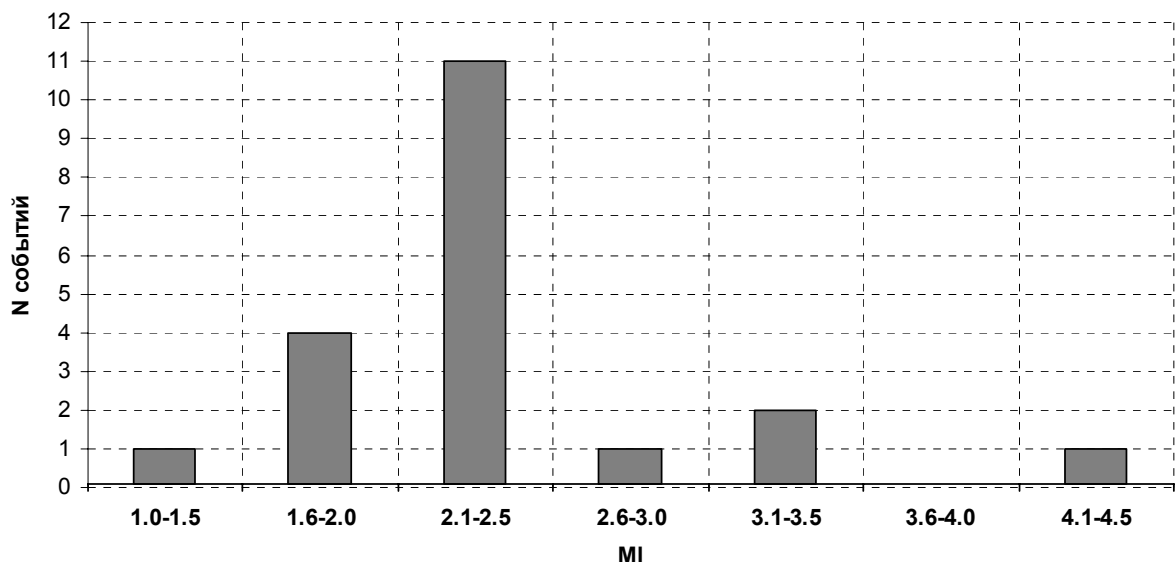


Рис. 2. Гистограмма распределения событий техногенной природы по магнитудам

Технологические и массовые взрывы, производимые на территории региона

Помимо землетрясений, сейсмологическая сеть Уральского региона фиксирует множество различных взрывов. Всего за отчетный период их зарегистрировано около тысячи, из них подавляющее большинство – промышленные и технологические взрывы на горнодобывающих объектах. Основные организации, осуществляющие взрывные работы в регионе, регулярно предоставляют информацию о параметрах проводимых ими взрывов, что существенно облегчает обработку сейсмических данных и предотвращает «засоренность» каталогов.

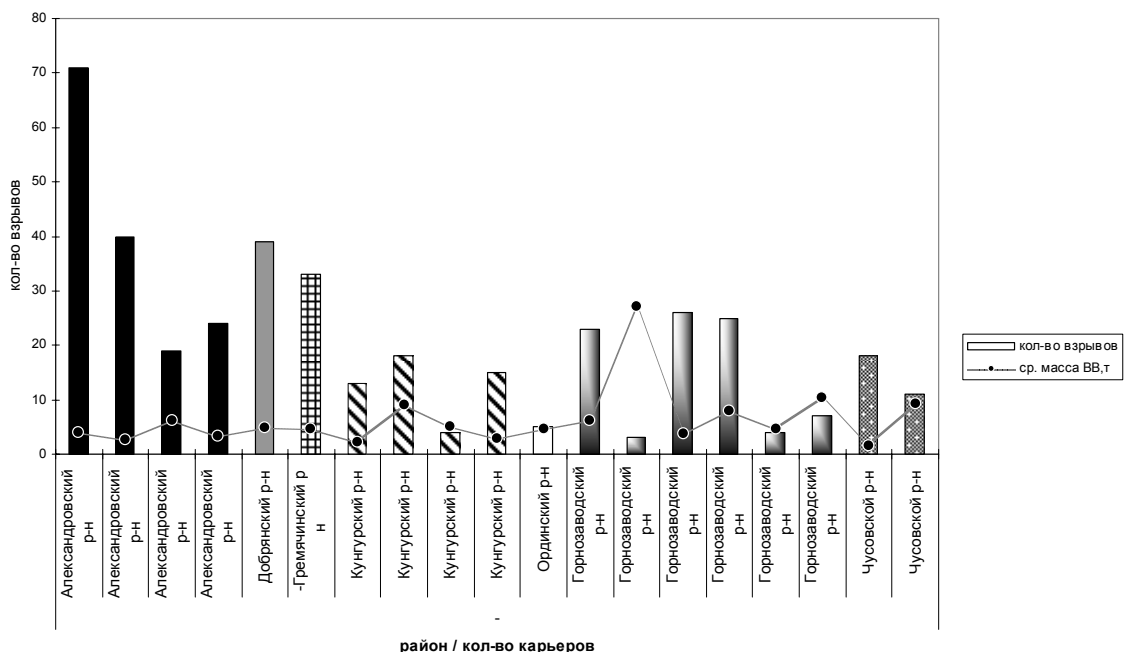


Рис. 3. Распределение проводимых взрывов по районам Пермского края и их средняя масса ВВ в т

Как видно из рис. 3, на территории региона количество взрывчатого вещества (ВВ) на различных карьерах изменяется от 5 до 12 т, наибольшее количество взрывов производится на территории Александровского района со средней массой взрывчатого вещества 3–10 т, в то время как в Горнозаводском районе (Т. Гора) добыча ведется не так интенсивно, но масса ВВ значительно выше и в среднем составляет около 25–30 т.

За годы работы сети сейсмических станций накоплен большой объем фактического материала, получены записи различных карьерных взрывов на различных расстояниях от места проведения взрывных работ и в различных геологических условиях. Создан альбом характерных записей различных карьерных взрывов, который позволяет видеть основные особенности волновых форм сейсмических событий.

Техногенные взрывы вследствие аварий

К данной категории сейсмических явлений отнесены события, которые в большей степени можно охарактеризовать как чрезвычайные, а не обусловленные нормальными производственными или иными процессами. Как правило, это различные аварии и самопроизвольные взрывы, сопровождающиеся излучением сейсмических волн, которые и регистрируются ближайшими сейсмостанциями.

11 августа 2010 г. 19:31:57 UTC на предприятии ФКП «Пермский пороховой завод» произошел сильный взрыв с последующим возгоранием. Событие было зафиксировано только одной ближайшей сейсмостанцией – «Власы» – на расстоянии 13 км. Запись имеет хорошо различимые вступления объемных волн Pg и Sg (рис. 4). Через 40 с на вертикальной (Z) составляющей наблюдается отчетливое вступление ударной воздушной волны AcR (рэлеевской волны, генерированной ударно-воздушной волной). Амплитуда волны AcR по интенсивности очень сильно уступает амплитудам объемных волн.

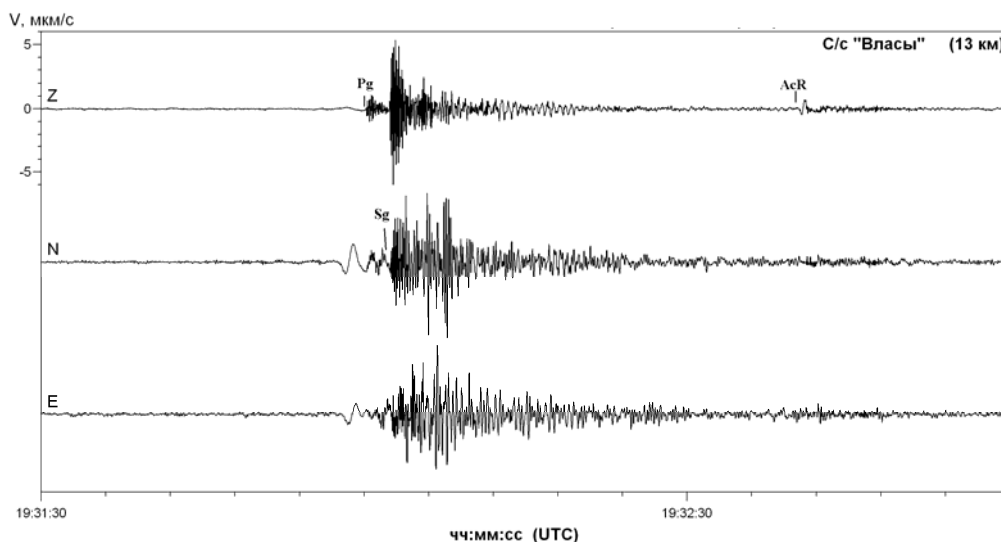


Рис. 4. Сейсмограмма взрыва 11 августа 2010 г. на пороховом заводе

Общий вид записи характерен для близких событий со сложной волновой картиной и максимальными амплитудами в поперечной волне Sg . Локальная магнитуда, рассчитанная по Sg -волне, составила $M_L=1.3$.

Взрывы боеприпасов на полигоне «Бершеть»

С октября 2010 г. по март 2011 г. на военном полигоне в районе пос. Бершеть была проведена серия поверхностных взрывов, связанных с утилизацией боеприпасов. Всего с октября по декабрь 2010 г. было зарегистрировано более 50 взрывов, а с января по март 2011 г. – более 70. Около 50 записей удалось достаточно точно идентифицировать – были выделены объемные (Pg и Sg) волны и рассчитаны магнитуды, которые изменялись в диапазоне $M_L=(0.5-1.4)$. У остальных взрывов оказалось возможным выделить только фазы ударно-воздушных волн [4].

Взрывы произведены в 26 км от ближайшей к военному полигону сейсмостанции «Власы». На рис. 5 представлена запись двух взрывов, произведенных 6 декабря 2010 г. и зарегистрированных с интервалом в 34 с (соответственно, в 09:26:13 и 09:26:47 UTC), и имели примерно одинаковую магнитуду $M_L=1.1$.

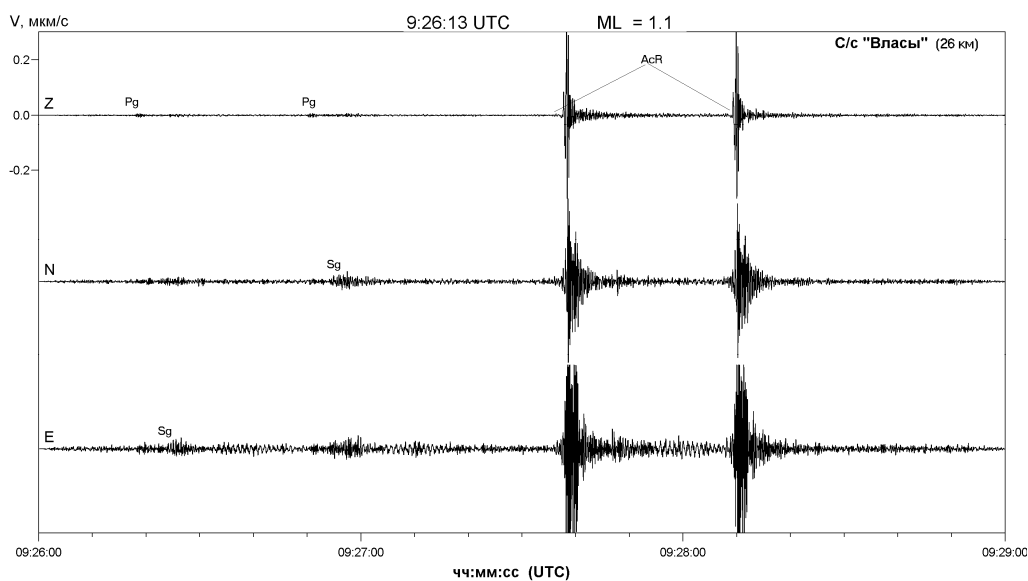


Рис. 5. Сейсмограммы взрывов 6 декабря 2010 г. на военном полигоне «Бершеть»

На сейсмограмме наблюдаются слабые вступления объемных *Pg*- и *Sg*-волн (через 4–5 с после моментов взрыва), за которыми через 1 мин и 16 с регистрируются интенсивные ударно-воздушные волны *AcR*. Именно они неоднократно ощущались многими жителями г. Перми (на расстояниях более 25 км). Имеются свидетельства, что на меньших расстояниях в других населенных пунктах, таких, как пос. Юг (8 км), эти волны, имевшие значительно большую интенсивность, вызвали повреждения зданий и сооружений.

Выводы

В результате проведения мониторинговых наблюдений накоплен большой объем информации по особенностям проявления тектонических и техногенных сейсмических процессов на территории Уральского региона. Сформирована и постоянно пополняется база сейсмологических данных для различных типов источников, что позволяет производить уточнения характера распространения сейсмических волн. Составлен каталог региональных землетрясений за 2010 г., в который вошли 28 событий с магнитудами от –0.8 до 4.4. Очаги землетрясений территориально относятся как к Пермскому краю, так и к Свердловской области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маловичко А.А., Дягилев Р.А., Маловичко Д.А., Шулаков Д.Ю., Бутырин П.Г., Верхоланцев Ф.Г. Четырехуровневая система сейсмического мониторинга на территории Среднего Урала // Геофизика. – 2011. – № 5. – С. 8–17.
2. Верхоланцев Ф.Г., Дягилев Р.А. Качканарское землетрясение 29 марта 2010 г. Макросейсмические проявления // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Пятой Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2010. – С. 46–55.
3. Дягилев Р.А., Голубева И.В. Параметры Качканарского землетрясения 29 марта 2010 г. по инструментальным данным // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Пятой Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2010. – С. 89–93.
4. Верхоланцев Ф.Г., Белевская М.А. Определение параметров взрывов на военном полигоне по записям региональной сети // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Шестой Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2011. – С. 77–81.

ОСОБЕННОСТИ ВЫСОКОТОЧНЫХ ГРАВИМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ В ПЕРИОДЫ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

¹С.В. Горожанцев, к.г.-м.н., ²С.Б. Наумов
¹Геофизическая служба РАН, г. Обнинск,
²Геофизическая служба РАН, г. Владивосток

Аннотация. На основе анализа совместных сейсмических и гравиметрических наблюдений показаны возможности регистрации землетрясений, очаги которых определены в материковой и океанической частях земного шара.

Землетрясение представляет собой внезапное сотрясение поверхности Земли, вызываемое прохождением сейсмических волн, появившихся в результате высвобождения потенциальной энергии и распространяющихся во всех направлениях от очага возникновения. Землетрясения могут носить природный (т.е. происходить в результате геологических процессов) или техногенный характер (вызываться явлениями, связанными с деятельностью человека).

Сейсмические волны являются упругими волнами, которые распространяются в земле от очагов землетрясений, взрывов и других источников с различной скоростью в виде затухающих колебаний. Скорость распространения волн зависит от плотности и упругости среды.

Анализ данных различных геофизических методов позволяет установить особенности глубинного строения Земли (см. А.К. Маловичко [1]) и получить модели зональной дифференциации недр от поверхности до ядра со скоростными характеристиками и возможными лучевыми схемами распространения объемных волн.

Основными регистрационными приборами сейсмических волн являются сейсмометры, которые фиксируют смещение грунта (датчики смещений), скорости колебаний грунта (велосиметры) или ускорения движения грунта (акселерометры). В настоящее время в силу своего удобства в эксплуатации и эффективности при регистрации землетрясений в основном используют велосиметры и акселерометры.

В последнее время кроме основного – сейсмического, для изучения землетрясений все больше привлекаются результаты исследований других геофизических методов, в том числе и гравиметрического [2–5]. Этому способствуют новые аппаратные разработки, а также тот неоспоримый факт, что такое явление, как сильное землетрясение, проявляется практически во всех геофизических полях, и комплексный подход для изучения такого рода событий просто неизбежен.

С целью анализа возможностей регистрации землетрясений высокоточными гравиметрами сотрудниками Геофизической службы РАН были проведены специальные наблюдения на Дальнем Востоке Российской Федерации – одном из наиболее сейсмоактивных регионов. В районе г. Владивостока (на мысе Шульца) выполнялась регистрация широкополосным сейсмометром CMG-3ТВ фирмы «GURALP» и гравиметром CG-5 AutoGрав канадской фирмы «Scintrex». Одновременно на расстоянии около 90 км на сейсмической станции «Владивосток» производилась регистрация землетрясений отечественными сейсмодатчиками CM-30С.

В 2010–2011 гг. – в периоды непрерывной одновременной работы приборов – было зарегистрировано несколько сильных землетрясений.

На рис. 1 приводятся спектрограммы сигналов, зарегистрированных гравиметром на сейсмостанции на мысе Шульца, от серии сильных землетрясений, произошедших у берегов Японии в период с 9 по 11 марта 2011 года.

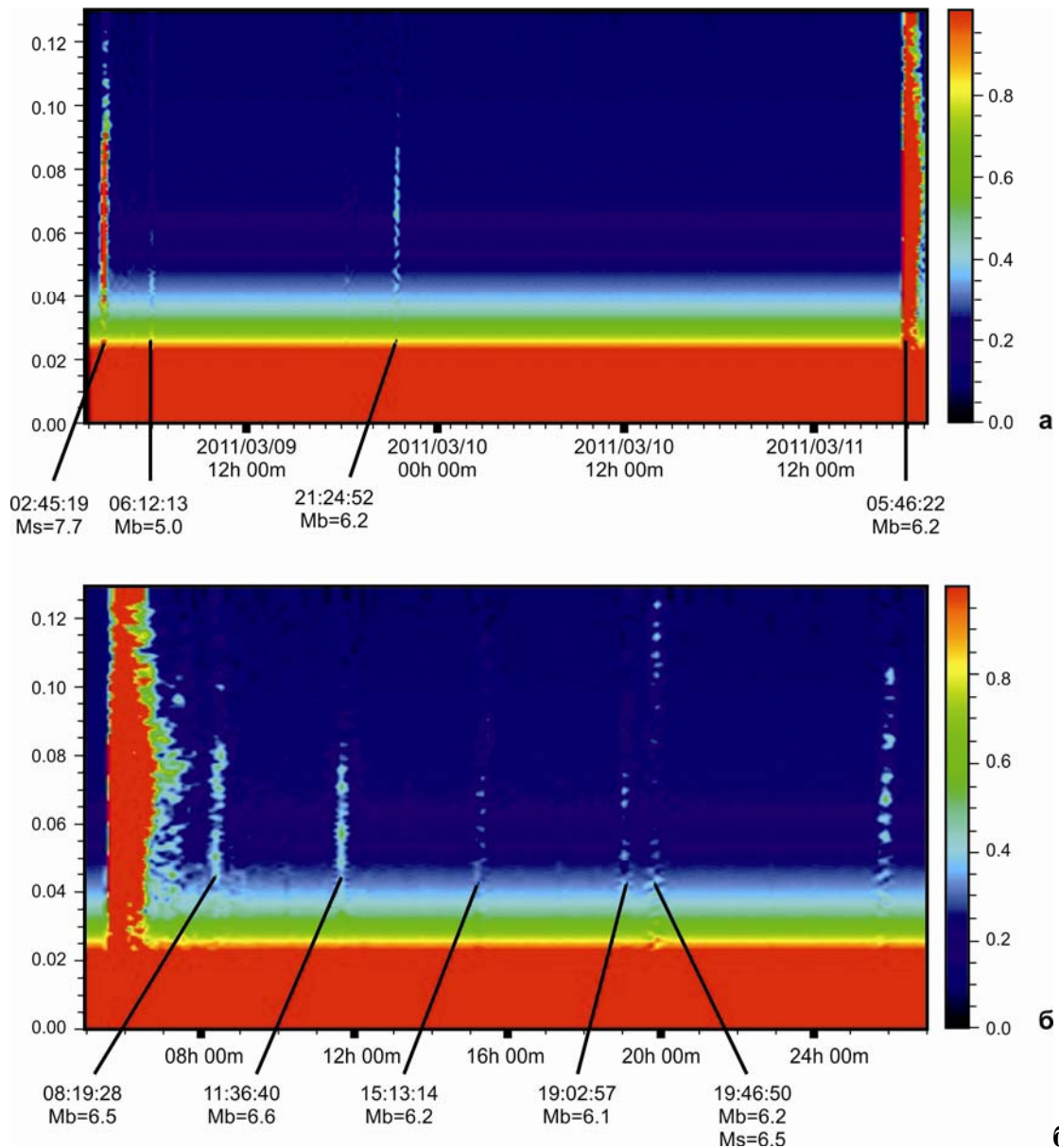


Рис. 1. Спектрограммы сигналов, зарегистрированных гравиметром от землетрясений, произошедших у берегов Японии в период с 9 по 11 марта 2011 года

В указанный период времени произошло десять землетрясений с магнитудами 5.0 и более, в том числе катастрофическое землетрясение Тохоку [6] с магнитудой $M_S=9.0$.

На представленных спектрограммах показано изменение спектральной интенсивности колебаний во времени в низкочастотном диапазоне от 0 до 0.12 Гц. Следует прежде всего отметить наличие интенсивного стационарного сигнала в частотном диапазоне 0.025–0.040 Гц, который обусловлен собственными шумами аппаратуры, и тем самым ограничивает возможности исследования в этой части частотного диапазона.

Анализ спектрограммы катастрофического землетрясения 11 марта 2011 г., расположенной в крайней левой части рис. 1 б, говорит о том, что землетрясение проявляется в виде мощной аномалии длительностью более одного часа во всем представленном диапазоне частот. После чего максимальная интенсивность колебаний отмечается в диапазоне 0.07–0.08 Гц. Спектрограммы записи сильнейшего землетрясения 11 марта для сейсмометра и гравиметра похожи. Некоторые отличия наблюдаются лишь в нижней части частотного диапазона.

В связи с тем, что гравиметр регистрирует величину ускорения, а сейсмометры CMG-3ТВ и CM-3ОС являются велосиметрами, для более корректного сравнения сигналов, регистрируемых этими приборами, были рассчитаны продифференцированные записи сейсмометра CM-3ОС двух землетрясений (рис. 2 и 3). При этом, на продифференцированной записи землетрясения 10 мая 2011 г. (рис. 3) были отфильтрованы частоты выше 0.1 Гц.

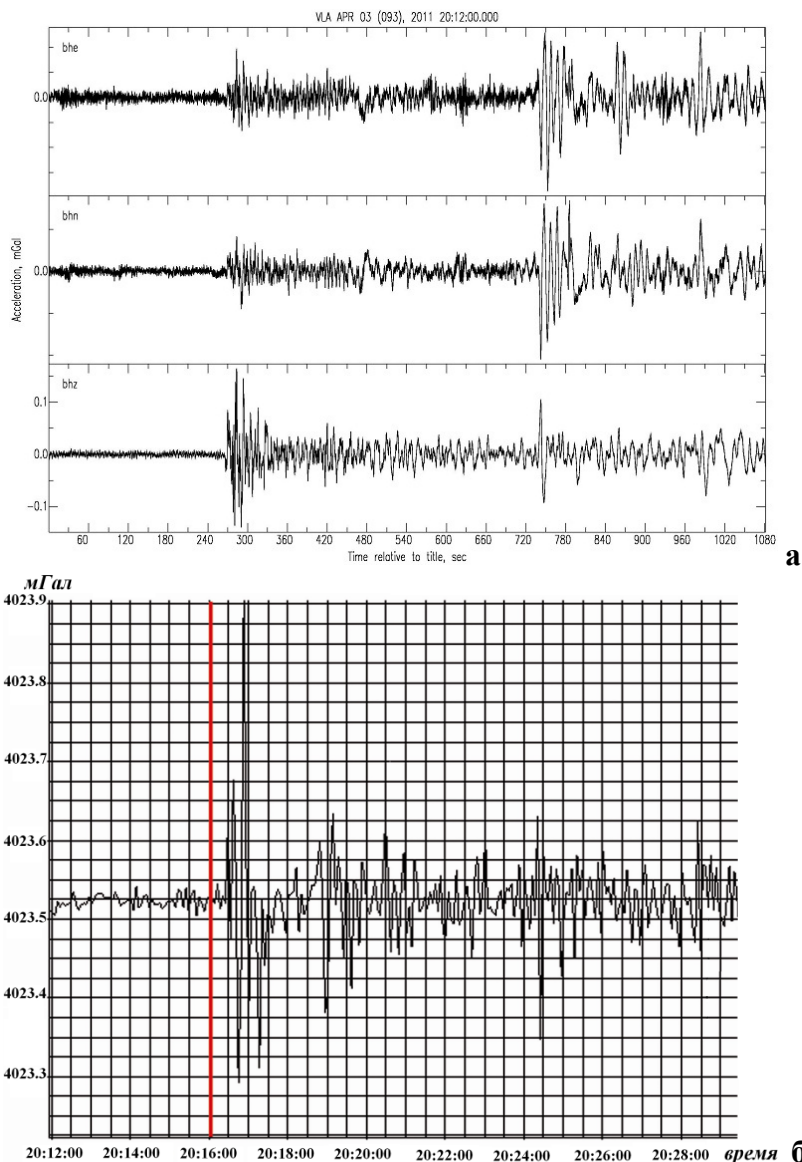


Рис. 2. Землетрясение 3 апреля 2011 г. в 20:06:04, $M_S=6,4$, $h=33$ км, $\Delta=6000$ км (Индонезия)

На рис. 2 представлены фрагменты сейсмической и гравиметрической записей от землетрясения, очаг которого был определен по сейсмическим данным в земной толще, находящейся в подводной части мирового океана – подводное землетрясение. При сопоставлении гравиметрической и сейсмической записей наблюдается, в принципе, подобие регистрируемых сигналов. Неполная сопоставимость объясняется конструктивными особенностями приборов, в первую очередь связанными с тем, что гравиметр регистрирует более длиннопериодную составляющую, чем сейсмометры, и на всех записях гравиметра и сейсмометра сигналы от подводных землетрясений (11.03.2011 г. в 05:46:22, $M_S=9.0$, $h=33$ км, расстояние до Владивостока (Δ) – 1050 км, Япония; 03.04.2011 г. в 20:06:04, $M_S=6.4$, $h=33$ км, $\Delta=6000$ км, Индонезия; 14.08.2010 г.

в 23:01:04, $M_S=6.4$, $h=33$ км, $\Delta=3500$ км, Марианские острова; 11.03.2011 г. в 19:46:50, $M_S=6.5$, $h=33$ км, $\Delta=700$ км, Япония) проявляются четко, как это видно на рис. 2.

На рис. 3 приведены фрагменты сейсмической (а) и гравиметрической (б) записей от землетрясения, очаг которого был определен по сейсмическим данным в земной толще, находящейся в материковой части – материковое землетрясение. Сигналы от зарегистрированных материковых землетрясений на сейсмических записях видны четко (10.05.2011 г. в 15:26:03, $h=550$ км, $t_b=5.5$, $\Delta=95$ км, Россия–Китай; 07.01.2011 г. в 23:34:09, $h=560$ км, $t_b=5.1$, $\Delta=120$ км, Россия–Китай; 24.08.2011 г. в 17:46:10, $h=140$ км, $t_b=7.0$, $\Delta=18000$ км, Перу–Бразилия), а на записи гравиметра практически не проявляются.

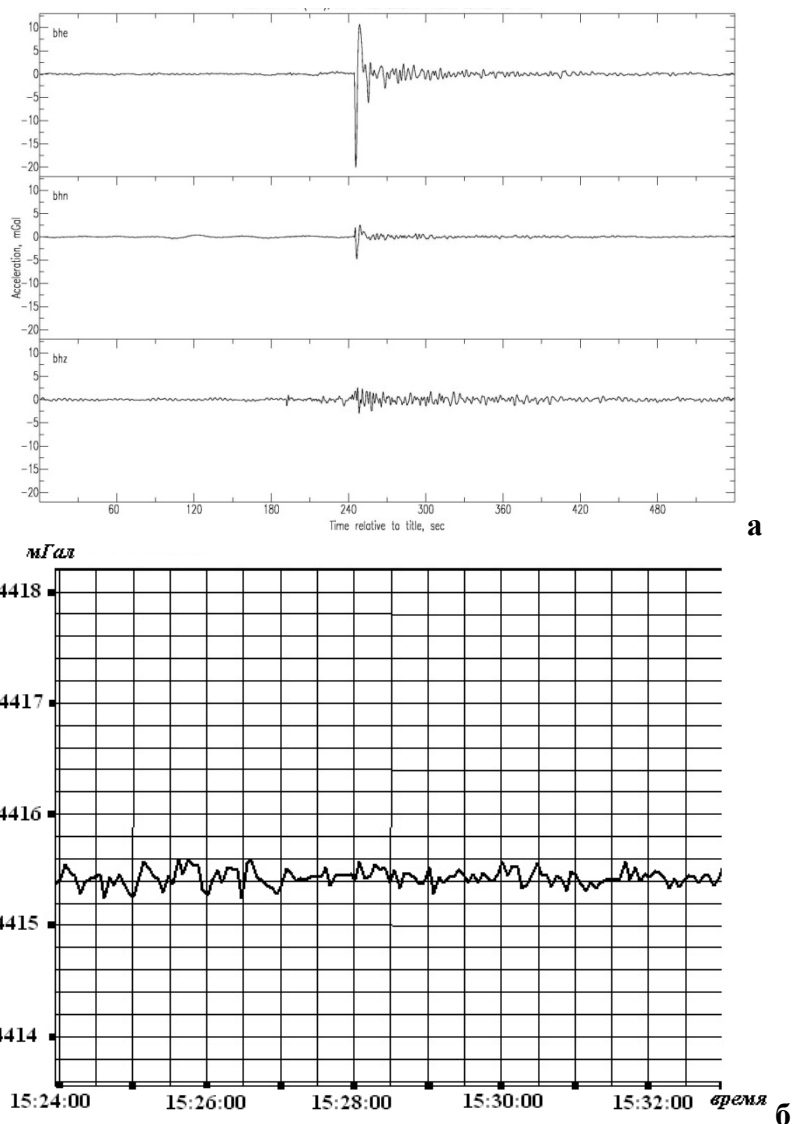


Рис. 3. Землетрясение 10 мая 2011 г. в 15:26:03, $h=550$ км, $t_b=5.5$, $\Delta=95$ км (Россия–Китай)

Объяснение явлению четкого проявления сигнала в кривой силы тяжести регистрируемой гравиметром следует искать в том, что очаг от всех представленных подводных землетрясений находится достаточно неглубоко – на глубине 33 км, а у материковых – на глубине 140–560 км. В последнем случае мощная толща пород, большое расстояние до очагов землетрясений и наличие у гравиметра CG-5 AutoGrav сейсмического фильтра, который может удалять большой микросейсмический шум, обладают достаточным поглощающим эффектом для сейсмических волн от глубоких очагов землетрясений.

Кроме того, возможно предположить существование на глубине около 30 км волновода, способствующего прохождению сейсмических волн достаточной энергии на большие расстояния.

Общая тенденция по величине регистрируемого гравиметром сигнала, связанная с удаленностью очага и мощностью землетрясения, сохраняется, т.е. чем больше магнитуда и ближе очаг, тем больший по амплитуде сигнал регистрируется. Амплитуда сигналов (в миллигалах) составила:

– 750 мГал – для землетрясения 11.03.2011 г. в 05:46:22, $M_S=9$, $h=33$ км, $\Delta=1050$ км, Япония;

– 15 мГал – для землетрясения 11.03.2011 г. в 19:46:50, $M_S=6,5$, $h=33$ км, $\Delta=700$ км, Япония;

– 0.6 мГал – для землетрясения 03.04.2011 г. в 20:06:4, $M_S=6,4$, $h=33$ км, $\Delta=6000$ км, Индонезия.

Для дальнейшей оценки и использования этих факторов в практических целях необходимо собрать и проанализировать уже имеющийся материал по гравиметрическим измерениям, а также проводить целенаправленный непрерывный гравиметрический мониторинг высокоточными приборами с последующей обработкой данных.

Таким образом, в результате проведенных исследований основные выводы сводятся к следующему:

1. Основная энергия регистрируемого гравиметром сигнала приурочена к частотному диапазону от 0.025–0.12 Гц.

2. Установлен факт регистрации по изменению кривой силы тяжести гравиметром CG-5 AutoGrav подводных землетрясений магнитудой $M_S=6.4$ и более на расстояниях до 6000 км и глубинах очагов порядка 30 км.

3. Отмечен факт отсутствия четкого проявления материковых землетрясений с $t_b=5.5$ в кривой силы тяжести даже на расстояниях 95 км от эпицентра при нахождении очага на глубине более 500 км и с $t_b=7.0$ на расстоянии от эпицентра 18000 км при глубине очага порядка 140 км.

4. Регистрация высокоточными гравиметрами подводных землетрясений дает дополнительную информацию для изучения цунамигенной обстановки в прибрежных районах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Маловичко А.К.** Методы изучения глубинных недр Земли. Учебное пособие по спецкурсу. – Пермский ун-т, 1978. – 96 с.
2. **Антонов Ю.В., Слюсарев С.В.** Неприливные вариации вертикального градиента силы тяжести и возможная связь их с землетрясениями // Известия вузов. Геология и разведка. – 1992. – № 5. – С. 105–110.
3. **Михайлов И.Н.** Краткосрочный прогноз катастрофических землетрясений // Геофизика. – 2006. – № 5. – С. 64–69.
4. **Yiqing Zhu, F. Benjamin Zhan, Jiangcun Zhou, Weifeng Liang, Yunma Xu.** Gravity measurements and their variations before the 2008 Wenchuan Earthquake // Bulletin of the Seismological Society of America. – 2010. – V. 100, N. 5B. – P. 2815–2824.
5. **Nind C., Niebauer T., MacQueen J., Van Westrum D., Klopping F., Aliod D., Mann E.** New developments in gravity applications and instruments // ASEG 19th Geophysical Conference. Extended Abstracts. – 2007.
6. **Маловичко А.А., Старовойт О.Е., Габсатарова И.П., Коломиец М.В., Чепкунас Л.С.** Катастрофическое землетрясение Тохоку 11 марта 2011 г. в Японии // Сейсмические приборы. – 2011. – Т. 47, № 1. – С. 5–16.

ИННОВАЦИОННАЯ ПОДГОТОВКА КАДРОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПО ОСВОЕНИЮ НЕФТЕГАЗОВЫХ РЕСУРСОВ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИИ

М.Г. Губайдуллин, д.г.-м.н., проф., Т.П. Худякова
*Северный (Арктический) федеральный университет
им. М.В. Ломоносова, г. Архангельск*

Аннотация. Опережающая подготовка специалистов, обладающих полным комплексом инновационных знаний и практических навыков, способных в кратчайшие сроки внедрить полученные знания в научно-исследовательский и производственный комплекс, представляет собой приоритетную задачу. Она решается путем создания учебной, научно-исследовательской и инженерной структуры на базе специализированного лабораторного оборудования и методов обучения, исследования, моделирования и разработки месторождений различной геологической природы.

Россия обладает огромными углеводородными ресурсами, которые находятся в прибрежной части Арктики и шельфе северных морей. Ресурсы арктического шельфа России оцениваются в 100 млрд *т* нефтяного эквивалента. Однако освоение этих богатств сопряжено с огромными техническими и технологическими трудностями, требующими решения целого ряда новых задач, среди них – разработка новых и эффективных технологий, минимизация отрицательного воздействия на окружающую среду, обеспечение промышленной безопасности, улучшение системы и качества образования и подготовка специалистов для освоения природных ресурсов арктической зоны.

С целью реализации последней из перечисленных задач в России на базе Архангельского государственного технического университета, Поморского государственного университета и ряда других образовательных учреждений в 2010 г. создан Северный (Арктический) федеральный университет (С(А)ФУ) им. М.В. Ломоносова. В настоящее время в структуре С(А)ФУ 16 институтов и 25000 студентов. Он призван проводить научные изыскания и готовить кадры для развития арктических территорий. Сегодня это основной источник высококвалифицированных кадров для многих отраслей, в том числе нефтегазовой.

Институт нефти и газа (ИНиГ) С(А)ФУ создан в 2000 году. В настоящее время в нем обучается более 500 студентов. В состав ИНиГ входят пять выпускающих кафедр: бурения нефтяных и газовых скважин; разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений; транспорта и хранения нефти и газа; машин и оборудования нефтяных и газовых промыслов; открытых горных работ, а также учебно-технический центр и специализированные лаборатории.

В 2011/2012 учебном году обучение будет проводиться по следующим профилям: бурение нефтяных и газовых скважин; эксплуатация и обслуживание объектов добычи нефти; эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов их переработки; эксплуатация и обслуживание объектов нефтегазового комплекса арктического шельфа (направление – «Нефтегазовое дело»), а также машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов (направление – «Технологические машины и оборудование») и по специальности «Открытые горные работы».

В следующем году планируется открытие специальности «Геология нефти и газа». Подготовка специалистов для освоения углеводородных месторождений в Арктике – одно из приоритетных направлений развития С(А)ФУ.

Реализация поставленной задачи предполагает опережающую подготовку специалистов (бакалавров, магистров и кандидатов наук), обладающих полным комплексом инновационных знаний и практических навыков, способных в кратчайшие сроки внедрить полученные знания в научно-исследовательский и производственный комплекс российских нефтегазовых компаний. Она решается путем создания учебной, научно-исследовательской и инженерной структуры на базе специализированного лабораторного оборудования и методов обучения, исследования, моделирования и разработки месторождений различной геологической природы. Это потребует повсеместного использования передовых инновационных технологий разработки месторождений.

В ИНиГ С(А)ФУ в 2010 г. приобретен и установлен уникальный программно-информационный комплекс на базе программного обеспечения Rapid-Spotfire-Rock Catalogue и репликатора гидроразрыва пласта Gohfer компании «Core Laboratories», США. В текущем году заключен контракт с этой компанией на закупку учебно-исследовательского петрофизического комплекса лабораторий, а также лабораторного комплекса экспериментального и математического моделирования гидроразрыва пласта (ГРП) с целью разработки технологий повышения нефтеотдачи.

По прогнозам геологоразведчиков, традиционные запасы газа и нефти истощены на 70%. Поэтому нефтяники все пристальнее присматриваются к тем месторождениям, разработка которых требует инновационных подходов. В первую очередь это залежи углеводородов в низкопроницаемых породах, которые сложно разрабатывать. Сотрудники американской компании «Core Laboratories» разработали технологии добычи газа из таких «трудных» пород и с успехом начали его применять. В России пока добывают в основном запасы углеводородов из традиционных коллекторов, освоение месторождений с трудноизвлекаемыми запасами считается нерентабельным. Но нам представляется, что уже пора и актуально осваивать технологии добычи нефти и газа из низкопроницаемых пород. Для увеличения объема извлечения нефти широко применяется ГРП. Это специальная технология воздействия на пласт, с помощью которой увеличивается количество трещин и пор. Через них нефть поступает в скважину. Американские специалисты доказали, как компьютерное и физическое моделирование в лабораторных условиях позволяет более тщательно проанализировать структуру пласта в 3D-формате. Это позволяет ученым разрабатывать оптимальную технологию воздействия на пласт, а нефтяникам – более эффективно применять саму технологию в производственном процессе. По оценкам экспертов, «трудными» можно назвать значительное количество российских запасов углеводородов, в частности из баженовской свиты в Западной Сибири, доманикового горизонта верхнего девона на Тимано-Печоре. Именно там с успехом можно было бы применять инновационную технологию. Не менее важна эта технология и для освоения морских нефтегазовых месторождений, где затраты при бурении и разработке намного выше, чем на суше. Увеличение процента добычи углеводородов на любом месторождении будет иметь огромное значение.

В начале июня 2011 г. в институте был открыт уникальный центр обучения компьютерному моделированию и управлению разработкой месторождений. Это ситуационный центр, который позволяет всем специалистам, связанным с добычей углеводородного сырья (буровикам, разработчикам, логистам, экономистам и менеджерам), принять совместное решение по разработке конкретного месторождения. Иногда бывает так: по дополнительным геолого-геофизическим данным необходимо уточнить объем и режим бурения, технологию разработки. Соответственно, приходится корректировать планы, что влечет за собой изменение и финансовых показателей. При моделировании ситуаций с одновременным участием студентов, обучающихся на разных специальностях, можно будет на компьютерах в виртуальной среде оценить несколько вариантов решений и прийти к оптимальному. Система моделирования и визуализации, являясь тренажером коллективного пользования, помогает наглядно представить весь многоплановый процесс освоения месторождения углеводородов на экране для анализа экспертами.

Такой способ позволит будущим специалистам еще на этапе обучения адаптироваться к реальным условиям, а уже работающим сотрудникам комплекса – повысить свою квалификацию. Очень высоко оценили лабораторию в Архангельске представители норвежской нефтяной компании Statoil и отметили, что она отвечает самым высоким современным требованиям.

Все это позволит проводить научно-исследовательские работы и образовательную деятельность по следующим направлениям:

1) осуществлять детальное и исчерпывающее экспериментальное исследование керна и пластовых флюидов, проводить полное описание углеводородного коллектора;

2) совершенствовать интерпретацию и интеграцию данных, создание достоверных геологической, петрофизической и гидродинамической моделей, осуществлять адаптивную настройку и калибровку симулятора GONFER для разработки оптимального дизайна ГРП при бурении и стимуляции всего куста скважин месторождения с целью увеличения коэффициента извлечения нефти из пласта;

3) сохранять весь набор данных экспериментальных исследований и моделирования в специально разработанной для этих целей базе данных RAPID с целью последующего извлечения этих данных при выполнении очередного этапа работ на месторождении. Выполнять прогноз перспективности геологического разреза на основе подбора аналогов из Каталога горных пород по результатам исследования шлама;

4) осуществлять образовательную деятельность в соответствии с интересами России в Арктике, обеспечивая конкурентоспособность образовательного процесса на мировом рынке образовательных услуг, в т.ч. подготовку для предприятий инженерных кадров со специальными компетенциями. Они получат полный комплекс теоретических, экспериментальных знаний и практических навыков по изучению и описанию углеводородного коллектора, математического моделирования, масштабирования результатов полученной матрицы знаний на конкретное месторождение с созданием оптимальных технологий его разработки.

В отличие от крупных мировых сервисных компаний, таких, как Schlumberger, Halliburton, BJ Services Co, Weatherford, компания Core Laboratories (CLB) в соответствии с уже достигнутой договоренностью полностью открыта для кооперации с Северным (Арктическим) федеральным университетом и передачи накопленного опыта и знаний (трансфер Ноу-Хау), что будет реализовано в следующих форматах:

1) разработка и реализация в С(А)ФУ уникальной инновационной учебной программы подготовки специалистов мирового уровня в области создания технологий разработки «нетрадиционных» месторождений на основе уникального лабораторного практикума с глубоким усвоением теоретических положений лекционных курсов по специальностям «Геология нефти и газа», «Нефтегазовое дело», «Разработка нефтяных и газовых месторождений»;

2) разработка, проектирование и поставка уникального лабораторного комплекса, на базе которого будет реализовываться учебная программа выполнения лабораторных работ по петрофизике, включая уникальные методические указания и разработки совместно с университетом Texas A&M. Это позволит освоить на международном уровне построение достоверных петрофизической, геологической и гидродинамической моделей и разработать дизайн скважин месторождений любой сложности, включая месторождения с трудноизвлекаемыми запасами (низкопроницаемые нефтяные и газовые коллекторы, сложные карбонатные коллекторы, месторождения угольного метана);

3) углубленное и интенсивное обучение специалистов С(А)ФУ, будущих преподавателей программы, в исследовательских центрах CLB. Запуск и реализация учебной программы проведения лабораторных работ и запуск в эксплуатацию комплекса по экспериментальному моделированию ГРП будет осуществлен американскими специалистами совместно с двумя специалистами С(А)ФУ, прошедшими 9-месячное обучение в США. Кроме того, CLB планирует ежегодное повышение квалификации одного специалиста С(А)ФУ в США за свой счет;

4) учебно-исследовательский петрофизический центр и центр математического и экспериментального моделирования ГРП ИНИГ С(А)ФУ, а также специалисты С(А)ФУ, прошедшие обучение в США, будут сертифицированы и авторизованы Core Laboratories, что повысит их статус и приведет к увеличению числа клиентов как в лице зарубежных нефтегазодобывающих и сервисных компаний, так и российских, учитывая безоговорочный и безупречный авторитет CLB на международном рынке подобных услуг;

5) в Архангельске на базе С(А)ФУ будет создаваться специализированный центр для обслуживания оборудования. Стоимость сервисного обслуживания после завершения гарантийного срока (два года) не будет превышать стоимости оказания услуг подобного рода другими компаниями.

В результате трансфера Ноу-Хау выпускники С(А)ФУ получают полный комплекс знаний, уникальных практических навыков, основанных на выполнении лабораторных работ в специализированном петрофизическом центре для реализации технологий разработки продуктивных пластов нетрадиционного типа. Научно-исследовательский комплекс университета получит возможность проведения уникальных научных и прикладных исследований на коммерческой основе, несомненно, востребованных нефтегазовыми компаниями как в России, так и за ее пределами.

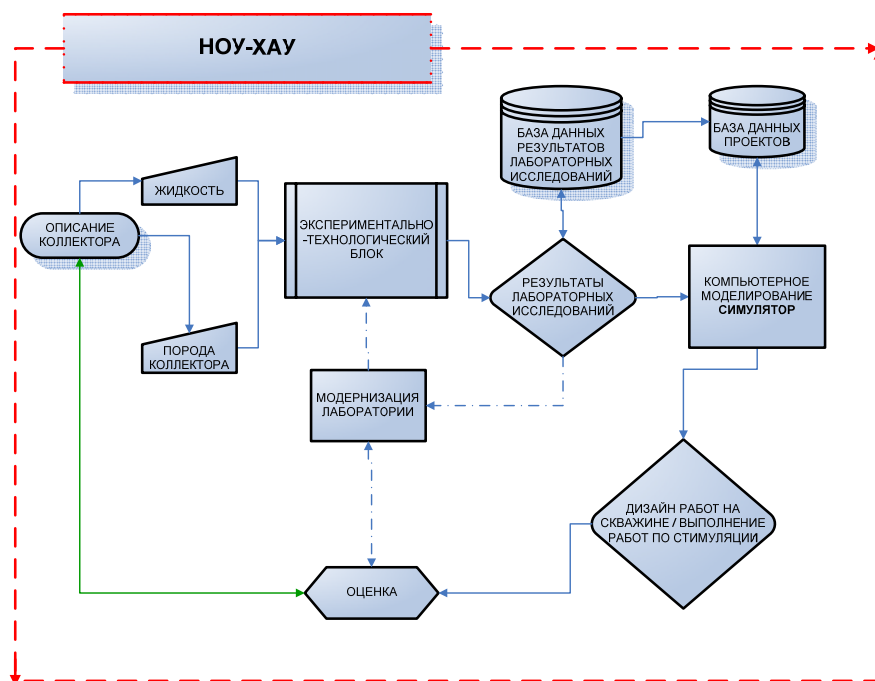


Рис. Технологическая схема лабораторного комплекса

В С(А)ФУ будет организована еще одна лаборатория по анализу состава нефти и качества нефтепродуктов. В стенах Северодвинского филиала университета будут создаваться непилотируемые аппараты для исследования льда, фауны арктических морей и состояния газонефтепроводов.

С 2005 г. активно развивается сотрудничество университета с норвежскими и французскими партнерами по созданию совместных образовательных программ по подготовке специалистов и добыче углеводородного сырья на шельфе арктических морей. Часть лекций в С(А)ФУ читают профессора известных нефтедобывающих компаний – французской Total S.A. и норвежской Statoil.

Все это обеспечит реализацию актуальной задачи университета – готовить профессионалов, столь необходимых для развития нефтегазовой промышленности, проводить научные исследования и решать проблемы арктических территорий.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕЖДУНАРОДНОГО КАТАЛОГА ГОРНЫХ ПОРОД В ЦЕЛЯХ УЛУЧШЕНИЯ ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРИСТИК КОЛЛЕКТОРОВ НЕФТИ И ГАЗА

М.Г. Губайдуллин, д.г.-м.н., проф.,
Н.Г. Костин, Д.В. Глушков
*Северный (Арктический) федеральный университет
им. М.В. Ломоносова, г. Архангельск*

Введение

Отсутствие полного объема данных на этапе разведки месторождений вынуждает закладывать в расчеты предположительные значения параметров пластовых пород. Ограниченность имеющейся информации, невозможность ее получения из других источников о сходных залежах приводит к ошибкам, и как следствие, оказывает влияние на эффективность разработки месторождений нефти и газа.

В конце прошлого столетия десятью компаниями под эгидой «Core Laboratories» (США) был запущен проект о создании международного каталога горных пород. На текущий момент проект насчитывает сорок пять участников, включая такие компании как Exxon, Texaco, Chevron, TOTAL, Schlumberger, Phillips Petroleum, Statoil и др. В 2010 г. к ним присоединился Северный (Арктический) федеральный университет.

Международный каталог пород описывает геологические, петрофизические и инженерные свойства песчаников и карбонатов. Все данные организованы в типовом формате с возможностью быстрого доступа, позволяя оперативно оценить требуемый параметр по достоверным моделям. В настоящий момент в базе данных содержится 150 полностью описанных типов продуктивных пород, полученных при анализе более чем 10000 образцов пород месторождений со всего мира. Объем информации непрерывно расширяется за счет поступления новых данных. Помимо свойств пород, каталог включает результаты геофизических исследований скважин, отчеты полевых испытаний, специальных лабораторных исследований, гидродинамических исследований, совместимости жидкости и породы коллектора, гидроразрывы пластов.

Порядок работы с каталогом

Доступ к базе данных реализован через Интернет-браузер (Internet Explorer, Google Chrome и др.) в комплексе RAPID. Комплекс позволяет записывать, отгружать данные, выводить на печать, осуществлять поиск. Работа с таблицами, фотографиями, данными геофизических исследований скважин (ГИС) улучшена за счет интегрированных связей между блоками информации. Пример: на планшете ГИС каждая точка интерактивна (рис. 1), имеет закрепленный параметр; привязанные фотографии керн содержат выделенные области отбора образцов с возможностью перехода и мгновенного получения данных лабораторных экспериментов, включая геологическое описание; фотографии при необходимости неоднократно увеличиваются; есть возможность выбора только необходимых каротажных кривых из всех полученных на скважине; изменяется масштаб и др. На одном планшете мгновенно выводятся только требуемые каротажные диаграммы и результаты исследования керн, что во многом сокращает время на поиск и анализ параметров.

Загрузка данных осуществляется при помощи специальных загрузочных модулей. Так, к примеру, можно перевести в каталожный формат отчеты со старого фонда скважин для дальнейшего использования в качестве базы сравнения, области перспективного проведения работ по доизвлечению нефти.

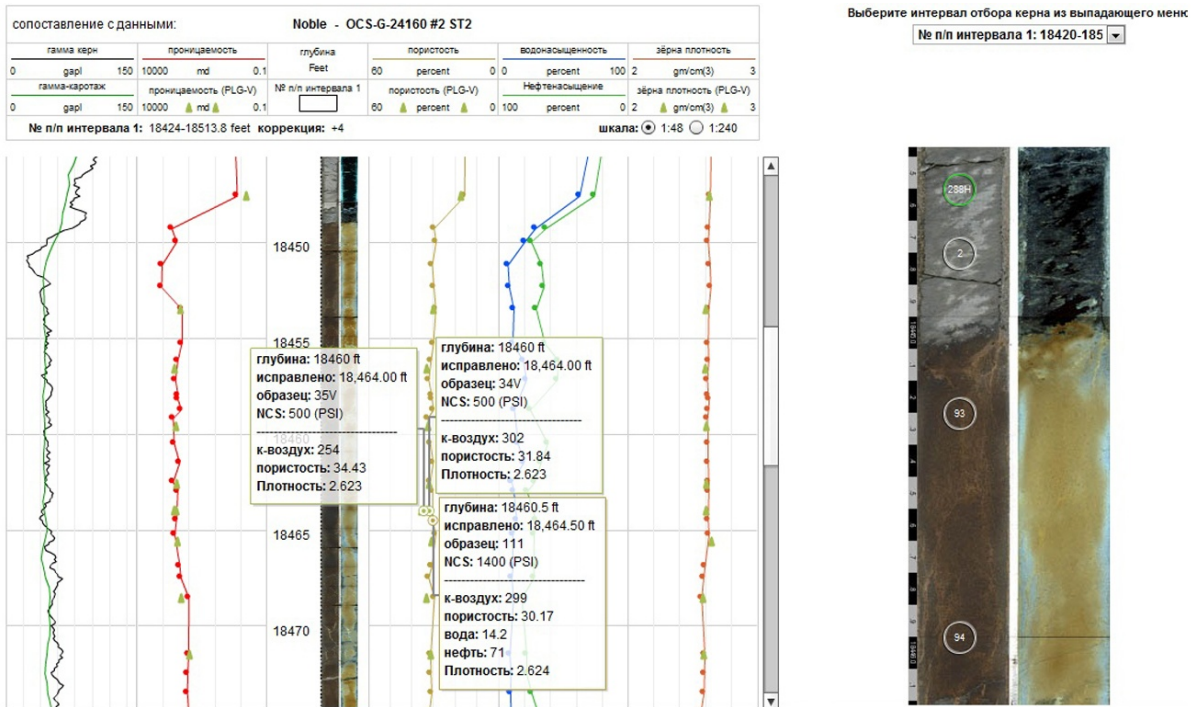


Рис. 1. Интерактивный планшет с представлением данных по керну и геофизическим исследованиям скважин

Для сопоставления, группировки, статистического анализа данных используется программно-аналитическое приложение Tibco SPOTFIRE. Программа дает возможность поиска одного или нескольких параметров по всему каталогу по необходимым критериям. Например, для карбонатных отложений верхнего девона с пористостью 10–15% мы можем найти время прохождения продольных и поперечных волн с учетом литологии и других поправок.

Исследовательские центры обращаются к каталогу как к опоре при всех типах работ благодаря наличию большого набора петрофизических данных, полученных по новейшим технологиям и стандартам мирового уровня.

К текущим результатам работ исследовательского центра через Интернет обращаются специалисты компании-заказчика: геологи, геофизики, разработчики, специалисты по подсчету запасов, имея при этом доступ к определенной скважине и месторождению.

Основные направления применения каталога

1. **Предварительная оценка залежи.** Вынесенный в процессе бурения шлам проходит тщательное описание, изучается, сравнивается с компараторами. Компараторы представляют собой образцы породы с определенными характеристиками (шлам, образцы керна, обломки породы). По эталонам визуально калибруется тип породы, ставятся прогнозные оценки важнейших петрофизических параметров: пористости, проницаемости, продуктивного потенциала. Подбираются аналоги из каталога пород с исчерпывающими геофизическими, петрофизическими, геологическими данными. Полученные данные приводятся к пластовым условиям.

2. **Оценка залежи при наличии данных ГИС и извлеченного керна.** Даже при исчерпывающем наборе исследований всегда остается ряд вопросов относительно интерпретации ГИС [1, 2]. Наличие мощной базы сравнения повышает эффективность интерпретации [3, 4]. Обработка материала проводится на интерактивном планшете с привязкой качественных данных по целому интервалу или точно в конкретном участке. При этом параллельно по базе каталога рассматриваются сходные породы других скважин для уточнения свойств. Устанавливается корреляция и взаимосвязь геологических свойств с различными петрофизическими параметрами.

3. **Восполнение отсутствующей информации.** Нередки случаи отсутствия отбора керна, а также его утери в процессе подъема (вынос менее 100%). Не всегда есть возможность провести дополнительный дорогостоящий отбор проб породы из стенок скважины. Данные из недостающих участков восполняются наличием аналогов данных в базе и, по возможности, изученным керном. Аналитический комплекс вкупе с базой данных зачастую дает лучшие результаты, чем предположительные оценки.

4. **Проведение исследований на керновом материале.** Каждый вид лабораторного анализа керна нуждается в сопровождении полученными ранее результатами и в аналитической поддержке [5, 6]. Оперативное сравнение полученных результатов с аналогами каталога снижает риски возникновения ошибок и позволяет быстро найти причину их возникновения. Необходимость доступа к данным каталога также объясняется тем, что они получены на оборудовании мирового уровня по современным методикам.

5. **Описание породы.** Массив литологических и геологических данных со снимками в белом свете и ультрафиолете, также снимками электронного микроскопа (рис. 2) сокращает время на описание породы [7], повышает его качественный уровень.

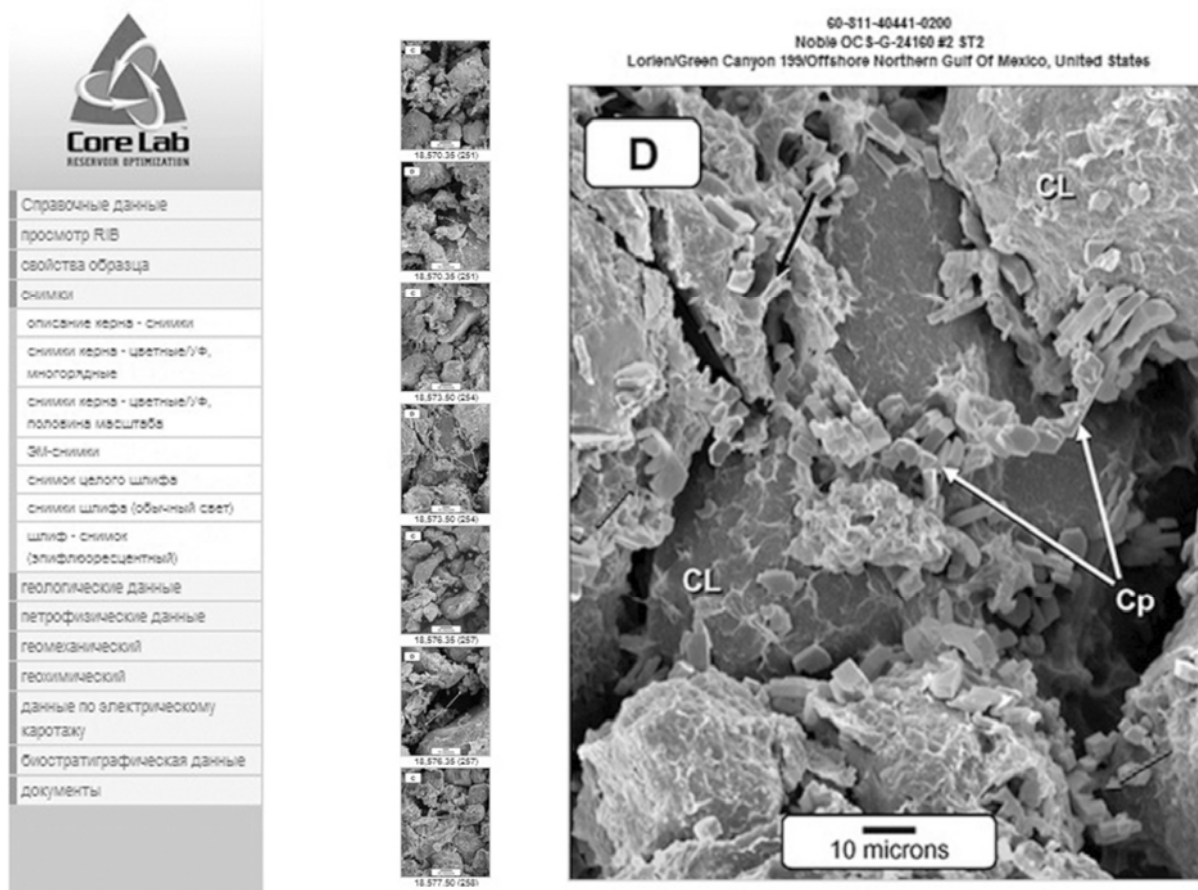


Рис. 2. Общий вид снимка шлифа с подробным описанием, полученного при помощи сканирующего электронного микроскопа

6. **Работа с дополнительным программным обеспечением.** Во всех компаниях используются различные программные продукты для моделирования и анализа данных. С одной стороны, каталог можно использовать как базу для подбора и уточнения характеристик, с другой стороны, работа со скважинами или месторождениями, загруженными в RAPID. Быстрый поиск, вывод данных и обработка существенно сокращают время на реализацию поставленных задач. Также для каталога пород созданы дополнительные модули расчета капиллярного давления, относительных фазовых проницаемостей, моделирования гидравлического разрыва пласта. Например, если данных лабораторных

исследований недостаточно или нет возможности провести эксперимент на образце керна с требуемыми свойствами, результат можно смоделировать с большой степенью достоверности. Такие модули необходимы при изучении керна, анализе каротажных диаграмм, подсчете запасов, непосредственно при разработке.

7. Упорядочивание имеющейся информации, составление отчетов. Помимо отчетов по новым скважинам, компании могут переводить в каталожный формат отчеты по ранее проводимым исследованиям, в том числе по старому фонду скважин. Упрощается процедура формирования отчетов, получения зависимостей и графиков. Облегчается работа по подготовке материалов перед защитой о проделанной работе у заказчика.

8. Обучение работе с данными. Необходимость обучения студентов в рамках дисциплин геологии нефти и газа, петрофизики, физики пласта объясняется возможностью работы с исчерпывающим комплексом данных в одном программном продукте. При обучении доступно: литологическое описание пород, макроскопические свойства по текстуре, поровому пространству, геологические, петрофизические свойства и др. Более углубленный курс проводится для представителей компаний заказчиков, для работы с комплексом RAPID.

Выводы

Каталог горных пород является основой для оценки характеристик коллекторов благодаря широкому набору данных по керновому материалу и каротажным диаграммам. Интегрированный программный комплекс позволяет эффективно осуществлять поиск результатов исследований и их представление. Аналитический комплекс устанавливает ранее не известные взаимосвязи наиболее важных параметров.

Использование каталога сокращает затраты времени на поиск и подготовку данных, интеграцию керновых и каротажных данных, снижая риски возникновения возможных ошибок и соответствующих затрат. Также моделируются по искомым данным процессы, не доступные для исследований. Повышается достоверность принимаемых параметров залежи, подсчета запасов, результативность решений при работах, связанных с воздействием на продуктивный пласт. Комплексное применение каталога горных пород в целом способствует повышению эффективности разработки месторождения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Петерсилье В.И., Пороскун В.И., Яценко Г.Г.* Методические рекомендации по подсчету геологических запасов нефти и газа объемным методом. – М.–Тверь: ВНИГНИ–НПЦ «Тверьгеофизика», 2003. – 257 с.
2. *Александров Б.Л.* Изучение карбонатных коллекторов геофизическими методами. – М.: Недра, 1979. – 200 с.
3. *Итенберг С.С., Шнурман Г.А.* Интерпретация результатов каротажа сложных коллекторов. – М.: Недра, 1984. – 256 с.
4. *Дахнов В.Н.* Геофизические методы определения коллекторских свойств и нефтегазонасыщения горных пород. – М.: Недра, 1985. – 310 с.
5. *Физические свойства горных пород и полезных ископаемых (петрофизика)* / Под ред. Н.Б. Дортман. – М.: Недра, 1984. – 455 с.
6. *Авчян Г.М., Матвеев А.А., Стефанкевич З.Б.* Петрофизика осадочных пород в глубинных условиях. – М.: Недра, 1979. – 224 с.
7. *Дарлинг Т.* Практические аспекты геофизических исследований скважин / Пер. с англ. – М.: ООО «Премиум Инжиниринг», 2008. – 400 с.

ФАКТОРЫ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ В ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ РЕГИОНАХ

Р.А. Дягилев, к.ф.-м.н.
Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация. Сделана попытка оценить техногенную составляющую сейсмической опасности в районе разработки Верхнекамского месторождения калийных солей. Изложены основные моменты, учитываемые при сейсмическом районировании территорий: модель сейсмогенерирующих зон, описывающая параметры возможных техногенных источников, и макросейсмическое уравнение, описывающее ожидаемый сейсмический эффект от них. С использованием виртуального каталога сейсмичности получены уточненные карты сейсмической интенсивности для района Верхней Камы.

Авторы карт ОСР-97 отмечают, что сейсмическая опасность во многих районах может расти в связи с хозяйственным освоением сейсмоопасных территорий и активным воздействием человека на литосферу (откачка нефти и газа, добыча полезных ископаемых, строительство крупных гидротехнических сооружений, захоронение промышленных отходов и др.) [1]. Одним из таких районов можно считать Урал, где все отмеченные выше факторы имеют место. Положительным моментом в вопросе уточнения сейсмической опасности в Уральском регионе являются наблюдения за сейсмичностью, выполняемые ГИ УрО РАН совместно с ГС РАН в течение последних 10–15 лет [2].

Целью данной работы является получение уточненных оценок сейсмической опасности, характеризующих район Верхней Камы, подверженный значительной техногенной нагрузке, связанной с разработкой Верхнекамского месторождения калийных солей (ВКМКС). Значимость таких исследований в последнее время существенно возросла в связи с появлением новых инструментальных данных о сейсмичности региона, которые свидетельствуют о существенной недооценке (примерно на порядок) доли слабых природных землетрясений. Кроме того, идет наращивание производственных мощностей добычи калийных солей, планируется открытие новых рудников и строительство объектов инфраструктуры горнодобывающих предприятий, что требует корректного учета сейсмичности.

Годы сейсмологических наблюдений в регионе и на рудниках ВКМКС позволили вплотную подойти к проблеме уточнения сейсмической опасности на огромной урбанизированной территории. Для этого имеется представительный (начиная с магнитуды 1.5) каталог природных землетрясений, произошедших на Западном Урале; данные о механизмах сейсмических явлений, происходящих в горных выработках [3]; множество экспериментальных данных о характере распространения сейсмических волн в районе исследований [4]. Для уточнения сейсмической опасности для района Верхней Камы решались три основные задачи: 1) разработка модели сейсмогенерирующих зон, соответствующих возможным техногенным источникам в районе ВКМКС; 2) выбор адекватной модели сейсмического эффекта; 3) получение вероятностной оценки сейсмической опасности в заданные интервалы времени.

Модель сейсмогенерирующих зон

Модель сейсмогенерирующих зон является одним из ключевых элементов при оценке сейсмической интенсивности. Она определяет пространственные и энергетические особенности возможных сейсмических явлений.

Чтобы соответствовать вероятностно-детерминистскому подходу, являющемуся общепринятым для оценки сейсмической опасности [1], предлагаемая модель опирается на богатый фактический материал (существующие каталоги сейсмических явлений) и дает вероятностные оценки основных параметров сейсмических явлений.

Влияние техногенной нагрузки, оказываемой горнодобывающими предприятиями, можно описать, представив сейсмогенерирующими зонами все существующие ныне подработанные пространства или участки горного массива, подлежащие подработке, которые несут потенциальную опасность возникновения в них сейсмических событий. Одним из ярких примеров существующей угрозы является техногенное землетрясение с магнитудой $M_S=3.8$, произошедшее 5 января 1995 г. в г. Соликамск. Причиной события стало разрушение подземных целиков на площади диаметром около 600 м, которому сопутствовало одновременное опускание вышележащей толщи пород мощностью около 300 м и образование на земной поверхности мульды оседания глубиной до 4.5 м. Сейсмический эффект от такого явления ощущался в радиусе до 20 км, а в его эпицентре интенсивность составляла 5–6 баллов [5].

Исследования механизмов очагов в пределах калийных рудников [3] свидетельствуют о преимущественно обвальном характере большинства сейсмических явлений. Соликамское землетрясение, судя по разрушениям в руднике и на поверхности, также относится к гравитационным явлениям. Таким образом, обвальный тип будем считать основным типом событий, возникающих в пределах сейсмогенерирующих зон. Пространственные характеристики зон (размеры, положение) хорошо известны, в том числе и для планируемых к отработке рудников (рис. 1), что позволяет использовать их для моделирования местоположения гипоцентров сейсмических очагов.

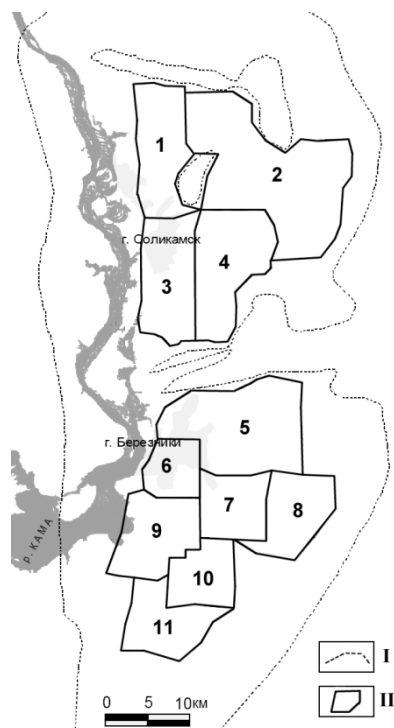


Рис. 1. Шахтные поля в пределах ВКМКС, определяющие границы сейсмогенерирующих зон.

- I** – контур месторождения;
II – границы шахтных полей:
 1 – Боровской,
 2 – Половодовский,
 3 – Соликамский,
 4 – Ново-Соликамский,
 5 – Быгельско-Троицкий,
 6 – Березниковский,
 7 – Дурьманский,
 8 – Талицкий,
 9 – Усть-Яйвинский,
 10 – Балахонцевский,
 11 – Палашерский

Многолетние наблюдения в рудниках показывают, что эпицентры регистрируемых сейсмических событий ($M < 1$) практически не выходят за пределы шахтных полей. Глубина очагов также ограничена горными выработками.

Отдельные шахтные поля имеют, как правило, изометричную форму, поэтому без потери общности ситуации будет допустимым принять нормальное распределение очагов относительно центра шахтного поля со стандартным отклонением, равным его среднему полуразмеру.

Сейсмический режим не является одинаковым для всего месторождения. На него влияет множество факторов (время, прошедшее с отработки, количество подработанных пластов, наличие закладки, прочностные свойства пород и др.) [6]. Так или иначе,

среднюю скорость разрушения подработанного массива можно связать с параметрами закона повторяемости сейсмических явлений, которые известны для всех действующих рудников. Для рудников, которые пока не построены, но будут введены в эксплуатацию в ближайшие годы, данные параметры в первом приближении можно принять равными средним показателям.

Максимальные магнитуды событий, которые возможно ожидать, очевидно, будут определяться максимальными размерами подработанных пространств. На разных рудниках эти величины также могут отличаться, но нигде они не достигают размеров самих шахтных полей. Принимая во внимание известные соотношения площади очаговых зон с их магнитудой [7], можно прийти к выводу, что максимальная возможная магнитуда техногенного очага не будет превышать максимальной магнитуды природных очагов (5.5) в данном районе.

Несмотря на то, что параметры повторяемости известны, повторяемость сильных событий достоверно оценить сложно. Во-первых, сказывается ограниченный диапазон магнитуд инструментально зафиксированных событий (до 1.5). Во-вторых, в рудниках проводятся все необходимые мероприятия по их предотвращению и устранению условий их возникновения, поскольку реализация одного землетрясения с максимальной магнитудой в калийном руднике может означать прекращение его существования. Однако устранение самого главного условия существования повышенной сейсмической опасности – наличия подработанных пространств – может происходить и более естественным путем в ходе постепенного схлопывания пластичного соляного массива, которое по длительности сопоставимо со сроками эксплуатации рудника (50–100 лет). Уникальность ситуации заключается в возможности лишь единственной реализации события с максимальной магнитудой (и максимальными размерами очага) в пределах одного рудника, после чего условия, определяющие их принципиальную возможность возникновения в будущем, исчезают совсем.

Таким образом принимается, что каждая сейсмогенерирующая зона может создавать условия для возникновения не более одного события с максимальной магнитудой за период, равный времени существования горных выработок.

Модель сейсмического эффекта

Модель сейсмического эффекта для исследуемой территории в первом приближении дает макросейсмическое уравнение $I(M, r)$ Н.В. Шебалина [8], имеющее для территории Урала и Западной Сибири вид:

$$I=1.5M_{\text{ЛН}}-3.5\lg(r)+3, \quad (1)$$

где r – расстояние до гипоцентра в км, $M_{\text{ЛН}}$ – магнитуда.

Большие размеры территории, характеризваемой данной зависимостью, обусловлены главным образом ограниченностью исходных данных, лежащих в ее основе. Определенную роль играет и тот факт, что все техногенные источники – приповерхностные, поэтому есть все основания полагать, что в рассматриваемом районе уравнение (1) может давать существенные погрешности. Вся необходимая информация для уточнения (1) имеется в макросейсмических данных, собранных после Соликамского землетрясения в 1995 г. (рис. 2). В свете современных представлений об этом событии, его очаг располагался на глубине горных выработок (0.3 км), а не на 8 км, как было рассчитано ранее с использованием уравнения (1) и представлено в первом упоминании о нем [5]. Пересмотр волновых форм позволил установить и другие параметры очага, в частности $M_{\text{ЛН}}=3.5$. Таким образом, самую адекватную модель сейсмического эффекта в районе ВКМКС дает уточненное уравнение:

$$I=1.5M_{\text{ЛН}}-2.1\lg(r)+0.5, \quad (2),$$

которое по имеющимся данным позволяет оценивать сейсмическую интенсивность с ошибкой ± 0.5 балла.

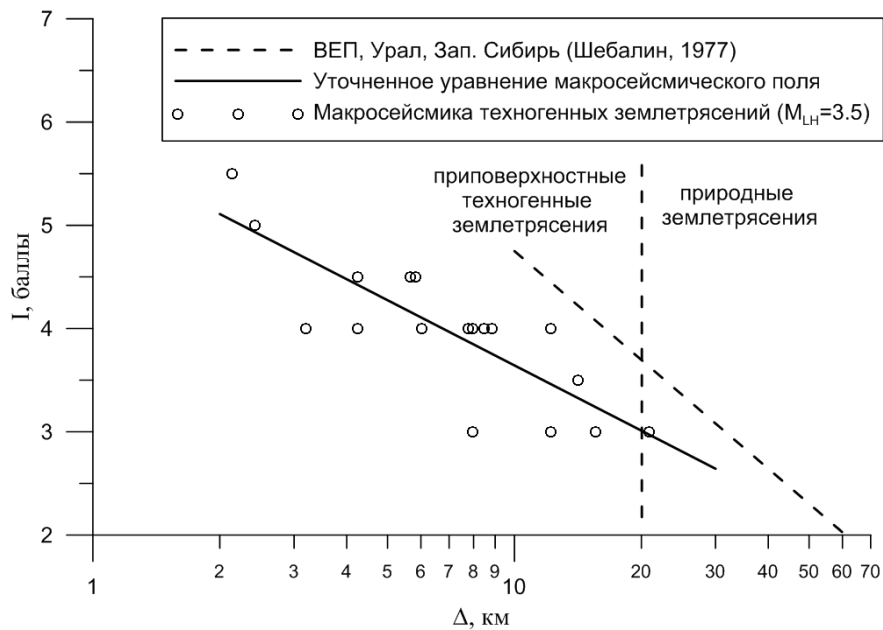


Рис. 2. Уточнение сейсмического эффекта от приповерхностных землетрясений

Моделирование сейсмического процесса

При расчете сейсмической интенсивности в качестве исходных данных используется сейсмический каталог с достаточным количеством данных для надежной оценки интенсивности в изучаемом районе. Критерий достаточности определяется периодом повторяемости, для которого строится карта сейсмической опасности, и ошибкой определения интенсивности для единичного события. Полноценный каталог может охватывать временной интервал в несколько десятков тысяч лет, что практически недостижимо, поэтому в расчетах используют виртуальные каталоги, в которых представлены случайные реализации ожидаемых сейсмических событий с параметрами, вероятностные характеристики которых известны из текущих наблюдений. В случае с техногенной сейсмичностью не стоит ожидать, что она будет продолжаться тысячи лет в тех рамках, как мы это себе представляем сейчас. Если исходить из сегодняшних реалий, то в качестве интервалов, определяющих длительность сейсмического каталога, правильнее будет принять примерный срок эксплуатации месторождения в обозримом будущем, т.е. 150 лет.

Созданный каталог виртуальной сейсмичности района дает возможность оценить интенсивность на исследуемой площади по заданной сетке (5×5 км). Для этого в каждом узле по совокупности всех событий с использованием зависимости (2) определяются параметры повторяемости сотрясений в виде $I(T)$. Далее по периоду повторяемости T , соответствующему картам A , B и C , узлу карты присваиваются значения максимальной интенсивности. В результате таких построений для района Верхней Камы получены три уточненных карты (рис. 3), которые отражают сейсмическую интенсивность, обусловленную как природными событиями, так и техногенной сейсмичностью, показывая максимальное из двух типов воздействий.

Обсуждение результатов и выводы

Сравнивая полученные карты с картами природной сейсмической опасности ОСР-97, можно отметить, что отличия наблюдаются только на картах A и B , где четко прослеживается зона влияния подработанных пространств в районе городов Соликамск и Березники. Здесь отмечается повышение уровня сейсмической опасности примерно на 1 балл относительно природного фона. Сравнение техногенных зон на картах A и B показывает, что тип карт почти не оказывает влияния на их пространственные границы, значения интенсивности в их пределах также не меняются.

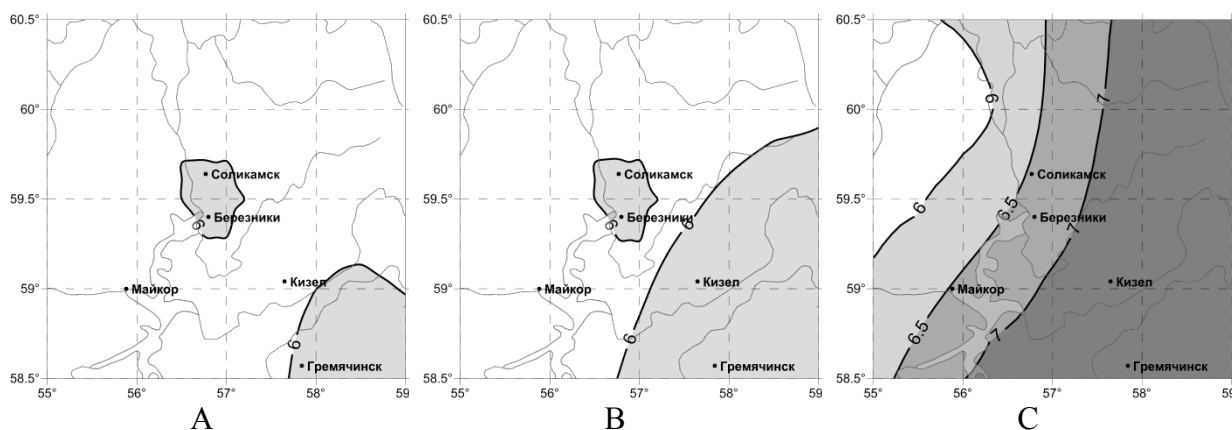


Рис. 3. Уточненные карты сейсмической опасности для района Верхней Камы

Уточненная карта *С* полностью соответствует исходной карте ОСР-97-С. Здесь влияние техногенной сейсмичности не видно, так как скрыто за природной составляющей, имеющей за больший интервал времени преобладающие значения интенсивности.

Полученные результаты показывают, что влияние техногенной сейсмичности, обусловленной наличием под землей выработанных пространств, в данном районе является значимым. Разработанная модель техногенных сейсмогенерирующих зон, хоть и имеет локальное применение, позволила количественно оценить ожидаемые изменения сейсмической интенсивности. Существенный вклад при параметрическом наполнении данной модели дали текущие сейсмологические наблюдения на рудниках ВКМКС и событие, инициировавшее их, – Соликамское землетрясение. На уточненных картах видно, что территория, считающаяся асейсмичной (интенсивность 5 баллов) по картам ОСР-97-А и ОСР-97-В, получает дополнительный балл, что приближает ее по уровню опасности к соседним природным зонам Среднего Урала. Для некоторых ответственных промышленных объектов, сосредоточенных в данном районе или планируемых к постройке, данный факт может иметь большое значение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Уломов В.И., Шумилина Л.С. Проблемы сейсмического районирования территории России. – М.: ВНИИГПИ Госстроя России, 1999. – 56 с.
2. Маловичко А.А., Дягилев Р.А., Маловичко Д.А., Шулаков Д.Ю., Бутырин П.Г., Верховланцев Ф.Г. Четырехуровневая система сейсмического мониторинга на территории Среднего Урала // Геофизика. – 2011. – № 5. – С. 8–17.
3. Маловичко Д.А. Анализ механизмов очагов «низкочастотных» сейсмических событий в рудниках ВКМКС // Стратегия и процессы освоения георесурсов. – 2006. – С. 233–235.
4. Маловичко Д.А., Иванова Ю.В. Калибровка шкалы локальных магнитуд M_L для Западно-Уральского региона // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2006. – С. 103–107.
5. Маловичко А.А., Блинова Т.С., Лебедев А.Ю., Некрасова Л.В. Соликамское землетрясение 5 января 1995 г. // Проблемы безопасности при эксплуатации месторождений полезных ископаемых в зонах градопромышленных агломераций. – 1997. – С. 307–315.
6. Дягилев Р.А., Маловичко Д.А., Шулаков Д.Ю., Баранов Ю.В., Бутырин П.Г., Некрасова Л.В. Прогнозирование сейсмичности на шахтах и рудниках Западного Урала // Региональный конкурс РФФИ-Урал. Научно-практические итоги конкурсов РФФИ-Урал в Пермском крае 2004–2006 гг. – 2007. – С. 248–250.
7. *New manual of seismological observatory practice*. Vol. 1. – Potsdam: GFZ, 2002. – 714 p.
8. *Сейсмическое районирование СССР*. – М.: Наука, 1968. – 476 с.

ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА И ПРИНЦИПЫ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

Р.Г. Ибламинов, д.г.-м.н.
*Пермский государственный национальный
исследовательский университет, г. Пермь*

Аннотация. Обосновываются правила комплексирования: одноуровненности, регуляризации, исключения погрешностей измерений, максимальной эффективности, а также основные принципы: соответствия и дополнения.

В 1990 г. профессор А.К. Маловичко поручил мне читать курс лекций по дисциплине «Комплексирование геофизических методов исследования месторождений полезных ископаемых». Он считал, что эту дисциплину должен читать тот, кто хорошо представляет строение, состав и закономерности размещения месторождений, поскольку именно эти факторы определяют выбор комплекса геофизических методов.

Специфику месторождений полезных ископаемых, как объектов исследования, характеризуют: 1) пространственность, 2) многоуровненность, 3) многопризнаковость, 4) неповторимость и сложность, 5) изменчивость во времени, 6) относительная недоступность. Специфика геологических наблюдений при исследовании месторождений заключается в: 1) дискретности, 2) малообъемности, 3) системности [1].

Задача исследования месторождений заключается в восстановлении по системе дискретных малообъемных наблюдений крупных пространственных многопризнаковых индивидуализированных объектов, не доступных для непосредственных наблюдений.

Методология решения задачи восстановления заключается в моделировании. Строятся статические и динамические модели. Динамическая модель базируется на статической, рассматриваемой в качестве фактической основы моделирования. Ретроспективные модели характеризуют историю формирования месторождений, обычно это генетические модели. Перспективные модели используются при прогнозировании изменения месторождения в процессе эксплуатации. При построении физико-геологических моделей (ФГМ) используются в основном статические и перспективные модели. По способу построения модели месторождений можно разделить на материальные и идеальные. Идеальные модели бывают вербальными и математическими, математические – пространственными и статистическими, пространственные модели – графическими и аналитическими.

К статическим моделям предъявляются требования: пространственности, многоуровненности (должны отражать разночастотные составляющие поля), универсальности. Перечисленным требованиям отвечает теория геологических полей [2].

Геологическое поле (U) – это пространство земной коры, каждому элементарному объему которого может быть поставлено в соответствие определенное значение геологического свойства (в том числе геофизического), являющееся функцией координат пространства (x, y, z):

$$U = F(x, y, z), \quad (1)$$

а для динамических моделей – еще и времени (t):

$$U = F(x, y, z, t). \quad (2)$$

Согласно теории поля любая залежь полезного ископаемого (M) может быть представлена в виде совокупности геологических полей (3):

$$M = \{U_1, \dots, U_i, \dots, U_n\}, \quad (3)$$

где M – физико-геологическая модель геологического тела, n – количество геологических полей, участвующих в моделировании, U_i – геологическое, в т.ч. физическое поле.

Физико-геологическая модель (ФГМ) – это геологическая модель, в построении которой участвуют физические поля.

При моделировании месторождений полезных ископаемых используются следующие группы и виды геологических полей.

Группа 1 объединяет морфологические поля: морфоструктурные и морфометрические.

1.1. *Морфоструктурные поля* характеризуют форму и пространственное положение залежи (рис. 1). Аналитически форма поверхности любого замкнутого тела описывается следующим уравнением:

$$F_{mc}(x, y, z) = 0, \quad (4)$$

где F_{mc} – функция, описывающая поверхность тела.

На практике задача обычно решается методом графического моделирования, путем построения одномерных (одномерных сечений), двумерных (плоских сечений и проекций) и трехмерных (способом изолиний) моделей. При геофизических построениях часто используются простейшие аппроксимации залежей шаром, цилиндром, параллелепипедом.

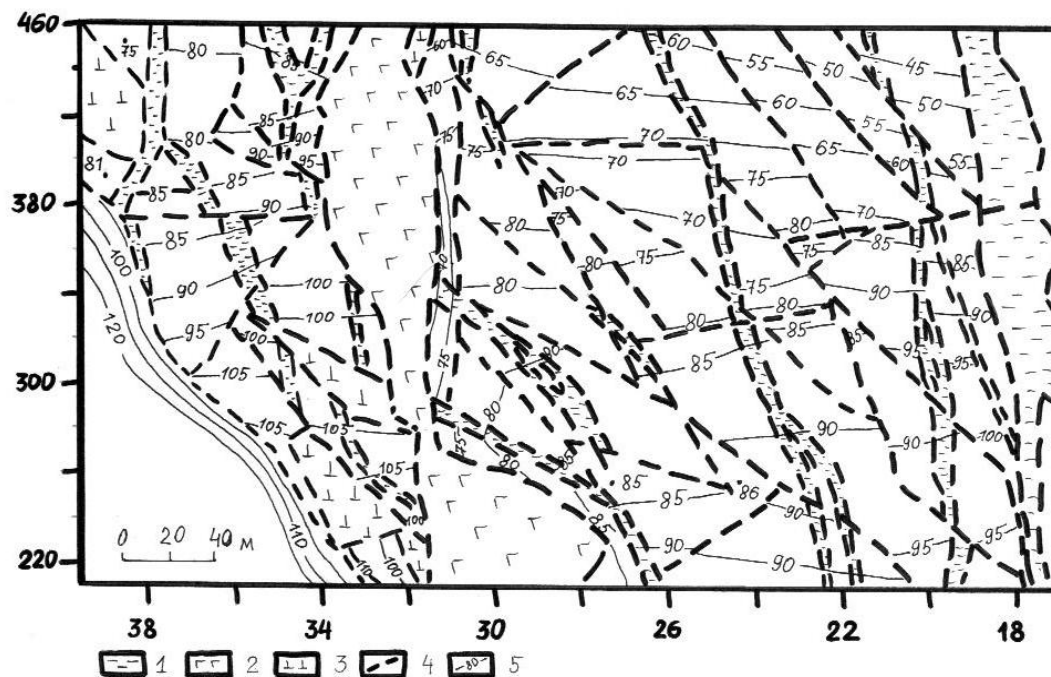


Рис. 1. Морфоструктурная модель залежи Сарановского месторождения.

Проекция восточного блока ЦРТ на вертикальную плоскость в изолиниях: 1 – дайки метапикритов, 2 – дайка габбро-долеритов, 3 – серпентиниты (тектонические «окна»), 4 – разрывные нарушения, 5 – изолинии (линии равных расстояний от расположенной западнее плоскости проекции, м). По вертикальной оси – отметки горизонтов, по горизонтальной – номера маркшейдерских линий [3]

1.2. *Морфометрические поля* отражают количественные характеристики геометрии пространства залежей. Они показывают изменение размеров залежей: толщин (мощностей), площадей сечений и объемов. Обобщающим морфометрическим показателем является объем (V). Теоретически он вычисляется как интеграл функции, описывающей форму залежи полезного ископаемого (5):

$$V = \int_{x_1}^{x_2} \int_{y_1}^{y_2} \int_{z_1}^{z_2} F_{mc}(x, y, z) \cdot \quad (5)$$

Группа 2 включает вещественные поля, характеризующие наполнение геологических тел.

2.1. *Литолого-петрографические поля* характеризуют изменение в пространстве состава горных пород, слагающих месторождение, их текстурные и другие особенности.

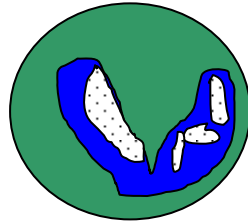


Рис. 2. Модель Качканарского рудного поля.

Рудные тела (точки) приурочены к одной разновидности пород (пироксенитам)

2.2. *Минералогические поля* моделируют изменчивость минерального состава месторождений: содержания минералов, структуру, текстуру.

2.3. *Геохимические поля* отражают изменения содержаний химических элементов и их изотопов в залежи полезного ископаемого (рис. 3).

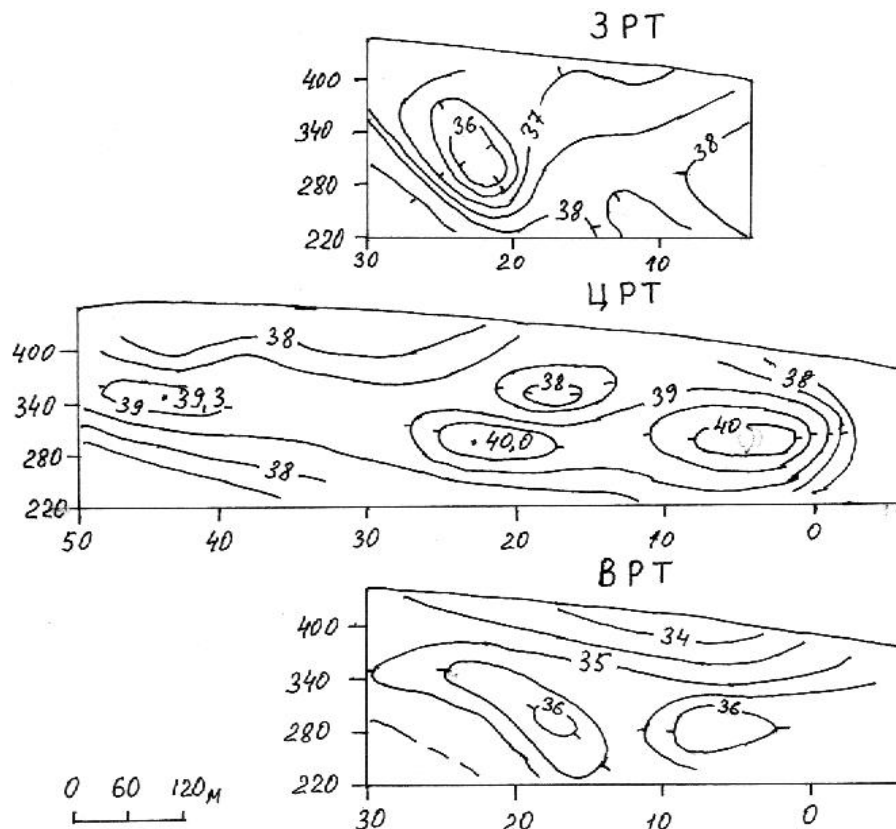


Рис. 3. Модели геохимических полей Cr_2O_3 (изолинии содержаний, вес. %) в рудных телах Главного Сарановского месторождения [3]

Группа 3. Физические поля. Подразделяются на петрофизические и геофизические.

3.1. *Поля физических свойств (петрофизические)* характеризуют изменение в пространстве залежей разнообразных физических свойств: плотности, крепости, пористости, проницаемости, магнитной восприимчивости и др.

3.2. *Геофизические поля* описывают создаваемые залежами аномалии нормальных физических полей.

Отметим, что причиной появления аномалий геофизических полей являются вещественные поля, а размеры аномалий и их интенсивность определяются морфологическими полями. На практике восстанавливаются геофизические поля, с помощью которых можно судить об основных факторах промышленной ценности месторождений (количестве, качестве и условиях залегания полезных ископаемых).

Особенности геологических полей и основные правила комплексирования [4]

1. Уровненное строение геологических полей. Геологическое поле представляет собой сумму составляющих поле уровней, которые отличаются друг от друга амплитудно-частотными характеристиками. В одномерном варианте уровненное строение поля может быть записано следующим образом (6):

$$Fn(x) = f_1(x) + \dots + f_i(x) + \dots + f_n(x), \quad (6)$$

где $Fn(x)$ – аддитивное (суммарное) поле до n -го уровня изменчивости, $f_i(x)$ – составляющая поля i -го уровня, n – количество уровней строения поля.

Из уровненного строения геологических полей вытекает первое правило комплексирования – правило одноуровненности: измерять, а тем более сопоставлять геологические поля природного объекта целесообразно на одном частотном уровне.

2. Наличие случайной составляющей геологических полей. Ее появление обусловлено дискретностью геологических наблюдений. Предположим, что при данной сети наблюдений выявляется аддитивное поле k -го уровня:

$$Fk(x) = f_1(x) + \dots + f_k(x). \quad (7)$$

Тогда все более высокочастотные составляющие природного поля $f_{k+1}(x)$, $f_{k+2}(x)$ и т.д. ввиду невозможности их однозначного восстановления будут выступать как случайные. Сумму случайных составляющих обозначим $\delta_k(x)$, т.е.:

$$\delta_k(x) = f_{k+1}(x) + f_{k+2}(x) + \dots + f_n(x). \quad (8)$$

Тогда измеренное поле можно записать следующим образом:

$$Fn(x) = Fk(x) + \delta_k(x). \quad (9)$$

Сопоставлять есть смысл только регулярные составляющие полей. Отсюда вытекает второе правило комплексирования – правило регуляризации: сопоставлять и использовать при построении комплексных моделей необходимо предварительно регуляризованные поля, в которых случайная составляющая сведена к минимуму.

3. Третья особенность измеренных значений полей заключается в наличии погрешностей наблюдений (Δ): погрешности отбора, обработки и анализа проб, погрешности измерительной аппаратуры и т.п. Они при комплексной обработке данных также должны быть учтены. Это третье правило комплексирования – правило исключения погрешностей измерений.

Поле погрешностей является случайной функцией, которая характеризуется стационарностью и эргодичностью. Заметим, что обычно амплитуда погрешностей зависит от амплитуды измеряемых значений геологических полей.

$$U = Fk(x) + \delta_k(x) + F_\Delta(x), \quad (10)$$

где U – измеренные значения геологического поля, $Fk(x)$ – регулярная составляющая поля, выявляемая при данной системе наблюдений, $\delta_k(x)$ – случайная составляющая поля, обусловленная дискретностью наблюдений, $F_\Delta(x)$ – поле погрешностей наблюдений.

Четвертое правило комплексирования – правило достижения максимальной экономической эффективности применяемым комплексом методов исследований.

Принципы исследования – это наиболее общие исходные положения методики работ. Из анализа вариантов пространственных соотношений геологических полей следует первый и основной принцип комплексирования – принцип соответствия восстанавливаемых геофизических полей геологическим свойствам объектов исследования.

Выбор геофизического метода определяется соотношением исследуемого геофизического поля и морфометрического или вещественного. В производственных условиях исследуют геофизические поля, которые изменяются конкордантно или антикордантно морфометрическим или вещественным [5, 6].

Данные, полученные различными методами, могут быть объединены с помощью комплексных показателей. Существует три вида комплексных показателей и полей: 1) аддитивный, 2) мультипликативный, 3) отношений. Использование комплексных показателей позволяет решить две задачи: а) усиления интенсивности аномалий, б) отбраковки прогнозируемых объектов. Положительным примером использования комплексного показателя в геофизике является применение гравимагнитометрического показателя, именуемого адмиттансом, разработанного В.А. Гершанок и М.С. Чадаевым.

Второй принцип комплексирования – принцип дополнения. Он заключается в комплексировании основного метода с другим, позволяющим уточнить решение задачи восстановления свойства исследуемого объекта, повысить эффективность комплекса методов.

Всегда учитываются также и общегеологические принципы исследования месторождений: принцип аналогии, принцип равномерности, принцип полноты исследования, принцип максимальной эффективности, принцип стадийности (последовательных приближений).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ибламинов Р.Г., Лебедев Г.В., Набиуллин В.И.** Моделирование геологических объектов // Моделирование геологических систем и процессов. Материалы региональной конференции. – Пермь: Пермский ун-т, 1996. – С. 3–4.
2. **Мяжков В.Ф., Ибламинов Р.Г.** Понятие геологического поля – теоретическая основа методики обработки геологической информации // Геометризация и анализ геологических полей месторождений полезных ископаемых. – Пермь: Изд-во Пермского ун-та, 1981. – С. 2–13. Депонировано в ВИНТИ, № 3758-81Деп.
3. **Ибламинов Р.Г.** Геологическая история Сарановского месторождения хромовых руд – отражение истории развития региона // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского. Сборник научных статей. – Пермь: Пермский ун-т, 2002. – С. 229–247.
4. **Ибламинов Р.Г., Лебедев Г.В.** Геометро-статистическая модель геологических объектов как основа комплексирования геолого-геофизических методов исследования // Построение физико-геологической модели и системный подход при истолковании результатов геофизических исследований. Тезисы докладов научно-технической конференции. – Пермь: Пермский ун-т, 1993. – С. 44–46.
5. **Ибламинов Р.Г., Баталов В.Л., Мяжков В.Ф.** Методика сравнительного анализа данных химического и геофизического опробования руд // Внедрение и направления развития геофизических методов на горных предприятиях. Тезисы докладов Всесоюзного отраслевого совета. – Белгород: ВИОГЕМ, 1972. – С. 61–65.
6. **Ибламинов Р.Г.** О магнитометрическом методе опробования титаномагнетитов // Вопросы обработки и интерпретации геофизических наблюдений. Уч. зап. Пермского ун-та. – Вып. 13, № 357. – Пермь, 1975. – С. 173–174.

ВЫДЕЛЕНИЕ ЗОН ПРОСЕВШИХ ГРУНТОВ ПОД БЕТОННЫМ ПОЛОМ МЕТОДОМ ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ

¹А.В. Кичигин, ¹Ю.И. Степанов, к.г.-м.н.,

²А.В. Горожанцев, к.г.-м.н., доц.

¹Горный институт УрО РАН, г. Пермь

²Пермский государственный национальный
исследовательский университет, г. Пермь

Аннотация. Представлен пример положительного решения прикладной задачи в практике применения георадиолокации как неразрушающего геофизического метода исследования, применяемого в промышленном и гражданском строительстве.

Георадиолокация в настоящее время стала широко применяться, как неразрушающий геофизический метод исследования и контроля в промышленном и гражданском строительстве [1]. При решении поставленных задач этот метод позволяет получать разрез исследуемой среды в достаточно высоком разрешении. Принцип действия георадара основан на излучении импульсов метрового и дециметрового диапазона электромагнитных (наносекундных) волн и приеме сигналов, отраженных от границ раздела слоев зондируемой среды, имеющих различные электрофизические свойства. Такими границами раздела в исследуемых средах являются, например, контакт между сухими и влагонасыщенными грунтами, контакты между породами различного литологического состава: между породой и материалом искусственного сооружения, между мерзлыми и тальными грунтами, между коренными и осадочными породами и т.д. [2]. Основными параметрами распространения волн в среде являются: волновое число, длина волны, скорость распространения. Эти параметры являются функциями частоты излучаемых электромагнитных импульсов, диэлектрической проницаемости среды и ее удельного электрического сопротивления.

Исследования с целью выявления зон просадки грунта на одном из объектов были проведены в помещении с бетонным армированным полом. Измерения проводились с использованием отечественного георадара ОКО-2 [3]. Анализ полученных материалов позволил на всех линиях наблюдений выделить зоны, характеризующиеся низкочастотной записью. В качестве примера приведена радарограмма (рис. 1), полученная с антенной АБ-400 МГц по одному из профилей, схема расположения которых представлена на рис. 2.

На радарограмме отчетливо можно наблюдать наличие дифрагированных волн, связываемых с влиянием арматуры. Начиная с отметки 32 м от начала профиля и далее выделяется область записи с преобладанием низких частот. На наш взгляд, это, возможно, обусловлено реверберацией в области неплотного соприкосновения подошвы бетона и кровли грунтов или воздушной прослойкой между ними. Точно определить мощность зазора по полученным материалам не представляется возможным.

Для подтверждения местоположения аномальных зон низкочастотной записи, возможно, связанных с просадкой грунтов, проведен анализ изменения амплитудных характеристик записей, которые в зонах неплотного соприкосновения бетона с грунтами должны иметь повышенные значения. С этой целью данные, полученные по 15 профилям, обработаны в режиме трехмерной визуализации [4]. В результате построен куб пространственно-временного распределения волновой картины (рис. 3).

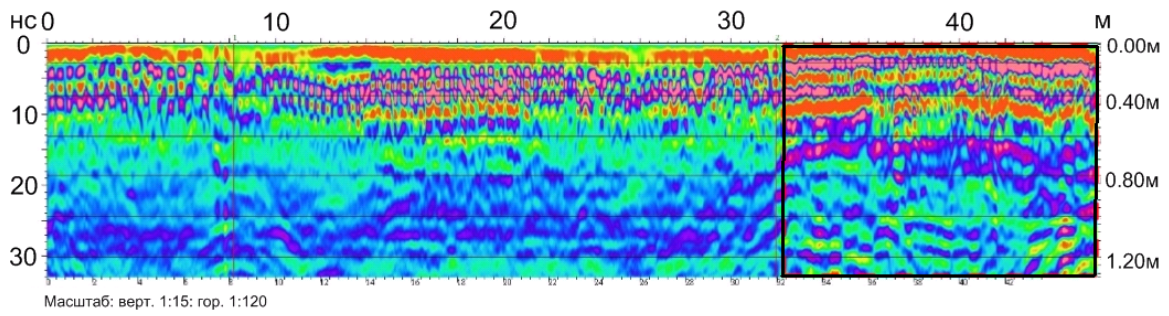


Рис. 1. Радарограмма по профилю с антенной АБ-400 МГц. Выделена (прямоугольная область) зона низкочастотной записи

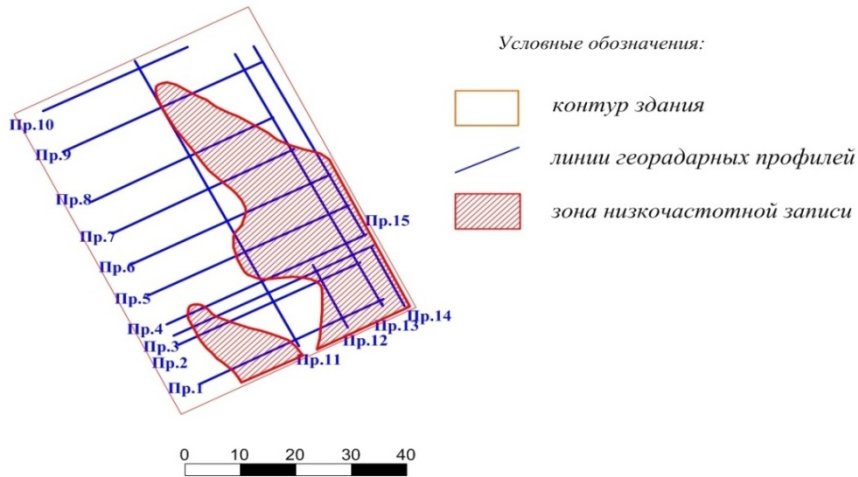


Рис. 2. Пространственное расположение аномалий низкой частоты

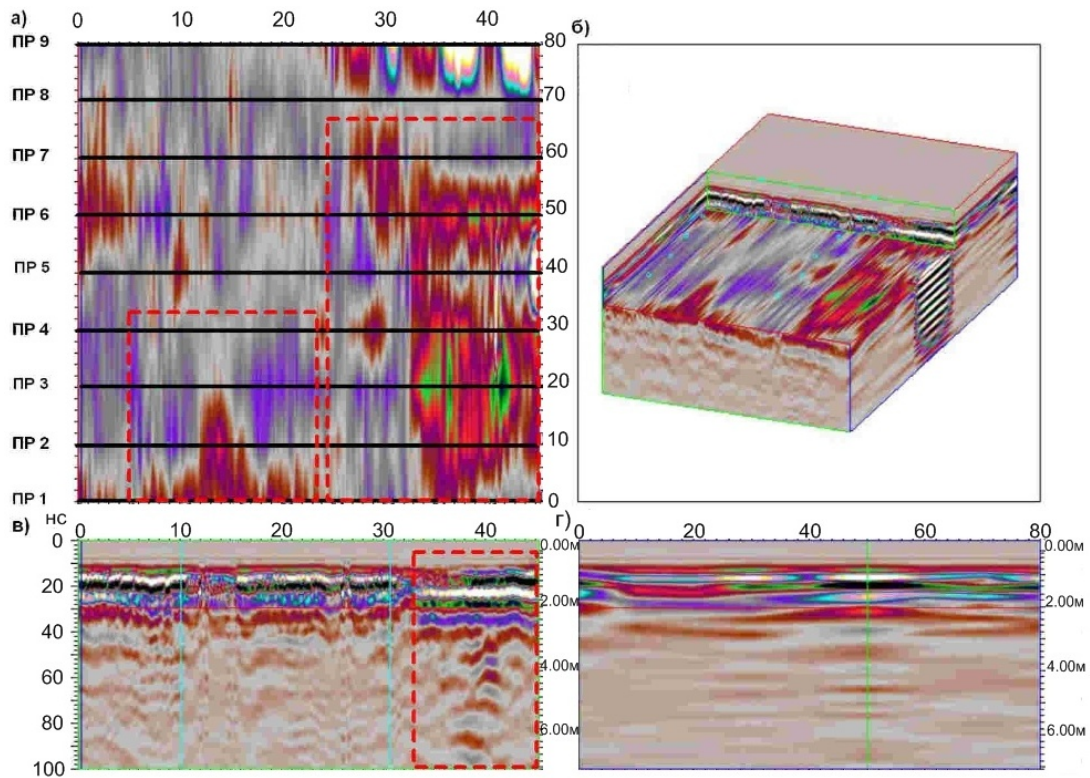


Рис. 3. Куб пространственно-временного распределения волновой картины АБ-400: а) горизонтальный срез куба 30 нс; в) вертикальный срез по профилю 6; б) трехмерное изображение среза по а, б, г; г) поперечный вертикальный срез

На кубе выполнен срез по глубине 30 *нс* до профиля 6, а на его горизонтальной проекции (рис. 3 а) отмечены аномальные участки, которым соответствуют области записи с повышенными амплитудами отраженных сигналов. Выделенный участок низкочастотной записи на пунктах наблюдения 22–45 по профилю 6 (рис. 3 б) соответствует области повышенных амплитуд, выделяемой на горизонтальном срезе в этом же интервале (рис. 3 а). На участке исследования аномальные зоны, выделенные по частотным (рис. 1) и амплитудным (рис. 3 а) характеристикам, в плане уверенно сопоставляются между собой. Таким образом, на основании данных георадиолокационной съемки представилось возможным выделить зоны просевших грунтов, что впоследствии было подтверждено вскрытием бетонного пола. Полученные результаты можно отнести к одному из примеров положительного решения прикладных задач в практике применения георадиолокационного метода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Шувалов В.М.* Геофизические методы в инженерной и экологической геологии. Учебник в 3 ч. – Пермь: Пермский гос. ун-т, 2009. – 605 с.
2. *Владов М.Л., Старовойтов А.В.* Введение в георадиолокацию. Учебное пособие. – М.: Изд-во МГУ, 2004. – 153 с.
3. *«Око». Техническое описание.* Инструкция по эксплуатации. – ООО «Логис», 2004.
4. *Geo Scan 32.* Программа управления георадаром «Око» и визуализации получаемых данных. Иллюстрированное руководство пользователя. – 2004.

КОМПЛЕКСНАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ ГИС И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПЛАСТОВ- КОЛЛЕКТОРОВ ДЛЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ «КУМКОЛЬ» (КАЗАХСТАН)

В.Г. Кубарев
ООО «ПИТЦ “Геофизика”», г. Пермь

Аннотация. Показан принцип обработки геофизических данных с месторождения «Кумколь» (Казахстан). Дано поэтапное описание выполняемых работ.

Введение

Одним из самых сложных и ответственных вопросов при обработке данных ГИС открытого ствола является определение характера насыщения (K_n) пластов-коллекторов – их пористости (K_p) и глинистости (K_{gl}). Наиболее достоверно данный вопрос решается при комплексном анализе геофизических данных.

Стандартный комплекс ГИС открытого ствола включает в себя: радиоактивный каротаж (РК) (РК включает в себя гамма-каротаж (ГК) и нейтронный каротаж (НГК)), боковой каротаж (БК), микрокаротаж (МБК), индукционный каротаж (ИК), акустический каротаж (АК), плотностной каротаж (ГГКп), кавернометрию (КВ).

Цель данной работы – показать принцип комплексной обработки данных месторождения «Кумколь» (Казахстан), имеющего свои особые петрофизические связи и, следовательно, требующего особого подхода к интерпретации материала.

Месторождение «Кумколь» находится на юго-востоке Карагандинской области на территории Улутауского района Республики Казахстан. В результате поискового и разведочного бурения, проведенного на месторождении «Кумколь», вскрыт разрез мезокайнозойских отложений толщиной до 1647 м, залегающих на выветренной поверхности фундамента нижнепалеозойско-протерозойского возраста.

Мезозойские отложения в пределах месторождения «Кумколь» расчленяются на два структурных этажа: юрский и мел-палеогеновый, разделенные региональным стратиграфическим несогласием. В геологическом плане разрез терригенный и представлен песчаниками, глинами, аргиллитами, алевролитами.

В меловых отложениях установлены два продуктивных горизонта (М-I и М-II), содержащих нефтяную залежь (даульская свита, неокомский надъярус, арыкумский горизонт). В верхнеюрских отложениях (кумкольская свита) выявлено три продуктивных горизонта (Ю-I, Ю-II и Ю-III), в средней юре – один продуктивный горизонт (Ю-IV), все залежи – нефтегазовые.

В структурном плане поднятие Кумколь приурочено к южной, наиболее погруженной, части Ащисайской горст-антиклинали, разделяющей Акшабулакскую и Сарыланскую грабен-синклинали Арыкумского прогиба.

Поэтапная обработка геофизических данных

Обработка данных с месторождения «Кумколь» ведется по следующей схеме.

На первом этапе обработки выделяются пласты-коллекторы. Выделение коллекторов на качественном уровне происходит согласно утвержденной методике по характерным показаниям кривых РК, НГК, ГГКп, АК, БК, МБК, КВ. К таким качественным характеристикам можно отнести: 1) сужение диаметра скважины по сравнению с номинальным; 2) низкие и средние показания относительно вмещающих пород на кривых РК; 3) повышение значений интервального времени и коэффициента затухания акустических волн относительно вмещающих пород по данным АК; 4) радиальный градиент УЭС, определенный по диаграммам электрических методов с различным радиусом

исследования; 5) неравенство показаний потенциал- и градиент-зондов на кривых микрокаротажа [1].

Основной задачей при выполнении количественной интерпретации является определение K_n . K_n высчитывается по формуле:

$$K_n = 1 - K_v, \quad (1)$$

где K_v – коэффициент водонасыщенности коллектора, K_n – коэффициент нефтенасыщенности коллектора.

На начальном этапе обработки количественных данных определяем объемную глинистость (K_{gl}). Определение глинистости коллекторов осуществляется по методу гамма-каротажа. K_{gl} определяется по двойному разностному параметру с использованием зависимости, предложенной В.В. Ларионовым:

$$K_{gl} = 0.333 \cdot (2^{2Z} - 1), \quad (2)$$

где Z – двойной разностный параметр, определяемый как отношение разностей текущего значения интенсивности гамма-излучения и значения интенсивности гамма-излучения в неглинистых породах к разности значения гамма-излучения в глинах и значения интенсивности гамма-излучения в неглинистых породах, т.е.:

$$Z = \frac{GR - GR_{clean}}{GR_{clay} - GR_{clean}}, \quad (3)$$

где GR – текущее значение интенсивности гамма-излучения; GR_{clean} – значения интенсивности гамма-излучения в неглинистых породах; GR_{clay} – значения интенсивности гамма-излучения в глинистых породах.

Минимальные и максимальные значения ГК для разностного параметра берутся для всего разреза.

Следующим шагом является определение коэффициента пористости по акустическому и радиоактивному методам.

Определение коэффициента пористости по данным ГГКп осуществляется по формуле:

$$K_{n_{ГГКп}} = \frac{\rho_{ск} - \rho_{пл}}{\rho_{ск} - \rho_v} - \frac{K_{gl}(\rho_{ск} - \rho_{gl})}{\rho_{ск} - \rho_v}, \quad (4)$$

где $\rho_{ск}$ – плотность скелета; $\rho_{пл}$ – плотность интерпретируемого пласта; ρ_v – плотность порового флюида; ρ_{gl} – плотность глин; K_{gl} – рассчитанная глинистость.

Оценка коэффициента пористости по данным акустического метода производится по уравнению среднего времени с поправкой за глинистость. При этом время пробега в скелете песчаников берется равным 174 мкс/м, время пробега в жидкости – 610 мкс/м, время пробега в глинах – 352 мкс/м.

$$K_{n_{ак}} = \frac{\Delta t - 174}{436} - K_{gl} \cdot 0.3, \quad (5)$$

где Δt – время пробега в интерпретируемом пласте.

Поправка в $K_{n_{ак}}$ вводится за глинистость, рассчитанную по уравнению (2).

Оценка нейтронной пористости производится с помощью традиционного уравнения:

$$K_{n_{ннк}} = W - K_{gl} \cdot W_{gl}, \quad (6)$$

где W – общее водородосодержание, K_{gl} – коэффициент глинистости, W_{gl} – водородосодержание глин, для терригенного разреза принятое за 0.35 долей единицы.

Общая пористость рассчитывается как среднеарифметическое из имеющихся пористостей:

$$K_{n_{общ}} = \frac{K_{n_{ннк}} + K_{n_{ГГКп}} + K_{n_{ак}}}{3}. \quad (7)$$

На следующем этапе рассчитывается эффективная пористость ($K_{n_{эф}}$). Ее вычисляем по формуле Ларионова с допущением, что на каждый процент глинистости приходится по 0.333 связанной воды:

$$K_{n_{эф}} = K_{n_{общ}} - K_{gl} \cdot 0.333. \quad (8)$$

На заключительном этапе переходим к определению коэффициента нефтенасыщенности через коэффициент водонасыщенности.

Нефтенасыщенность (K_n) определяется по методу, основанному на удельном электрическом сопротивлении (УЭС), с использованием связей, полученных для месторождения «Кумколь»:

$$\begin{aligned} P_{\Pi} &= K_n^{-1.68}, \\ P_H &= K_v^{-1.7}, \end{aligned}$$

где P_{Π} – параметр пористости, P_H – параметр насыщения, K_n – коэффициент пористости, K_v – коэффициент водонасыщенности.

Параметр пористости определяется как отношение сопротивления этого пласта при 100% водонасыщении ($\rho_{вп}$) и УЭС пластовой воды ($\rho_в$):

$$P_{\Pi} = \rho_{вп} / \rho_в. \quad (9)$$

Параметр насыщения определяется как отношение сопротивления интерпретируемого пласта (ρ_{Π}) к сопротивлению этого пласта при 100% водонасыщении ($\rho_{вп}$).

$$P_H = \rho_{\Pi} / \rho_{вп}. \quad (10)$$

УЭС коллекторов (ρ_{Π}) определяется по данным индукционного каротажа.

УЭС пластовой воды ($\rho_в$) принято равным 0.076 Ом для продуктивных залежей мела и 0.055 Ом – для юры.

Из вышесказанного вытекает формула для расчета K_v :

$$K_v = \left(\frac{\rho_{вп}}{\rho_{\Pi} \cdot K_n^{-1.68}} \right)^{-0.588}. \quad (11)$$

Рассчитав K_v , искомое K_n мы найдем по формуле (1).

Для данного месторождения имеется характеристика фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) коллекторов полученная с использованием керна (табл. 1).

Таблица 1. Характеристика ФЕС коллекторов по керну для месторождения «Кумколь»

	Количество представительных образцов	Пористость, %		Проницаемость, * 10^{-3} мкм ²	
		диапазон изменения	среднее значение	диапазон изменения	среднее значение
М-I	34	20.0–35.2	28.4	39–6330	1801
Ю-I	25	15.1–27.2	21.0	2–1081	218
Ю-II	44	15.2–29.7	23.0	3–8330	1336

Все образцы, представленные песчаниками и алевролитами, отобранные из залежи, имеют пористость от 17.4 до 29.5% с проницаемостью 2–16000 мД, тогда как проницаемость карбонатных (известняков, доломитов), плотных минералов (содержащих Fe - пирит, марказит, гематит, сидерит, гетит, кроншtedтит) и глиен ниже 2 мД. Исходя из связи «проницаемость–пористость» получена величина предела пористости, равная 15%, которая принята за граничное значение для юрских отложений. Для меловых отложений граничная пористость составляет 19.55% (табл. 2). Окончательное разделение пластов по характеру насыщения (за исключением обводненных) осуществляется по критическому значению коэффициента нефтенасыщенности, равному 38%, принятому по результатам опробования [2].

Петрофизические зависимости взяты из «Пересчета запасов нефти, газа, конденсата и попутных компонентов месторождения «Кумколь» по состоянию на 01.01.2008 г. (Кызылординская область Республики Казахстан)».

Таблица 2. Граничные значения проницаемости и пористости для меловых (К) и юрских (J) отложений, принятые на месторождении «Кумколь»

Горизонт	Граничные значения	
	Проницаемость, мД	Пористость, %
Юра	2.0	15.0
Мел	2.0	19.55

Окончательное заключение по выделению пластов-коллекторов производится на основе как характерных показаний кривых РК, НГК, АК, ГГКп, ИК, БК, так и граничных значений K_n , K_p , K_{gl} (рис.).

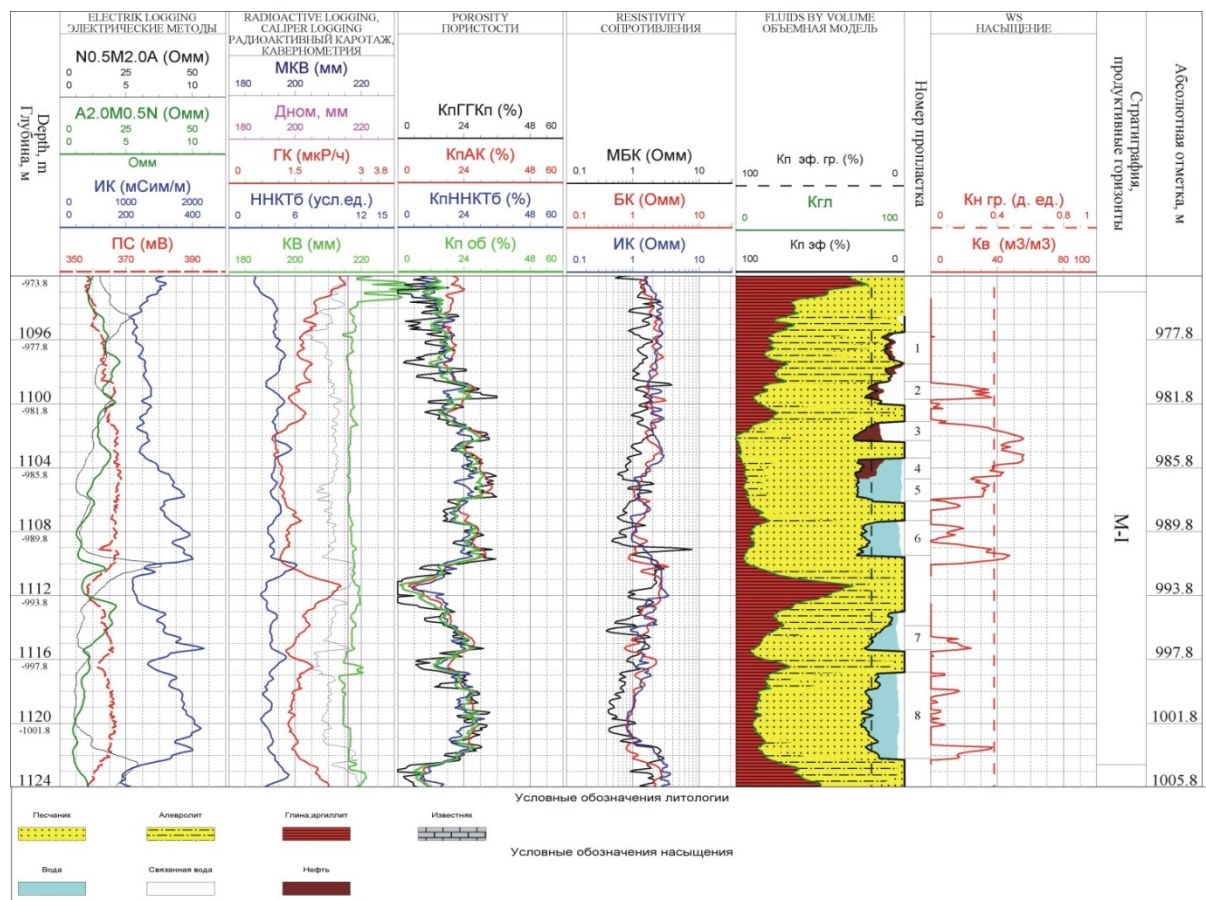


Рис. Пример выделения пластов-коллекторов на месторождении «Кумколь» (скважина № 214 ВК) для стратиграфического горизонта М-I с рассчитанными для них количественными характеристиками

Закключение

В работе были показаны этапы комплексной интерпретации данных ГИС открытого ствола для месторождения «Кумколь» (Казахстан), применяемые в ООО «ПИТЦ «Геофизика»», включающие в себя расчет таких количественных петрофизических характеристик пласта, как коэффициент нефтенасыщенности, коэффициент глинистости, коэффициент пористости.

Геофизические исследования скважин выполняются в большинстве скважин и являются одним из основных этапов, проводимых при поиске, разведке и разработке нефтегазовых месторождений. Расчет количественных петрофизических параметров пластов-коллекторов является трудоемкой и сложной задачей, зачастую имеющей неоднозначное решение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Косков В.Н.** Геофизические исследования скважин. Учебное пособие. – Пермь: Пермский ун-т, 2006.
2. **Пересчет запасов нефти, газа, конденсата и попутных компонентов месторождения «Кумколь» по состоянию на 01.01.2008 г.** (Кызылординская область Республики Казахстан). – АО «НИПИнефтегаз», 2008.

ПОВЫШЕНИЕ ИНФОРМАТИВНОСТИ ПРИ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ ДВУХЗОНДОВЫХ ПРИБОРОВ КАРОТАЖА

¹А.К. Малиновский, ²А.Н. Некрасов
^{1,2}ОАО «Пермнефтегеофизика», г. Пермь
²Пермский государственный национальный
исследовательский университет, г. Пермь

Аннотация. В работе рассматривается проблема точек записи данных при каротаже двухзондовыми приборами. Предлагаются способы повышения точности оценок параметров и получения дополнительной информации при интерпретации данных двухзондовых приборов акустического и радиоактивного каротажа.

Введение

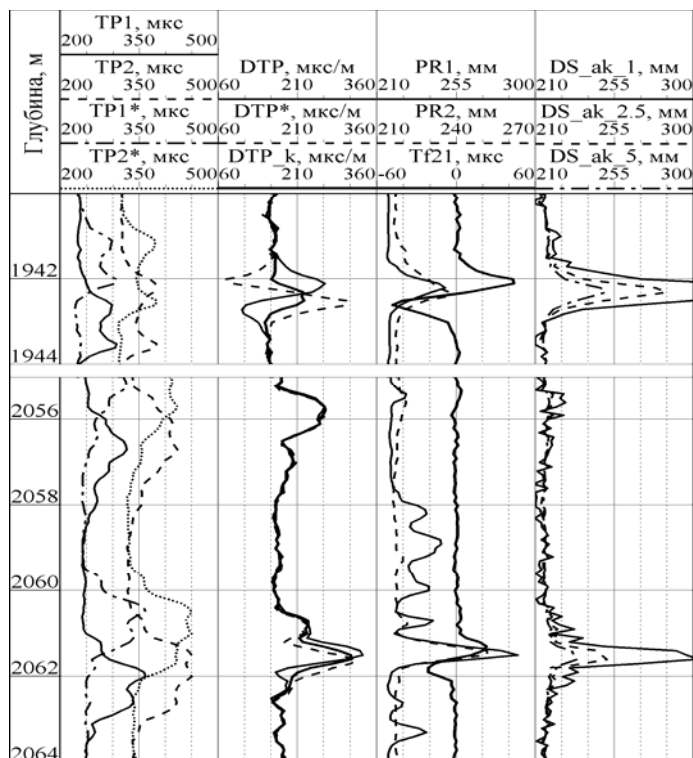
При интерпретации данных двухзондовых приборов можно использовать как показания каждого зонда в отдельности, так и взаимные параметры – обычно разность или отношение показаний. При этом нужно правильно установить точки записи показаний зондов и взаимных параметров. Нередко на практике двухзондовые параметры вычисляются по показаниям зондов, совмещенных по глубине. Продемонстрируем, что это приводит к искажениям информации и снижению разрешающей способности приборов. Покажем также, что при правильном учете точек записи можно получить дополнительную информацию.

Точки записи прибора акустического каротажа

Рассмотрим стандартный прибор акустического каротажа (АК) с одним излучателем и двумя приемниками. Формула прибора ИЛ1ПЛП (И – излучатель, L_1 – длина короткого зонда, L – длина базы). Интервальное время (ΔT) определяется по разности времен (T_2 и T_1), регистрируемых длинным и коротким зондами. У всех трех величин разные точки записи [1, 2]. Пусть перед вычислением ΔT кривые T_2 и T_1 совмещены по их точкам записи, как это делается, например, в регистраторе «Кедр». Вычисленная в результате такой процедуры кривая ΔT отражает разрез с большими искажениями, зависящими от длин зондов. Для правильного вычисления ΔT точки записи необходимо отнести к середине базы. В этом случае полученная кривая с более высоким разрешением отражает разрез, коррелирует с другими методами ГИС. Это справедливо и для коэффициента затухания акустических волн, вычисляемого по отношению амплитуд. Если же интерпретируется показание одного зонда, например амплитуда, то кривую следует сдвинуть на расстояние, равное разности точек записи зонда и базы.

Псевдоприбор для компенсации изменений диаметра скважины

Псевдоприбор АК – это воображаемый прибор, перевернутый относительно середины базы. Пренебрегая незначительным отклонением лучей акустических волн в скважинной жидкости от перпендикуляра к стенке скважины, можно считать, что все данные псевдоприбора уже имеются в наборе данных реального прибора. Если глубины данных кривой времени пробега по малому зонду TP_1 уменьшить на длину большого зонда L_2 , а глубины кривой времени пробега по большому зонду TP_2 – на длину малого зонда L_1 , то полученные кривые TP_1^* и TP_2^* (рис. 1) можно считать данными псевдоприбора. Построение псевдоприбора возможно благодаря принципу обратимости акустических систем. Усреднение интервального времени по реальному и псевдоприбору компенсирует искажения, обусловленные изменением диаметра скважины на длине базы прибора. Пример на рис. 1 иллюстрирует сказанное.



В интервале каверны (1941.7–1942.7 м) интервальные времена DTP и DTP^* , полученные по реальному и псевдоприбору, имеют характерные Z-образные искажения. После усреднения на кривой DTP_k искажения исчезли. Аналогичная ситуация в интервале 2061–2062 м.

Рис. 1. Компенсированное интервальное время и акустический псевдиаметр

Акустический псевдокаверномер

Используя данные псевдоприбора, можно вычислить разницу времен распространения акустического сигнала по скважинной жидкости между стенкой скважины и приемниками:

$$Tf21 \equiv Tf2 - Tf1 = \frac{1}{2} \cdot (TP2 - TP1 - TP2^* + TP1^*). \quad (1)$$

Напротив каверн кривая $Tf21$ имеет характерный Z-образный вид (рис. 1), по которому можно судить об их наличии и границах. Зная $Tf21$ и интервальное время во флюиде (DTf), можно вычислить кривую разности диаметров скважины напротив приемников:

$$dDS_{ak} = \frac{2 \cdot Tf21}{DTf}. \quad (2)$$

Зная этот параметр, мы можем рассчитать акустический псевдиаметр. Пусть длина базы равна 50 см, а шаг по глубине – 10 см. В интервале, равном длине базы, присвоим кривой псевдиаметра значения, равные минимальным по двум профилям:

$$DS_{ak_i} = \min(PR1_i, PR2_i), \quad i=1, 2, 3, 4, 5, \quad (3)$$

где i – номер первых пяти отсчетов по глубине. Остальные точки DS_{ak} вычислим, «двигаясь» по отсчетам:

$$DS_{ak_j} = DS_{ak_{j-5}} + \frac{dDS_{ak_j}}{0}, \quad j=6, 7, 8... \quad (4)$$

Пример кривых псевдиаметра показан в правой колонке рис. 1. Три кривые отличаются разными значениями коэффициента учета погрешности, обусловленной не вполне корректным решением задачи. Интервалы, в которых только одна из кривых профилометрии показывает значительное увеличение диаметра, не отмечаются увеличением значений акустического псевдиаметра DS_{ak} . Примером является интервал 2058–2060 м на рис. 1. Причина в том, что акустический сигнал проходит по кратчайшей образующей стенки скважины. Таким образом, сопоставляя DS и DS_{ak} , можно отличить всестороннее расширение скважины, обусловленное размытием породы, от вывалов, обусловленных, например, анизотропией тектонических напряжений в породе.

Точки записи приборов радиоактивного каротажа

Если интерпретировать показания каждого из зондов приборов радиоактивного каротажа (РК), например, нейтрон-нейтронного (ННК), или гамма-гамма (ГГК) каротажа, показания зондов нужно совместить по точкам записи. Соответствующие кривые характеризуют интервал разреза на длине зондов. Но после такого совмещения не ясно, к какому интервалу отнести отношение показаний зондов (A), т.к. их длины различны.

Кривые скорости счета малого и большого зондов прибора ($ННКм^*$ и $ННКб^*$), совмещенные по точкам записи, и кривая A^* показаны на рис. 2. Отмечается хорошая корреляция кривых $ННКм^*$ и $ННКб^*$ между собой и плохая корреляция кривой A^* с кривой естественной радиоактивности породы (ГК). В случае отнесения точки записи к середине между детекторами корреляция между показаниями зондов ($ННКм$ и $ННКб$ на рис. 2) нарушается, но соответствующее им отношение A хорошо коррелирует с ГК и кривой электрической проводимости σ . Разрешающая способность ННК возросла. Таким образом, если интерпретируется отношение показаний зондов РК, то сами показания зондов следует относить к точке, расположенной на середине между детекторами, к середине базы [2].

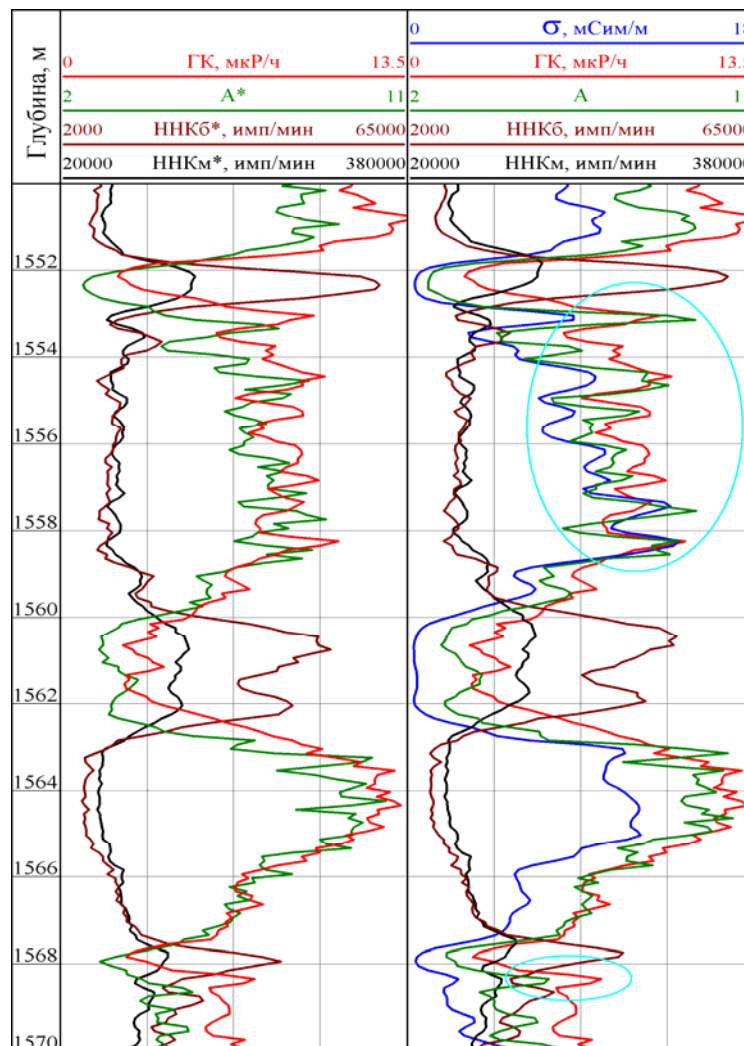


Рис. 2. Точки записи радиоактивного каротажа

Если скорость движения прибора увеличить (скорость в данном примере 8–9 см/с), то описанный эффект увеличения разрешающей способности метода правильным учетом точки записи будет «смазан». При снижении же скорости записи или уменьшении постоянной времени τ (для этого требуется увеличить мощность источника) разрешающая способность метода может быть еще увеличена.

Псевдоприбор радиоактивного каротажа

Излучатель и приемник прибора радиоактивного каротажа не эквивалентны, поэтому построение псевдоприбора невозможно. Для компенсации изменений диаметра скважины на длине базы прибора РК предлагаем применять приборы, в которых источник нейтронов (или гамма-квантов) находится в центре двух симметрично расположенных пар счетчиков.

Псевдокаверномер радиоактивного каротажа

Основные технические факторы, влияющие на показания зондов РК, – диаметр скважины и свойства промывочной жидкости (минерализация и плотность). В меньшей степени эти факторы влияют на параметр A , в большей – на показания малого зонда. Таким образом, имеются предпосылки для оценки диаметра скважины по данным ННК. Это можно сделать разными способами. Примеры показаны на рис. 3. Кривая DS_A была построена следующим образом. Определен параметр A . Установлена степенная зависимость показаний малого зонда $ННК_m$ от A в интервалах номинального диаметра:

$$ННК_m = a \cdot A^b. \quad (5)$$

По этой зависимости построена синтетическая кривая $ННК_m_A$, относительная разность синтетической и реальной кривых нормирована на показания каверномера.

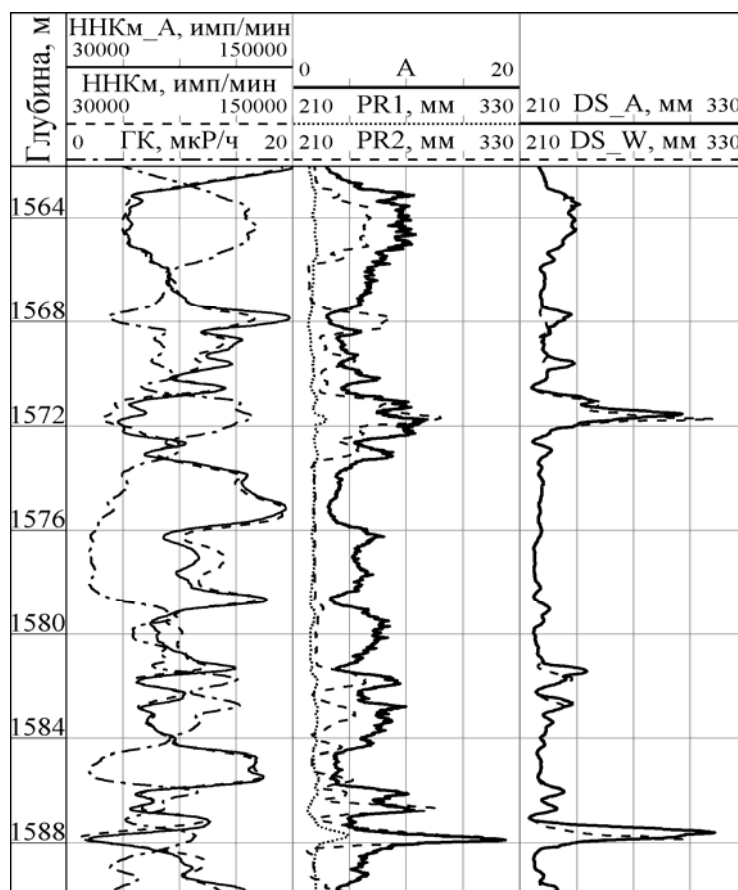


Рис. 3. Псевдодиаметры радиоактивного каротажа

Кривая псевдодиаметра DS_W получена другим способом – сравнением значений коэффициента пористости породы, вычисленных по зависимостям от A и от $ННК_m$.

Возможны и другие варианты оценки диаметра скважины по ННК. На это недавно обратили внимание Я.С. Гайфуллин и А.И. Лысенков [3].

Оценка минерализации промывочной жидкости

При градуировке приборов ННК в стандартных образцах пористости и плотности ГУП ЦМИ «Урал-Гео» (г. Уфа) одним из авторов были выполнены исследования зависимости показаний зондов от минерализации промывочной жидкости.

В результате оказалось возможным по данным ННК оценивать минерализацию жидкости в скважине. Как и кавернозность ствола скважины, минерализация влияет на показания короткого зонда в большей степени, чем на отношение A . Удастся подобрать формулы, отличающиеся для различных приборов, и оценить по ним минерализацию раствора в скважине. Эмпирическая формула для прибора ПРК-73 имеет вид:

$$C_{_nнк} \approx \frac{dWmz}{0.0061 \cdot W - 0.0086 \cdot dWmz + 0.19}, \quad (6)$$

где $C_{_nнк}$ – минерализация в г/л, W – пористость породы в %, вычисленная по отношению показаний зондов, $dWmz$ – разность значений пористости, вычисленных по показаниям малого зонда и по отношению показаний зондов: $dWmz = Wmz - W$. Оценку минерализации следует производить в интервалах номинального диаметра скважины. Метод опробован в нескольких скважинах и дал хорошие результаты.

Необходимость уменьшения шага регистрации данных по глубине

Значения точек записи приборов определяются их геометрическими размерами. Поскольку разница между точками записи не кратна шагу по глубине, возникает дополнительная погрешность при совмещении двухзондовых кривых с однозондовыми. По нашему мнению, в зависимости от геометрии зондов приборов существует необходимость уменьшения шага регистрации до 5, 2, и в некоторых случаях – до 1 см. Еще лучше вообще отказаться от постоянного шага, а регистрировать данные по глубине так часто, как позволяет данный конкретный прибор и диктуют геологические условия. Единственным препятствием к этому в настоящее время является программное обеспечение, ориентированное на постоянный шаг по глубине.

Выводы

1. Разрешающая способность двухзондовых приборов повышается, если отношение показаний зондов вычислять не по совмещенным к одной точке записи, а по одновременным отсчетам.
2. При обработке акустического каротажа построение псевдоприбора снижает погрешность оценок параметров породы.
3. Используя псевдоприбор акустического каротажа, можно оценить диаметр скважины и выделить интервалы анизотропных разрушений ствола.
4. Для компенсации изменений диаметра скважины на длине базы прибора РК необходимо применять четырехзондовые симметричные приборы.
5. Эффективны различные варианты построения псевдодиаметра скважины по данным двухзондовых приборов РК, в том числе и в отсутствие градуировок отдельных зондов.
6. Возможна оценка минерализации жидкости в скважине по ННК, по крайней мере в интервалах номинального диаметра.
7. Целесообразно уменьшить шаг регистрации данных ГИС по глубине, основываясь на возможностях конкретной аппаратуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Резванов Р.А.* Радиоактивные и другие неэлектрические методы исследования скважин: Учебник для вузов. – М.: Недра, 1982. – 368 с.
2. *Техническая инструкция по проведению геофизических исследований и работ приборами на кабеле в нефтяных и газовых скважинах* / РД 153–39.0–072–01: принят и введен в действие приказом Минэнерго России от 7.05.01. №134. – М.: ГЕРС, 2001. – 280 с.
3. *Гайфуллин Я.С., Лысенков А.И.* Оценка возможности прогноза диаметра горизонтальной скважины по данным измерений двухзондовыми модификациями нейтрон-нейтронного каротажа // НТВ Каротажник. – Тверь: АИС, 2008. – Вып. 6 (195). – С. 57–62.

МОНИТОРИНГ СЕЙСМИЧЕСКОГО ОТКЛИКА МАССИВОВ ГОРНЫХ ПОРОД НА РАЗРАБОТКУ

А.Ж. Мендецки, Д.А. Маловичко
*Институт шахтной сейсмологии,
г. Хобарт, Австралия и г. Стелленбош, ЮАР*

Аннотация. Сейсмический отклик массивов горных пород на разработку отличен от сейсмичности, индуцированной тектоническими процессами. Регистрируемая в рудниках и шахтах сейсмическая активность в большей степени определяется объемами и динамикой извлечения горных пород, чем тектоническими силами. Механизмы очагов сейсмических событий многообразны в силу разнообразия форм разрушения в разрабатываемых массивах, а также наличия выработок и искусственных источников (взрывов). Разрушение в массиве, как правило, ограничено очаговой областью. Очаги событий часто доступны для визуального наблюдения. Массив, в котором распространяются сейсмические волны, обычно хорошо изучен. Волновые формы сейсмических событий в основном представлены объемными волнами и их достаточно легко обрабатывать. В данной статье обсуждаются различные аспекты сейсмического мониторинга в рудниках и шахтах: описание очагов событий, восстановление и применение механизмов очагов, описание очаговых параметров, анализ устойчивости породных массивов по параметрам сейсмичности, оценка сейсмической опасности. Учитывая нестационарный характер нагружения разрабатываемых массивов для оценки периодичности событий определенного размера целесообразно использовать не время, а извлеченный или планируемый к извлечению объем горных пород.

Введение

Невозможно управлять силами, приводящими к тектоническим землетрясениям. Данные силы являются достаточно медленно меняющимися, по сравнению с изменениями напряжений, вызываемыми горными работами. Подобное медленное нагружение способствует процессам самоорганизации, которые ведут к состояниям, в которых в системе развиваются воспроизводимые взаимосвязи между удаленными частями [1–3]. Предполагается, что такой рост дальнемасштабной корреляции приводит к возникновению крупных сейсмических событий. Данные события в свою очередь приводят к частичной декорреляции в системе, после чего процесс повторяется [4]. При таком сценарии представительный каталог крупных исторических землетрясений и информация о геологических структурах могут дать правдоподобную оценку будущей сейсмической опасности. Проблема состоит в том, что временной масштаб сейсмического цикла является большим и, как правило, имеющиеся сейсмические данные ему не адекватны. Геологические нарушения в свою очередь обычно труднодоступны, и сведения об их размерах, ориентировке и свойствах скудны.

Горные работы не являются спонтанным процессом – они вызывают напряжения в определенном месте и в определенное время. Напряжения, индуцированные горными работами, гораздо более изменчивы, по сравнению с тектоническими напряжениями. Средняя скорость индуцированных деформаций на два порядка превышает скорость движения тектонических плит. Так, мгновенное сдвигание кровли забоев после проведения взрывных работ в глубоких золотодобывающих рудниках ЮАР может достигать 1 см, а в последующие дни скорость сдвигания может составлять 1.5 см/день [5]. Деформация подземных выработок приводит к релаксации напряжений. В связи с этим афтершоки даже крупных сейсмических событий в рудниках длятся только несколько дней.

Учитывая небольшую задержку отклика массива, основная часть сейсмической активности на рудниках проявляется с началом извлечения горных пород, нарастает с увеличением объемов выемки и затухает при прекращении горных работ. В качестве примера на рис. 1 представлен отклик массива на 11-дневный перерыв горных работ в декабре 2010 г. – январе 2011 г. Другой пример краткосрочного отклика показан на рис. 2. Видно, что распределение сейсмичности по дням недели хорошо коррелируется с недельным графиком добычи.

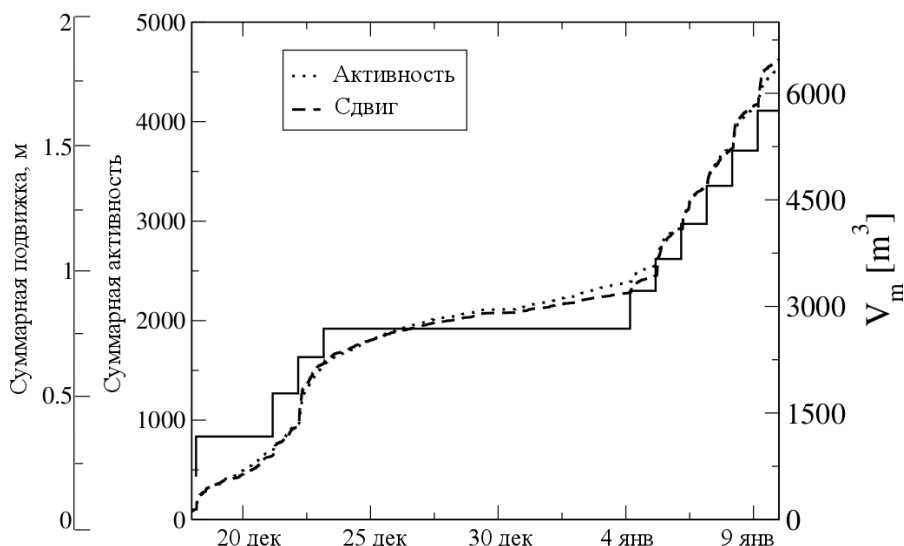


Рис. 1. Спад сейсмической активности во время Рождественского перерыва 2010 г. в золотодобывающем руднике ЮАР [6]

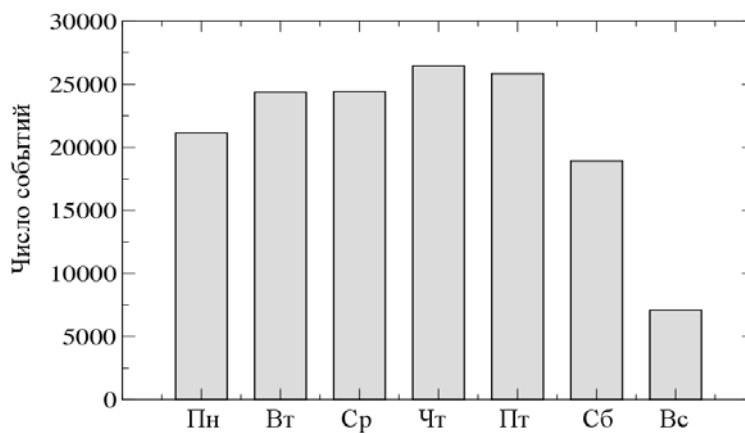


Рис. 2. Сейсмическая активность, зарегистрированная в течение трех лет на руднике с ограниченными горными работами по субботам и их отсутствием по воскресеньям [6]

Многолетние крупномасштабные горные работы изменяют режим региональных напряжений и могут индуцировать техногенные землетрясения, которые слабо коррелируются с последней разработкой. Примерами являются многочисленные землетрясения: в Бельчатове (Польша) с магнитудой 4.6 в 1980 г. [7], в Хибинах (Россия) с магнитудой 4.2 в 1989 г. и с магнитудой 4.5 в 1995 г. [8], в Ньюкасле (Австралия) с магнитудой 5.6 в 1989 г. [9,10], в Калгурли (Австралия) с магнитудой 5.1 в 2010 г. [11, 12], в Велкоме (ЮАР) с магнитудой 5.0 в 1976 г. [13, 14] и в Клерксдорпе (ЮАР) с магнитудой 5.3 в 2005 г. [15]. Специфическим типом индуцированных землетрясений являются масштабные обрушения кровли выработок, обусловленные каскадными разрушениями целиков. Примерами являются землетрясения 1995 г. – с магнитудой 4.7 в Соликамске (Россия) [16, 17] и с магнитудой 5.1 в Троне (США) [18].

Типичное кумулятивное распределение геометрических моментов событий показано на рис. 3. Определение геометрических моментов дается ниже (см. выражение (8)). Отметим, что интервал повторения событий заменен средним извлеченным объемом, необходимым для генерирования сейсмического события больше определенного размера. Средний интервал между событиями с $\lg P > 0.5$ составляет 2.96 дня со стандартным отклонением 4.54 дня, чему соответствует коэффициент вариации $C_v = 2.96/4.54 = 1.53$. Средний извлеченный объем горных пород между событиями V_m составляет 655 м^3 со стандартным отклонением 298.76 м^3 , что дает $C_v = 0.45$.

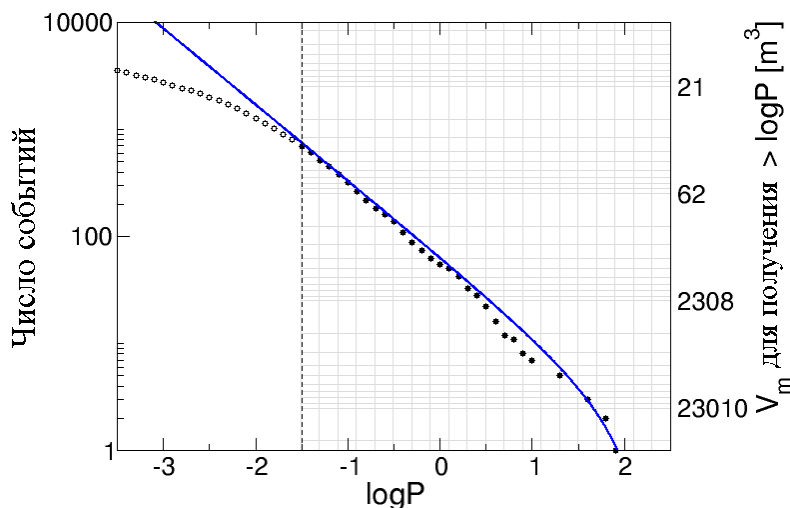


Рис. 3. Распределение геометрических моментов по отношению к извлеченному объему пород [6]

Чем выше коэффициент вариации, тем более изменчив или кластеризован процесс. Равномерное распределение имеет нулевое стандартное отклонение и, следовательно, $C_v = 0$. Квазипериодический процесс характеризуется $0 < C_v < 1$, а для кластеризованного – $C_v > 1$. Таким образом, для количественного описания повторяемости сейсмических событий лучше использовать извлеченный объем пород, чем время. В то же время крупные события распределены менее регулярно и описания повторяемости в терминах извлеченного объема и времени равнозначны.

Сейсмические события, вызванные горными работами, могут иметь различные механизмы. Примерами являются: разрушение в напряженной части массива на контуре выработки, подвижка по ослабленной поверхности, хрупкое разрушение целика, гравитационное обрушение кровли выработки и отработанного блока. Массовые и подготовительные взрывы с сопутствующим сейсмическим откликом массива также вносят вклад в многообразие механизмов сейсмических очагов, наблюдаемых в рудниках и шахтах.

Еще одним специфическим фактором шахтной сейсмологии является сравнительно простой вид волновых форм сейсмических событий. Во многом это обусловлено отсутствием локальных резонансных эффектов в пунктах регистрации благодаря тому, что сейсмические датчики устанавливаются в скважинах, за пределами зоны нарушенных пород на контуре выработок. Довольно часто волновые формы состоят из импульсов прямых P - и S -волн с относительно небольшой кодой.

Каталог шахтных сейсмических событий, как правило, является представительным, а геологическое строение рудного тела и вмещающего массива хорошо исследованы. Имеющиеся сейсмические каталоги полезны для сопоставления отклика горных пород на различные варианты отработки, однако в силу нестационарного характера горных работ они не являются наилучшими индикаторами будущей сейсмической опасности. Прогноз сейсмической опасности должен учитывать будущие горные работы [19].

Описание сейсмических очагов

Распространение сейсмических волн в массивах горных пород обычно удовлетворительно описывается уравнениями динамической теории упругости, которые являются комбинацией фундаментальных законов Ньютона и эмпирического закона Гука:

$$\frac{\partial y_{ij}^e}{\partial x_j} = c u_i, \quad y_{ij}^e = c_{ijkl} e_{kl}, \quad (1)$$

где c_{ijkl} – тензор упругих постоянных, ρ – плотность, u_i и \ddot{u}_i – смещение и ускорение частицы среды, соответственно, y_{ij}^e и $\varepsilon_{kl} = 1/2(\partial u_k/\partial x_l + \partial u_l/\partial x_k)$ – ассоциированные со смещением тензоры напряжения и деформации. Обратите внимание, что данные напряжения и деформации рассматриваются не в абсолютном смысле, а как возмущения по отношению к выбранному опорному состоянию.

Для большинства динамических процессов (вспарывание разрыва, хрупкое разрушение целика, подготовительный или массовый взрыв и т.п.) поведение породы внутри некоторого объема V_0 не может быть описано законом Гука, т.е. реальное напряжение не связано линейно с деформацией ($\sigma_{ij} \neq c_{ijkl} \varepsilon_{kl}$). Уравнения динамической теории упругости останутся справедливыми, если только к ним будет добавлен дополнительный член:

$$\frac{\partial y_{ij}^e}{\partial x_j} = c u_i + f_i, \quad f_i = \frac{\partial y_{ij}^e}{\partial x_j} - \frac{\partial y_{ij}}{\partial x_j}. \quad (2)$$

Фиктивные силы, появляющиеся в уравнениях, называются *эквивалентными объемными силами* [20]. Данные силы отличны от нуля только в объеме V_0 , где модельные напряжения y_{ij}^e отличаются от реально действующих y_{ij} . Данный объем называется очаговой областью. Соответственно, сейсмический очаг может рассматриваться как результат временного локализованного нарушения линейной связи между напряжениями и деформациями [20]. В практическом плане сейсмический очаг может быть определен как внезапная неупругая деформация, которая излучает сейсмические волны, которые могут быть зарегистрированы.

Эквивалентные силы могут быть описаны либо тензором плотности *излишка напряжения* $\Gamma_{ij} = y_{ij}^e - y_{ij}$, который представляет собой разницу между модельным и реальным напряжениями, либо тензором плотности *излишка деформации* (или *свободной от напряжения деформации*) $e_{ij}^* = \varepsilon_{ij} - e_{ij}^+$, представляющей разность между реальной деформацией и фиктивной упругой деформацией, воспроизводящей реальные напряжения ($\sigma_{ij} = c_{ijkl} e_{kl}^+$):

$$f_i = \frac{\partial \Gamma_{ij}}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} (c_{ijkl} e_{kl}^*).$$

Геомеханический смысл плотностей излишка деформации и напряжения показаны на рис. 4.

Эквивалентные силы приложены к упругой среде, и они в точности воспроизводят реальные смещения в среде внутри и за пределами области V_0 (рис. 4). Это дает возможность представить поле смещений при помощи функции Грина G_{si} уравнений динамической теории упругости (1). Функция Грина имеет аналитическое выражение для случая бесконечной однородной изотропной среды, часто являющейся хорошим приближением для описания массивов горных пород. В общем случае неоднородной среды функция Грина может быть получена путем численного решения уравнений динамической теории упругости.

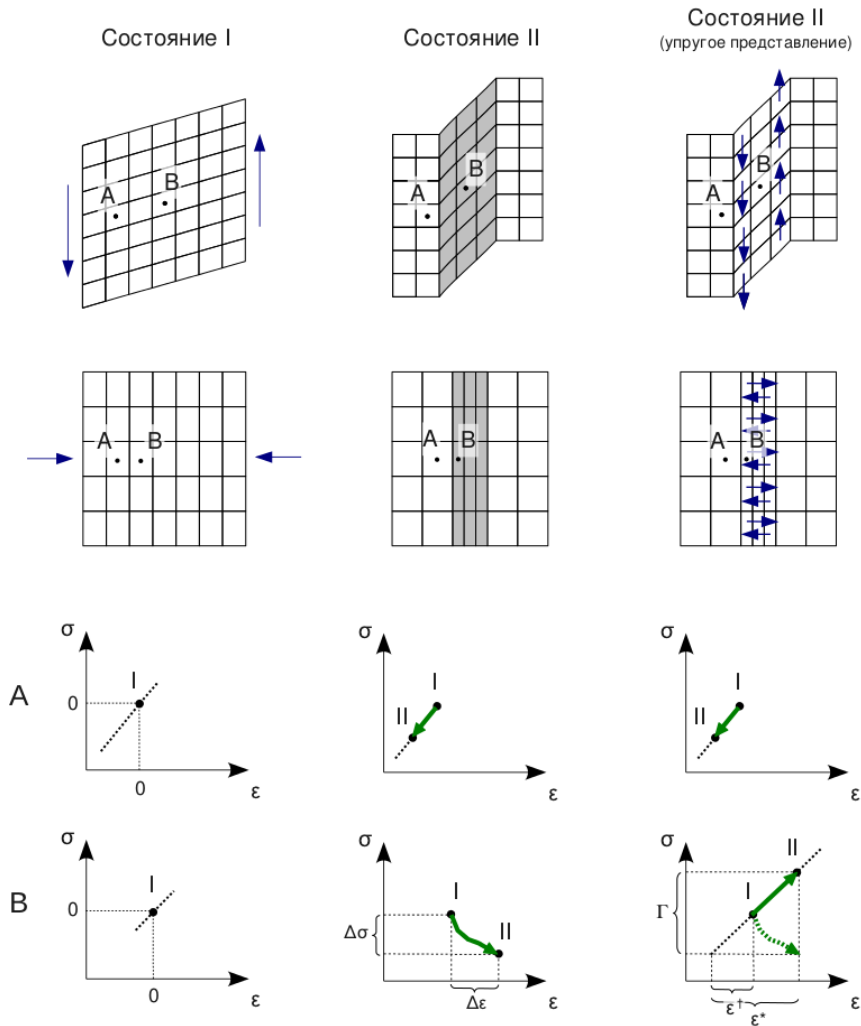


Рис. 4. Иллюстрация напряжений и деформаций, используемых для описания очагов сейсмических событий.

Среда ведет себя упруго во всех частях объема в состоянии I. Данное состояние выбрано как опорное (т.е. для него как σ , так и ϵ являются нулевыми). Часть объема, обозначенная серым цветом, при переходе в состояние II испытывает неупругую деформацию $\Delta\epsilon$, сопровождающуюся сбросом напряжения $\Delta\sigma$. Неупругая деформация может быть воспроизведена в упругой среде посредством приложения эквивалентных сил (показаны синими стрелками на правых верхних диаграммах). Нижние графики показывают эволюцию напряжений и деформаций в двух частях среды – в области неупругих деформаций (B) и за ее пределами (A). Обратите внимание, что для фиксированной деформации в упругой области, чем более узкой является зона неупругой деформации, тем большая будет разница между излишком напряжения Γ и сбросом напряжения $\Delta\sigma$, и меньше будет различие между излишком деформации ϵ^* и неупругой деформацией $\Delta\epsilon$. В предельном случае трехмерный объем неупругой деформации схлопывается в поверхность, на которой смещения претерпевают разрыв. Соответствующий излишек деформации называется плотностью *геометрического момента очага* p и он пропорционален разрыву смещений Δu

Использование излишков напряжения и деформации дает следующие два подхода для моделирования излучаемых сейсмических волн.

1. Излишек напряжения:

$$u_s(\mathbf{x}, t) = \iiint_{V_0} \Gamma_{ij}(\mathbf{o}, t) * \frac{\partial G_{si}(\mathbf{x}, \mathbf{o}, t)}{\partial o_j} dV(\mathbf{o}). \quad (3)$$

Смещение как внутри объема V_0 , так и за его пределами описывается как отклик на приложение силовых диполей в пределах V_0 (рис. 5). Как отмечено в работах [21, 22], данное представление неоднозначно в случае источника на границе двух сред с различными свойствами.

2. Излишек деформации:

$$u_s(\mathbf{x}, t) = \iiint_{V_0} e_{kl}^*(\mathbf{o}, t) * c_{klj}(\mathbf{o}) \frac{\partial G_{is}(\mathbf{o}, \mathbf{x}, t)}{\partial o_j} dV(\mathbf{o}). \quad (4)$$

Данное выражение также моделирует смещение как внутри объема V_0 , так и за его пределами. При этом поле смещений описывается через свертку плотности излишка деформации с напряжениями, индуцируемыми в V_0 при приложении сосредоточенной силы в местоположении приемника \mathbf{x} . Данное представление является предпочтительным, по сравнению с предыдущим, поскольку оно не приводит к упомянутой неоднозначности в случае контакта двух сред с различными свойствами.

3. Если интерес представляет описание сейсмических волн только за пределами объема V_0 , то возможно также следующее представление в виде интеграла Кирхгоффа:

$$u_s(\mathbf{x}, t) = \iint_{\partial V_0} \left[T_i(\mathbf{o}, t) * G_{si}(\mathbf{x}, \mathbf{o}, t) - c_{ijkl}(\mathbf{o}) u_l(\mathbf{o}, t) n_j(\mathbf{o}) * \frac{\partial G_{sk}(\mathbf{x}, \mathbf{o}, t)}{\partial o_l} \right] dS(\mathbf{o}), \quad (5)$$

где n – единичная нормаль к поверхности очага ∂V_0 , T – вектор напряжения ($T_i = \sigma_{ij} n_j$) на данной поверхности. Сейсмическое излучение описывается как отклик среды на распределение сосредоточенных сил и силовых диполей на поверхности ∂V_0 (рис. 5).

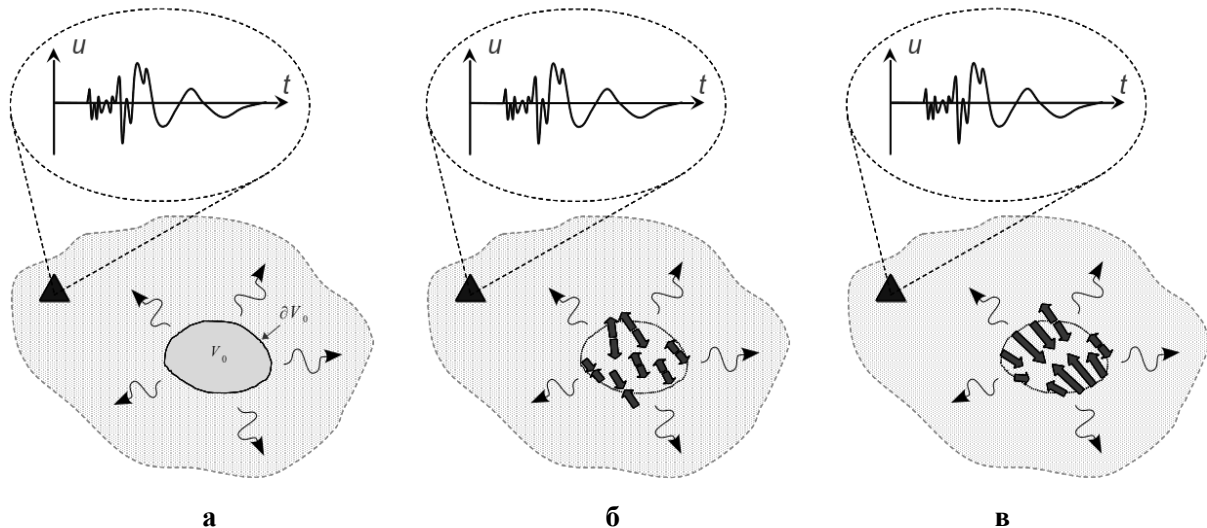


Рис. 5. Неупругая деформация в V_0 порождает в окружающем массиве вибрации, которые регистрируются сейсмическим датчиком (а). Существует несколько подходов к моделированию возбуждаемых колебаний в предположении, что материал ведет себя упруго повсюду (включая очаг V_0). В одном из подходов используется распределение силовых диполей внутри V_0 (б), в другом – распределение сосредоточенных сил и силовых диполей на поверхности очага ∂V_0 (в). Во всех подходах синтетические сейсмограммы воспроизводят зарегистрированные сигналы в полном виде и без искажений

Последний подход полезен в шахтной сейсмологии, поскольку он позволяет включить в очаг V_0 не только область неупругого поведения пород (к примеру, поверхность разрыва, разрушающийся целик), но и близрасположенные выработки, не моделируемые выбранной функцией Грина [23].

Аппроксимация сосредоточенным источником. Низкочастотная часть сейсмического излучения на удалении от очага не зависит от мелкомасштабных временных и пространственных деталей очагового процесса. Данная составляющая излучения может быть промоделирована полиномиальными моментами низкого порядка от описателей очага, представленных в (3)–(5) [20]. Для динамических процессов, исключая перемещение центра масс (как, например, оползень или обрушение пород кровли) [24], ненулевым моментом низшего порядка в (3) и (5) будет тензор сейсмического момента:

$$M_{ij} = \int_{V_0} \Gamma_j(\mathbf{o}, f \rightarrow \infty) dV(\mathbf{o}) \quad (6)$$

или

$$M_{ij} = \iint_{\partial V_0} [T_i(\mathbf{o}, t \rightarrow \infty)(o_j - o_j^0) - c_{ijkl}(\mathbf{o})u_k(\mathbf{o}, t \rightarrow \infty)n_l(\mathbf{o})] dS(\mathbf{o}), \quad \mathbf{o}^0 \in V_0. \quad (7)$$

Соответствующий член представления (4) называется геометрическим моментом очага [22]:

$$P_{ij} = \iiint_{V_0} e_{ij}^*(\mathbf{o}, t \rightarrow \infty) dV(\mathbf{o}). \quad (8)$$

Данные тензоры симметричны при условии, что материал в очаге не испытывает вращения [24]. Тензор сейсмического момента M_{ij} может интерпретироваться как комбинация из девяти силовых диполей, которые приложены в очаговой области, которая считается упругой (рис. 6). Тензор геометрического момента P_{ij} представляет собой сумму неупругой деформации ε и фиктивной упругой деформации e^+ , воспроизводящей реальное напряжение.

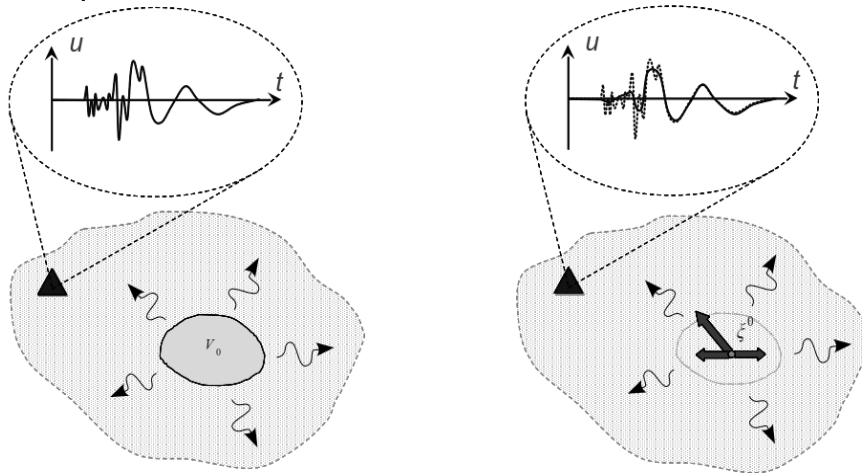


Рис. 6. Низкочастотная часть сейсмического излучения произвольного динамического процесса может быть описана комбинацией из сосредоточенной силы и силовых диполей, приложенных внутри очаговой области. Обратите внимание, что синтетический сейсмический сигнал воспроизводит только длиннопериодную составляющую сейсмической записи

Амплитуды компонент тензора сейсмического или геометрического момента интегрально характеризуются скалярным сейсмическим или геометрическим моментами, соответственно (M или P). Существуют различные определения данных величин [25]. В случае подвижки по плоскости в однородной изотропной среде используется следующее определение:

$$M = \overline{\Delta u} S, \quad P = \overline{\Delta u} S,$$

где $\overline{\Delta u}$ – средняя амплитуда подвижки, S – площадь подвижки, μ – модуль сдвига материала среды.

Геометрический и сейсмический моменты по результатам геомеханических расчетов. Для конкретного сценария очагового процесса тензоры сейсмического и геометрического момента очага могут быть смоделированы при помощи геомеханических расчетов. Данные расчеты дают либо неупругую деформацию или сброс напряжения внутри V_0 , либо смещения и поверхностное напряжение на ∂V_0 . Подстановка этих распределений в выражения (6)–(8) дает теоретические тензоры сейсмического и геометрического моментов.

Механизмы очагов сейсмических событий в рудниках

Интерпретация. Начальный шаг интерпретации обычно заключается в разложении тензоров M_{ij} или P_{ij} на две составляющие. Для большинства очаговых процессов тензоры сейсмического и геометрического момента обладают свойством симметрии компонент (редкие исключения см. в [24]) и в связи с этим у них будет только две составляющих – изотропная и девиаторная. Изотропная составляющая характеризует изменение объема в очаге сейсмического события. Например, для очага в виде сдвига на плоской поверхности данная составляющая равна нулю. Однако если источник представляет собой хрупкое разрушение целика или взрыв, то изотропная составляющая может быть существенной. Девиаторная составляющая описывает неупругое изменение формы в очаге.

Более детальная интерпретация тензора сейсмического момента или тензора геометрического момента предполагает следование определенной модели очагового процесса. К примеру, работая в рамках сдвиговой модели очага, по девиаторной составляющей M_{ij} или P_{ij} можно оценить два возможных варианта геометрических характеристик подвижки: пространственной ориентировки плоскости и направления сдвига на ней. Сброс напряжения и величина сдвигения кровли и почвы могут быть определены в случае хрупкого разрушения целика.

Визуализация. Обычным способом визуализации механизма сейсмического очага является отображение на окружающей его виртуальной сфере полярностей продольных волн (фаз сжатия либо растяжения), возбуждаемых данным очагом в дальней зоне. Подобная сфера с вынесенными полярностями изображается, как правило, в виде проекции на горизонтальную плоскость. Для случая сдвигового очага фокальная сфера разделяется двумя нодальными плоскостями на четыре квадранта с чередующимися полярностями (рис. 7 а). Для других очагов области фаз сжатия и растяжения могут иметь различные конфигурации. Например, в случае сложного разрушения, включающего одновременное развитие сдвиговой и отрывной трещин, механизм очага содержит изотропную компоненту (расширение), обуславливающую большую площадь области положительных полярностей, по сравнению с областями отрицательных знаков P -волны (рис. 7 б).

Восстановление. На сегодняшний день существует широкий спектр методов определения механизмов очагов для сейсмических событий, происходящих в разрабатываемых массивах горных пород. Одни методы работают в рамках определенной модели очага – обычно сдвиговой [28, 29], другие позволяют получать универсальную характеристику в виде тензора M_{ij} или P_{ij} [30, 31]. Также методы различаются объемом используемых данных – одни базируются только на полярностях и амплитудах продольных и поперечных волн, другие вовлекают в обработку полные записи волновых форм сейсмических событий.

Стоит отметить, что в условиях сейсмологических наблюдений на рудниках, шахтах и карьерах существует ряд аспектов, облегчающих оценку механизмов очагов. Во-первых, действующие на горнодобывающих предприятиях системы сейсмомониторинга, как правило, обеспечивают трехмерное окружение очаговой области сейсмическими датчиками, что отличает их от двумерных систем, используемых при региональном мониторинге. Во-вторых, контролируемые породные массивы обычно могут рассматриваться как однородные и изотропные, тогда как в земной коре в масштабах сотен и тысяч километров присутствуют существенные отклонения от однородности. Пример оценки механизмов сейсмических событий представлен на рис. 8. «Пляжными мячиками» здесь изображены механизмы семи крупных сейсмических событий, а также их 32 афтершоков, происходивших в течение шести лет на участке рудника, использующего систему разработки с принудительным обрушением руды и вмещающих пород. Желтым цветом показаны контуры полости обрушения.

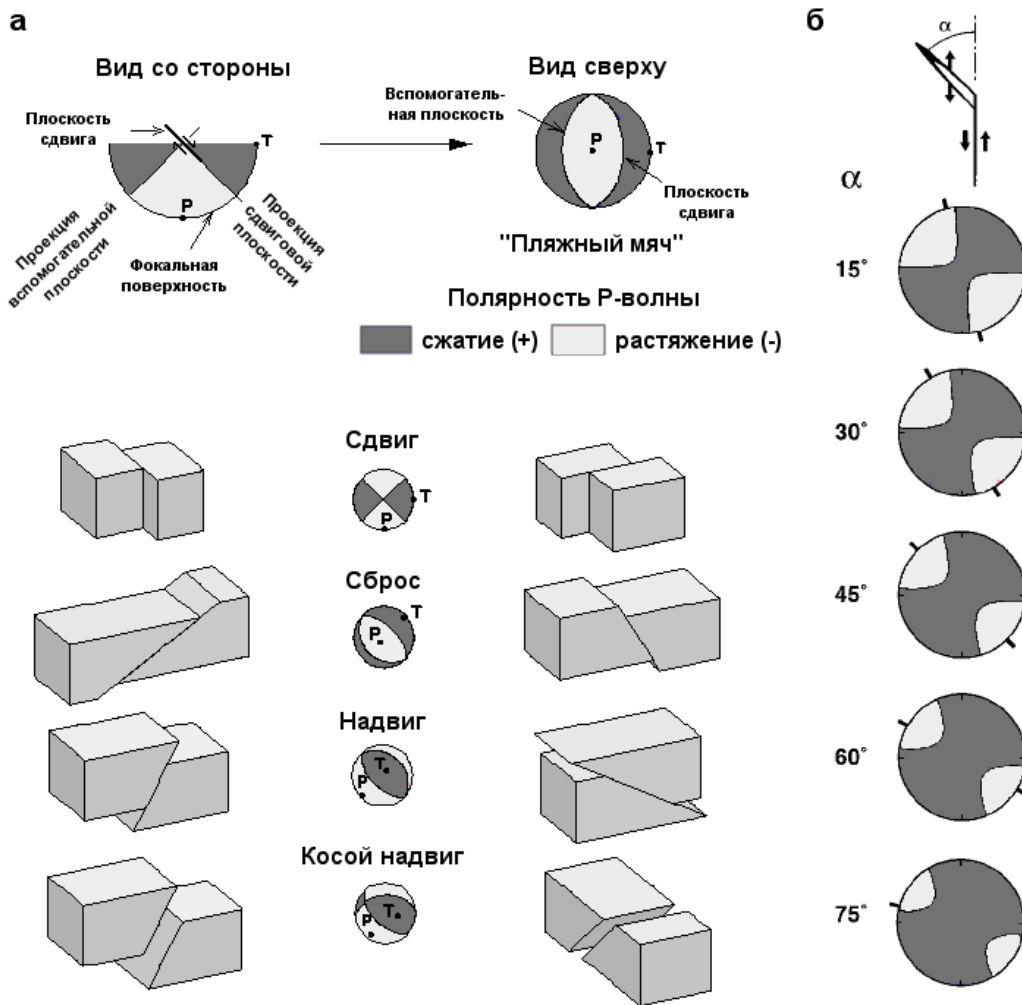


Рис. 7. Изображение механизмов сейсмических событий: распределение полярностей первых вступлений на фокальной сфере для различных вариантов сдвигового очага (а) [26]; механизм очага в случае комбинированного сдвигового и отрывного разрушения (б) [27]

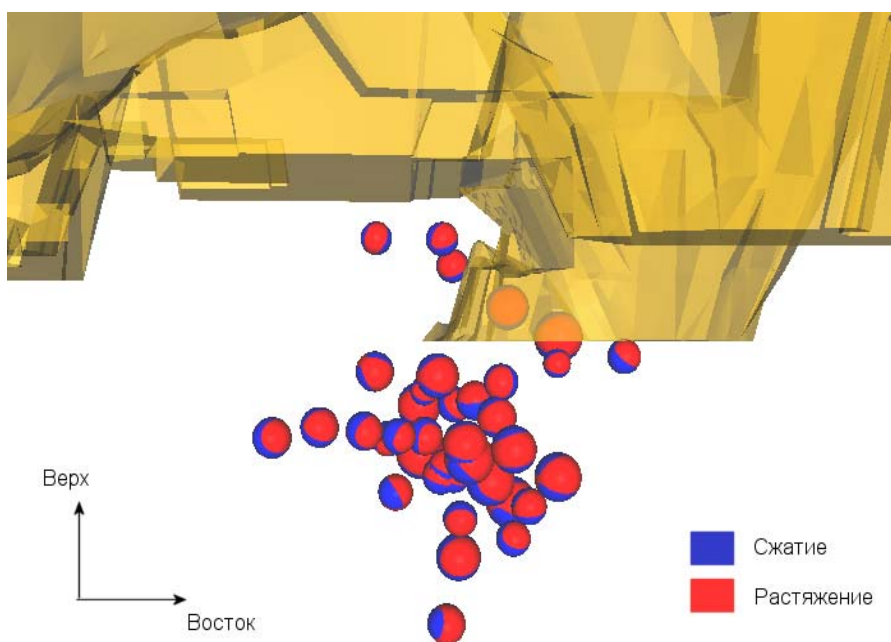


Рис. 8. Механизмы семи крупных сейсмических событий и их 32 афтершоков

В данном примере обращают на себя внимание два момента:

– незначительность изотропной составляющей в механизмах как крупных событий, так и афтершоков (изображение механизмов на рис. 8 близко к представленному на рис. 7 а). Данный момент дает основание считать, что в очагах событий преобладает сдвиговое разрушение;

– однотипность механизмов. Как видно из рис. 8, центры областей положительной полярности P -волн для большинства событий имеют вертикальную ориентировку. Центры областей отрицательной полярности в свою очередь имеют ориентировку «север–юг». Подобная однотипность указывает на постоянство факторов, обуславливающих происхождение данных событий в продолжение длительного периода времени (шести лет!).

Практическое применение. В целом механизмы сейсмических событий, регистрируемых в рудниках, шахтах и на карьерах, позволяют выходить на решение целого ряда практически важных задач:

– исследование причин конкретных горных ударов. В данном случае геометрические характеристики механизма, ассоциируемого с ударом сейсмического события (например ориентировка нодальных плоскостей), сопоставляются с параметрами известных геологических структур в районе очага. Другой подход предполагает геомеханическое моделирование возможных сценариев очага события или разрушения в выработках (например динамическое разрушения целика или его основания) и расчет теоретических механизмов согласно выражениям (6)–(8). Теоретические механизмы могут быть сопоставлены с механизмами, восстановленными по сейсмическим записям, давая возможность выбрать наиболее вероятный сценарий очагового процесса;

– оценка напряженного состояния массива горных пород. Совокупность геометрических характеристик очагов сейсмических событий, произошедших в некотором объеме среды, содержит сведения о напряженном состоянии данного объема, а именно о направлении главных осей напряжений и соотношении их амплитуд [32]. Рис. 9 показывает результаты применения метода, предложенного в [33, 34], к механизмам, представленным на рис. 8. Полученная ориентировка главных напряжений согласуется с данными геомеханических расчетов.

Количественное описание сейсмических событий

Местоположение и время в очаге. Под положением очага понимаются координаты точки в пределах очаговой области. Очаговый процесс может быть сложным, приводя к неоднозначности положения очага. К примеру, в случае подвижки по нарушению ближайшие сейсмопавильоны могут зафиксировать слабые сейсмические сигналы от начальной фазы вспарывания, тогда как на дальних сейсмопавильонах будут идентифицированы только сейсмические волны от более поздних фаз, соответствующих вспарыванию участков с большим сбросом напряжения. Таким образом, при локации очагов необходимо использовать сейсмические фазы, соответствующие одному эпизоду очагового процесса. В противном случае полученные координаты будут давать усредненное положение различных частей очага.

Аккуратная локация важна для:

– определения местоположения возможного горного удара;

– последующей сейсмологической обработки (например при расчете других очаговых параметров или оценке скоростей распространения и затухания сейсмических волн в массиве);

– интерпретации индивидуальных событий (к примеру, появление сейсмических событий на удалении от горных работ, вблизи шахтных стволов или в местах, не объяснимых с позиции геомеханических расчетов, требует специального внимания);

– дальнейшей интерпретации сейсмичности (кластеризации и миграции очагов, пространственно-временных градиентов сейсмических параметров).

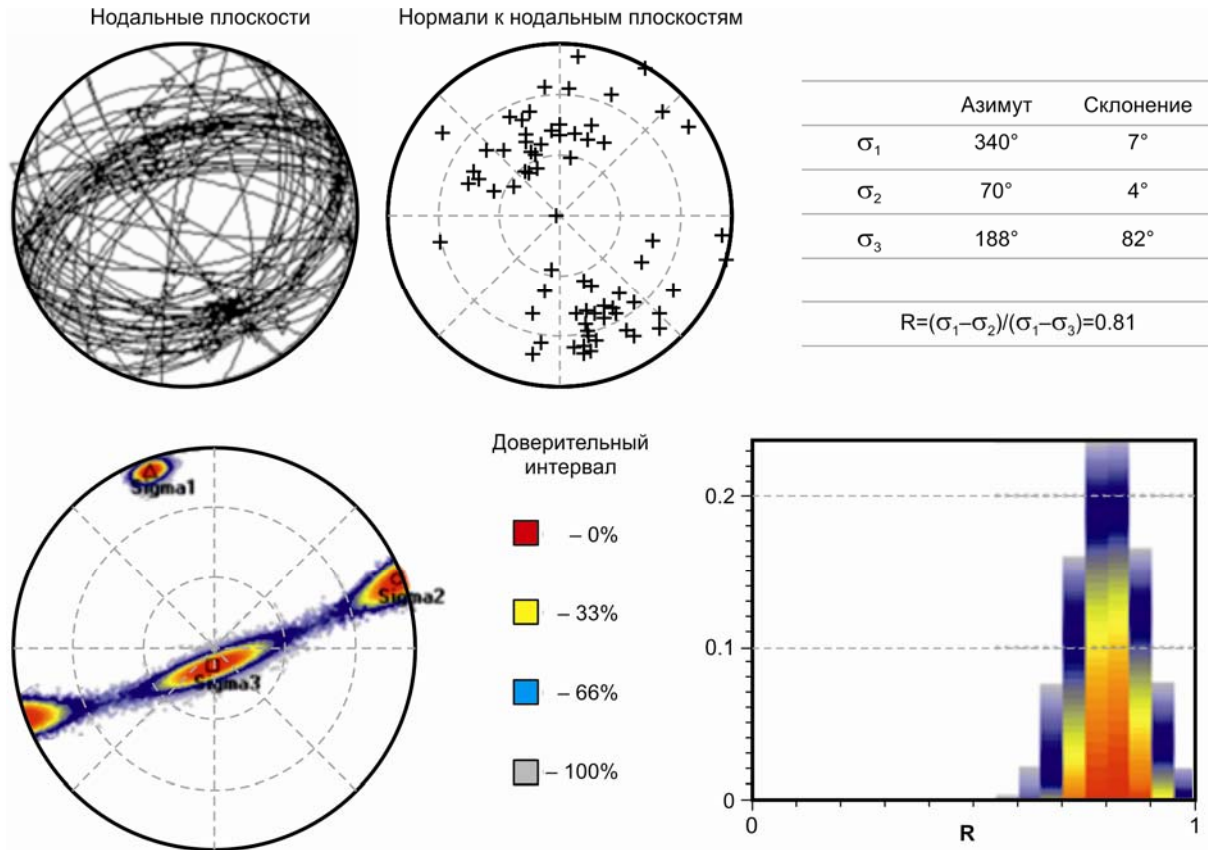


Рис. 9. Восстановление ориентировки главных напряжений и соотношения их амплитуд R по механизмам событий, показанных на рис. 8.

Полученное максимальное (сжимающее) напряжение ориентировано субгоризонтально в север-северо-восточном направлении, тогда как минимальное напряжение – вертикально. Минимальное и промежуточное напряжения имеют близкие амплитуды (параметр R близок к 1), что указывает на напряженное состояние одноосного сжатия

Так как очаг сейсмического события имеет конечные размеры, точность локации очагов в пределах определенной области должна быть сопоставима с размерами минимального надежно регистрируемого здесь события (табл. 1).

Таблица 1. Рекомендуемая минимальная точность локации для различных чувствительностей сейсмической системы, выраженной в $\lg P_{\min}$ (см. определение ниже). Размер очага для заданного $\lg P_{\min}$ оценен при сбросах напряжения 0.5 МПа и 0.1 МПа

Чувствительность, $\lg P_{\min}$	1.0	0.5	0.0	-0.5	-1.0	-1.5	-2.0
Точность локации, м	125–220	85–150	60–100	40–70	30–45	20–30	13–20
Размер очага, м	85	60	40	30	20	15	10

При наличии качественных сейсмических данных на шести ближайших трехкомпонентных сеймопавильонах точность локации может быть обеспечена в пределах 3% среднего гипоцентрального расстояния.

Геометрический момент очага. На удалении от очага геометрический момент пропорционален интегралу от импульса смещения в P - или S -волнах, скорректированном за направленность излучения $u_{\text{corr}}(t)$:

$$P_S = 4\rho h_S R \int_0^{t_S} u_{\text{corr}}(t) dt, \quad P_P = 4\rho h_P \left(\frac{h_S}{h_P} \right)^2 R \int_0^{t_S} u_{\text{corr}}(t) dt, \quad (9)$$

где $v_{P,S}$ – скорости P - или S -волн, R – расстояние до очага, t_S – длительность процесса в очаге ($u(0)=0$ и $u(t_S)=0$). Однако обычно сейсмический и геометрический моменты оцениваются в частотной области по уровню низкочастотной части спектра смещений в P - и S -волнах, $\Omega_{0,P}$ и $\Omega_{0,S}$ [35]:

$$P_S = 4\rho v_{P,S} R \frac{\mathcal{M}_{0,S}}{L_S}, \quad P_P = 4\rho v_{P,P} R \left(\frac{h_P}{h_S} \right)^2 \frac{\mathcal{M}_{0,P}}{L_P}, \quad (10)$$

где $L_{P,S}$ – корректирующие поправки за направленность излучения (осредненная по фокальной сфере амплитуда волн в дальней зоне). Для сдвигового очага $L_P=0.516$ для P -волн и $L_S=0.632$ для S -волн [36].

Сейсмическая энергия. Излученная и переносимая P - и S -волнами сейсмическая энергия пропорциональна интегралу квадрата скорости смещения в импульсе длительностью t_S , скорректированном за направленность излучения и поглощение:

$$E_{P,S} = \frac{8}{5} \rho c v_{P,S} R^2 \int_0^{t_S} \dot{u}_{corr}^2(t) dt, \quad (11)$$

где ρ – плотность пород, $v_{P,S}$ – скорости P - или S -волн, R – расстояние до очага. Сейсмическая энергия может быть также оценена путем интегрирования в частотной области. Устойчивые оценки достижимы при приемлемом отношении сигнал/помеха в окрестностях доминирующей (угловой) частоты сейсмического сигнала.

Кажущееся напряжение. Кажущееся напряжение σ_A определяется как отношение сейсмической энергии E к геометрическому моменту очага P :

$$y_A = \frac{E}{P}, \quad (12)$$

и, таким образом, оно характеризует количество излученной сейсмической энергии, приходящееся на единицу неупругой деформации [37].

Как правило, кажущееся напряжение изменяется пропорционально геометрическому моменту $\sigma_A \sim c P^{d-1}$.

Если предполагать, что статический сброс напряжения является постоянным, то $d=1.0$ и $\sigma_A \sim c$. При этом динамические характеристики очагов будут подобными (например процесс зарождения разрыва будет масштабно инвариантным). В таком случае предсказание размера очага землетрясения становится проблематичным (см. превосходную подборку статей по данному вопросу в [38]). Предположение постоянства статического сброса напряжения должно выражаться в единичном наклоне графика соответствия $\lg E$ и $\lg P$, однако это не всегда подтверждается данными наблюдений [30, рис 1.2; 39; 40]. Пример соотношения $\lg E$ и $\lg P$ для данных, полученных на трех рудниках, показан на рис. 10 [41]. Здесь использована ортогональная аппроксимация $\lg E = d \lg P + c$ для сейсмических событий, зарегистрированных на глубинах 3294 м (набор А), 3287 м (набор В) и 1755 м (набор С). Как видно, наклон графика соответствия между $\lg E$ и $\lg P$ существенно больше 1.0.

Энергетический индекс. Удобным инструментом сопоставления сейсмической энергии и геометрического момента является энергетический индекс EI , предложенный в [43]. Энергетический индекс события с моментом P представляет собой отношение излученной сейсмической энергии данного события E к средней сейсмической энергии $\bar{E}(P)$, излучаемой событиями с моментом P и оцениваемой согласно корреляционному соотношению $\lg \bar{E} = d \lg P + c$ (рис. 10), т.е.:

$$EI = \frac{E}{\bar{E}(P)} = \frac{E}{10^{d \lg P + c}} = 10^{-c} \frac{E}{P^d}. \quad (13)$$

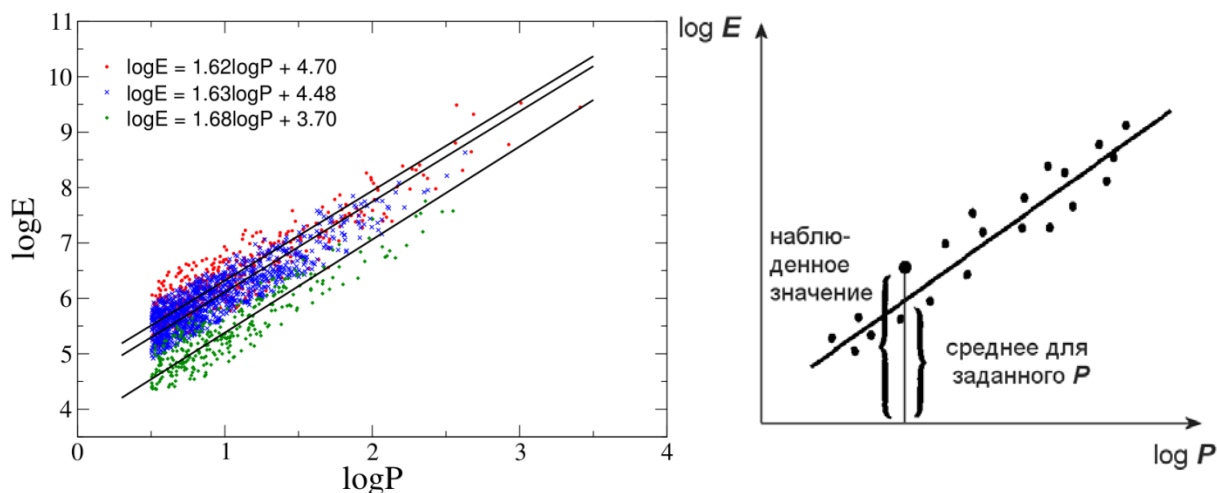


Рис. 10. Соотношение между $\lg E$ и $\lg P$ для трех наборов сейсмических данных, полученных для разных глубин [41] (слева). Определение энергетического индекса [42] с небольшими изменениями) (справа)

Коэффициенты в корреляционном соотношении зависят от конкретной выборки данных – набору событий в определенной области в определенный интервал времени. При $d=1.0$ энергетический индекс пропорционален кажущемуся напряжению. Энергетический индекс, как правило, выступает индикатором напряжений в очаговой области в момент возникновения события – чем выше энергетический индекс, тем выше действующее напряжение.

Кажущийся объем. Объем очага может быть оценен из соотношения $V=P/\Delta\varepsilon$. В данном объеме происходит неупругое сдвиговая деформация $\Delta\varepsilon$. Хотя геометрический момент очага может быть надежно оценен по сейсмическим записям, изменение деформации $\Delta\varepsilon \sim P f_0^3$ является модельно зависимым и его оценка обычно является неустойчивой из-за кубической зависимости от угловой частоты f_0 . То есть сравнительно небольшие погрешности в определении f_0 могут привести к большой погрешности в $\Delta\varepsilon$ и, следовательно, объема очага V . Более устойчивым параметром является кажущийся объем [30], который заменяет неупругую деформацию кажущейся деформацией:

$$V_A = \frac{P}{e_A} = \frac{mP^2}{E}. \quad (14)$$

Кажущийся объем, подобно кажущемуся напряжению, зависит от геометрического момента очага и излученной энергии. По причине скалярной природы данного параметра им удобно манипулировать в форме кумулятивных графиков и контурных карт.

Магнитуда. Наилучшая скалярная характеристика «силы» очагового процесса, которая отражает потенциал сейсмического событий к разрушению, является сейсмическая энергия. Таким образом, $\lg E$ должен представлять основу магнитудной шкалы [44], подобно тому, как это было сделано в Советском Союзе и в рудниках Польши [45–47]. Однако надлежащая оценка сейсмической энергии требует плотной сейсмической сети, широкого частотного диапазона и тщательной обработки. Данные факторы обычно сложно собрать. В результате возникают сложности с адекватным представлением «силы» крупных и слабых событий.

Сейсмологи изобрели множество шкал магнитуд, которые упрощают обработку, однако в то же время страдают от размытости связи с истинными очаговыми параметрами (сейсмической энергией, сейсмическим и геометрическим моментами). Данные шкалы, как правило, используются национальными сейсмологическими агентствами.

Районы ведения горных работ не всегда охвачены национальными сейсмологическими сетями, в связи с чем шахтам и рудникам затруднительно откалибровать шкалу магнитуд. Распространенной практикой является использование шкалы $m=2/3\lg P+0.92$ [48], которая соответствует эмпирическому соотношению между сейсмической энергией и магнитудой по поверхностным волнам для крупных землетрясений $\lg P=1.5m+4.8$ [44] в предположении постоянного кажущегося напряжения $\sigma_A=E/P=1.5 \text{ МПа}$ и модуля сдвига $\mu=30 \text{ ГПа}$. Данное предположение приводит к соотношению $\lg P=\lg E+6.18$, которое дает единичный наклон для регрессионной зависимости между $\lg E$ и $\lg P$. Как обсуждалось выше, этот результат не всегда согласуется с данными (рис. 10).

Для простоты мы предлагаем использовать $m=\lg P$ в качестве шкалы магнитуд. Преимуществами такого определения являются независимость от свойств среды (модуля сдвига μ) и возможность пересчета в другую шкалу. Применение данной шкалы позволяет делать объективное сравнение сейсмической опасности между различными рудниками. Табл. 2 сопоставляет шкалу $m=\lg P$ со шкалой [48].

Таблица 2. $\lg P$ и шкала [48]

$\lg P$	-1	0	1	2	3	4	5
Hanks, Kanamori [48]	0.3	0.9	1.6	2.2	2.9	3.6	4.3

Количественное описание сейсмичности

По сейсмическим записям событий наиболее часто оценивают следующие очаговые характеристики: время в очаге t , положение очага $X=(x,y,z)$, сейсмические и геометрические моменты M и P и их тензоры M_{ij} и P_{ij} , а также излученную энергию E . Если сейсмичность трактовать как группу сейсмических событий, произошедших в пределах некоторого объема ΔV в интервал времени Δt , тогда, наряду со статистическими моментами вышеприведенных величин, можно также определить следующие параметры:

- среднее время между последовательными событиями \bar{t} ;
- среднее расстояние между последовательными событиями \bar{X} , включая размеры очагов;
- сумма геометрических (ΣP или ΣP_{ij}) или сейсмических (ΣM или ΣM_{ij}) моментов;
- суммарная излученная сейсмическая энергия ΣE .

Следующие производные параметры описывают изменение режимов деформации и напряжения, а также реологических характеристик деформации массива горных пород, сопровождающейся излучением сейсмической энергии [42].

$$\text{Сейсмическая деформация} \quad \varepsilon_{sij}(DV, Dt) = \frac{1}{2DV} \sum_{t_1}^{t_2} P_{ij}$$

$$\text{Скорость сейсмической деформации} \quad \dot{\varepsilon}_{sij}(DV, Dt) = \frac{1}{2DV \Delta t} \sum_{t_1}^{t_2} P_{ij}$$

$$\text{Сейсмическое напряжение} \quad y_{sij}(DV, Dt) = 2 \sum_{t_1}^{t_2} E / \sum_{t_1}^{t_2} P_{ij}$$

$$\text{Сейсмическая жесткость} \quad K_s(DV, Dt) = 4DV \sum_{t_1}^{t_2} E / \left(\sum_{t_1}^{t_2} P_{ij} \right)^2$$

Сейсмическая вязкость	$z_s(DV, Dt) = 4DV Dt \sum_{t_1}^{t_2} E / \left(\sum_{t_1}^{t_2} P_{ij} \right)^2$
Сейсмическое время релаксации	$q_s(DV, Dt) = 4DV Dt \sum_{t_1}^{t_2} E / \left[M \left(\sum_{t_1}^{t_2} P_{ij} \right)^2 \right]$
Сейсмическая диффузивность	$d_s(DV, Dt) = (\bar{X})^2 / \bar{t}$
Сейсмическое число Шмидта	$Sc_s(DV, Dt) = 4DV Dt(\bar{t}) \sum_{t_1}^{t_2} E / \left[c(\bar{X})^2 \left(\sum_{t_1}^{t_2} P_{ij} \right)^2 \right]$

Количественная сейсмология и устойчивость массивов горных пород

В целом устойчивость разрабатываемых массивов горных пород может быть увязана с их жесткостью, т.е. способностью сопротивляться деформации при возрастании напряжения. Если общая жесткость породного массива сохраняется, то высвобождение геометрического момента ΣP должно быть пропорционально объему извлеченных пород, т.е. $\Sigma P \sim V_m$.

По мере увеличения объемов горных работ общая жесткость массива понижается, и скорость генерации геометрического момента на единицу V_m может возрасти. С последующим понижением жесткости отклик может стать нелинейным с ускорением высвобождения геометрических моментов, т.е. $\Sigma P \sim (\Sigma V_{\text{meff}})^y$ и увеличением уровня активности, $1/\bar{t}$, обозначая потенциальное возникновение крупных неустойчивостей.

Принимая данные рассуждения, кажущееся напряжение (или энергетический индекс) и кумулятивный кажущийся объем могут использоваться как полномочные представители сейсмического напряжения и сейсмической деформации соответственно. Период возрастания энергетического индекса при обычной скорости роста кумулятивного кажущегося объема (фаза упрочнения), сменяющийся периодом падения энергетического индекса и одновременным ускоряющимся возрастанием кумулятивного кажущегося объема (фаза разупрочнения), является индикатором возможной неустойчивости.

Другим направлением интерпретации сейсмической активности является концепция самоорганизации в критическое состояние, т.е. в такое состояние, в котором корреляционные длины становятся сравнимы с размерами системы, и в котором система может развиваться и поддерживать воспроизводимые соотношения между своими удаленными частями. При этом можно ожидать увеличение среднего расстояния между последовательными событиями \bar{X} . Предполагается, что рост корреляций дальнего действия внутри массива горных пород обуславливает возникновение сейсмических событий большего размера. Временами корреляция может достигать или даже превышать размер области мониторинга, создавая условия для крупных неустойчивостей. На данной стадии чувствительность системы к внешним и внутренним возмущениям может уменьшать прогностические возможности.

Следующие уравнения отображают ожидаемые качественные изменения в сейсмических параметрах при неустойчивом поведении массива горных пород:

$$\frac{\text{энергетический индекс}}{\text{кажущийся объем}} = \frac{\downarrow}{\uparrow} = \Downarrow$$

$$\text{вязкость} = \frac{\text{напряжение}}{\text{скорость деформации}} = \frac{\downarrow}{\uparrow} = \downarrow$$

$$\text{диффузность} = \frac{(\text{расстояние между событиями})^2}{\text{время между событиями}} = \frac{\uparrow}{\downarrow} = \uparrow$$

$$\text{число Шмидта} = \frac{\text{вязкость}}{\text{диффузность}} = \frac{\downarrow}{\uparrow} = \downarrow$$

На рис. 11 показан пример характерного поведения параметров сейсмичности за 30 часов перед событием с магнитудой 2.4 – энергетический индекс падает, а кумулятивный кажущийся объем нарастает. Также показано оконтуривание зоны разгрузки, которая соответствует области будущей неустойчивости.

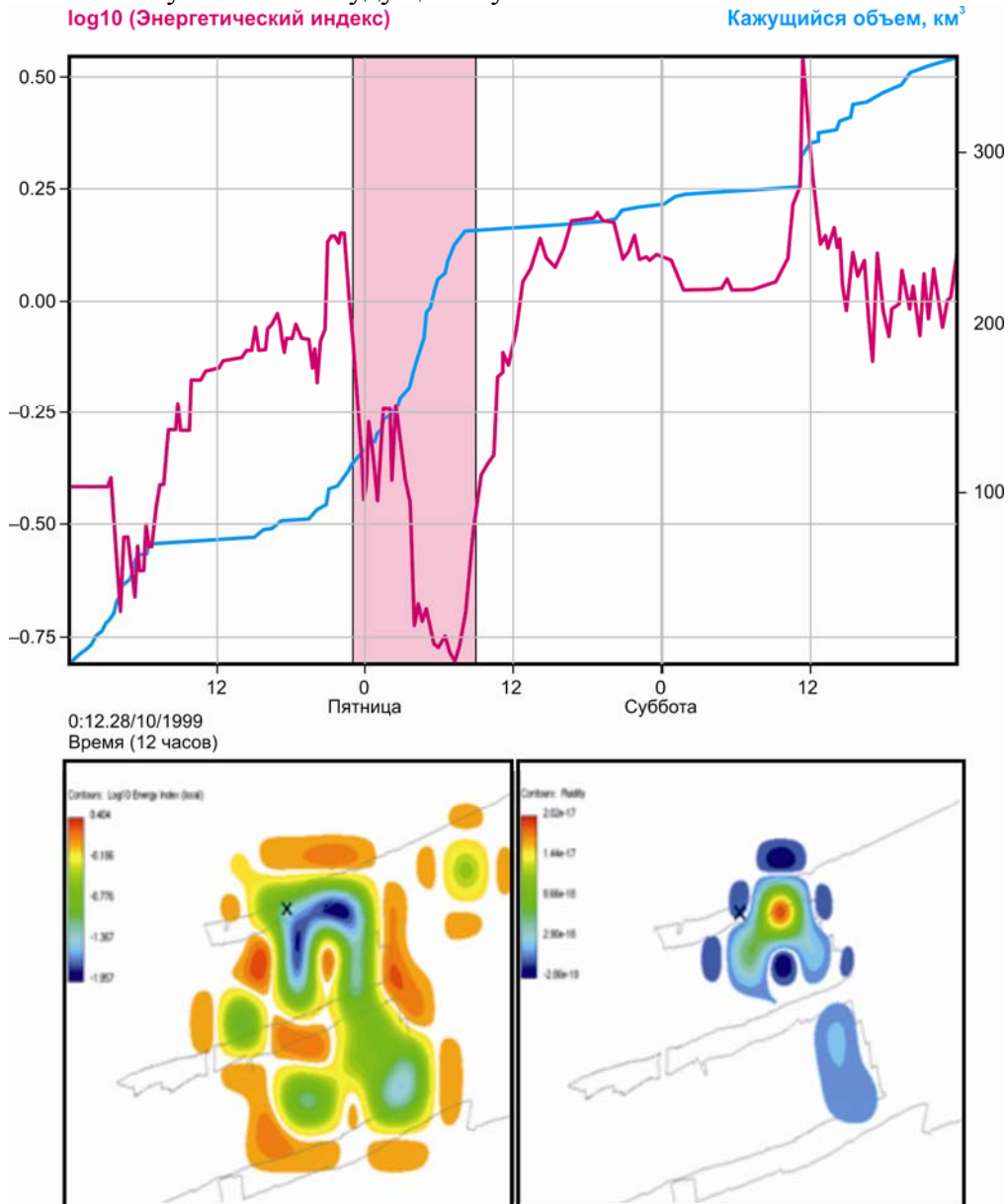


Рис. 11. Характерные понижение энергетического индекса и ускорение кумулятивного кажущегося объема за 30 часов до крупного сейсмического события (с локальной магнитудой 2.4), согласно данным сейсмомониторинга золотодобывающего рудника Тау Тона, ЮАР (вверху). Информация в течение интервала разупрочнения (затененная зона) может быть использована для пространственной идентификации участка будущей неустойчивости в пределах 100 м (внизу) [49]

Сейсмическая опасность

Сейсмический риск в определенном месте X можно определить как произведение вероятности проявления здесь в течение интервала ΔT сильного движения грунта или породного массива v_d на результирующий ущерб \mathfrak{Z} . Указанная вероятность $Pr(\geq v_d(X), \Delta T)$ называется сейсмической опасностью или в данном случае – опасностью сильного движения. Суммирование указанного произведения по всем возможным местоположениям дает полный риск:

$$Risk(\geq v_d, \Delta T) = \iiint Pr(\geq v_d(X), \Delta T) \mathfrak{Z}(X) dX. \quad (15)$$

Уровень разрушительного движения зависит от типа структуры в конкретном месте, следовательно, он является функцией X . Так как вероятность безразмерна, то сейсмический риск выражается в единицах ущерба $\mathfrak{Z}(X)$.

Движение среды описывается пиковыми ускорением (Peak Ground Acceleration – PGA), скоростью смещения (Peak Ground Velocity – PGV) и смещением (Peak Ground Displacement – PGD). Пиковое ускорение PGA удобно для инженеров-строителей, так как максимальная сила воздействия на цельное сооружение составляет $F_{\max} = mass \cdot PGA$. Однако PGA плохо описывает потенциал разрушения. К примеру, высокочастотный импульс с большим PGA может быть поглощен инерцией сооружения, не приводя к большим деформациям, поскольку $PGD \propto PGA/f^2$, где f – частота. С другой стороны, умеренное ускорение, связанное с более длительным импульсом, может вызвать значительную деформацию сооружения. Пиковая скорость смещений PGV менее чувствительна к высокочастотным составляющим движения среды, чем PGA . Данная характеристика может быть надежно измерена, и она обеспечивает приемлемое описание потенциала разрушения.

Вероятность того, что извлечение объема пород $V_{\Delta m}$ в период ΔT в будущем приведет к сейсмическому событию с геометрическим моментом, превышающим P , равна:

$$Pr(\geq P, V_{\Delta m}) = 1 - \left(\frac{1}{1 + Pr(\geq P, \delta(V_{\Delta m}), \epsilon(V_{\Delta m}))} \right)^{n[\delta(V_{\Delta m}), \epsilon(V_{\Delta m})] + 1}, \quad (16)$$

где $n[\alpha(V_{\Delta m}), \beta(V_{\Delta m})]$ – ожидаемое число событий, превышающих P , $Pr(\geq P, \alpha(V_{\Delta m}), \beta(V_{\Delta m}))$ – функция, описывающая ожидаемое распределение геометрических моментов, в которой параметр α характеризует уровень сейсмической активности, а параметр β представляет показатель распределения. Как α , так и β являются функциями извлеченного и планируемого к извлечению объема пород. Уравнение (16) учитывает внутреннюю неопределенность частоты возникновения сейсмических событий [50–52].

Параметры α и β распределения геометрических моментов являются функциями извлеченного объема пород V_m . Обычно α увеличивается, а β уменьшается по мере развития горных работ. Экстраполируя наблюдаемые соотношения между α и β , с одной стороны, и извлеченным объемом или временем, с другой стороны (см. пунктирную линию на рис. 12), и, далее, используя выражения (16), можно прогнозировать сейсмическую опасность для различных сценариев ведения горных работ.

При оценке сейсмической опасности наиболее часто используются следующие распределения: (1) открытый степенной закон без ограничения на максимальный размер сейсмического события, (2) усеченный степенной закон с жестким ограничением P_{\max} , (3) гамма-образное, представляющее произведение открытого степенного закона и экспоненциальной сглаживающей функции, которая обеспечивает мягкое ограничение P_{\max} . В последнем случае вероятность события, превышающего P_{\max} , быстро уменьшается, однако остается конечной.

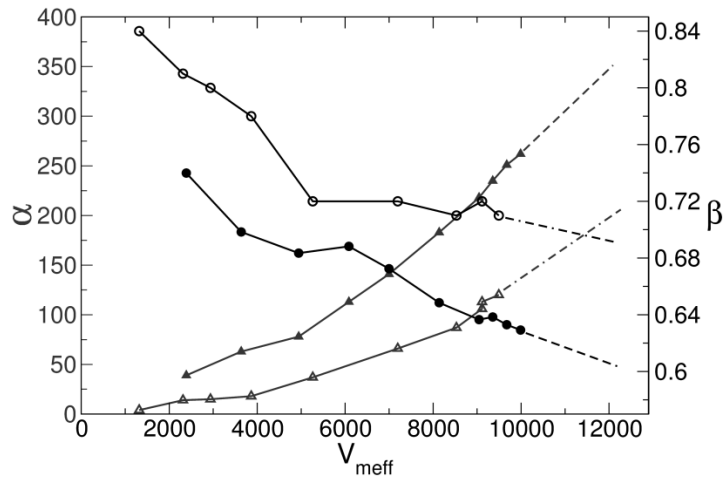


Рис. 12. Рост α (треугольники) и понижение β (кружки) с ростом извлеченного объема пород для двух рудников ЮАР

При долгосрочном прогнозе опасности P_{max} характеризует такое событие, вероятность превышения которого в течение длительного времени либо равна нулю, либо пренебрежимо мала. Таким образом, P_{max} описывает наибольшее возможное событие.

Когда движущей силой сейсмичности являются тектонические напряжения, то последовательность наблюдаемых максимальных землетрясений представляет собой монотонно возрастающую функцию с уменьшающимся градиентом. В таком случае проблема определения максимально возможного землетрясения редуцируется к задаче отыскания точки отсечения P_{max} неограниченного распределения по ограниченному набору измерений n . Очевидным вариантом оценки P_{max} является P_{max0} – максимальный наблюдаемый момент. Данная оценка всегда будет меньше P_{max} , однако ошибка будет уменьшаться по мере накопления новых измерений (роста каталога событий). Как показано в работе [53], в качестве корректировки можно использовать разность между максимальным и вторым по размерам событиями:

$$\lg P_{max} = \lg P_{max0} + (\lg P_{max0} - \lg P_{max0-1}), \quad (17)$$

где P_{max0-1} – геометрический момент второго по размерам сейсмического события. Недостатком данного подхода является тот факт, что используются только два максимальных события. Представляется разумным в качестве корректирующего фактора использовать взвешенное среднее разностей в упорядоченной последовательности максимальных наблюдаемых событий. Данная оценка является наилучшей в смысле среднеквадратичной ошибки при отсутствии предположений о виде распределения [54]:

$$\lg P_{max} = \lg P_{max0} + \left[\lg P_{max0} - (1 - e^{-1}) \sum_{j=0}^{n-1} e^{-j} \lg P_{max0-j} \right]. \quad (18)$$

Если распределение событий следует степенному закону, то наилучшей оценкой является:

$$\lg P_{max} = \lg P_{max0} + \int_{\lg P_{min}}^{\lg P_{max}} \left(\frac{10^{-\beta \lg P_{min}} - 10^{-\beta \lg P}}{10^{-\beta \lg P_{min}} - 10^{-\beta \lg P_{max}}} \right)^n d(\lg P). \quad (19)$$

Данное выражение может быть решено итеративно [55].

В условиях шахт и рудников последовательность максимальных событий является прерывистой в силу нестационарного характера извлечения горных пород. Поэтому при краткосрочном прогнозе сейсмической опасности целесообразно акцентировать внимание не на абсолютно крупнейшем событии в будущем, а на следующем крупнейшем событии – P_{max+1} . Для оценки магнитуды данного события можно использовать выражение $\lg P_{max+1} = \lg P_{max0} + \max(\Delta \lg P_{max0})$, где P_{max0} – максимальный наблюдаемый геометрический момент, $\max(\Delta \lg P_{max0})$ – максимальный скачок в логарифмах геометрических моментов последовательности предшествующих максимальных событий [19].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Nicolis G., Prigogine I.** Exploring complexity. – New-York: W.H. Freeman and Company, 1989.
2. **Keilis-Borok V.I.** Intermediate-term earthquake prediction // PNAS. – 93. – 1996. – P. 3748–3755.
3. **Keilis-Borok V.I.** Fundamentals of earthquake prediction: Four paradigms / Ed. V.I. Keilis-Borok and A.A. Soloviev // Nonlinear Dynamics of the Lithosphere and Earthquake Prediction. – 2003. – P. 1–3.
4. **Sornette D.** Statistical physics of rupture in heterogeneous media // Handbook of Materials Modeling, vol. 1 / Ed. by S. Yip. – Springer Science and Business Media, 2005.
5. **Malan D.F.** Time-dependent behaviour of deep level tabular excavations in hard rock // Rock Mechanics and Rock Engineering. – 1999. – V. 32 (2). – P. 123–155.
6. **Mendecki A.J., Lotter E.C.** Modelling seismic hazard in mines // Proceeding of the Australian Earthquake Engineering Society 2011 Conference, 18–20 November. – Barossa Valley, South Australia, 2011.
7. **Gibowicz S.J., Droste Z., Guterch B., Hordejuk J.** The Belchatow, Poland, earthquakes of 1979 and 1980 induced by surface mining // Engineering Geology. – 1981. – V. 17. – P. 257–271.
8. **Kozyrev A.A., Maltsev V.A., Panin V.I., Rybin V.V., Svinin V.S.** Dynamical manifestations of rock pressure and mining-induced seismicity at Khibiny apatite mines in Kola peninsula / Y. Potvin & M. Hudyma (eds.) // Controlling seismic risk. Proceedings of 6th International Symposium on Rockburst and Seismicity in Mines. – ACG, 2005. – P. 567–573.
9. **Gibson G., Wesson V., McCue K.** The Newcastle earthquake aftershock and its implications // Proceedings of the Conference on the Newcastle Earthquake. – Newcastle, 1990. – P. 14–18.
10. **Klose C.D.** Geomechanical modeling of the nucleation process of Australia's 1989 M5.6 Newcastle earthquake // Earth and Planetary Science Letters. – 2007. – V. 256 (3–4). – P. 547–553.
11. **Hao H.** Reconnaissance report of structural damage in the Kalgoorlie-Boulder area // Tech. rep. AEES Newsletter. – May 2010.
12. **Cranswick E.** How many earthquakes are caused by mining in Australia // Proceedings of the 2011 IUGG Conference. – Melbourne: IASPEI, 2011.
13. **van Aswegen G.** Fault stability in SA gold mines / Ed. by P. Rossmanith // Proceedings of the International Conference on Mechanics of Jointed and Faulted Rock. – Vienna, 1990.
14. **Ortlepp W.D.** Rock Fracture and rockbursts – An illustrative study. – South African Institute of Mining and Metallurgy, 1997. – 126 p.
15. **Durrheim R.J., Anderson R.L., Cichowicz A., Ebrahim-Trollope R., Hubert G., Kijko A., McGarr A., Ortlepp W.D., van der Merwe N.** Investigation into the risks to miners, mines, and the public associated with large seismic events in gold mining districts // Expert opinion. – Department of Mineral and Energy of South Africa, 2006.
16. **Маловичко А.А., Завьялов А.Д., Козырев А.А.** Горные удары / Под ред. Г.А. Соболева // Природные опасности России. Т.1. Сейсмические опасности. – М.: Крук, 2000. – С. 243–293.
17. **Malovichko A.A., Shulakov D.Y., Dyaguilev R.A., Sabirov R.H., Ahmetov B.S.** Comprehensive monitoring of the large mine-collapse at the Upper Kama potash deposit in Western Ural / Eds. G.van Aswegen, R.J. Durrheim, W.D. Ortlepp // Rockbursts and seismicity in mines. Proceedings of the 5th International Symposium. – Johannesburg: SAIMM, 2001. – P. 309–312.
18. **Pechmann J.C., Walter W.R., Nava S.J., Arabasz W.J.** The February 3, 1995 *ML* 5.1 seismic event in the Trona mining district of southwestern Wyoming // Seismological Research Letters. – 1995. – V. 66 (3). – P. 25–34.
19. **Mendecki A.J.** Forecasting seismic hazard in mines // Proceedings 1st Southern Hemisphere International Rock Mechanics Symposium, Perth, Australia / Ed. by Y. Potvin, J. Carter, A. Dyskin and R. Jeffrey. – Australian Centre for Geomechanics, 2008. – P. 55–69.
20. **Backus G.E., Mulcahy M.** Moment tensors and other phenomenological descriptions of seismic sources. I. Continuous displacements // Geophys. J. R. astr. Soc. – 1976. – V. 46. – P. 341–361.
21. **Heaton T.H., Heaton R.E.** Static deformations from point forces and force couples located in welded elastic Poissonian half-spaces: Implications for seismic moment tensor // Bulletin of the Seismological Society of America. – 1989. – V. 79 (3). – P. 813–841.

22. **Ampuero J.-P., Dahlen F.A.** Ambiguity of the moment tensor // Bulletin of the Seismological Society of America. – 2005. – V. 95 (2). – P. 390–400.
23. **Маловичко Д.А.** Описание очагов шахтных сейсмических событий // Физика Земли. – 2005. – № 10. – С. 89–96.
24. **Takei Y., Kumazawa M.** Why have the single force and torque been excluded from seismic source models? // Geophys. J. Int. – 1994. – V. 118. – P. 20–30.
25. **Bowers D., Hudson J.A.** Defining the scalar moment of a seismic source with a general moment tensor // Bulletin of the Seismological Society of America. – 1999. – V. 89 (5). – P. 1390–1394.
26. **USGS.** Технический отчет, 1996 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://quake.wr.usgs.gov/recenteqs/beachball.html>.
27. **Julian B.R., Miller A.D., Fougler G.R.** Non-double-couple earthquakes. 1. Theory // Reviews of Geophysics. – 1998. – V. 36. – P. 525–549.
28. **Воинов К.А., Селивоник В.Г.** Оценка напряжений и подвижности структурных блоков по результатам обработки механизмов очагов сейсмических событий // Горная геофизика. Материалы Международной конференции. – СПб.: ВНИМИ, 1998. – С. 86–91.
29. **Юнга С.Л., Федотова Ю.В.** Исследования механизмов очагов сейсмических событий малой энергии в Хибинском массиве // Геодинамика и техногенез. Материалы Всероссийского совещания. – Ярославль: ФГУП НПО «Недра», 2000. – С. 171–174.
30. **Mendecki A.J.** Real-time quantitative seismology in mines / Ed. P. Young // Proceedings of the 3rd International Symposium on Rockbursts and Seismicity in Mines. – Rotterdam: Balkema, 1993. – P. 287–295.
31. **Trifu C.-I., Angus D., Shumila V.** A fast evaluation of the seismic moment tensor for induced seismicity // Bull. Seism. Soc. Am. – 2000. – V. 90. – P. 1521–1527.
32. **Dubinski J., Stec K.** Relationship between focal mechanism parameters of mine tremors and local strata tectonics / Eds. G.van Aswegen, R.J. Durrheim, W.D. Ortlepp // Rockbursts and seismicity in mines. Proceedings of the 5th International Symposium. – Johannesburg: SAIMM, 2001. – P. 113–118.
33. **Michael A.J.** Determination of stress from slip data: faults and folds // Journal of Geophysical Research. – 1984. – V. 89 (B13). – P. 11517–11526.
34. **Michael A.J.** Stress rotation during the Coalinga aftershock sequence // J. of Geophys. Res. – 1987. – V. 92 (B8). – P. 7963–7979.
35. **Keilis-Borok V.I., Bessonova E.N., Gotsadze O.D., Kirilova I.V., Kogan S.D., Kikhtikova T.I., Malinovskaya C.N., Pavola G.I., Sarskii A.A.** Investigation of the mechanism of earthquakes (English translation) // American Geophysical Union, Consultants Bureau. – New-York, 1960.
36. **Аку К., Ручардс П.** Количественная сейсмология: теория и методы. Т.1. – М.: Мир, 1983. – 520 с.
37. **Aki K.** Generation and propagation of *G*-waves from the Niigata earthquake of June 16, 1964. Part 2: Estimation of earthquake moment, released energy, and stress strain drop from the *G*-wave spectrum // Bulletin Earthquake Research Institute Tokyo University. – 1966. – V. 44. – P. 73–88.
38. **Abercrombie R.E., McGarr A., Kanamori H., Toro G.D.** Earthquakes: Radiated energy and the physics of faulting // Geophysical Monograph Series 170. – AGU, 2006. – 350 p.
39. **Gibowicz S.J.** Variation of source properties: The Inangahua, New Zealand, aftershocks of 1968 // Bulletin of the Seismological Society of America. – 1975. – V. 65 (1). – P. 261–276.
40. **Ben-Zion Y., Zhu L.** Potency-magnitude scaling relation for southern California earthquakes with $1.0 < M < 7.0$ // Geophysical J. International. – 2002. – V. 148. – P. F1–F5.
41. **Mendecki A.J.** Physics of seismic rock mass response to mining / Ed. by C. Tang / Keynote Adress, in Proceedings 7th International Symposium on Rockbursts and Seismicity in Mines, Dalian, China. – 2009.
42. **Mendecki A.J.** Seismic monitoring in mines. – London: Chapman and Hall, 1997. – 262 p.
43. **van Aswegen G., Butler A.G.** Applications of quantitative seismology in South African gold mines / Ed. P. Young // Proceedings of the 3rd International Symposium on Rockbursts and Seismicity in Mines. – Rotterdam: Balkema, 1993. – P. 261–266.

44. **Gutenberg B., Richter C.F.** Magnitude and energy of earthquakes // *Ann. Geofis.* – 1956. – V. 9. – P. 1–15.
45. **Paymuan T.G.** Затухание сейсмических волн и энергия землетрясений // Труды Ин-та сейсмологии и сейсмостойкого строительства АН ТаджССР. – 1958. – Т. VII. – С. 41–96.
46. **Rautian T.G., Khalturin V.I., Fujita K., Mackey K.G., Kendall A.D.** Origins and methodology of the Russian energy *K*-class system and its relationship to magnitude scales // *Seismological Research Letters.* – 2007. – V. 78 (6). – P. 579–590.
47. **Wierzchowska Z., Dubinski J.** Methods to calculate energy of seismic events in Upper Silesia // Report, Central Mining Institute. – Katowice, Poland, 1973. (In Polish).
48. **Hanks T.C., Kanamori H.** A moment magnitude scale // *J. of Geophys. Res.* – 1979. – V. 84. – P. 2348–2350.
49. **Lynch R., Mendeki A.J.** High-resolution seismic monitoring in mines / Ed. by G. van Aswegen, R.J. Durrheim, W.D. Ortlepp // Proceedings of the 5th International Symposium on Rockbursts and Seismicity in Mines, Johannesburg, South Africa. – South African Institute of Mining and Metallurgy, 2001. – P. 19–24.
50. **Benjamin J.R.** Probabilistic model for seismic force design // *J. of Structural Engineering ASCE.* – 1968. – V. 94 (ST5). – P. 1175–1196.
51. **McGuire R.K.** Effects of uncertainty in seismicity on estimates of seismic hazard for the east coast of the United States // *Bulletin of the Seismological Society of America.* – 1977. – V. 67 (3). – P. 827–848.
52. **Campbell K.W.** Bayesian analysis of extreme earthquake occurrences. Part 1: Probabilistic hazard model // *Bulletin of the Seismological Society of America.* – 1982. – V. 72 (5) – P. 1689–1705.
53. **Robson D.S., Whitlock J.H.** Estimation of a truncation point // *Biometrika.* – 1964. – V. 51 (1–2). – P. 33–39.
54. **Cooke P.** Statistical inference for bounds of random variables // *Biometrika.* – 1979. – V. 66 (2). – P. 367–374.
55. **Kijko A.** Estimation of the maximum earthquake magnitude, M_{\max} // *Pure and Applied Geophysics.* – 2004. – V. 161 (8). – P. 1655–1681.

НОВЫЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ЛИНЕЙНЫХ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ ГРАВИРАЗВЕДКИ И МАГНИТОРАЗВЕДКИ

А.В. Мичурин

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация. Предлагается новый метод решения линейных обратных задач гравirazведки и магниторазведки, основанный на сочетании функционально-аналитического и вероятностно-статистического подходов к интерпретации геофизических данных. Отличительными особенностями метода являются подавление интенсивных знакопеременных помех, закон распределения которых может существенно отличаться от нормального, а также оценка точности резуль-тативных физических параметров. Преимущества предлагаемого алгоритма доказывают серийные расчеты, выполненные для различных моделей источников поля и разных типов помех, а также решение практической задачи.

В настоящей статье предлагается смешанный алгоритм решения линейных обратных задач гравirazведки и магниторазведки, заключающихся в определении значений физических характеристик (избыточной массы, эффективной намагниченности) геологических объектов с известными геометрическими параметрами по соответствующим геофизическим полям. Линейные обратные задачи имеют важное практическое значение и широко применяются при изучении физических свойств горных пород в естественном залегании (например при интерпретации результатов полевых измерений на буровых линиях), при независимой оценке адекватности глубинных сейсмических построений материалам гравиметрических и аэромагнитных съемок [1], при построении пространственного распределения геоплотностных (геомагнитных) неоднородностей в алгоритмах аппроксимационной томографической интерпретации [2]. На практике геофизик-интерпретатор имеет в распоряжении лишь ограниченный объем петрофизической информации, и потому построение геолого-геофизических разрезов методом подбора выполняется по технологической цепочке, включающей в себя как неотъемлемый элемент решение линейной обратной задачи [3].

В рамках единой теории решения обратных задач для потенциальных полей существуют два подхода – функционально-аналитический и вероятностно-статистический. Для каждого из них характерна идеализация свойств помех, создающая иллюзию самодостаточности этих подходов. Первый подход ставит во главу угла посылку о стремлении помехи в измерениях к нулю, при втором подходе известными считаются законы распределения помех, тогда как на практике интерпретатор подобной информацией никогда не располагает.

Предлагается метод количественной интерпретации данных гравirazведки и магниторазведки, основанный на довольно слабом, но достаточно информативном предположении о равенстве нулю медианного значения помехи. По сути, оно означает только одно: при геофизической съемке не было объективных причин для преобладания в измерениях помех какого-то одного знака. Метод не ограничен рамками какого-то одного класса обратных задач, но в данном случае будем говорить о нем применительно к задаче оценки физических параметров геологических объектов (избыточной плотности, эффективной намагниченности) при заданной их геометрии. Строгие обоснования предлагаемого метода можно найти в [4–8].

Рассмотрим случай, когда наблюдаемое поле осложнено помехой, обладающей нулевым медианным значением. Наилучшее подавление такого рода помехи обеспечивается

при максимальном числе переходов знаков в разности наблюдаемого и модельного полей для всей совокупности точек наблюдений. Разобьем область допустимых решений обратной задачи гравirazведки (ОЗГ) D на множество малых подобластей d , и для каждой из них после решения прямой задачи гравиметрии определим число переходов знаков N разностного поля. Как очевидно, вероятность P того, что истинное решение ОЗГ отвечает той или иной подобласти d , возрастает по мере увеличения N . Таким образом, можно каждую подобласть d охарактеризовать своим значением вероятности P .

Зададим условие минимизации риска, т.е. математического ожидания ошибки $Q = \left(\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m (\sigma_j - \sigma_j^*)^2 \right)^{1/2}$ приближенного решения σ^* обратной задачи. В линейной ОЗГ

минимум риска обеспечивает вектор σ^* плотностей $\sigma_j^* = \sum_{r=1}^l \frac{P_r}{\mu(\Omega_r)} \int_{\Omega_r} \sigma_j d\sigma_1 d\sigma_2 \dots d\sigma_m$.

При подборке иллюстрационного материала исходим из того, что единичные случаи успешного решения модельных примеров с отдельными и, как это зачастую делается, удачно подобранными выборками помех ξ_i не имеют доказательной базы. Закономерные выводы можно сделать лишь на основе серийных расчетов, статистические характеристики результатов которых отчасти компенсируют отсутствие строгих теоретических оценок.

Рассмотрим двухмерную постановку линейной обратной задачи гравirazведки, в которой аномалия, заданная на горизонтальном профиле длиной 20 км в 50 точках равномерной сети с шагом 0.4 км, обусловлена двумя однородными прямоугольными призмами с избыточными плотностями $\sigma_1^T = 0.15 \text{ г/см}^3$ и $\sigma_2^T = 0.2 \text{ г/см}^3$ соответственно. При этом помехи в измерениях поля распределены по нормальному закону с нулевым математическим ожиданием.

Цель данного примера – изучить, сколь заметно предлагаемый алгоритм уступит методам, основанным на минимизации среднеквадратической невязки поля, в наиболее благоприятной для метода наименьших квадратов ситуации (являющейся по сути идеализированной).

Выполнены шесть серий расчетов по $N = 500$ вариантов решения обратной задачи в серии. Варианты различаются между собой конкретными выборками случайных чисел, имитирующих помехи в наблюдаемых значениях поля. В каждой отдельно взятой серии используются реализации нормально распределенной случайной величины с каким-то одним определенным среднеквадратическим значением δ (значения δ колеблются в пределах от 5 до 30% от амплитуды поля Δg^T). Для генерации случайных помех ξ_i использовалось преобразование Бокса–Мюллера.

На рис. 1 представлены зависимости средних значений $Q(\sigma^{\text{мнк}}, \sigma^T)$ и $Q(\sigma^{\text{мэр}}, \sigma^T)$ точности решения обратной задачи по N вариантам. Можно заключить, что даже в ситуации, максимально выигрышной для метода наименьших квадратов, когда поле осложнено нормально распределенной помехой, он превосходит метод минимизации эмпирического риска не более чем на 50% (рис. 1 а). При этом отчетливо прослеживается тенденция: с ростом уровня помех оба метода становятся равноточными.

Оставим модель источников прежней и возьмем случай, когда в выборки нормально распределенных помех, участвующих в моделировании «наблюдаемых» полей, искусственно вносится асимметрия путем 10-кратного увеличения половины всех помех положительного знака, имеющих наибольшие значения. Рис. 1 б наглядно демонстрирует очевидное преимущество предлагаемого метода минимизации эмпирического риска, при относительно высоком уровне помех оно становится, по существу, двукратным.

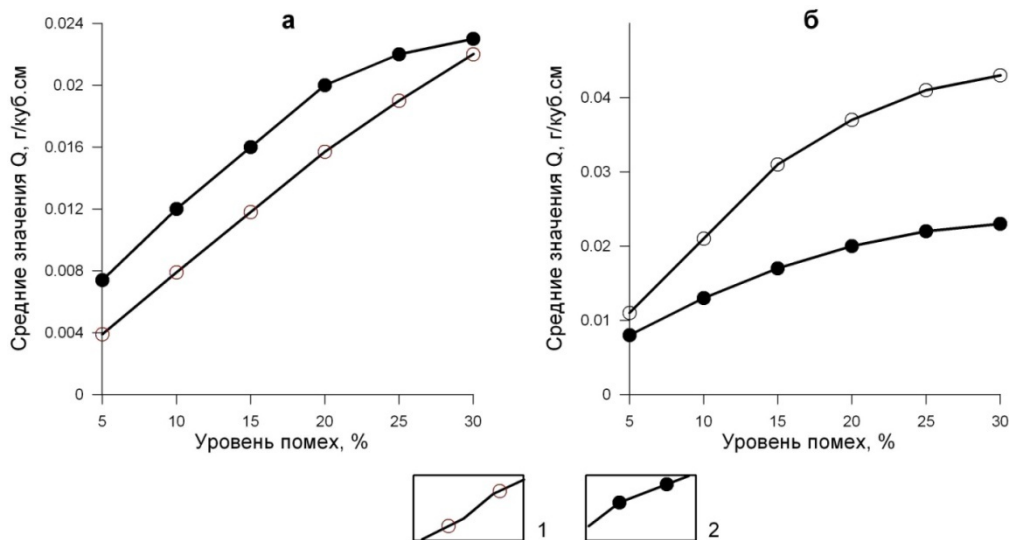


Рис. 1. Зависимость средней точности решения обратной задачи гравиразведки от уровня помех в исходном поле:

а – помехи распределены по нормальному закону;

б – распределение помех имеет асимметричный характер.

1 – графики параметра $Q(\sigma^{\text{мнк}}, \sigma^T)$, 2 – графики параметра $Q(\sigma^{\text{мэр}}, \sigma^T)$.

Примечание: $\sigma^{\text{мнк}}$ и $\sigma^{\text{мэр}}$ – средние значения плотностей по N вариантам, полученные с использованием метода наименьших квадратов и метода минимизации эмпирического риска соответственно

Понятно, что при решении модельных примеров, когда истинные значения изучаемых параметров источников поля известны, проблема оценки точности результатов интерпретации не возникает. Другое дело – располагать такой возможностью при решении практических задач. Несомненным достоинством предлагаемого метода является его способность оценивать точность собственных результатов, что не представляется возможным при использовании стандартных детерминистских технологий интерпретации. В предложенном методе оценкой точности служит значение прогнозируемой точности решения ОЗГ $J_0(\sigma^*)$. Как видно из рис. 2, зависимость истинной и прогнозируемой точности решения обратной задачи гравиразведки носит практически линейный характер, что дает право применять этот параметр для определения прогнозируемой точности решения практических задач.

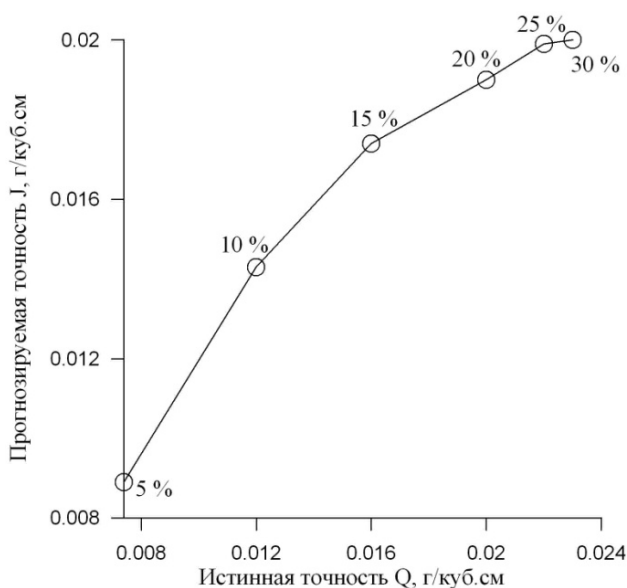


Рис. 2. Зависимость между истинной и прогнозируемой точностью решения обратной задачи гравиразведки (средние значения параметров по 500 вариантам)

Проведенные расчеты однозначно свидетельствуют о том, что соотношение разрешающих способностей предложенного и стандартного методов как в отношении обратной задачи гравиметрии, так и магнитометрии в меньшей степени зависит от количества, геометрии и взаимного расположения источников аномалии, а определяется, в основном, статистическими свойствами конкретной выборки помех в измерениях. Установлена высокая информативность условия равенства нулю медианного значения помех в измерениях, сопоставимая с информативностью детерминистских ограничений на параметры плотностной среды, что лишнее раз убеждает в плодотворности идеи комплексирования функционально-аналитического и вероятностно-статистического подходов в алгоритмах решения обратных задач.

Авторы выражают глубокую благодарность доктору физико-математических наук А.С. Долгалю и доктору физико-математических наук П.И. Балку, идеи которых развиваются в данной статье.

Работа выполнена при финансовой поддержке Уральского отделения РАН (по результатам конкурса научных проектов молодых ученых и аспирантов 2011 г.) и РФФИ (грант № 10-05-96023-р_урал_a).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Старостенко В.И., Куприенко П.Я., Макаренко И.Б., Легостаева О.В.* Плотностная модель земной коры вдоль профиля DOBRE // Геофизический журнал. – 2008. – Т. 30, № 1. – С. 28–41.
2. *Бабаянц П.С., Блох Ю.И., Трусов А.А.* Интерпретационная томография по данным гравиразведки и магниторазведки в пакете программ «СИГМА-3D» // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей. Материалы 31 сессии Международного семинара Д.Г. Успенского. – М.: ОИФЗ РАН, 2004. – С. 88–89.
3. *Булах Е.Г., Зейгельман М.С., Корчагин И.Н.* Автоматизированный подбор гравитационных и магнитных аномалий: программно-алгоритмическое обеспечение и методические рекомендации // Деп. в ВИНТИ № 8363-В86. – 1986. – 235 с.
4. *Балк П.И.* Алгоритмы идентификации в задачах регрессионного типа при нулевом медианном значении помехи // Автоматика и телемеханика. – 1978. – № 12. – С. 70–82.
5. *Балк П.И.* Алгоритм кусочно-линейной аппроксимации экспериментальных зависимостей при ошибке измерения с ненулевым математическим ожиданием // Автоматика. – 1990. – № 1. – С. 83–86.
6. *Балк П.И.* Задачи регрессионного типа при нулевом медианном значении помех // Доклады Академии наук. – 2010. – Т. 430, № 2. – С. 174–177.
7. *Балк П.И., Долгаль А.С., Мичурин А.В.* Смешанные вероятностно-детерминистские методы решения линейных обратных задач гравиметрии и магнитометрии // Геофизика. – 2011. – № 2. – С. 20–29.
8. *Балк П.И., Долгаль А.С., Мичурин А.В.* Смешанный вероятностно-детерминистский подход к интерпретации данных гравиразведки, магниторазведки и электроразведки // Доклады Российской академии наук. – 2011. – Т. 438, № 4. – С. 1–6.

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИННОВАЦИИ В ПЕРЕОБРАБОТКЕ И ПЕРЕИНТЕРПРЕТАЦИИ БОЛЬШОГО МАССИВА АРХИВНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

¹М.А. Паздникова, ¹И.В. Булатова, ¹Н.И. Курганская, ²Н.А. Нечаева
¹ОАО «Хантымансийскгеофизика», ГЭОИ, г. Ханты-Мансийск
²ГП ХМАО-Югры «НАЦРН им. В.И. Шпильмана», г. Ханты-Мансийск

Аннотация. Приводятся особенности и результаты переобработки крупного массива архивных данных в одном из регионов Западной Сибири и результаты их переинтерпретации. Из особенностей: объединение коротких профилей в субрегиональные на начальной стадии обработки, расчет и ввод разностных фазочастотных поправок за аппаратуру, эксклюзивный учет зоны малых скоростей.

За последние несколько лет разными исследователями неоднократно поднимался вопрос переобработки и переинтерпретации имеющихся сейсмических данных, обосновывались предпосылки к этому: появление новой техники, новых программ, новых подходов к обработке. Здесь приведен пример, показывающий полезность и необходимость подобной работы.

Перед авторами была поставлена задача: в короткий срок переобработать в едином ключе значительный объем сейсмических 2D-материалов на площади более 6 тыс. км², полученных в разные годы по различным методикам и обработанных в разных пакетах программ. Результаты должны были лечь в основу дальнейших исследований целого ряда специалистов с основной целью: уточнить нефтеносность региона. Переобработку выполняли специалисты Геофизической экспедиции обработки информации (ГЭОИ) ОАО «Хантымансийскгеофизика», переинтерпретацию – специалисты ГП ХМАО-Югры «Научно-аналитический центр рационального недропользования им. В.И. Шпильмана».

В состав объекта входили профили 11 сейсмических партий разных лет общим объемом 5244 км.

Взаимное расположение профилей на схеме послужило причиной их объединения в более длинные, субрегиональные профили. Это объединение было выполнено на стадии исходных материалов, геометрия профилей рассчитывалась по объединенным данным с сохранением в местах перекрытия средней кратности ОГТ (общей глубинной точки).

Примененная методика переобработки имеет как достоинства, так и недостатки, которые нужно было максимально возможно исключить.

Итак, вначале о проблемах, их источниках и путях решения.

Исходный материал был получен с использованием разных полевых параметров: двух типов источников (взрывы в скважинах с различной глубиной заложения заряда, импульсные источники СЭМ100), двух типов сейсмоприемников (СВ-20П, GS-20DX), трех типов сейсмостанций (Прогресс-2, Input/Output System Two, Sercel SN388), разной длиной расстановки (от 4750 до 6000 м). Отличалась также фильтрация на записи. В таблице приведены основные параметры отработки.

Площади работ располагались в разнообразных поверхностных сейсмогеологических условиях, это в свою очередь не могло не сказаться на качестве материалов.

То есть основная проблема, вставшая перед исполнителями, – это согласование разнородных материалов между собой. Сначала были приведены к единому уровню амплитудные усиления полевых записей, затем учтены отметки момента возбуждения, временные задержки, выполнена увязка полярности сейсмических данных.

Таблица. Основные параметры аппаратуры и методики сейсмических партий

ПАРАМЕТРЫ ПОЛЕВОГО ОБОРУДОВАНИЯ												
Партия	Сейсмостанция			Сейсмоприемники				Источник				
	Тип	Фильтр на записи	Кол-во активных каналов	Тип	Число в группе	База группы	Тип соединения	Тип	Глубина скважины м	Вес заряда, кг	Количество источников	Количество накоплений
1	Прогресс-2	ФВЧ 20 ФНЧ 125	96	СВ-20П	24	50	смешанное	взрыв	15	2		
2	Прогресс-2	ФВЧ 20 ФНЧ 125	96	СВ-20П	24	50	смешанное	взрыв	15	2		
3	Прогресс-2	ФВЧ 20 ФНЧ 125	96	СВ-20П	22	50	смешанное	взрыв	15	тротил		
4 лето	Input-Output	ФВЧ 8,7 ФНЧ 0,5N	97	GS-20DX	6	25	последов.	взрыв	12, группа 4x3	DZS-13		
4 зима	Input-Output	ФВЧ 8,7 ФНЧ 0,5N	97	GS-20DX	12	50	смешанное	взрыв	12	GTP-85		
5	SN388	ФНЧ 0,5N	120	GS-20DX	12	50	смешанное	SEM-100			4	8
6	SN388	ФНЧ 0,5N	120	GS-20DX	12	50	смешанное	SEM-100			4	10
7	SN388	ФНЧ 0,5N	120	GS-20DX	12	50	смешанное	SEM-100			4	10
8	SN388	ФНЧ 0,5N	120	GS-20DX	10	30	смешанное	взрыв	10 группа 5x6	0,5 тротил		
9	SN388	ФНЧ 0,5N	120	GS-20DX	10	30	смешанное	взрыв	10	0,5 тротил		
10	SN388	ФНЧ 0,5N	120	GS-20DX	10	30	смешанное	взрыв	10	0,5 тротил		

Далее был проведен учет влияния АЧХ и ФЧХ различных типов сейсмической аппаратуры по методике, разработанной в ГЭОИ и впервые примененной в производственном режиме именно на этом объекте (в дальнейшем указанная методика использовалась и на других объектах). Исходя из преобладающего объема сейсмических данных, зарегистрированных на участке исследований, на основании технической документации специалистами ГЭОИ были рассчитаны разностные фазочастотные поправки для сведения материалов к единому виду. На рис. 1 приведено сопоставление графиков АЧХ и ФЧХ входного тракта регистрирующей аппаратуры, применявшейся на участке работ, и графики разностных фазочастотных поправок, приводящие фазочастотные характеристики к единому виду (сейсмостанция Sercel SN388), на рис. 2 – изменение волновой картины на временном разрезе после ввода разностных фазочастотных поправок.

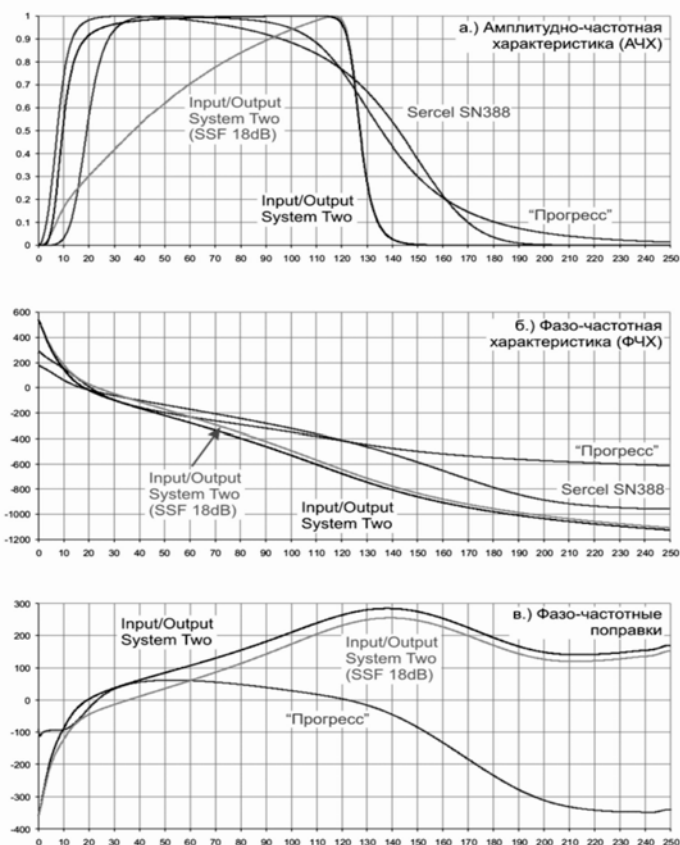


Рис. 1. Графики амплитудно- и фазочастотных характеристик входного тракта регистрирующей аппаратуры, применявшейся на участке работ, и графики разностных фазочастотных поправок

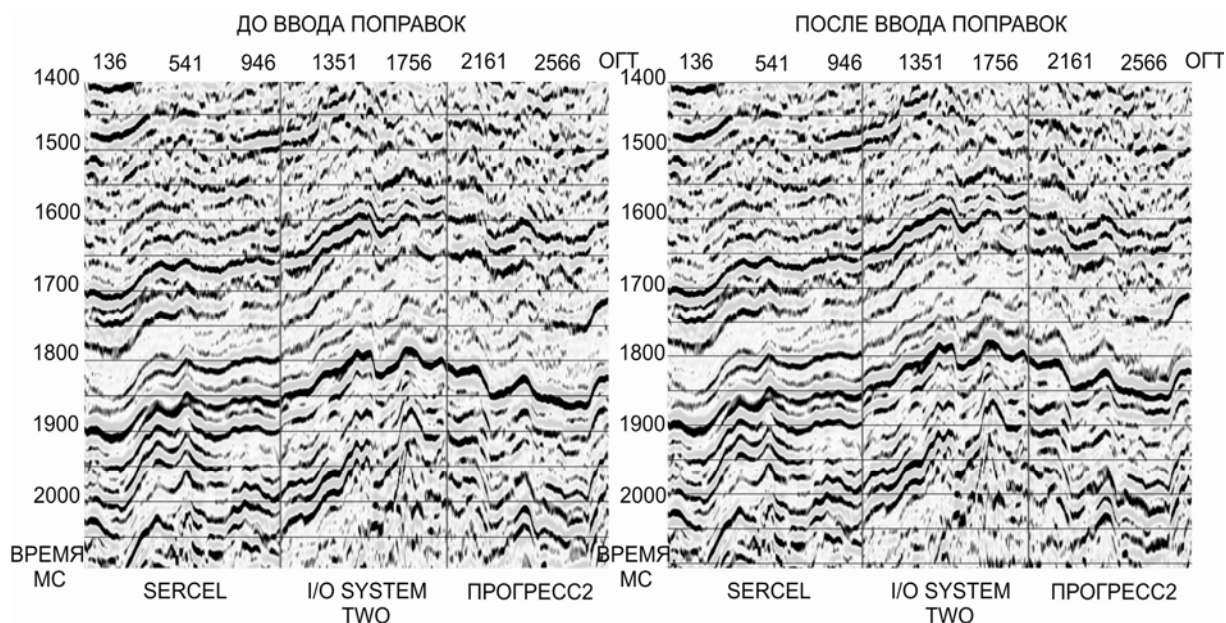


Рис. 2. Пример изменения волновой картины на временном разрезе после ввода разностных фазочастотных поправок.

Изменениям подвергались материалы, зарегистрированные сейсмостанциями I/O SYSTEM TWO и ПРОГРЕСС-2

Таким образом была учтена разнородность характеристик исходных сейсмических материалов.

Вторая проблема – это ухудшение качества суммирования в местах стыка профилей. Проблема возникла, но далеко не в столь большом объеме, как можно было ожидать, и причиной ее являлся часто не сам факт объединения, а другие внешние факторы, например, резкий перепад альтитуд, либо геологические условия. Сохранение средней кратности ОГТ на стыках осложнило подбор статических поправок по пунктам приема лишь в отдельных местах, не более 10% от общего числа стыков.

Теперь о преимуществах.

Первое. В результате примененной методики была получена плотная сеть субрегиональных профилей и, как следствие, более точное и целостное видение волновой картины, что, несомненно, сказалось на качестве обработки.

Второе. За счет уменьшения количества профилей (с 278 до 153) сократилось время, затраченное на обработку.

Третье. Часть профилей была обработана с низким соотношением сигнал-помеха. При включении таких профилей в состав композитов они легче поддавались обработке, решение остаточных статических и кинематических поправок на них было более надежным.

Одним из важных этапов обработки явился учет влияния зоны малых скоростей (ЗМС). Рассчитанные с использованием глубин скважин, вертикальных времен и значений высот априорные статические поправки не позволили учесть ЗМС полностью: где-то глубина скважин была недостаточна, где-то недостоверны значения вертикальных времен, несколько партий работали с применением поверхностного типа источника. Определение корректирующих поправок было проведено по методу ОГП МПВ (общей глубинной площадки методом преломленных волн) способом, разработанным и принятым в ГЭОИ с 2001 г. (рис. 3). Анализ поведения ЗМС выполнен в интерпретационном комплексе с привлечением картопостроения, полученные поправки увязаны по площади. Поправки хорошо согласуются с рельефом.

Вообще, нужно отметить, что все этапы обработки сопровождались увязкой параметров по площади, выполненной в интерпретационном комплексе. При обработке и интерпретации материала была использована вся имеющаяся в нашем распоряжении сопутствующая информация, в частности материалы по региональным профилям, проходящим по площади, но не участвующим в проекте, данные вертикального сейсмического профилирования (ВСП) в скважинах.

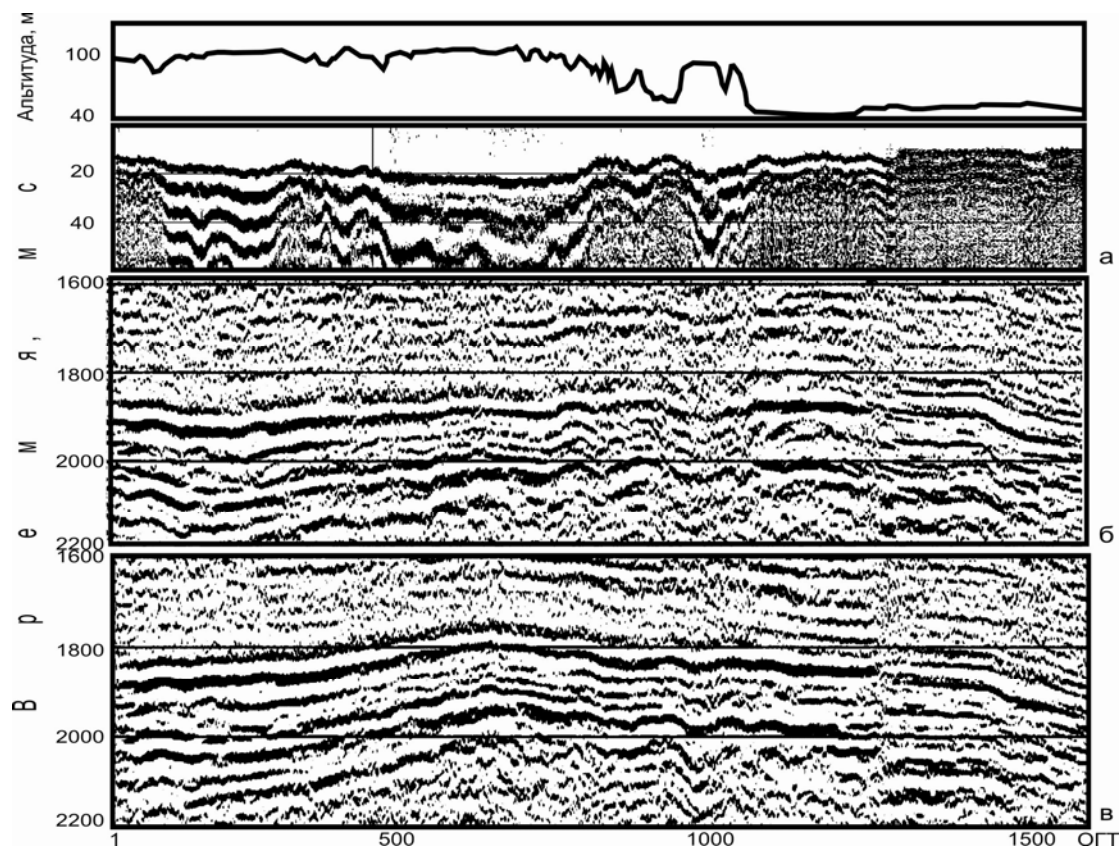


Рис. 3. Результат учета влияния ЗМС на примере предварительного временного разреза:
а – разрез ОГМ МПВ, полученный для определения поправок за ЗМС;
б – до учета ЗМС; в – после учета ЗМС

Обработка сейсмического материала выполнена по единому графу, получены кондиционные временные разрезы с восстановленным соотношением амплитуд в широкой полосе зарегистрированных частот, позволяющие решить поставленную геологическую задачу.

При переобработке по всем архивным материалам была создана электронная база данных, включающая наборы трасс с заполненными заголовками, SPS-файлы, рапорты оператора в электронном виде.

Теперь коротко о результатах интерпретации.

Переобработанные в едином ключе временные сейсмические разрезы 11 сейсмопартий позволили провести интерпретацию в пределах территории Пыль-Караминского участка, в результате которой были изучены структурные поверхности более чем по десяти отражающим горизонтам. Выполнено картопостроение.

Закартировано 14 структурных и структурно-стратиграфических ловушек в нижнеюрском нефтегазоносном комплексе (НГК), семь структурных и структурно-тектонических ловушек в среднеюрском НГК, 13 структурных и структурно-тектонических ловушек в верхнеюрском НГК, 15 структурных и структурно-литологических ловушек в неокомских отложениях, а также отрисована древняя дельта реки; в верхах осадочного чехла – палеоруслу в кровельной части отложений славгородской свиты.

При интерпретации по единому блоку временных разрезов стало возможным:

- 1) проследить отражающие горизонты по всей территории и выполнить картопостроение по ним;
- 2) существенно уточнить структурные планы по отражающим горизонтам. Оконтурировать структуры на границах смежных партий, где ранее контуры были незамкнуты;
- 3) уверенно протрассировать по территории участка тектонические нарушения, в том числе и регионального плана, что было довольно сложно сделать ранее по 11 отдельным партиям;
- 4) провести анализ волновой картины доюрского комплекса, выделить три типа записи волнового поля ниже горизонта А;
- 5) уточнить границы крупных тектонических структур;
- 6) однотипно выделить по всей территории сейсмофациальные комплексы;
- 7) провести динамо-флюидный анализ (метод DFM), что позволило предложить карту прогнозных зон с максимальной степенью флюидо-нефтенасыщенности;
- 8) представить геологическую модель строения недр Пыль-Караминского участка, оконтурить предполагаемые перспективные структурные, структурно-стратиграфические, структурно-тектонические, структурно-литологические ловушки, в том числе локализованные в пределах смежных партий. Выделить первоочередные участки поисковых работ и дать рекомендации по размещению проектных скважин.

Выводы

Переобработка старых материалов с использованием новых технологий и методов позволяет без дополнительных затрат на новые сейсморазведочные работы:

- выявить новые особенности в строении исследуемых площадей без проведения дополнительных полевых работ;
- скорректировать ранее допущенные неточности;
- уменьшить затраты времени на обработку;
- создать электронную базу архивных полевых материалов.

ЭРОЗИОННЫЕ ВРЕЗЫ

¹В.М. Попов, ²Л.М. Попова, ¹В.П. Щербак

¹ОАО «Удмуртгеофизика», г. Ижевск

²Пермский филиал ОАО «Удмуртгеофизика», г. Пермь

Аннотация. Приводятся материалы о распространении и механизме возникновения эрозионных врезов в палеозойских отложениях северной части Волго-Уральской нефтегазоносной провинции. Рассмотрен механизм происхождения врезов, обозначены проблемы картирования врезов при проведении сейсморазведочных работ и предложены рекомендации по выделению врезов.

Введение

ОАО «Удмуртгеофизика» проводит региональные, поисково-разведочные и детализационные сейсмические исследования на углеводороды в пределах Волго-Уральской нефтегазоносной провинции. Работы выполнены в Удмуртии, Татарии, Башкирии, Ульяновской, Самарской, Оренбургской, Кировской областях, в Пермском крае, и практически на всех площадях в отложениях палеозоя были обнаружены эрозионные врезы разной ориентировки, протяженности и строения.

Выполняя работы на территории всей Волго-Уральской провинции, мы получили возможность на региональном уровне обобщить информацию, полученную о врезях по отдельным площадям.

При картировании врезов на отдельных площадях были изучены морфология врезов, механизм возникновения, характер изменения сейсмической записи и региональные закономерности распространения врезов. Накоплен фактический материал, позволяющий выполнить корреляцию сейсмических записей врезов между площадями и построить карты регионального распространения врезов для отдельных горизонтов палеозоя.

Строение и картирование врезов

Эрозионными врезами называются линейно вытянутые отрицательные структурные формы, расположенные в пределах мелководных и континентальных образований, созданные за счет врезания в подстилающие отложения узких протяженных долин, заполненных терригенным материалом. Врезы рассекают подстилающие отложения на больших расстояниях, сохраняя постоянные размеры по ширине и глубине. Они секут любые структурные формы рельефа, встреченные на своем пути и существующие на поверхности врезания к началу их образования. Врезы заполнены продуктами разрушения самого вреза – терригенным материалом, принесенным с его верховьев. В силу своих морфологических особенностей и характера заполнения терригенного материала врезы являются прекрасными ловушками для углеводородов, контролируют залежи неструктурного типа и часто осложняют залежи в пределах тектонических и седиментационных структур.

О значении врезов для нефтяной геологии написано немало. В разные годы в научных и производственных организациях ими занимались как геологи, так и геофизики. Для анализа строения врезов в большей степени использовали результаты глубокого бурения и сейсморазведки [1–10]. Механизм образования врезов и причины их морфологических особенностей разными исследователями трактуется по-разному. История изучения эрозионных врезов очень детально и обзорно была представлена в докладе на конференции в Казани в 2009 году. В [2, 9, 10] дан обширный обзор истории их изучения и очень критически рассмотрены все гипотезы их происхождения.

Необходимость детальнейшего системного изучения врезов объясняется тем, что в их пределах недоразведаны и недоучтены огромные запасы углеводородов, и это запасы не только в пределах новых площадей, но и на площадях разрабатываемых месторождений в районах с развитой инфраструктурой нефтегазодобычи, транспорта и переработки.

Анализируя строение врезов на отдельных площадях, нами выявлены общие и региональные особенности строения, которые объяснимы их приуроченностью к отдельным блокам недр или группе блоков.

Применение сейсморазведки для региональных и даже для площадных обобщений осложнено трудностью выделения врезов на сейсмическом материале и площадной корреляции из-за их высокой изменчивости на небольших расстояниях.

На карте распространения врезов различных горизонтов палеозоя (рис. 1) представлены фрагменты распространения каширских, визейских и малевско-упинских врезов.

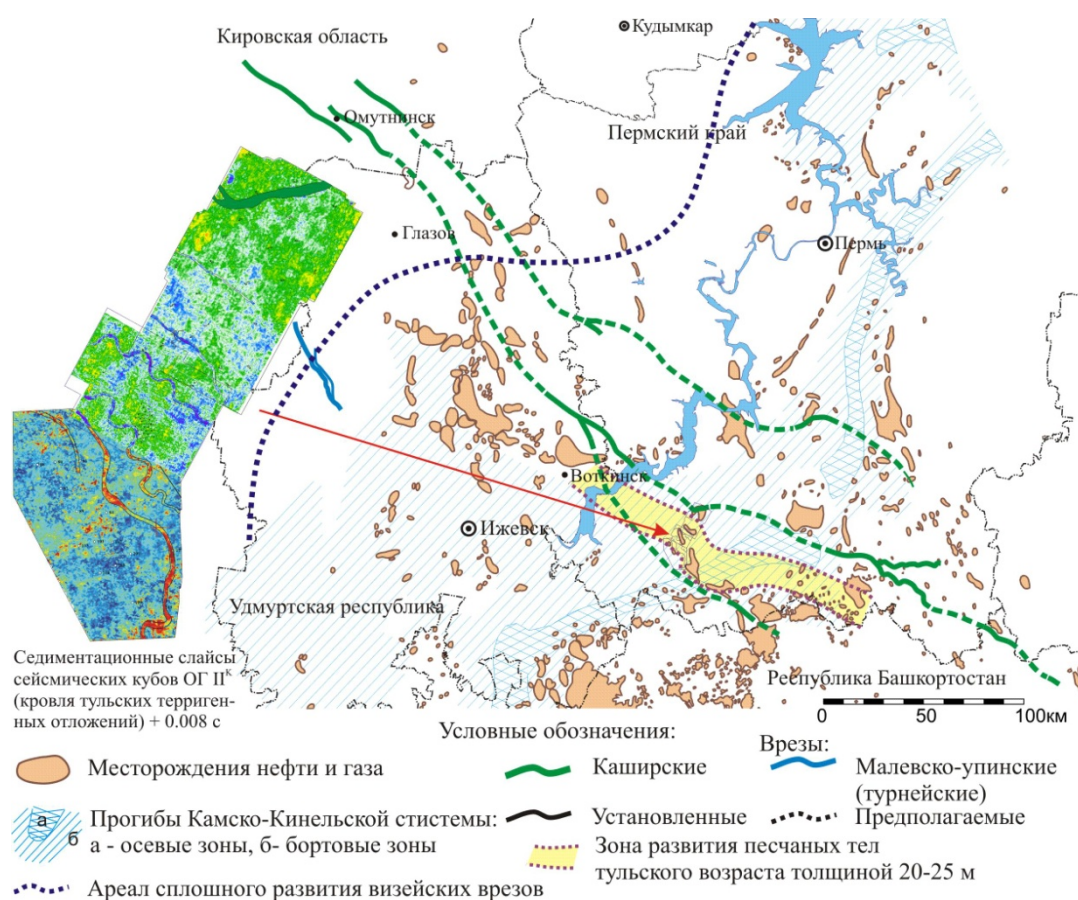


Рис. 1. Схема развития палеозойских эрозионных врезов

Принципы корреляции врезов

Корреляция и отождествление отдельных участков врезов в единые линейно-протяженные объекты, а также построение карты регионального распространения врезов выполнены нами на основе следующих принципов, которые объединены в группы; часть из этих принципов установлена ранее другими исследователями.

Временной фактор:

– процесс эрозии начинался на начальном этапе регрессии и происходил почти одновременно по всей длине вреза в период резкого подъема территории и заканчивался при уменьшении региональных углов наклона эрозионной поверхности;

– сам врез – это результат эрозии поверхности, сформированной к концу трансгрессивного этапа.

Морфологические характеристики:

- глубина, ширина и углы наклона дна вреза постоянны по всей длине для блока;
- врезы почти прямолинейны на отдельных участках, либо слабо меандрируют.

Вмещающие отложения:

- часть врезов, образованных в терригенной толще и заполненных терригенным материалом, сейсмически «невидимы»;
- процесс врезания распространялся в пределах отдельных блоков земной коры или группы блоков с критическими углами наклона поверхности врезания и начинался с пониженных их участков, при этом на границе блоков менялось направление врезания.

Заполнение врезов:

- одновременно с врезанием происходило и заполнение вреза терригенным материалом, перенесенным с более приподнятых участков вреза (рис. 2);
- при переносе и отложении терригенного материала во врезе происходила дифференциация материала в зависимости от удаленности места отложения от места разрушения: чем дальше – тем мельче;
- за счет дифференциации материала формировались определенные ритмы разрезов в осевых зонах врезов – в основном это ритмы трансгрессивного типа, то есть более грубообломочный материал отлагался на дне вреза;
- за пределами нижней части вреза формировались области сноса терригенного материала в виде конусов выноса и в виде русловых потоков, которые являются прекрасными ловушками для углеводородов;
- сочленения заполняющих отложений со стенками вреза носят явно несогласный характер, что позволяет формироваться характерным отражающим сейсмическим сигналам.

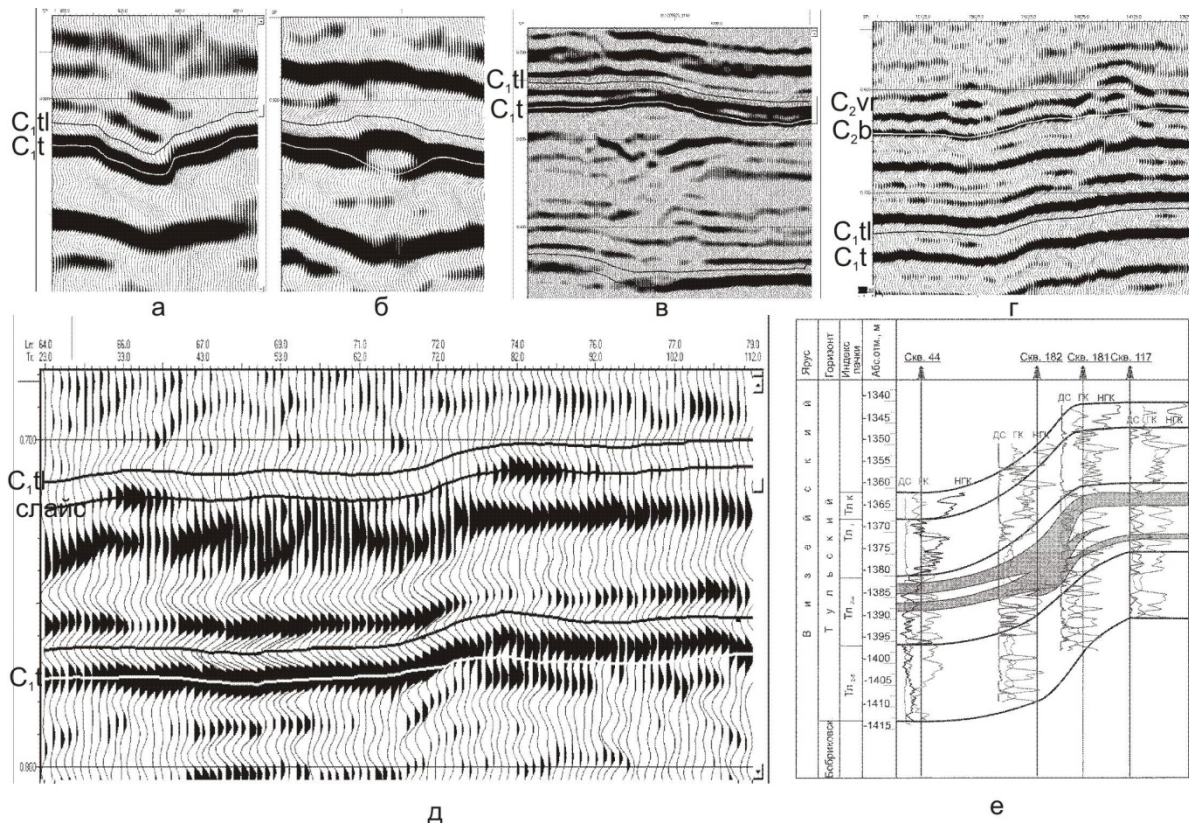


Рис. 2. Отображение разновозрастных врезов в сейсмической записи:

а – визейский врез, заполненный преимущественно глинистым материалом; б – визейский врез, заполненный преимущественно песчаником; в – малевско-упинский врез, выполненный 80-метровой толщей песчаника; г – каширские врезы; д – тульские врезы, выполненные песчаником толщиной 24 м, и геологический разрез (е) через один из них

Предпосылки обнаружения врезов:

– врезы в карбонатах, заполненные терригенным материалом, сейсмически контрастны (рис. 2 а–г);

– врезы, существующие среди терригенного типа разреза и заполненные терригенным материалом, интерпретируются плохо из-за своей неконтрастности, но при достижении толщины заполняющих песчаников в 20–25 м возникает отраженная волна (рис. 2 д);

– врезы сочленяются в единые линейно вытянутые врезы, в переходной зоне от области преимущественной денудации к области преимущественной аккумуляции сочленяются с врезами, образованными в терригенных отложениях, и далее переходят в преимущественно аккумулятивные протяженные (шнурковые) песчаные тела, которые обладают структурообразующими свойствами и способны образовывать великолепные нефтяные ловушки даже на незамкнутых структурах;

– морфологические и генетические особенности строения каширо-верейских, визейских (в том числе тульских) и турнейских врезов проявляются на сейсмическом материале в виде индивидуальных поисковых признаков, позволяющих достаточно надежно интерпретировать врезы;

– на отдельных больших участках распространения каширских врезов и тульских песчаных тел большой толщины наблюдается их близкое расположение в плане с небольшим смещением к югу, что объясняется единством тектонического фактора на протяжении длительного периода (раннего и среднего карбона) и облегчает поиск перспективных.

Выводы

Врез – это не наследованный элемент строения территории, а заново рожденный в начале регрессии желоб в теле блока, и поэтому врезы секут любые формы рельефа, существующие к началу врезания (исключение составляют каширские врезы – они часто избегают своды структур облекания отдельных рифовых построек).

В силу особенностей строения и заполнения терригенным материалом врезы могут содержать большие запасы углеводородов, особенно при пересечении залежей во вмещающих их породах; тульские аккумулятивные песчаники большой (около 25 м) мощности на структурах облекания позднедевонских рифов могут быть заполнены углеводородами полностью, в области турнейского шельфа чаще всего заполнены частично.

Изучая палеотектонику блокового строения осадочного чехла, можно прогнозировать наличие или отсутствие врезов.

Надежно картируемые каширские врезы можно использовать как ориентиры для поиска менее узнаваемых в волновом поле многорусловых и меандрирующих тульских палеорусел.

Необходимо совершенствовать методику сейсморазведки для картирования врезов, а уверенное картирование песчаных тел увеличенной толщины уже сейчас можно выполнять без применения специальных обработок, методик и программных комплексов, т.е. в массовом производственном режиме.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ларочкина И.А., Байдова И.К., Сухова В.А.* Перспективы нефтеносности терригенных отложений девона на западном склоне Южно-Татарского свода // Основные итоги геологоразведочных работ на территории Татарии в XIII пятилетке, направления и пути повышения эффективности ГРП на 1991–1995 гг. Тезисы научно-технической конференции. – Альметьевск, 1991. – С. 44–45.

2. **Смирнов В.Г.** Визейские и верейские эрозионные врезы – перспективные объекты на поиски залежей нефти и газа // Геология нефти и газа. – 1994. – № 7.
3. **Шпилева И.К., Трофимов Е.В., Фурман В.Ф., Истомин А.Г.** Некоторые особенности строения визейских врезов в Удмуртии // Геология нефти и газа. – 2001. – № 6.
4. **Мухаметшин Р.З., Напалков В.Н.** Роль выпускников Казанского университета в познании природы нижнекаменноугольных эрозионных врезов // Тезисы научно-практической конференции. – Казань, 2009.

Фондовые работы

5. **Попов В.М. и др.** Подготовка объектов к глубокому бурению в бортовой зоне ККСП к северу от Чайкинского месторождения нефти. – Пермь: ООО «НОВИК», 2001. – С. 50–58.
6. **Попов В.М. и др.** Поиск и детализация нефтеперспективных структур в отложениях палеозоя на Лисьинской площади. – Пермь: ООО «НОВИК», 2004. – С. 56–58.
7. **Попов В.М. и др.** Региональные сейсморазведочные работы по профилю X–X' (Быргында–Воткинск). – Ижевск: ОАО «Удмуртгеофизика», 2005. – С. 108–113.
8. **Попов В.М. и др.** Детальное изучение геологического строения Мало-Усинского месторождения нефти по технологии пространственной сейсморазведки МОГТ 3D. – Пермь: ООО «НОВИК», 2006. – С. 163–169.
9. **Попов В.М., Попова Л.М., Бражников А.О. и др.** Региональные сейсморазведочные работы на Сюмсинско-Новозятцинской площади (Удмуртская Республика). – Ижевск: ОАО «Удмуртгеофизика», 2010. – С. 218–225.
10. **Попов В.М., Попова Л.М. и др.** Отчет «Сейсморазведочные работы по технологиям МОГТ-3D на Уратьминском месторождении ЗАО «Геология». – Ижевск: ОАО «Удмуртгеофизика», 2011. – С. 127–130.

НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛНОГО ГРАДИЕНТА ПОТЕНЦИАЛА ПОЛЯ ПРИ РЕШЕНИИ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ

Г.В. Простолупов, к.т.н., М.В. Тарантин, к.т.н.
Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация. Метод трехмерного преобразования полного градиента потенциала основан на геометрическом свойстве этих векторов пересекаться в области источника. Точки пересечений векторов определяются в скользящих полигонах разных размеров. Множество полюсов положительных, отрицательных и нейтральных, в виде скоплений точек или совокупности параллелепипедов представлены на трехмерной диаграмме и могут рассматриваться как начальная модель, предназначенная для визуального анализа и интерпретации.

Развитие методов экспресс-интерпретации, результаты применения которых могли бы служить начальным приближением для количественной интерпретации и осмысливаться геологически, является актуальным. Рассматриваемый метод, как и другие подобные по характеру результатов, такие, как деконволюция Эйлера [1] и тензорная деконволюция [2], являются разновидностью трансформаций поля и предназначены прежде всего для визуального анализа. Интерес к подобным методам обусловлен их чрезвычайной производительностью в вычислительном плане. Наиболее близко к ним находятся методы, основанные на концепции особых точек. Однако, по сравнению с ними, перечисленные выше методы значительно более производительны, но менее строгие с теоретической точки зрения.

Коротко напомним суть метода, предложенного в [3] и основанного на геометрическом свойстве векторов полного градиента потенциала в трехмерном пространстве сходиться в сторону положительной массы и расходиться в случае отрицательной. Пересечение двух прямых – продолжений векторов в двумерном случае дает точку, расположенную в области возмущающей массы, если же масса точечная – они совпадут. При этом для краткости точки пересечения векторов полного градиента потенциала названы авторами «полюсами», т.к. приобретают характеристику полярности: точка пересечения имеет знак положительный или отрицательный.

При помощи метода истокообразных аппроксимаций поле V_z , измеренное на гравиметрических профилях, пересчитывается [4] в узлы прямоугольной сетки в значения полного градиента потенциала:

$$V_x(x, y, z) = G \sum_{i,j} \frac{m_{i,j} \cdot (\xi_{i,j} - x)}{r_{i,j}^3}, \quad V_y(x, y, z) = G \sum_{i,j} \frac{m_{i,j} \cdot (\eta_{i,j} - y)}{r_{i,j}^3},$$
$$V_z(x, y, z) = G \sum_{i,j} \frac{m_{i,j} \cdot (\zeta_{i,j} - z)}{r_{i,j}^3}.$$

Далее выбирается четырехугольный полигон, вершины которого совпадают с узлами сетки (рис. 1). Расчет ведется только в тех полигонах, у которых векторы силы притяжения сходятся в нижнее полупространство – положительный полюс, либо расходятся в верхнее полупространство – отрицательный полюс. В каждом полигоне вычисляются шесть полюсов в вертикальных плоскостях, проходящих через вершины полигона, включая диагональные.

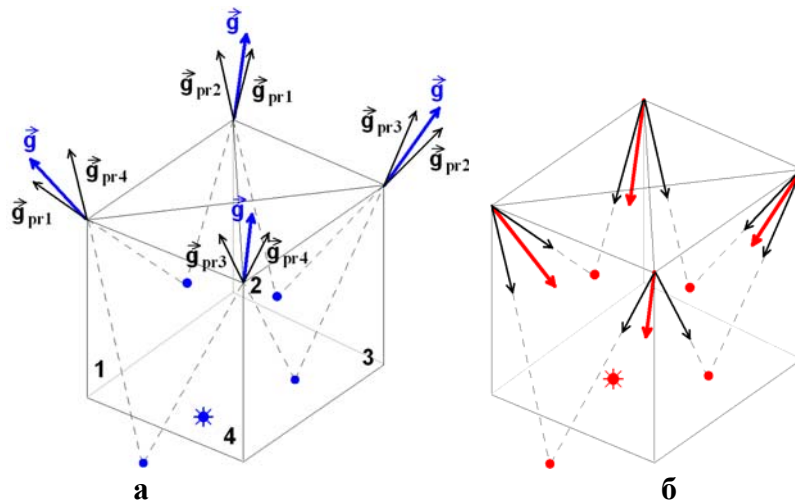


Рис. 1. Схема пространственного определения полюса:
а – отрицательного; б – положительного

В зависимости от вариаций взаимного направления пары векторов насчитано пять возможных вариантов полюсов. В случае схождения в нижнее полупространство получаем полюс положительный P^{++} , в случае расхождения в верхнее полупространство – полюс отрицательный P^- , есть также полюс слабоположительный – P^+ , слабоотрицательный P^- и нейтральный P^0 .

Интервалы размеров полигонов задаются оператором и являются скользящими окнами. В результате получаем трехмерную диаграмму скоплений полюсов P^{++} и P^- , совокупность которых дает локализацию и приблизительную форму источника. При большей интенсивности модуля векторов полюс приобретает более яркую окраску.

В качестве теоретического примера приведем результаты обработки модельного поля от двух точечных источников $h=0.5$ и $h=0.75$ км разной массы, разнесенных в пространстве (рис. 2 а). Результаты определения пространственного положения центров возмущающих тел дают близкие к действительности значения. Положение центров скоплений, так же как и масса, имеют отклонение от исходно заданного не более 1/50. Аналогичную локализацию показали пять точечных источников.

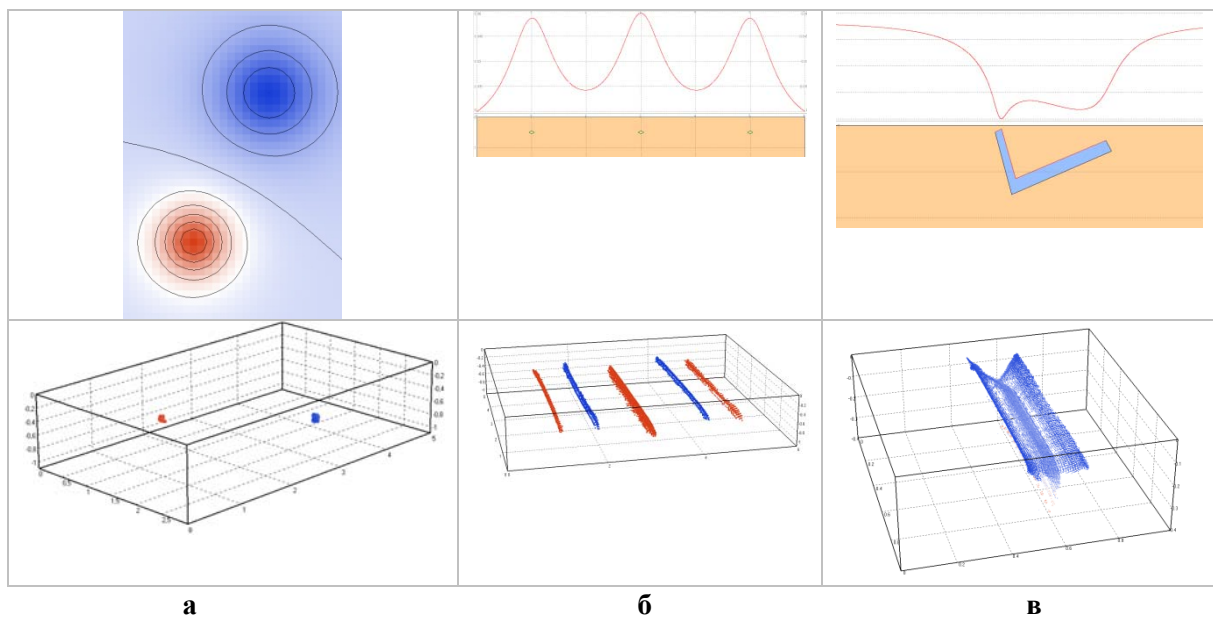
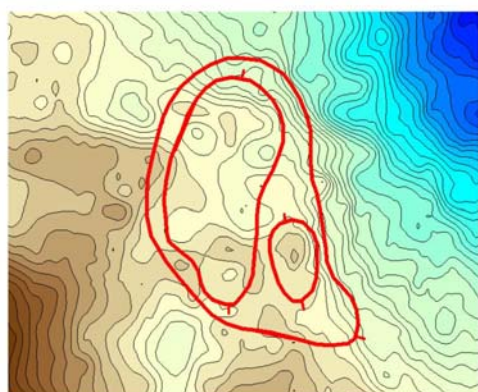


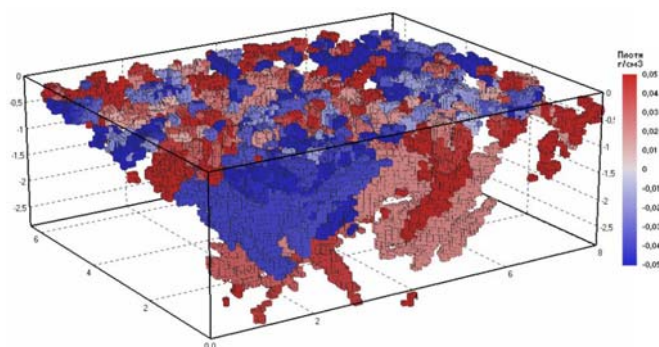
Рис. 2. Определение пространственного положения источников типа:
а – точечные; б – три стержня; в – уголок

Из теории метода вытекает, что наиболее подходящими для метода полярной трансформации являются поля источников типа точечных. Учитывая, что реальные объекты очень редко имеют подобную форму, рассмотрим модель не точечного характера, например, материальный стержень. Такая модель может быть использована при изысканиях над шахтными полями, газопроводами и другими протяженными объектами. Рис. 2 б отражает результат обработки гравитационного эффекта трех материальных стержней.

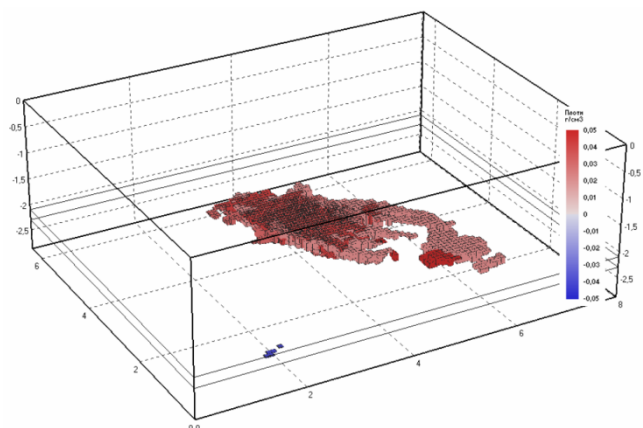
По сравнению с полюсами типа P^{++} и P^- , полюса типа P^+ и P^- являются неявными по отношению к источникам (или сопряженными по отношению к ним). Однако при интерпретации реального гравитационного поля по чередованию отрицательных и положительных аномалий нелегко (а если строго – невозможно) определить, вызвано это положительными источниками во вмещающих породах меньшей плотности или наоборот. Например, если рассмотреть синусообразную функцию поля, она в равной степени может быть вызвана как отрицательными источниками, так и положительными. Задействование слабоотрицательных P^- и слабоположительных P^+ полюсов позволило локализовать источники, как положительные, так и отрицательные (рис. 2 б), тогда как явные полюса позволили локализовать только положительные.



а



б



в

В следующем примере использован неклассический источник типа протяженный уголок. Как видно на рис. 3 в, облако решений восстанавливает объект, похожий на исходную модель. Однако следует отметить, что вершина левого крыла локализуется немного глубже, чем на модели.

Рис. 3. Пример полярной трансформации:

а – исходное поле; б – диаграмма скопления полюсов; в – горизонтальный срез диаграммы

В случае сложного поля, как показал опыт, наилучший результат имеет место при отдельной трансформации разностных компонент поля и дальнейшего сведения полученных полярных трансформант в одну 3D-диаграмму.

С учетом последнего замечания в качестве практического примера рассмотрим трансформацию детального поля (рис. 3 а) над рифогенной структурой, находящейся на глубине около 2 км. В результате обработки получены диаграммы объединенных скоплений полюсов (рис. 3 б). На диаграммах выделяется как сам риф, так и структура облекания. На рис. 3 в представлено одно из сечений диаграммы на глубинах рифогенного поднятия.

Таким образом, геометрия векторов пространственного градиента потенциала притяжения – быть направленными в сторону источников – позволяет создавать эквивалентные модели их распределения.

Создана и более мобильная – 2D-версия программы описанных выше экспресс-решений обратной задачи. Дальнейшее развитие метода видится в исследовании свойств нейтральных полюсов P^0 .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Zhang C., Mushayandebvu M.F., Reid A.B., Fairhead J.D., Odegard M.E.** Euler deconvolution of gravity tensor gradient data // *Geophysics*. – 2000. – Vol. 65, N 2. – P. 512–520.
2. **Михайлов В.О., Диаман М.** Некоторые вопросы интерпретации данных тензорной деконволюции // *Физика Земли*. – 2006. – № 12. – С. 3–10.
3. **Простолупов Г.В.** Методы анализа объемного гравитационного поля: Дис. канд. техн. наук. – Пермь, 2000.
4. **Долгаль А.С.** Аппроксимация геопотенциальных полей эквивалентными источниками при решении практических задач // *Геофизический журнал*. – 1999. – Т. 21, № 4. – С. 71–80.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ИСТОЧНИКОВ ПОСТУПЛЕНИЯ ВОДЫ В ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СКВАЖИНАХ ПЕРМСКОГО КРАЯ

О.Л. Сальникова
ОАО «Пермнефтегеофизика», г. Пермь

Аннотация. Проведен анализ эффективности проведения различных технологий исследования в горизонтальных скважинах в зависимости от промышленной ситуации на момент исследования и способа вызова притока. Обозначены методические подходы для интерпретации при решении задачи по определению источника обводнения нефтяной продукции в горизонтальных скважинах.

Введение

Горизонтальные скважины (ГС) начали бурить еще в середине прошлого века. Однако в силу ряда технических и экономических причин их широкое применение было ограничено. Сегодня ситуация поменялась и одним из направлений повышения эффективности разработки нефтяных месторождений стало бурение горизонтальных скважин, которое предполагает максимальную площадь контакта с коллектором для повышения его нефтеотдачи, т.е. повышение эффективности разработки нефтяных месторождений. Так, в Пермском крае за последние пять лет пробурены и находятся в эксплуатации более 90 ГС, а количество вновь пробуренных скважин растет из года в год.

Особенности решения задач ГИС-контроля в ГС

Горизонтальные скважины имеют ряд особенностей по отношению к вертикальным скважинам как на этапе бурения и ввода в эксплуатацию, так и на этапе контроля за разработкой [1]. Так, для решения задач контроля и определения эксплуатационных характеристик в ГС требуется учитывать следующие особенности: большую протяженность открытой эксплуатируемой части ствола скважины (200–400 м); сложную траекторию условно горизонтальной части ствола, приводящую к образованию восходящих, нисходящих, горизонтальных потоков в стволе скважины; ограничение информативности традиционных методов состава (резистивиметра, влагомера) в ГС из-за гравитационного расслоения поступающего флюида (многофазный поток); большую зависимость показаний термодобитомера (СТИ) от состава жидкости в условиях многофазного потока жидкости; ограничение использования традиционного прибора механического расходомера в условиях небольших удельных дебитов ГС; плохую подготовку ствола скважины (наличие осадка на большей части УГС ввиду сложности промывки и др.), препятствующую получению качественного геофизического материала.

В результате перечисленных особенностей основными информативными методами современных приборов при проведении ГИС-контроля являются методы высокочувствительной термометрии и барометрии [2].

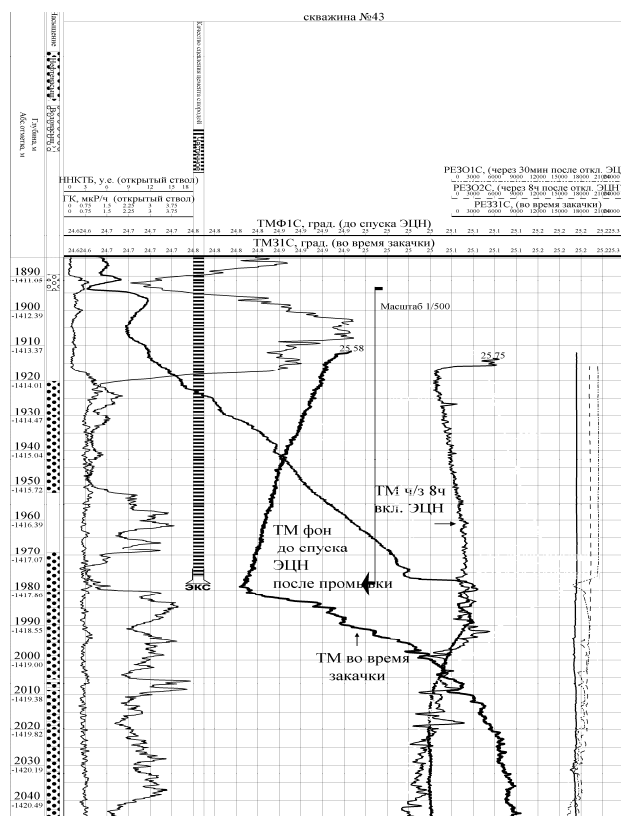
Технологический комплекс «Латераль»

В ОАО «Пермнефтегеофизика» накоплен большой опыт в решении геолого-технологических задач, постоянно ведется анализ достоверности выданных заключений по ГИС и эффективности той или иной технологии исследования в зависимости от геолого-технических условий и промышленной ситуации на момент проведения ГИС, от способа вызова притока в ГС. Несмотря на ограниченные возможности аппаратуры, основные задачи ГИС-контроля успешно решаются в Пермском регионе с применением отечественных комплексных приборов.

Доставка приборов на забой ГС осуществляется при помощи надежного и оптимального технологического комплекса «Латераль», разработанного в ОАО «Пермнефтегеофизика». Доставка приборов на забой осуществляется при помощи насосно-компрессорных труб (НКТ) малого диаметра (33 мм). Электрическая связь с прибором выполняется при помощи закрепленного на геофизическом кабеле специального устройства осуществления электрической связи («мокрый контакт»), крепление колонны НКТ к геофизическому кабелю производится при помощи кабельного зажима. Одним из технологических приемов специалистами ОАО «Пермнефтегеофизика» предложено выполнять исследования в эксплуатационных ГС посредством предварительного спуска технологического комплекса «Латераль» под глубинные насосы. Реализация такой технологии позволяет проводить измерения при выводе скважин на заданный режим эксплуатации, меняя условия извлечения флюида за счет изменения депрессии на продуктивные интервалы [3].

Опыт в решении задачи по определению источника обводнения на примере ГС Пермского края

При решении задач контроля наиболее остро нефтегазодобывающие предприятия ставят задачу определения источников обводнения. При этом заказчика геофизических исследований интересует конкретная причина обводнения и интервалы предполагаемых изоляционных работ [4].



В статье приведены примеры успешного решения задач при интерпретации скважин действующего фонда ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ» с подбором наиболее эффективной технологии проведения геофизических исследований и методических подходов по определению источников обводнения в различных ситуациях.

На рис. 1 показан пример исследования работающей ГС № 43. В течение первого месяца в скважине, оборудованной ЭЦН-30, суточный дебит нефтяной продукции составлял 25 т при 7% содержании воды, но уже через месяц обводненность составила 35%, через девять месяцев – 90%.

Рис. 1. Определение заколонного перетока «сверху» в ГС № 43

Проведенные исследования при спуске комплексного геофизического прибора под установку электроцентробежного насоса (ЭЦН) показали, что открытый ствол скважины работает нефтью, а вода поступает в скважину из водонасыщенных пластов, перекрытых колонной. Негерметичность заколонного пространства послужила причиной перетока «сверху». Наиболее показательна в данном случае кривая термометрии во время закачки, которая указывает на наличие сообщаемости заколонного пространства с открытой частью ствола скважины, а также подтверждает уход жидкости под башмак колонны. Одной из причин плохого качества цементирования заколонного пространства является установка башмака эксплуатационной колонны в проницаемый пласт.

Выбранный прием исследования – ГИС-контроль по определению наиболее про- ницаемых участков во время закачки, позволивший установить основной источник об- воднения – положительно зарекомендовал себя также в скважине № 25 (рис. 2).

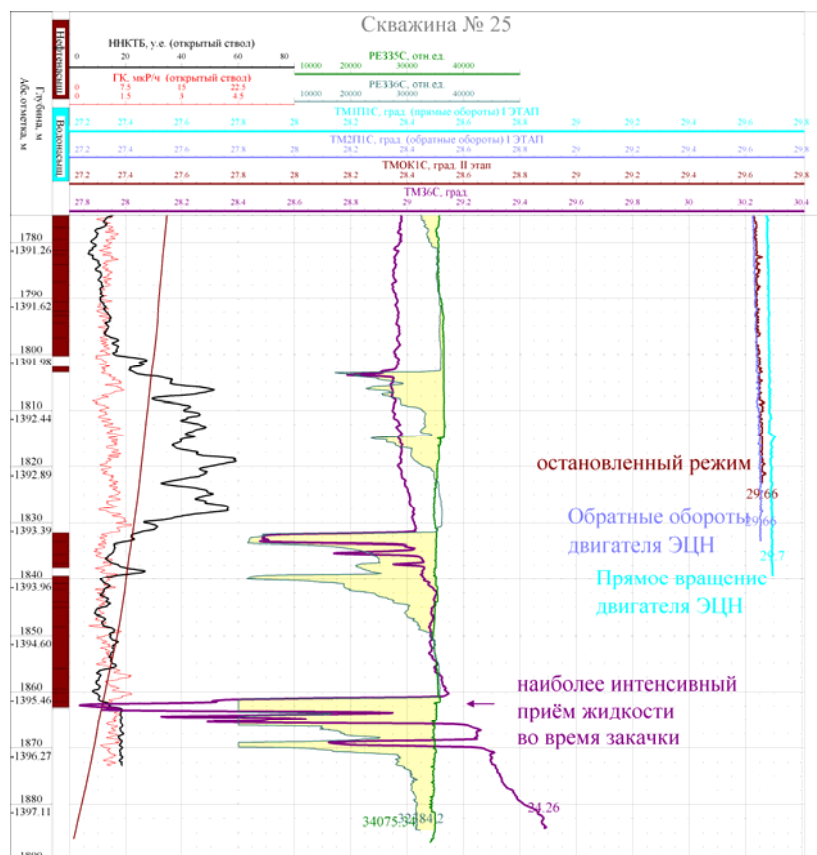


Рис. 2. Определение источника обводнения в ГС № 25. Исследования во время закачки и на различных режимах работы ЭЦН

После перевода скважины на эксплуатацию при помощи ЭЦН, через три месяца произошло резкое обводнение до 99%. Башмак эксплуатационной колонны находится в интервале плотного карбонатного пласта. Это гарантировало хороший и участками частичный контакт цементного камня с колонной. Заколонный переток сверху в начале эксплуатации чаще всего в таких случаях незначительный.

После закачки более 50 м^3 воды на термограмме четко выделяются интервалы наиболее интенсивного приема жидкости. Самыми высокими фильтрационными свойствами из них обладает прослой в интервале 1862.0–1863.5 м (понижение температуры относительно потока закачиваемой воды составляет 1.3°C), находящийся более чем в 10 м выше (по вертикали) водонефтяного контакта (ВНК). Учитывая, что вертикальная макротрещиноватость на платформенной части отсутствует, именно через этот пласт в открытую часть ствола поступает вода из законтурной части залежи.

До проведения ГИС-контроля во время закачки проводились исследования во время работы ЭЦН при различных оборотах электродвигателя. Температура на кривых ТМ практически не изменялась во всем интервале исследования. Но так как во время этих исследований прибор до забоя не доходил, определить точно положение источника созданного потока не представилось возможным. Потребовались дополнительные исследования, описанные выше (во время закачки), подтвердившие наличие высокопроницаемого участка вблизи забоя, через который поступает вода из законтурной части залежи.

Продукция скважины № 42 (рис. 3) через три года эксплуатации обводнилась на 87%. При дальнейшей эксплуатации ЭЦН-250 содержание воды достигло 96%.

В результате исследований при компрессировании было установлено наличие заколонного перетока «сверху», но оценить долю его в общем объеме обводнения не представлялось возможным. При исследованиях в работающем режиме при помощи спуска геофизического прибора под ЭЦН установлено, что основным источником обводнения является высокопроницаемый коллектор, через который поступает минерализованная вода из законтурной части залежи. Выше и ниже этого пласта интервалы работают нефтью. С учетом полученных данных производительность ЭЦН была снижена. В настоящее время объем добываемой нефти рентабелен.

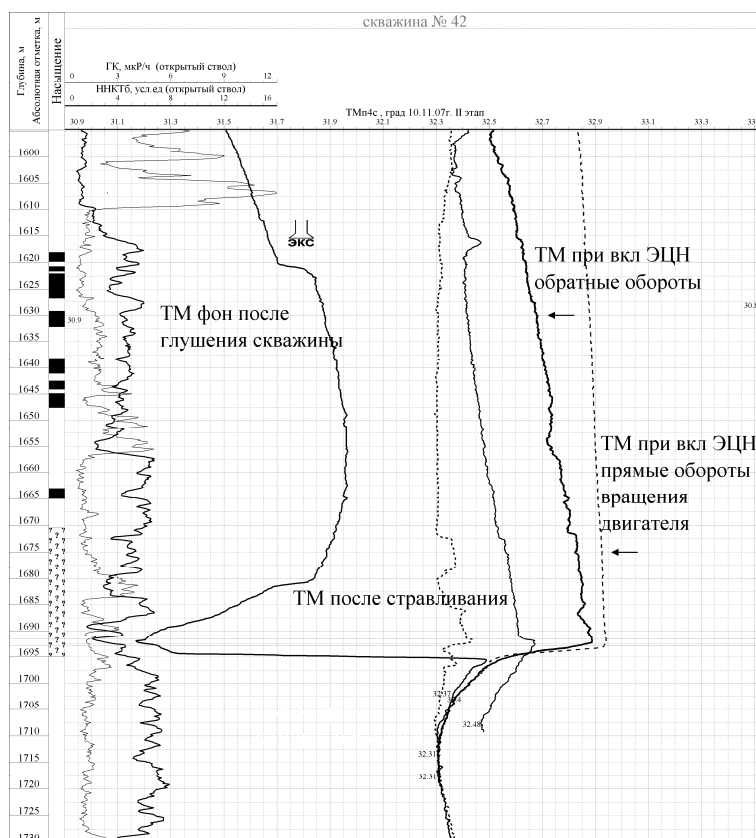


Рис. 3. Поступление минерализованной воды в ГС из законтурной части залежи

Результаты исследований в работающей скважине № 41 приведены на рис. 4. Источником обводнения в данной скважине является пласт, оказавшийся в зоне подъема ВНК на забое. Заколонный переток сверху исключен, так как проницаемые интервалы в терригенных отложениях выше башмака колонны отсутствуют.

Интервал, работающий водой, выявлен благодаря инверсии дроссельного эффекта для нефти и воды, заключающийся в том, что в течение первых пяти часов работы скважины, за счет большей подвижности воды, по сравнению с нефтью, против водонасыщенных интервалов образуются более высокие дроссельные аномалии, по сравнению с нефтенасыщенными. Эффект наблюдался при исследованиях во время вызова притока компрессированием на термограммах, зарегистрированных сразу и через три часа после стравливания давления [5]. При замере через 21 час после стравливания давления кривая термометрии была зарегистрирована не до забоя (по техническим причинам). При исследованиях во время спуска приборов под ЭЦН при длительной работе скважины величина температурных аномалий зависит только от коэффициента Джоуля–Томсона и созданной депрессии (1), поэтому интервалы, работающие нефтью, уже характеризуются большими дроссельными аномалиями, по сравнению с водонасыщенными [2]:

$$\Delta T = \Delta P \cdot \varepsilon, \quad (1)$$

где $\Delta T = T_{\text{тек}} - T_{\text{нач}}$, $\Delta P = P_{\text{пл}} - P_{\text{заб}}$, ε – коэффициент Джоуля–Томсона.

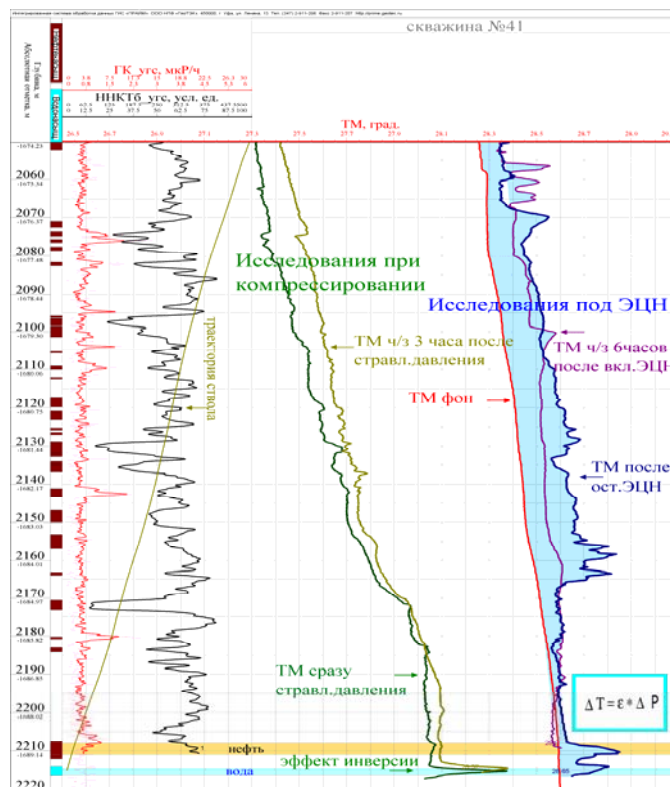


Рис. 4. Пример инверсии дроссельного эффекта нефти и воды в скважине № 41

Выводы

Представленные в докладе материалы иллюстрируют существенное влияние на эффективность ГИС-контроля условий геофизических исследований. Ограниченные возможности аппаратуры в условиях ГС удается компенсировать за счет использования новых технологических и методических приемов при выполнении ГИС-контроля и интерпретации.

1. Так как методы состава обладают низкой информативностью, для решения задач ГИС-контроля в ГС, в частности для определения мест поступления воды, основными информационными методами остаются метод термометрии в совокупности с методом барометрии.

2. Эффективность метода термометрии в значительной степени зависит от положения источника обводнения по отношению к наиболее высокопроницаемым пластам в открытой части ствола, от способа вызова притока, а также от времени замера и соотношения величин давления забойного ($P_{зab}$), пластового ($P_{пл}$) и насыщения ($P_{нас}$). Несмотря на сложность термодинамических процессов и отсутствие руководящего документа по методике интерпретации для УГС, геофизические исследования, проводимые в скважинах, позволяют:

- выявить сообщаемость открытой части ствола с обсаженной (определение заколонного перетока) при освоении скважин компрессором;
- определить место поступления воды, используя инверсию дроссельного эффекта для нефти и воды, с учетом временных ограничений проявления этого эффекта, при вызове притока компрессором, при малых дебитах и нахождении предполагаемого источника обводнения в нижней части УГС;
- установить наиболее проницаемые участки для определения наиболее вероятного источника поступления воды, будь то подъем ВНК, прорыв законтурной воды, либо заколонный переток сверху из вышележащих водоносных коллекторов, перекрытых колонной, во время закачки;
- определить основной источник поступления воды прибором, спущенным под ЭЦН, при высоком ее содержании в продукции скважины.

3. С целью повышения эффективности ГИС-контроля и сокращения сроков его проведения для составления оптимальной программы геофизических исследований в конкретной скважине, кроме учета имеющегося уже опыта (п. 2), необходим тщательный анализ всей совокупности геолого-геофизической информации и промышленной ситуации, сложившейся в районе скважины к моменту проведения ГИС-контроля. Все это позволит уверенно определить источник поступления воды в скважину (причину обводнения продукции), значительно сократив время и стоимость геофизических исследований.

4. Повышение эффективности ГИС в бурящихся горизонтальных скважинах и возможность решения задач ГИС-контроля (в частности по определению источника обводнения в ГС) напрямую зависит от полноты выполняемого комплекса. Как показывает опыт работ, весь набор геофизических методов, включая дополнительные и специальные исследования в ГС, можно зарегистрировать при помощи технологического комплекса «Латераль», обеспечивающего доставку к забоям геофизических приборов и аппаратов независимо от их массы и длины. Замеры, проводимые с помощью технологического комплекса «Латераль», обеспечивают высокую точность увязки глубин. Технология предварительного спуска оборудования под глубинный насос позволяет выполнять исследования при выводе скважин на заданные режимы эксплуатации, менять их и определять оптимальные режимы работы скважин.

Заключение

Применение новых технологий ГИС и методических приемов интерпретации результатов исследований позволяет уверенно решать основные задачи промышленного каротажа при помощи аппаратуры российского производства даже в осложненных условиях выполнения измерений. Несмотря на все проблемы и неоднозначности, возникающие при интерпретации данных ГИС-контроля, полученная информация помогает проводить анализ результатов и оптимизировать технологию проведения геофизических исследований для более успешного решения задач, поставленных перед геофизическими предприятиями заказчиком, проводить диагностирование причин снижения продуктивности, вырабатывать необходимую стратегию для улучшения эксплуатационных параметров скважин, планировать строительство ГС в будущем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Нигматуллин Д.Ф., Сальникова О.Л., Савич А.Д., Шумилов А.В.* Особенности определения источников обводнения (мест поступления воды) в горизонтальных скважинах // Двенадцатая Уральская молодежная научная школа по геофизике. Сборник научных материалов. – Пермь: ГИ УрО РАН, 2011. – С. 165–168.
2. *Валиуллин Р.А., Вахитова Г.Р., Назаров В.Ф., Рамазанов А.Ш., Федотов В.Я., Яруллин Р.К.* Термогидродинамические исследования пластов и скважин нефтяных месторождений. Учебно-методическое пособие. – Уфа: РИО БашГУ, 2004. – С. 17–21.
3. *Денисов А.М., Лагойда Д.В., Лагунов П.С., Савич А.Д., Семенов А.А., Черепанников А.В., Шумилов А.В., Элькин С.Я.* Комплекс для контроля параметров флюида в нефтедобывающих скважинах // Патент на полезную модель № 54395. – 2006.
4. *Байбурун Э.Р., Крючатов Д.Н., Савич А.Д., Шумилов А.В.* Эффективный способ доставки приборов в действующие горизонтальные скважины Западно-Сибирского региона // НТВ «Каротажник». – Тверь: АИС, 2008. – Вып. 9 (174). – С. 9–20.
5. *Сальникова О.Л., Савич А.Д.* Проблемы при решении задач контроля в эксплуатационных горизонтальных скважинах. Подбор оптимального комплекса геофизических исследований для определения источников обводнения на примере скважин Пермского края // Новая техника и технологии для геофизических исследований скважин. XXXII Научно-практическая конференция. Тезисы докладов. – Уфа: НПФ «Геофизика», 2011. – С. 86–92.

ЯДЕРНО-МАГНИТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАЗРЕЗОВ ГЛУБОКИХ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ И СВЕРХГЛУБОКИХ СКВАЖИН

¹Л.В. Сиротенко, к.г.-м.н., ²В.И. Горбачев, к.г.-м.н.,
²Г.В. Тарханов, к.г.-м.н., ²И.Е. Стомпелев
¹ОАО «КамНИИКИГС», г. Пермь
²ОАО «НПЦ «Недра»», г. Ярославль

Аннотация. Приводятся материалы исследования разрезов глубоких и сверхглубоких скважин методом ядерно-магнитного резонанса (ЯМР). Показано, что за счет использования метода ЯМР повышается достоверность выделения коллекторов.

Повышение эффективности современных геологоразведочных работ на нефть и газ тесно связано с совершенствованием исследований перспективных отложений, в особенности обеспечивающих прямую и оперативную информацию о составе, свойствах и строении пород-коллекторов, пластовых флюидов и флюидоупоров.

Анализ состояния полевых аналитических и петрофизических исследований, используемых при проведении геолого-технологических исследований в России, показывает, что существующая ограниченность технико-методических средств не обеспечивает современный уровень оперативного решения геологических задач. Для получения максимальной информации о геологическом разрезе, что особенно важно при исследовании глубоких, сверхглубоких и параметрических скважин, необходимо изучать весь каменный и флюидный материал, поступающий на устье бурящейся скважины.

Для решения этих задач целесообразно использовать широкие возможности магнитно-резонансных исследований, позволяющие исследовать тонкую структуру сложных материалов, их вещественный состав и динамику физико-химических процессов, и которые в настоящее время успешно реализуются в различных областях науки и промышленности, в том числе в нефтегазовой геологии и геофизике [1–5]. Высокая информативность магнитно-резонансных исследований основана на прямой оценке водородосодержащего флюида в поровом пространстве горных пород, его подвижности на молекулярном уровне и возможности экспрессного и бесконтактного изучения петрофизических параметров коллекторов в едином технологическом цикле [1, 3, 4, 6]. Геолого-геофизическое применение магнитно-резонансных исследований горных пород и флюидов при исследованиях разрезов скважин опирается на фундаментальные законы и положения классической и квантово-механической теории ЯМР, в особенности ядерно-магнитной релаксации в водородосодержащих жидкостях и твердых средах [3].

Ядерно-магнитные исследования (ЯМИ) не требуют специальной подготовки проб (шлам, керн, флюид) и позволяют оценивать широкий круг параметров – коэффициенты пористости (общая, открытая и эффективная), остаточную водо- и нефтенасыщенность, структурные особенности пустотного пространства пород (распределение пор по размерам, средний радиус пор), глинистость, карбонатность, проницаемость и др. Эффективность магнитно-резонансных исследований для решения прикладных задач недропользования в области освоения слабоизученных потенциально нефтегазоносных территорий и комплексов подтверждена результатами работ в различных регионах России и зарубежных стран [1–6].

Комплексное изучение разрезов глубоких и сверхглубоких скважин на территории России и других стран мира показало, что с увеличением глубины прослеживается четкая и устойчивая тенденция возрастания доли нетрадиционных сложно построенных коллекторов и флюидоупоров, обладающих специфическими характеристиками,

существенно отличающихся от коллекторов и покрышек промышленно освоенных глубин, для которых метод ЯМР уже достаточно апробирован в ряде районов России. Так, в разрезах Тюменской, Колвинской, Тимано-Печорской, Ен-Яхинской и других изученных глубоких и сверхглубоких скважин на больших глубинах широко развиты нетрадиционные коллекторы и флюидоупоры карбонатного, терригенного и базальтового состава, обладающие широким спектром минералообразующих компонентов, сложным распределением химически и физически связанной воды, специфическим строением пустотного пространства и другими вещественно-структурными особенностями. Возможности использования ЯМИ для таких сложно построенных пород-коллекторов и флюидоупоров до настоящего времени практически не изучены.

Внедрение экспериментального образца аппаратурно-методического комплекса ядерно-магнитных исследований (АМК ЯМИ) на основе компьютеризированного ЯМР-релаксометра «Протон-20М», специализированного программно-методического обеспечения и государственных стандартных эталонов объемного влагосодержания (ГСО ЯМР 2468-08) в практику петрофизических исследований разрезов глубоких параметрических и сверхглубоких скважин позволило существенно повысить информативность геолого-геофизических работ при решении задач по выделению и оценке глубоко погруженных коллекторов нефти и газа.

Система методического обеспечения АМК ЯМИ включает обоснованные рекомендации по регламентированному отбору и подготовке образцов каменного и флюидного материала, процедурам подготовки аппаратуры и оборудования к измерениям, методикам выполнения измерений их характеристик при полевых и стационарных условиях и операциям обработки результатов таких измерений, а также методические рекомендации по оперативному определению петрофизических свойств, состава и структуры продуктивных и вмещающих пород в разрезах глубоких скважин.

Проведенное тестирование макета экспериментального образца АМК на коллекциях образцов пород разрезов глубоких и сверхглубоких скважин (Ен-Яхинская СГ-7, Тюменская СГ-6, Колвинская ПС и др.) и сравнение результатов магнитно-резонансных исследований с данными стандартного анализа методом насыщения образцов керна керосином (ГОСТ 26450.1-85) показало работоспособность АМК МРИ и достоверность петрофизических параметров, определенных с его помощью (рис. 1, 2).

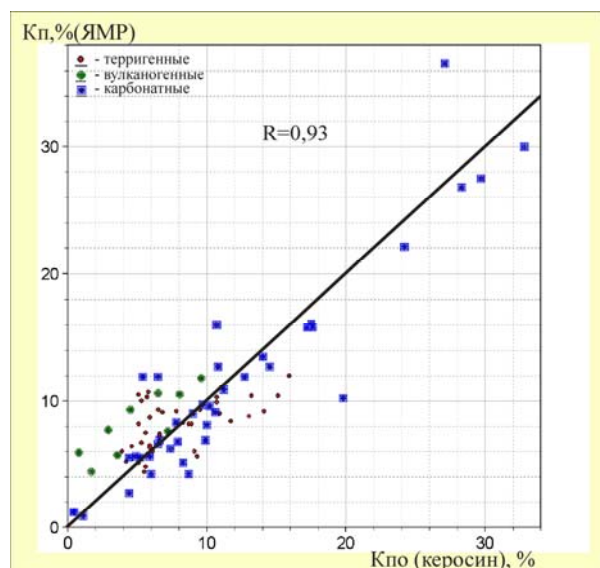


Рис. 1. Сопоставление пористости, определенной методом ЯМР, с открытой пористостью по керосину

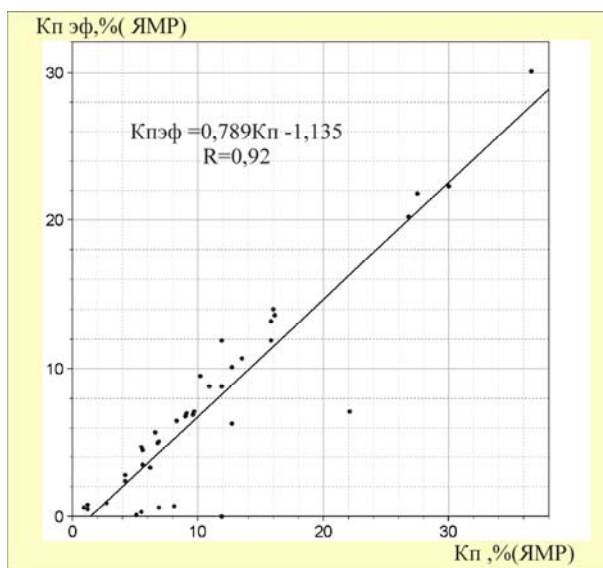


Рис. 2. Зависимость эффективной пористости от общей пористости, определенных методом ЯМР, для карбонатных пород

Дополнительные специализированные исследования кернa методом ЯМР позволили обеспечить надежное выделение сложно построенных пород коллекторов по прямому признаку – наличию свободного подвижного флюида в пустотном пространстве. Если по данным стандартных петрофизических исследований с учетом материалов ГИС выделяются только аккумулярующие и флюидоупорные толщи, то с помощью ядерно-магнитных исследований пород в разрезе скважины выделены пропластки с эффективной пористостью, т.е. коллекторы для нефти и газа (таблица).

Таблица. Результаты специализированных ядерно-магнитных исследований пород разреза сверхглубокой скважины и их интерпретация (терригенные отложения)

Интервал отбора, м	Объемная плотность, г/см ³	Газопроницаемость, мД	Пористость (ЯМР), %	Остаточная водонасыщенность (ЯМР), %	Эффективная пористость (ЯМР), %	Средний радиус пор (ЯМР), мкм	Заключение на основе ЯМР
3826.1–3834.5	2.42	0.0193	5.6	100	0	0.18	Неколлектор
3826.1–3834.6	2.36	0.0534	8.4	95	0.4	0.27	Неколлектор
3826.1–3834.6	2.48	0.0189	8.3	81.1	1.6	0.36	Коллектор
3826.2–3834.5	2.32	0.0776	8.8	100	0	0.12	Неколлектор
3826.2–3834.5	2.47	0.0345	8.2	100	0	0.10	Неколлектор
3936.4–3942.7	2.52	0.00653	10.7	100	0	0.11	Неколлектор
3942.7–3954.8	2.51	0.00543	6.0	100	0	0.08	Неколлектор
3969.0–3980.8	2.35	0.0409	10.3	100	0	0.01	Неколлектор
4054.3–4066.2	2.26	0.118	12.0	42.8	6.9	0.94	Коллектор
4660.3–4672.4	2.41	0.0317	9.9	100	0	0.17	Неколлектор
4828.2–4839.6	2.31	0.17	9.2	73.4	2.5	0.41	Коллектор
4906.0–4917.1	2.44	0.0151	9.3	100	0	0.06	Неколлектор
4906.0–4917.1	2.32	0.0259	10.4	100	0	0.07	Неколлектор
5068.0–5080.0	2.40	0.0111	9.0	100	0	0.16	Неколлектор
5226.0–5238.5	2.44	0.00416	10.4	100	0	0.12	Неколлектор

Пример специализированных петрофизических исследований кернa и шлама методом ядерно-магнитного резонанса в разрезе параметрической скважины приведен на рис. 3. Полученные результаты непрерывного изучения кернa и шлама методом ЯМР позволили выявить интервалы с повышенными фильтрационно-емкостными свойствами пород. Снижение остаточной водонасыщенности для ряда пластов указывает на развитие в разрезе скважины сложно построенных коллекторов порово-трещинного и трещинного типов с эффективной емкостью 1–7%. При среднем радиусе пор менее 0.3 мкм коллекторский потенциал пород практически полностью исчезает и они переходят в разряд флюидоупоров с остаточной водонасыщенностью, достигающей 100%.

Таким образом, приведенные результаты апробации метода ЯМР на коллекциях каменного материала разного литологического состава, отобранных в разрезах глубоких и сверхглубоких скважин, показали высокую экспрессность, достоверность и информативность ядерно-магнитных исследований для выявления и оценки коллекторов нефти и газа на больших глубинах.

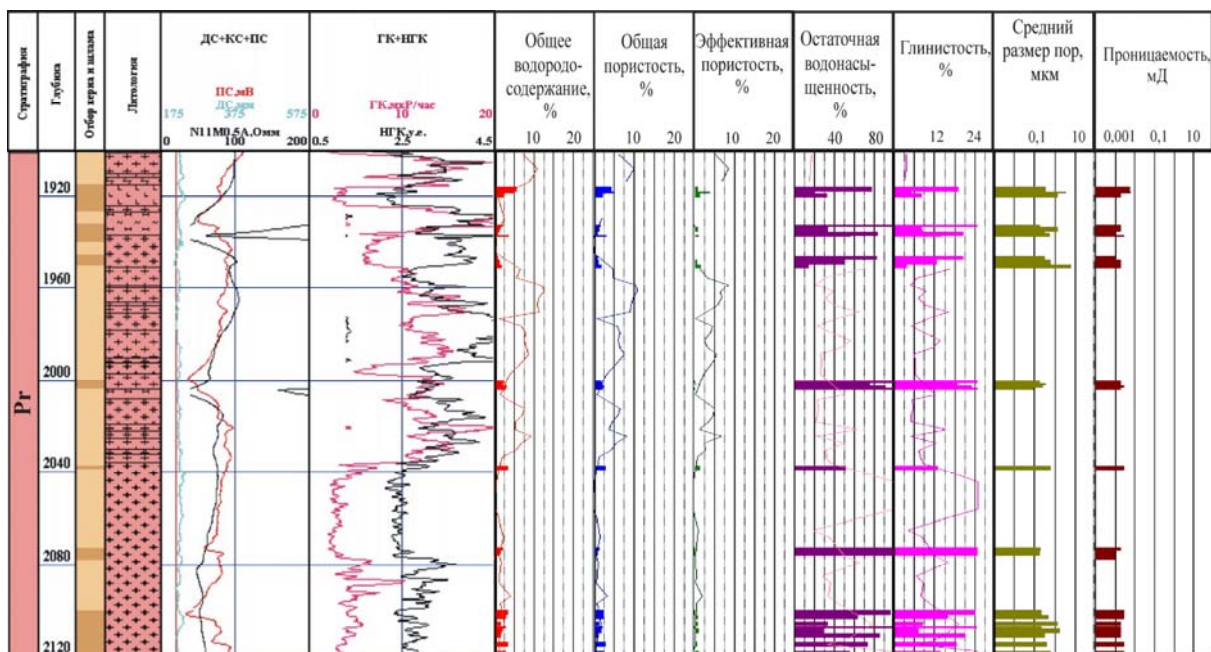


Рис. 3. Результаты специализированных петрофизических исследований ядра и шлама методом ядерно-магнитного резонанса в разрезе параметрической скважины

Повсеместное внедрение компьютеризированных аппаратно-методических комплексов ЯМИ для изучения разрезов глубоких, сверхглубоких и параметрических скважин позволит существенно повысить достоверность интерпретации материалов ГИС и прогноза перспектив нефтегазоносности глубокопогруженных сложно построенных толщ в новых слабоизученных регионах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Аксельрод С.М.** Петрофизическое обоснование ЯМК в поле постоянных магнитов. Методология и результаты лабораторных исследований ЯМР-свойств пород (по публикациям в американской геофизической печати) // Каротажник. – 1999. – Вып. 59. – С. 28–47.
2. **Аксельрод С.М.** Схемы совместной интерпретации данных ЯМК и стандартного комплекса ГИС (по публикациям в американской геофизической литературе) // Каротажник. – 1999. – Вып. 65. – С. 25–39.
3. **Аксельрод С.М., Неретин В.Д.** Ядерный магнитный резонанс в нефтегазовой геологии и геофизике. – М.: Недра, 1990. – 192 с.
4. **Блюменцев А.М., Басин Я.Н.** Ядерно-геофизические исследования нефтегазовых скважин в начале XXI века // Каротажник. – 2001. – Вып. 84. – С. 36–44.
5. **Кононенко И.Я., Белорай Я.Л.** Эффективность ядерно-магнитных исследований при поисках, разведке и разработке месторождений нефти и газа // Геоинформатика. – 2006. – № 3. – С. 83–90.
6. **Определение коллекторских свойств горных пород импульсным методом ядерно-магнитного резонанса** (методические указания). – М.: ОНТИ ВНИИЯГГ, 1978. – 79 с.

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СВОЙСТВ ПОРОД НА ОСНОВЕ ВРЕМЕННЫХ ПОЛЕЙ ПЕРВЫХ ВОЛН

Б.А. Спасский, д.г.-м.н., проф., И.Ю. Митюнина, к.г.-м.н., доц.
*Пермский государственный национальный
исследовательский университет, г. Пермь*

Аннотация. Рассматриваются особенности технологии формирования и обработки временных полей первых волн, регистрируемых на сейсмограммах, получаемых при проведении работ методом отраженных волн по методике многократных перекрытий. Приведены основные этапы обработки, позволяющие провести изучение скоростной характеристики и оценку деформационных свойств пород верхней части разреза.

Значительные объемы сейсмических исследований, проводимых по методике многократных перекрытий, применяются при решении широкого круга геологических задач. Так, сейсморазведка методом отраженных волн по методике многократных перекрытий или общей глубинной (средней) точки МОВ ОГТ (ОСТ) используется в геологоразведочном процессе, особенно при поисках объектов, перспективных на нефть и газ. При этом на полевых сейсмограммах, одновременно с отраженными, в начальной части регистрируемых волновых полей всегда присутствуют так называемые первые волны (прямые, головные преломленные, рефрагированные и т.п.), которые несут информацию о верхних интервалах геологического разреза. Времена регистрации этих классов колебаний при поисках углеводородов применяются только для расчета статических поправок, позволяющих исключить влияние скоростной изменчивости толщи пород мощностью десятки – первые сотни метров (верхняя часть разреза или ВЧР). Следует подчеркнуть, что эту информацию о скоростях распространения волн в ВЧР можно использовать не только для внутренних нужд сейсморазведки (расчета поправок), но и для изучения строения и прогнозирования свойств пород обрабатываемых площадей и т.д. В данном обзоре авторы предлагают элементы технологии, позволяющей сделать эту информацию пригодной для решения широкого круга инженерных задач.

Следует отметить, что преломленные волны достаточно широко применяются и при инженерных сейсмических исследованиях малых глубин, в том числе с использованием методики многократных перекрытий (ОГП МПВ). Отработка профилей в этом случае предполагает получение набора сейсмических трасс, для которых траектории пробега волн претерпевают преломление на одном элементе (площадке или общей глубинной точке) акустически жестких границ. Последующее суммирование трасс по ОГП позволяет ослабить уровень волн-помех на сейсмограммах. При этом количество трасс (кратность системы наблюдений), соответствующих одному элементу границы при разных расстояниях между пунктами возбуждения и приема, может достигать нескольких десятков.

Большинство исследователей, занимавшихся интерпретацией данных преломленных (первых) волн, отмечают, что точность решения обратной задачи МПВ (расчета параметров среды) здесь сравнительно невелика. Это связано прежде всего с тем, что при интерпретации данных МПВ обычно используются способы, основанные на теории «чистых» преломленных волн и аппроксимации реальных (часто криволинейных) годографов прямыми линиями. При наличии сравнительно простых моделей строения ВЧР (двухслойная среда, небольшая кривизна преломляющих границ, слабо расчлененный

рельеф поверхности наблюдения, малые вариации пластовых скоростей по горизонтали, отсутствие высокочастотной компоненты вариаций времен от пикета к пикету и т.п.) использование «классической» теории преломленных волн вполне оправдано. Но при увеличении расстояний между пунктами возбуждения и приема колебаний и усложнении строения скоростных моделей (многослойность ВЧР, наличие явления пропуска слоев и скоростной анизотропии пород, криволинейности преломляющих границ и т.п.) при решении обратных задач возникают значительные погрешности в определении параметров ВЧР, что сказывается на точности конечных результатов. К этому следует добавить и то, что граничные скорости, определяемые по годографам МПВ, часто несколько завышены относительно средних и эффективных скоростей, получаемых при скважинных сейсмических наблюдениях и наземных исследованиях МОВ.

В общем случае параметрическое уравнение годографа первых вступлений приближенно можно представить в виде суперпозиции составляющих [1, 2]:

$$t_{ij} = (t_0 + \Delta t_{кин}) + \Delta t_0 + \Delta t_{ij} + \Delta t_{\phi} + \Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t. \quad (1)$$

Здесь t_{ij} – время регистрации первой волны на расстоянии L от пункта возбуждения, t_0 – время, определяемое по точке пересечения продолжения годографа головной волны с осью времен (в точке $L=0$), а $\Delta t_{кин}$ – кинематическая поправка, обусловленная приращением времен за счет увеличения удаления источник–приемник. Все прочие слагаемые в уравнении (1) представляют собой погрешности времен, которые возникают за счет различных факторов (ошибок определения величин t_0 по годографу, недоучета угла наклона преломляющей границы, присутствия скоростных неоднородностей и отличий высотных отметок в точках возбуждения и приема, случайных ошибок измерений времен) и характеризуют отличие особенностей строения реальной модели среды от теоретической, принятой при интерпретации.

Для выявления и исключения погрешностей следует использовать достаточно протяженные реализации времен, наблюдаемые по профилю или площади. Поэтому было предложено применять при обработке первых волн формирование по каждому профилю временных полей первых волн $t(X, L)$ по принципу постоянного удаления $L=const$ между пунктами возбуждения и приема, когда X – координаты пикетов по профилю. Поле $t(X, L)$ в этом случае представляется несколькими линиями $t_{L=const}(X)$ (рис. А), которые характеризуют времена прихода волн на разных пикетах X для разных удалений L . При наблюдениях 3D формируются кубы времен $t(X, Y, L)$ (рис. В), когда каждому удалению $L=const$ будет соответствовать его двумерное изображение $t_{L=const}(X, Y)$ (рис.). Это позволяет выявить трендовые особенности изменения времен, на фоне которых возможно выявить и в дальнейшем исключить их аномальные отклонения, возникшие за счет тех или иных факторов [1–3].

Важной особенностью систем многократных перекрытий является возможность формирования всей информации по различным признакам (общему пункту возбуждения, общему пункту приема, общей средней точки). Преимуществом формирования времен по принципу ОСТ является совпадение взаимных времен в каждой точке, соответствующих прямым и встречным наблюдениям. Недостатком является невозможность разделения погрешностей разного происхождения (невозможность отделить погрешности в пунктах приема от погрешностей в пунктах возбуждения).

При формировании полей по ОПП или ОПВ происходит фиксация аномальных участков времен на разных удалениях (на кривых $t_{L=const}(X)$) на тех же пикетах (в точках возникновения). Это позволяет выявить присутствие локальных неоднородностей раздельно в точках ПП или ПВ и в дальнейшем исключить их из временных полей с применением суммирования (или без него) при применении к полям пространственных фильтров или других процедур обработки.

Анализ характера распределения изменений времен часто дает возможность установить природу аномальных участков: изучить их местоположение в пространстве (по глубине и простиранию), выявить высокочастотную составляющую, возникшую из-за небольших по протяженности, но геологически обусловленных неоднородностей разреза, или низкочастотную (структурную), характеризующую общие особенности изменения свойств горных пород в ВЧР. Каждую составляющую можно вычленить по профилю или площади для различных временных (глубинных) интервалов разреза, сопоставить характер их изменения с особенностями геологического строения и установить происхождение аномальных по свойствам зон.

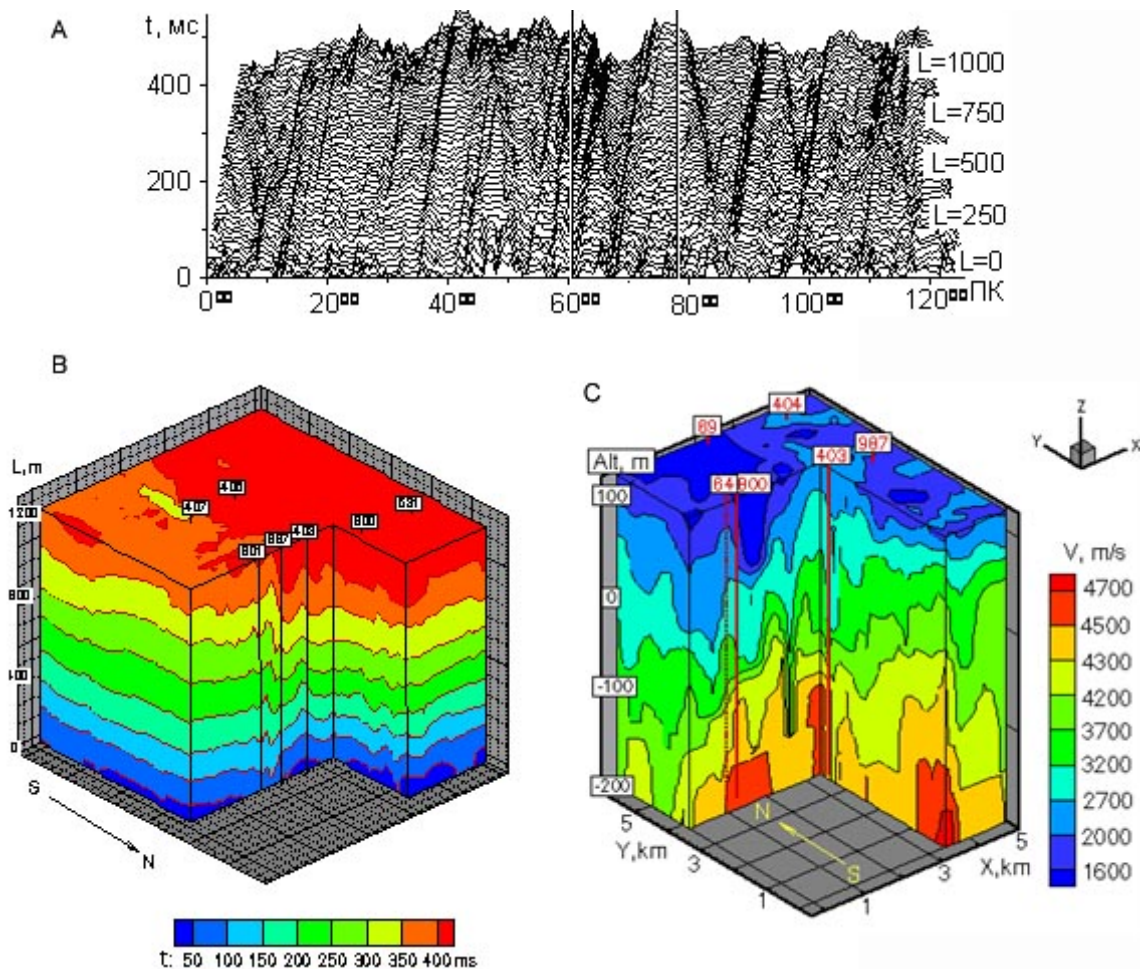


Рис. Временные поля первых волн (А); куб времен первых волн (В) и трехмерная скоростная модель среды, построенная по временным полям первых волн (С)

Вычитая эти компоненты из временных полей, можно упростить структуру полей, а затем уже переходить к собственно количественной интерпретации с определением параметров разреза, используя для этого любые, наиболее подходящие способы решения обратной задачи МПВ, известные в литературе. Так, применение данной технологии позволило установить причины резкого уменьшения скоростей в районе непромерзающих болот [4].

Общеизвестно также, что горные породы подвержены действию различных механических силовых полей. Поэтому они находятся в сложном напряженно-деформационном состоянии, наличие которого приводит к изменению физических свойств горных пород и развитию современных геодинамических процессов как природного, так и природно-техногенного (индуцированного) генезиса: повышению аномальной активности и сейсмичности территорий, возникновению деформаций (просадок) земной поверхности и т.д.

При этом добычные работы полезных ископаемых, как и другие воздействия человека на окружающую среду, изменяют природное равновесие напряженно-деформационного состояния недр и могут создавать дополнительные предпосылки для возникновения деструктивных процессов.

Так, Верхнекамское месторождение калийно-магниевых солей (ВКМКС), расположенное в северо-восточной части Пермского края на территории Соликамской депрессии Предуральяского краевого прогиба, эксплуатируется более 70 лет. Поэтому любое нарушение равновесного состояния в данной геологической системе за счет природных или техногенных факторов будет сопровождаться соответствующей реакцией соляного массива.

Последние исследования горно-геологической информации показали, что наиболее вероятной причиной чрезвычайных ситуаций, которые здесь имеют место, является присутствие в надсолевой части разреза «ослабленных» микротрещиноватых зон и разрывных структур горных пород. При пересечении таких участков горными выработками происходит (с некоторым опаздыванием во времени) взаимодействие последних с зонами сдвига, что приводит к повышению опасности добычных работ. Поэтому наличие аномальных микротрещиноватых зон в надсолевых отложениях негативно влияет на состояние пород водозащитной толщи и подработанного соляного массива [2, 3].

При этом изменение напряженно-деформационного состояния горных пород и присутствие в разрезе аномальных микротрещиноватых зон сопровождается изменением акустических свойств пород. Это находит свое отражение на сейсмических записях. Такие зоны характеризуются аномальными вариациями времен пробега колебаний и скоростей (рис. С), рассчитанных по этим временам, а также резкой сменой значений динамических характеристик (амплитуд, частот, формы записей волнового поля и т.д.). Поэтому заключительным этапом анализа волновых полей преломленных волн является прогнозирование местоположения аномальных низкоскоростных зон в разрезе, которые чаще всего совпадают с наличием микротрещиноватых участков горных пород.

С учетом этого можно утверждать, что информация о временах пробега преломленных волн, полученная при проведении сейсморазведочных работ любого предназначения, может быть использована при применении предлагаемой технологии ее обработки, для решения инженерно-геологических и экологических проблем, сейсморайонирования территорий, изучения карста и т.п. Особенно это важно для территорий с высоким уровнем техногенной нагрузки в верхних этажах геологического разреза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Митюнина И.Ю., Спасский Б.А., Лаптев А.П. Первые волны на сейсмограммах МОВ и изучение верхней части разреза // Геофизика. – 2003. – № 5. – С. 5–12.
2. Спасский Б.А., Митюнина И.Ю. Первые волны – дополнительный информационный канал. Их обработка и интерпретация // Вестник Пермского университета. Геология. – 2007. – Вып. 4 (9). – С. 106–113.
3. Спасский Б.А., Митюнина И.Ю. О возможности оценки местоположения аномальных зон в надсолевых отложениях по параметрам первых волн в сейсморазведке МОВ // Вестник Пермского университета. Геология. – 2004. – Вып. 1. – С. 83 – 89.
4. Спасский Б.А., Митюнина И.Ю., Герасимова И.Ю. и др. Учет верхней части разреза в сейсморазведке отраженными волнами при работах в условиях непромерзающих болот // Геофизика. – 2009. – № 1. – С. 56–60.

ОСОБЕННОСТИ АУДИОМАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ С КОНТРОЛИРУЕМЫМ ИСТОЧНИКОМ

¹А.А. Тайницкий, ¹Ю.И. Степанов, к.г.-м.н.,
²А.В. Горожанцев, к.г.-м.н., доц.
¹Горный институт УрО РАН, г. Пермь
²Пермский государственный национальный
исследовательский университет, г. Пермь

Аннотация. Показаны возможности метода аудиоманнитотеллурического зондирования с контролируемым источником на примере качественной интерпретации результатов обработки полевых данных, полученных по профилю с помощью станции Stratagem EH4.

Возникновение метода магнитотеллурического зондирования (МТЗ) связано с именем А.Н. Тихонова, показавшего в 1950 г., что отношение ортогональных горизонтальных электрических (E_x , E_y) и магнитных (H_x , H_y) компонент магнитотеллурического поля, получившее название импеданса Z , зависит от частоты и свойств среды, но не зависит от источника [1]. Первые работы, посвященные этому методу, относятся к началу 60-х гг. XX в. (Т. Кантуэлл, Ф.Х. Бостик и Г.В. Смит, И.А. Безрук и др.).

Метод магнитотеллурического зондирования с контролируемым источником (Controlled-Source Audio-Magnetotelluric Technique – CSAMT) основан на изучении импеданса естественного и искусственно созданного электромагнитного поля. Комбинированный источник означает, что используется комбинация естественных магнитотеллурических сигналов и искусственных сигналов излучателя. На практике можно использовать любые естественные фоновые сигналы во всем диапазоне частот, и в случае, если естественные сигналы слабые, излучатель генерирует дополнительные высокочастотные сигналы в определенном диапазоне. Основным источником электромагнитных полей звукового диапазона частот, классифицируемых как шум, является, по мнению многих исследователей, грозовая активность в экваториальной части Земли. К сожалению, естественные сигналы полезной частоты и амплитуды в процессе выполнения электроразведочных работ не всегда доступны в нужный момент времени. Методика исследований с комбинированным источником дает возможность преодолеть это затруднение.

Станция Stratagem EH4 производства фирмы Geometrics (США) позволяет проводить измерения вариаций магнитотеллурического поля с использованием как естественных вариаций электромагнитного поля, так и управляемых, искусственно возбуждаемых специальным источником (трансммитером). Станция обеспечивает измерение вариаций электрического и магнитного полей с частотами от 10 Гц до 100 кГц, что в соответствии с принципом частотного зондирования и учетом удельного сопротивления пород обеспечивает глубину исследований от нескольких метров до одного километра.

Обработка измеренных сигналов осуществляется корреляционным методом определения матриц импедансов [2]:

$$[Z] = \begin{bmatrix} Z_{xx} & Z_{xy} \\ Z_{yx} & Z_{yy} \end{bmatrix}.$$

Горизонтальные компоненты электрического и магнитного полей связаны соотношениями:

$$\begin{aligned} E_x &= Z_{xx}H_x + Z_{xy}H_y, \\ E_y &= Z_{yx}H_x + Z_{yy}H_y. \end{aligned}$$

Компоненты тензора Z_{XY} и Z_{YX} называются главными, и именно по ним строятся кривые МТЗ. Компоненты Z_{XX} и Z_{YY} называются дополнительными и для горизонтально-слоистой среды они равны нулю [1].

В рассматриваемом методе для временных вариаций электромагнитного поля рассчитываются функции автокорреляции и взаимной корреляции. Полученные результаты с помощью прямого преобразования Фурье трансформируются в спектры мощности, из которых впоследствии образуют систему уравнений для элементов импедансной матрицы. Согласно [3], в основе всей этой процедуры лежит принцип наименьших квадратов, поскольку вычисляемые матрицы \hat{Z} минимизируют среднюю квадратическую ошибку предсказания E_X, E_Y, H_X, H_Y . Под термином «предсказания» понимается вычисление компонент поля на основе линейных связей при известных магнитотеллурических матрицах. Критерий для ошибки предсказания дается функциями множественной когерентности. Чем ближе значение функции когерентности к единице, тем меньше ошибки предсказания и тем надежнее определение магнитотеллурических матриц. Для последующего анализа кривые компонент тензора импеданса удобно пересчитать в соответствующие кривые кажущегося сопротивления по формулам:

$$\rho_{XY} = \frac{1}{\omega\mu_0} |Z_{XY}|^2; \quad \rho_{YX} = \frac{1}{\omega\mu_0} |Z_{YX}|^2.$$

Кривые кажущегося сопротивления можно дополнить фазовыми кривыми:

$$\varphi_{XY} = \arg(Z_{XY}); \quad \varphi_{YX} = \arg(Z_{YX}).$$

Далее проводится количественная и качественная интерпретация полученных данных.

По одному из профилей на территории Верхнекамского месторождения калийно-магниевого солей (ВКМКС) были проведены практические измерения со станцией Stratagem EN4. Расчет импедансных матриц станцией производится автоматически сразу же после измерений. На графиках частотной зависимости импеданса (рис. 1 а) наблюдаются «отскачивающие» точки. При дальнейшей обработке материала для получения гладкой зависимости применялась сплайн-аппроксимация рассчитанных значений (рис. 1 а), а затем рассчитывались амплитудные (рис. 1 б) и фазовые кривые.

Дальнейшая качественная обработка данных была выполнена с использованием программы, поставляемой разработчиком совместно с МТ-станцией. Программа основана на трансформации Бостика (в отечественных литературных источниках также называемая трансформацией Ниблетта).

Преобразование Бостика (Ниблетта) основано на выводе из формул, связывающих значения, отсекаемые на оси периодов линиями восходящих S и нисходящих H ветвей кривой МТЗ, с обобщенными параметрами разреза. В результате преобразования получают следующие формулы:

$$\tilde{\rho}(z) = \rho_T \frac{2+m}{2-m}; \quad \frac{d\rho_T}{\rho_T} \frac{d\sqrt{T}}{\sqrt{T}} = d \log \rho_T / d \log \sqrt{T} = m.$$

Они позволяют пересчитывать кажущееся сопротивление ρ_T и соответствующий корень из периода T в действующее сопротивление, а формула

$$\tilde{z} = \sqrt{\rho_T / \omega\mu_0},$$

позволяет пересчитывать их в отвечающую этому действующему сопротивлению действующую глубину [3].

В результате обработки данных CSAMT с помощью имеющихся программных средств были получены соответствующие трансформации и построен разрез эффективных сопротивлений от эффективной глубины исследования (рис. 2).

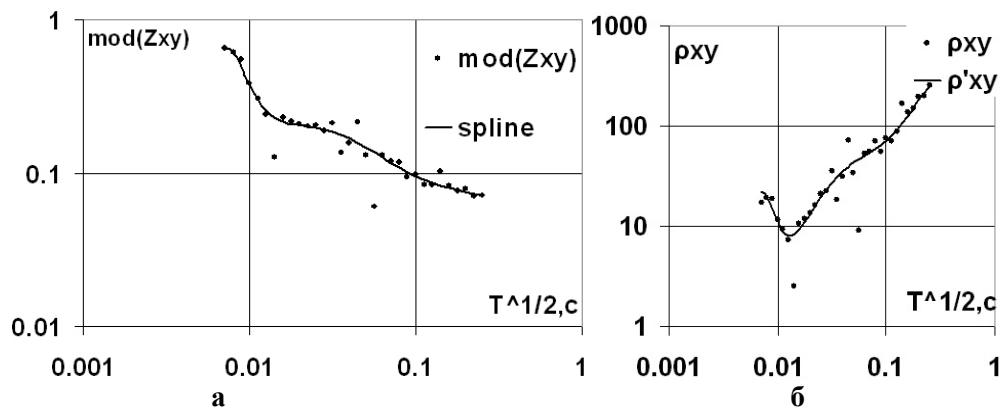


Рис. 1. Частотная зависимость импеданса и его сплайн-аппроксимация (а); Значения сопротивления до и после аппроксимации импедансной кривой (б)

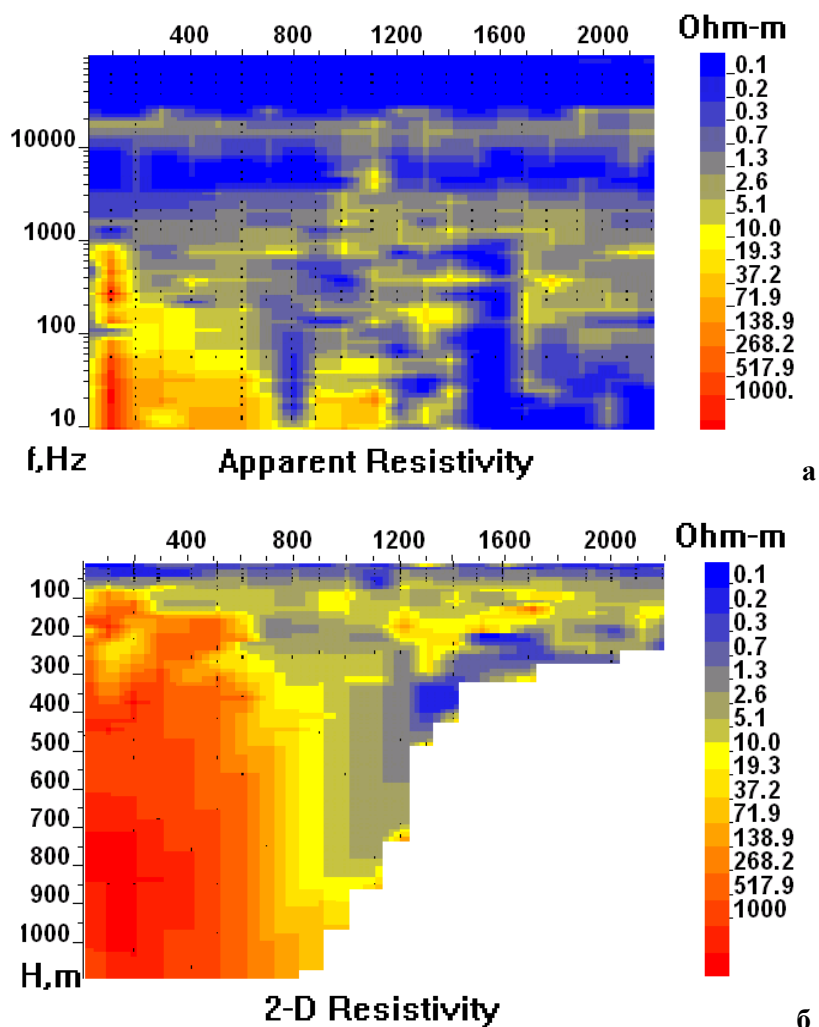


Рис. 2. Результаты обработки данных CSAMT: а – разрез ρ_T от частоты; б – геоэлектрический разрез в соответствии с преобразованием Бостика

На разрезе видно, что диапазон эффективных глубин изменяется от 1000 м в начале профиля до 250 м в конце (рис. 2 б). Это обусловлено тем, что, как было отмечено выше, глубина проникновения электромагнитных волн определяется не только их частотой, но и сопротивлением среды. Значения эффективных сопротивлений в данном случае варьируют в пределах от 2 до 1500 Ом·м.

Представленный разрез характеризуется сложным распределением сопротивлений. Верхняя часть разреза до глубин 80–100 м, представленная четвертичными отложениями, а также пестроцветной и терригенно-карбонатной толщами, отмечается невысокими сопротивлениями в пределах первых десятков Ом·м. В начале профиля, начиная с отметок 100 м, выделяется зона повышенных сопротивлений, размеры которой увеличиваются с глубиной. Кроме того, выделяется еще одна область повышенных сопротивлений на глубинах 150–200 м ПК 1100–1800, которая с глубиной сменяется областью повышенной проводимости. Остальную часть профиля можно охарактеризовать относительно спокойным распределением сопротивлений в пределах 80 Ом·м с локальными участками повышенных сопротивлений, не превышающих 200 Ом·м.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И., Новиков Д.Б., Пастуцан В.В.* Анализ и интерпретация магнитотеллурических данных. – М.: Диалог-МГУ, 1997. – 161 с.
2. *Бердичевский М.Н.* Электрическая разведка методом магнитотеллурического профилирования. – М.: Недра, 1967. – 255 с.
3. *Жданов М.С.* Электроразведка. Учебник для вузов. – М.: Недра, 1986. – 316 с.

ФИЗИКО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СЛОЖНОПОСТРОЕННЫХ КОЛЛЕКТОРОВ ПЕРВОМАЙСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

В.Н. Устинова, д.г.-м.н., проф., Э.С. Улачина
*Национальный исследовательский Томский
политехнический университет, г. Томск*

Освоение нефтегазоносного потенциала крупных месторождений Томской области требует изучения особенностей детального геологического строения отложений продуктивных комплексов. Для Первомайского месторождения это верхнеюрские отложения васюганской свиты. Построение подробной геологической модели месторождения включает исследование литолого-фациального строения разреза, условий его геолого-тектонического строения, вторичных минеральных преобразований в коллекторах и вмещающих породах, характера проявления неоднородностей разреза, связанных с залежами углеводородов в геофизических полях. Построение геологической модели месторождения основывалось в первую очередь на изучении геолого-геофизического материала по продуктивным отложениям. Юрский продуктивный комплекс платформенного чехла юго-востока Западно-Сибирской плиты является основной нефтегазоносной толщей на территории Томской области. Юрская терригенная толща сложена преимущественно песчаниками и алевролитами, переслаиваемыми с аргиллитами и пластами угля. Стратиграфическое расчленение юрских отложений для Томской области выполнено Ф.Г. Гурари, Л.В. Смирновым, А.М. Казаковым, В.П. Девятовым, В.С. Сурковым и др., детальный фациальный анализ отдельных литологических пачек проведен В.П. Девятовым, Е.Е. Даниленбергом, В.Б. Белозеровым, А.В. Ежовой, Т.Г. Егоровой и др.

Широкий круг специалистов Сибирского региона занимается исследованием генетических особенностей формирования юрских и меловых продуктивных комплексов. Изучены особенности формирования, пространственного распространения, латерального выклинивания и фациального замещения основных продуктивных горизонтов и перекрывающих глинистых отложений при выполнении прогнозных исследований, интересных с точки зрения надежности покрышек.

Юрские терригенные отложения на юго-востоке Западно-Сибирской плиты формировались в уникальных условиях, отличных от условий центральной и северной частей плиты. Для Западно-Сибирского региона по условиям формирования юрских отложений (в первую очередь ниже-среднеюрских) В.С. Сурковым и другими выделяется три разнофациальных области: Ямало-Гыданская, Обь-Тазовская и Обь-Иртышская. Территория Томской области расположена в основном в пределах Обь-Тазовской и Обь-Иртышской областей. Обь-Тазовская фациальная область захватывает только северную часть Томской области и узкой полосой распространяется далеко на юг. В разрезе ниже-среднеюрских отложений выделяется девять песчано-алеврито-глинистых горизонтов, четыре из которых – существенно глинистые, пять – в основном песчано-алевролитовые. В юрском разрезе отмечается до 17 песчаных пластов-коллекторов, перспективных на обнаружение углеводородов. При изучении нефтегазоносности юрских отложений особое внимание уделяется особенностям пространственного распространения песчаных отложений, выявлению зон повышенных мощностей песчаных комплексов в разновозрастных отложениях. В пространственном расположении выявленных до настоящего времени коллекторов нижней, средней и верхней юры наблюдается устойчивая латеральная зональность. Нижнеюрские продуктивные и перспективно продуктивные зоны тяготеют к подножноклоновым частям положительных структур первого порядка, среднеюрские – к их склоновым частям, верхнеюрские расположены в сводовых либо близсводовых частях поднятий.

Основные скопления залежей углеводородов на юго-восточных территориях Западно-Сибирской плиты обнаруживаются в верхнеюрских отложениях. Первомайское нефтяное месторождение – одно из крупнейших на юго-востоке Западной Сибири – расположено в северной части Каймысовского нефтегазоносного района. Месторождение открыто в 1969 г., с 1981 г. находится в эксплуатации. Все открытые залежи нефти на месторождении приурочены к горизонту Ю₁ васюганской свиты верхнеюрских отложений.

Картируемый в разрезе верхней юры регионально выдержанный песчаный горизонт Ю₁ является хорошим резервуаром для залежей углеводородов. Перекрывающие его глинисто-кремнистые породы баженовской свиты служат источником органического вещества и являются хорошей региональной покрывкой, создают благоприятные предпосылки для формирования месторождений нефти и газа.

По литолого-фациальному облику пород васюганская свита разделена на нижнюю и верхнюю подсвиты.

Нижневасюганская подсвита представлена преимущественно аргиллитами с многочисленными прослоями песчаников и алевролитов. В ее основании развит песчано-алевролитовый пласт Ю₂⁰, его толщина в пределах отдельных структур варьирует в диапазоне от 0 до 15 м.

Толщина нижневасюганской подсвиты, как правило, составляет 20–40 м, в наиболее погруженных участках она достигает величин 55–60 м.

Верхневасюганская подсвита представлена толщей переслаивающихся песчаников, аргиллитов и алевролитов с прослоями углей и углистых аргиллитов. Полный разрез верхневасюганской подсвиты содержит 4–5 песчаных пластов, совокупность которых формирует регионально нефтегазоносный на юго-востоке Западной Сибири горизонт Ю₁.

Наличие регрессивного и трансгрессивного циклов осадконакопления в эпоху формирования верхневасюганской подсвиты позволяет выделить в ее составе две пачки, разделенные региональным угольным пластом У₁: подугольную и надугольную. Разрез подугольной пачки представлен регрессивными песчаными пластами Ю₁⁴ и Ю₁³. На ряде площадей пласты объединены и формируют песчаную толщу, индексируемую как Ю₁³⁻⁴ [1].

Подугольная и надугольная толщи разделяются так называемой межугольной пачкой. В ней выделяется угольный пласт У₁, формирование которого прогнозируется в существенно континентальных условиях. На месторождении континентальная толща представлена не одним угольным пластом, а пачкой переслаивающихся аргиллитов, алевролитов и песчаников с большим количеством прослоев углей и углистых аргиллитов, толщина которой достигает 40–50 м. Толщина надугольной пачки колеблется в диапазоне от 5 до 35–40 м.

Георгиевская свита залегает между васюганской и баженовской, она представлена аргиллитоподобными, иногда слабобитуминозными глинами, с подчиненным количеством алевролитового материала и редкими зернами глауконита. Толщина свиты изменчива.

Баженовская свита с несогласием залегает на отложениях васюганской свиты или согласно перекрывает аргиллиты георгиевской. Баженовская свита, представленная черными и буровато-черными глинисто-кремнистыми породами с высоким содержанием (до 20%) органического вещества, является основной нефтематеринской толщей в осадочном чехле Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна. Органическое вещество этой толщи практически полностью сложено аморфным планктонно- и бактериальным веществом. На большей части Западной Сибири баженовская свита находится в главной зоне нефтеобразования. Толщина свиты на исследуемой территории составляет 10–30 м.

Песчаные фации представлены прибрежно-морскими фациями, фациями устьевых баров, валов, дельтовых протоков, пляжей, руслового комплекса. Среди песчаных фаций, характеризующихся высокими дебитами углеводородов, выявлены фации дельтового комплекса – устьевые бары, валообразные постройки, конусы выноса, периферические бары [2]. На Первомайском месторождении продуктивной является надугольная пачка, особенности ее строения (мощность песчаников) проявляются в форме сейсмического сигнала горизонта Па и морфоповерхности отражающего горизонта, что позволяет восстанавливать особенности ее строения по данным сейсморазведки.

Планомерное геолого-геофизическое изучение месторождения началось с 1946 г. работами Левобережно-Обской экспедиции. Первые сведения об особенностях детального геологического строения территории исследований появились в работах В.Н. Николаева, М.П. Нагорского и др. Региональные геофизические исследования проводятся с 1948 года. Основной объем сейсмических исследований выполнен на месторождении в 80–90 гг. прошлого века. По результатам этих работ оконтурено Первомайское локальное поднятие, а в его пределах – ряд мелких нефтегазоносных блоков (рис. 1).

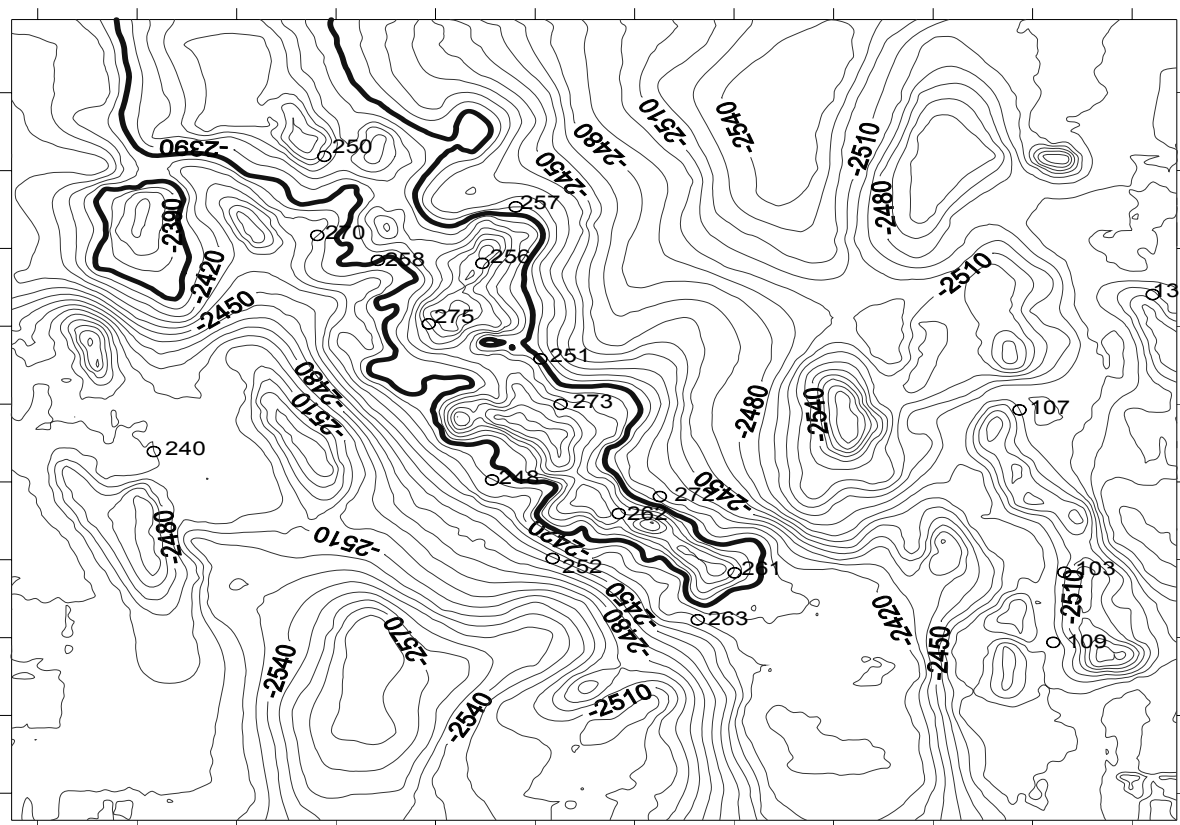


Рис. 1. Сейсмическая структурная карта Первомайской группы месторождений: в единице горизонтального масштаба 1 км (по материалам ОАО «Томскнефтегазгеология»)

На Первомайском месторождении пробурено 24 поисково-оценочных скважины. Сейсмические исследования масштаба 1:50000 выполнены сейсмической партией № 3 ОАО «Томскнефтегазгеология».

В пределах Первомайской структуры выделяется несколько структурных осложнений: Весенние в северной части и собственно Первомайские – в его южной части. Месторождение включает девять локальных структурных осложнений (рис. 2). Скважины в контуре водонефтяного контакта (ВНК показан жирной линией на рис. 1), забуренные близ купольных частей локальных поднятий нефтегазоносны и зачастую имеют максимальные дебиты углеводородов.

Блоки разделяются тектоническими трещинами второго порядка [3–5]. В зонах трещиноватости второго порядка продуктивность существенно низкая (проницаемость до первых сотен мД). Сложная структура коллектора (воссоздание в геологической модели месторождения деталей его строения) требует привлечения для его изучения широкого спектра геолого-геофизических методов. Сейсморазведка, электрический каротаж скважин при благоприятной сейсмогеологической ситуации позволили восстановить фациальный тип коллектора, изучить тектоно-седиментационные условия формирования песчаников коллектора. Методики электрофациальной и сейсмофациальной интерпретации применялись для картирования песчаных тел, определения генезиса песчаных отложений, типа песчаной фации и предоставили возможность оконтурить участки коллекторов с разными дебитами углеводородов. Зоны высокоемких коллекторов приурочены к интервалам проявленности трещиноватости третьего порядка [4–6]. Сейсмофациальные и электрофациальные модели месторождения стали основой для повышения качества оценок эффективных коэффициентов пористости, проницаемости, нефтенасыщения, позволили построить подробную гидродинамическую модель месторождения.

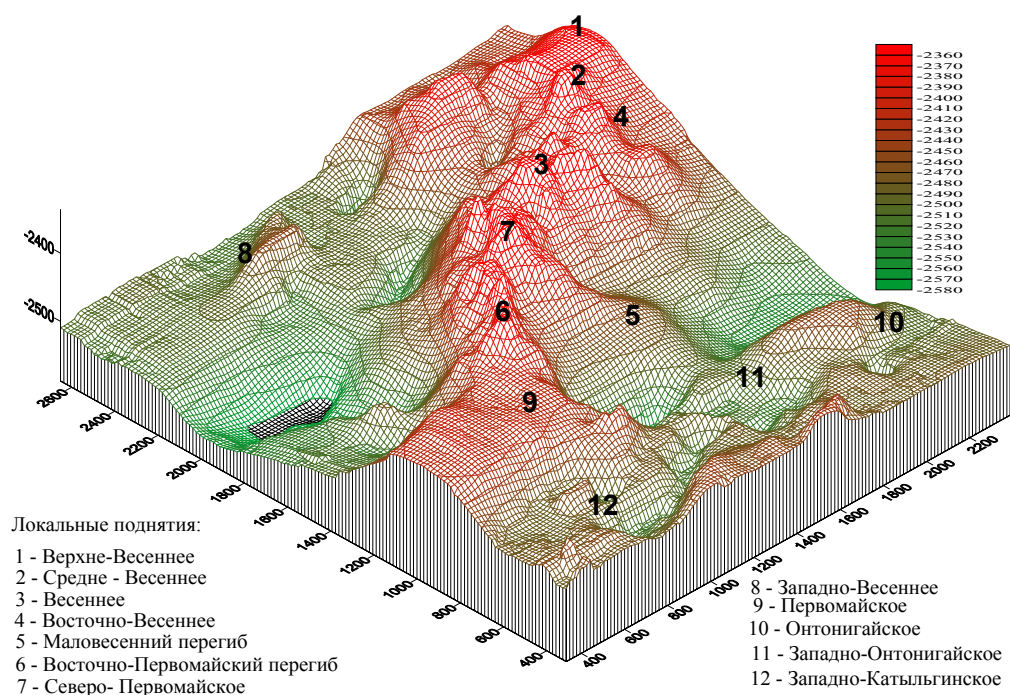


Рис. 2. Модель структурной сейсмической поверхности по отражающему горизонту Π_a Первомайского месторождения нефти: в единице горизонтального масштаба 1 км

АксонOMETрическое изображение структурной поверхности Π_a Первомайского месторождения получено по результатам работ 2004 г. и представлено на модели рис. 2. Построенная модель рельефоно представляет основные поднятия, группирующиеся в узкую линейную зону северо-западного простирания. На поднятиях нефтеносность существенно связана с наиболее высокими отметками рельефа поверхности, соседствует с зонами максимальных градиентов структурной поверхности в ближайшем обрамлении к нефтенасыщенному поднятию и проявляется на Северо-Первомайском, Средне-Весеннем и Восточно-Первомайском поднятиях.

При изучении особенностей геологического строения месторождения, латеральной зональности в расположении нефтегазонасыщенных ячей важным моментом является изучение особенностей вторичных процессов в коллекторе и вмещающих породах, тем или иным образом влияющих на его фильтрационно-емкостные свойства. За время существования залежи в окружающие ее породы рассеивается значительное количество

углеводородов, углекислого газа, сероводорода, водорода и др. Углеводороды и другие компоненты, находясь в породах продуктивного и надпродуктивного комплексов, активизируют окислительно-восстановительные процессы. Образующиеся при активном участии микроорганизмов, воды и углекислого газа продукты распада углеводородов, сероводород и др., мигрирующие из залежи газы и вода, активно участвуют в постседиментационном минералообразовании. Вторичное минералообразование создает сложную структуру порового пространства и более заметно проявляется в трещинных зонах [4, 7], что дает возможность картировать их на сейсмических разрезах и в полях сейсмических параметров.

Таким образом, в сложной структуре Первомайского месторождения при комплексном изучении геологических и геофизических данных на основе сейсмофациальных, электрофациальных и сейсмоморфологических реконструкций удалость выяснить причины максимальной нефтегазонасыщенности и определить критерии наличия и оконтуривания участков высокочемких коллекторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Худорожков Г.П., Негоденко В.С., Иванов И.А.* Прогноз зон развития коллекторов горизонта Ю₁ васюганской свиты центральной части Каймысовского свода // Геологическое строение и нефтегазонасыщенность юго-востока Западной Сибири. – Новосибирск: Изд-во СНИИГГИМС, 1989. – С. 123–131.
2. *Устинова В.Н.* Морфологическая интерпретация сейсмических поверхностей // Отечественная геология. – 2005. – № 6. – С. 23–27.
3. *Гарбар Д.И.* Регмагенез древних платформ // Общая и региональная геология, геологическое картирование. Обзор ВИЭМС. – М., 1991. – 45 с.
4. *Устинова В.Н.* Тектонические и флюидодинамические особенности формирования и разрушения залежей углеводородов в отложениях мезозоя Западно-Сибирской плиты / Деп. в ВИНИТИ. 12.11.2001 г. № 2343-В2001. – Томск, 2002. – 217 с.
5. *Устинова В.Н., Устинов В.Г.* Сейсмоморфологический анализ при картировании высокочемких коллекторов. I. Классификация морфоформ. Отражение фациального типа коллектора в палеорельефе // Известия ТПУ. – 2004. – № 3. – С. 42–48.
6. *Шульц С.С.* Планетарная трещиноватость. – М., 1973. – 347 с.
7. *Устинова В.Н., Устинов В.Г.* Сейсмоморфологический анализ при картировании высокочемких коллекторов. II. Роль тектонической трещиноватости в форме палеорельефа и формировании проницаемых ячеек коллекторов // Известия ТПУ. – 2004. – № 4. – С. 63–69.

РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НЕФТЕГАЗОВЫХ СКВАЖИН

Г.А. Цветков, д.т.н., проф., Н.Ю. Балужева
*Пермский государственный национальный
исследовательский университет, г. Пермь*

Аннотация. Одним из важнейших проблемных аспектов при бурении нефтегазовых скважин является получение достоверной и оперативной информации о комплексе параметров искривления скважин, необходимых для их проводки в продуктивный пласт. Рассматривается проблема создания автоматизированной управляемой прецизионной установки пространственной ориентации гироскопических инклинометров, в которой в качестве чувствительных элементов используются инерциальные элементы (акселерометры, датчики углов, датчики моментов, гировертикаль, интеграторы).

Погрешности измерения параметров траектории скважин зависят от метрологических характеристик забойной и скважинной инклинометрической аппаратуры.

Инструментальные погрешности скважинной гироскопической аппаратуры в значительной степени определяются качеством метрологического обеспечения на установках пространственной ориентации [1]. При произвольной ориентации гироскопического инклинометра по курсу возникает ошибка гироскопических приборов, обусловленная произвольным углом отклонения продольной оси от географического меридиана.

Система стабилизации по курсу позволяет автоматически стабилизировать гироскопический инклинометр в направлении магнитного меридиана, а с учетом магнитного склонения – осуществить стабилизацию в направлении географического меридиана [2].

Влияние ориентации измерительных осей прибора на его погрешность от угловой скорости вращения Земли при калибровке гироскопического инклинометра приводит к появлению ошибок стабилизации гироскопического инклинометра в горизонте. Для компенсации ошибок влияния вращения Земли на горизонтирование гироскопического инклинометра вводят интегрирующие звенья по каналам стабилизации [3].

Система стабилизации минимизирует ошибки выставки на калибровочной установке.

На качество метрологического обеспечения инклинометрической аппаратуры при ее изготовлении и применении в нефтегазовых скважинах оказывают влияние вариации полного вектора напряженности геомагнитного поля как по величине, так и по направлению [4]. Проявление этих вариаций может носить естественный и техногенный характер.

При проведении метрологического контроля инклинометрической аппаратуры погрешности воспроизведения азимутального угла, вызванные вариациями геомагнитного поля, могут быть учтены.

В связи с этим при разработке устройства для измерения вариаций геомагнитного поля является актуальным проведение математического моделирования влияния вариаций геомагнитного поля на инклинометрическую аппаратуру с применением феррозондовых датчиков.

Моделирование ошибок стабилизации гироскопического инклинометра в горизонте и азимуте

Проведем моделирование ошибок стабилизации гироскопического инклинометра в горизонте и азимуте.

Для моделирования будем использовать кинематические уравнения по углам, моделирование будем проводить в среде MachCAD.

Зная широту местности и скорость вращения Земли, можем провести интегрирование уравнений с целью получения углов ориентации. Интегрирование будем проводить методом Рунге–Кутты четвертого порядка с шагом 0.1. Зададим начальные данные нулевыми значениями A , а составляющие угловой скорости движения объекта зададим функцией от времени и определим ошибки стабилизации гироскопического инклинометра в азимуте при нулевых начальных условиях (рис. 1).

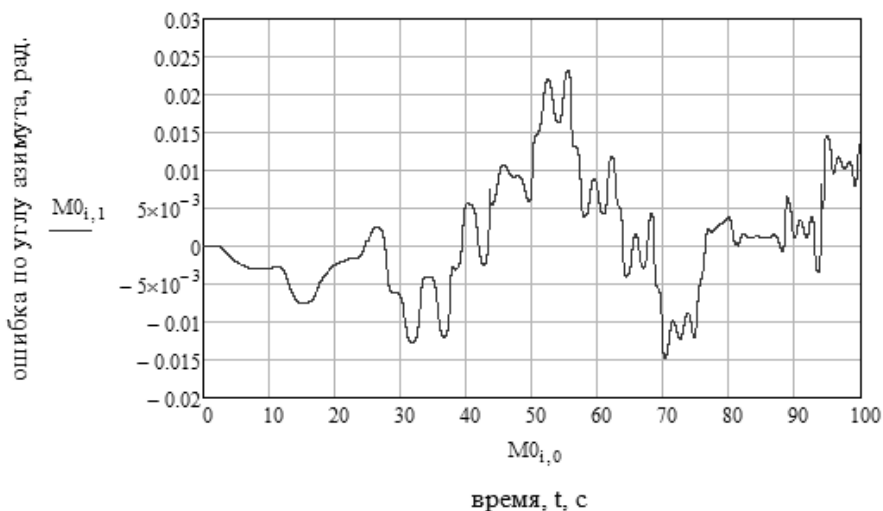


Рис. 1. График изменения ошибки гироскопического инклинометра в азимуте при нулевых начальных условиях

Как видно из рис. 1, ошибка гироскопического инклинометра изменяется в пределах $(0 \div 1^\circ 30')$. Из рассмотренного выше материала знаем, что на ошибку гироскопического инклинометра оказывает влияние постоянная ошибка от вращения Земли и влияние изменения вариаций геомагнитного поля. Так как в уравнениях учтены постоянные ошибки от вращения Земли, необходимо рассмотреть влияние изменения вариаций геомагнитного поля на ошибки гироскопического инклинометра.

Определим ошибки стабилизации гироскопического инклинометра в горизонте, используя кинематические уравнения по углам. График изменения ошибок стабилизации представлен на рис. 2 (ошибки стабилизации по углу крена) и на рис. 3 (ошибки стабилизации по углу тангажа).

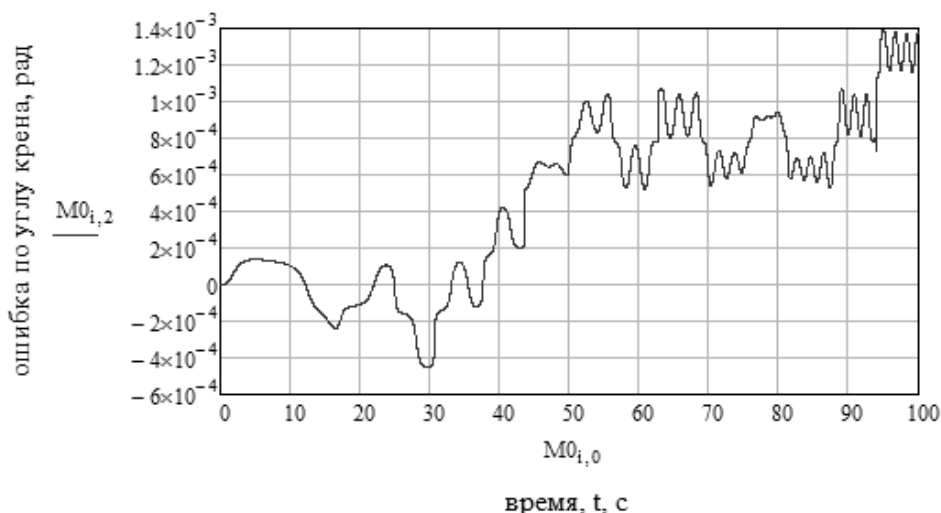


Рис. 2. График изменения ошибки гироскопического инклинометра по углу крена

Из рис. 2 видим, что изменение ошибки по углу крена изменяется в пределах (0÷4'). Данная погрешность вызвана тем, что при угле тангажа, равном нулю, возникает неопределенность, поэтому при моделировании угол тангажа задавался минимальным числом.

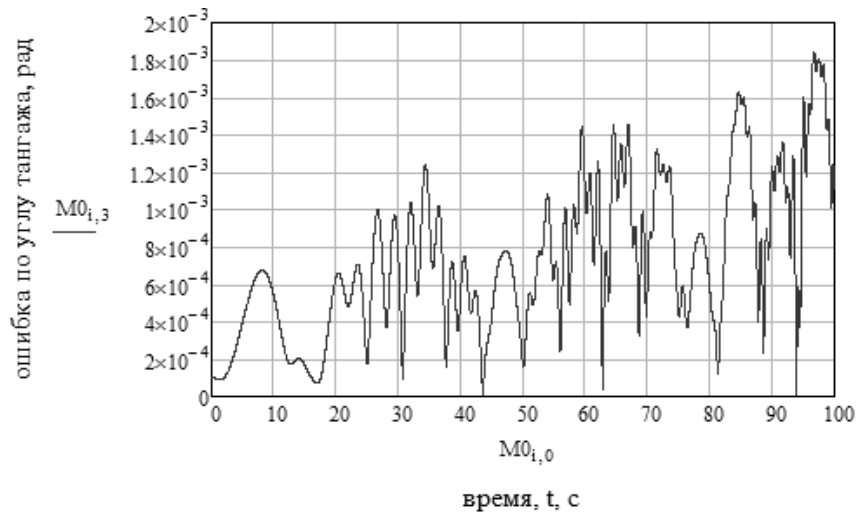


Рис. 3. Изменение ошибки гироскопа по углу тангажа

При моделировании ошибок по углу тангажа ошибка из-за неопределенности тангажа в нуле была учтена. Следовательно, из рис. 3 видим, что изменение ошибки по углу тангажа находится в пределах (0÷8').

Анализируя рассмотренный выше материал, можем сделать следующий вывод: помимо постоянной ошибки от вращения Земли, на ошибки гироскопического инклинометра также оказывают влияние изменения геомагнитного поля.

Программа моделирования ошибок стабилизации в горизонте и азимуте

Рассмотрим влияние изменения вариаций геомагнитного поля на инклинометрическую аппаратуру.

Программа моделирования

Начальные данные:

– широта местности в точке замера $\phi := 58.03^\circ$.

– угловая скорость вращения Земли $\Omega := 7.292115 \cdot 10^{-5}$.

Составляющие угловой скорости движения объекта:

$$wx(t) := \left(\frac{1}{25} \cdot \cos\left(\frac{t^2}{50}\right) \cdot t \cdot \cos\left(\frac{t}{10}\right) - \frac{1}{10} \cdot \sin\left(\frac{t^2}{50}\right) \cdot \sin\left(\frac{t}{10}\right) \right) \cdot \cos\left(\frac{1}{70} \cdot t \cdot \sin\left(\frac{t}{2}\right)\right) - \frac{3}{200} \cdot \cos\left(\frac{3}{100} \cdot t\right) \cdot \sqrt{t} \cdot \cos\left(\sin\left(\frac{t^2}{50}\right) \cdot \cos\left(\frac{t}{10}\right)\right) \cdot \sin\left(\frac{1}{70} \cdot t \cdot \sin\left(\frac{t}{2}\right)\right),$$

$$wy(t) := \frac{3}{200} \cdot \cos\left(\frac{3}{100} \cdot t\right) \cdot \sqrt{t} \cdot \sin\left(\sin\left(\frac{t^2}{50}\right) \cdot \cos\left(\frac{t}{10}\right)\right) + \frac{1}{70} \cdot \sin\left(\frac{t}{2}\right) + \frac{t}{140} \cdot \cos\left(\frac{t}{2}\right),$$

$$wz(t) := \left(\frac{1}{25} \cdot \cos\left(\frac{t^2}{50}\right) \cdot t \cdot \cos\left(\frac{t}{10}\right) - \frac{1}{10} \cdot \sin\left(\frac{t^2}{50}\right) \cdot \sin\left(\frac{t}{10}\right) \right) \cdot \sin\left(\frac{1}{70} \cdot t \cdot \sin\left(\frac{t}{2}\right)\right) + \frac{3}{200} \cdot \cos\left(\frac{3}{100} \cdot t\right) \cdot \sqrt{t} \cdot \cos\left(\sin\left(\frac{t^2}{50}\right) \cdot \cos\left(\frac{t}{10}\right)\right) \cdot \cos\left(\frac{1}{70} \cdot t \cdot \sin\left(\frac{t}{2}\right)\right).$$

Составляющие угловой скорости вращения Земли:

$$wx := \Omega \cdot \cos(\phi),$$

$$wz := \Omega \cdot \sin(\phi).$$

Решение методом Рунге–Кутты четвертого порядка с шагом 0.01

Начальные данные задаем из условия, что гироскоп выставлен по магнитному меридиану в горизонте в нулевом положении.

$$D(t, k) := \begin{bmatrix} \left[wz - wx1(t) \cdot \cos(k_0) \cdot \frac{1}{\tan(k_2)} + \left(\frac{wx1(t) \cdot \cos(k_1) + wy1(t) \cdot \sin(k_1)}{\sin(k_2)} \right) \right] \\ \frac{-wx \cdot \cos(k_0)}{\sin(k_2)} + \left[(wx1(t) \cdot \cos(k_1) + wy1(t) \cdot \sin(k_1)) \cdot \frac{1}{\tan(k_2)} \right] - wz1(t) \\ -wx \cdot \sin(k_0) + wx1(t) \cdot \sin(k_1) - wy1(t) \cdot \cos(k_1) \end{bmatrix}.$$

Начальные данные:

$$k := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0.000001 \end{pmatrix}.$$

Угол тангажа задаем минимальным числом.

$$t := 100,$$

$$\Delta t := \frac{t}{10000},$$

$$M0 := \text{rkfixed} \left(k, 0, t, \frac{t}{\Delta t}, D \right).$$

Исследования показали, что управление двигателем платформы с установленным гироинклинометром по информации прецизионных навигационных приборов позволяет на порядок повысить стабильность задаваемых параметров при их калибровке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Лобанков В.М., Гарейшин З.Г., Пономарев Н.А. и др.** Установка УАК-Си для автоматизированной калибровки скважинных инклинометров // Новые геофизические технологии для нефтегазовой промышленности. Тезисы докладов научного симпозиума. – Уфа, 2003. – С. 193–199.
2. **Цветков Г.А., Балужева Н.Ю., Костицын В.И.** Снижение инструментальных погрешностей гироинклинометров за счет улучшения их пространственной ориентации при калибровках // НТВ «Каротажник». – Тверь: АИС, 2010. – Вып. 8 (197). – С. 111–117.
3. **Цветков Г.А., Балужева Н.Ю.** Повышение точности гироинклинометров при калибровке на установках пространственной ориентации // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. Научно-технический журнал. – М.: ВНИИОЭНГ, 2010. – № 12. – С. 28–30.
4. **Цветков Г.А., Балужева Н.Ю., Алымов А.С.** Исследование влияния вариаций геомагнитного поля на точность проводки и построения нефтегазовых скважин // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. Материалы юбилейной конференции, посвященной 80-летию геологического факультета и 95-летию Пермского университета. – Пермь, 2011. – С. 125–130.

К АНАЛИЗУ МАГНИТНОГО И ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЕЙ В СВЯЗИ С ПРОЯВЛЕНИЯМИ РУДНЫХ И НЕРУДНЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ НА ЗАПАДЕ ПЕРМСКОГО КРАЯ

¹М.С. Чадаев, д.т.н., ²В.А. Гершанок, д.т.н., проф.,
²Р.Г. Ибламинов, д.г.-м.н., ²Г.В. Лебедев, доц.,
¹Г.В. Простолупов, к.т.н., ¹А.А. Симанов,
²Л.А. Гершанок, к.г.-м.н., проф., ¹М.В. Тарантин, к.т.н.,
¹А.В. Мичурин
¹Горный институт УрО РАН, г. Пермь
²Пермский государственный национальный
исследовательский университет, г. Пермь

Аннотация. На основе геологического строения территории запада Пермского края рассмотрена позиция использования высокоточных магнитометрических и гравиметрических исследований с целью повышения эффективности прогнозно-поисковых работ на рудные и нерудные полезные ископаемые.

На территории Пермского края прогноз в отношении открытия средних и мелких месторождений, с одной стороны, достаточно благоприятен. С другой стороны, целевых исследований в этом направлении выполнено крайне мало. С позиции имеющихся перспектив (в том числе и за счет новых технологий) исследования следует продолжить. Они должны уточнить вопросы геологического строения и теоретического обоснования закономерностей размещения рудоносных объектов и проявлений полезных ископаемых.

Изучению высокоточными методами подлежат, как правило, элементы структур высокого порядка, тектонические нарушения, глубинные разломы, рудопроявления и др. В связи с этим для извлечения информации требуется применение в первую очередь геофизических методов, в том числе высокоточных магниторазведочных и гравиразведочных работ.

В качестве методического примера можно привести гравиметрическую съемку по профилю Черноречинский–Тимшер, выполненную в масштабе 1:50000 с шагом 200 м. Измерения проводились современными гравиметрами Autograv CG-5, что обеспечило среднеквадратическую ошибку определения аномалий 0.033 мГал [1].

Точность определения координат пунктов и поправок целесообразно удерживать на уровне максимальной точности измерения с гравиметром, т.е. порядка 0.003–0.005 мГал. Подобное требование может несущественно повысить расходы, но в то же время данные съемки могут потребоваться в дальнейшем для решения других задач.

Рассматриваемая территория включает Веслянский район и частично Косинский [2]. Территория слабо изучена геологической съемкой, что информационно негативно сказывается на сведениях о приповерхностном строении и рудопроявлениях. Имеются глубокие скважины, вскрывшие фундамент: «Усть-Черная 18» (–1649), «Северо-Мыйская 1» (–1470) и «Оныльская 17» (–1937). Выполнены сейсморазведочные и гравиразведочные исследования по региональному профилю Черноречинский–Тимшер и сейсморазведочные – по профилю Касибский борт–Грива.

Для анализа геологического строения территории использованы карты магнитного и гравитационного полей в масштабе 1:1000000. На рис. А приведена карта трансформанты гравитационного поля масштаба 1:1000000, полученная путем обработки в системе «Вектор» [3].

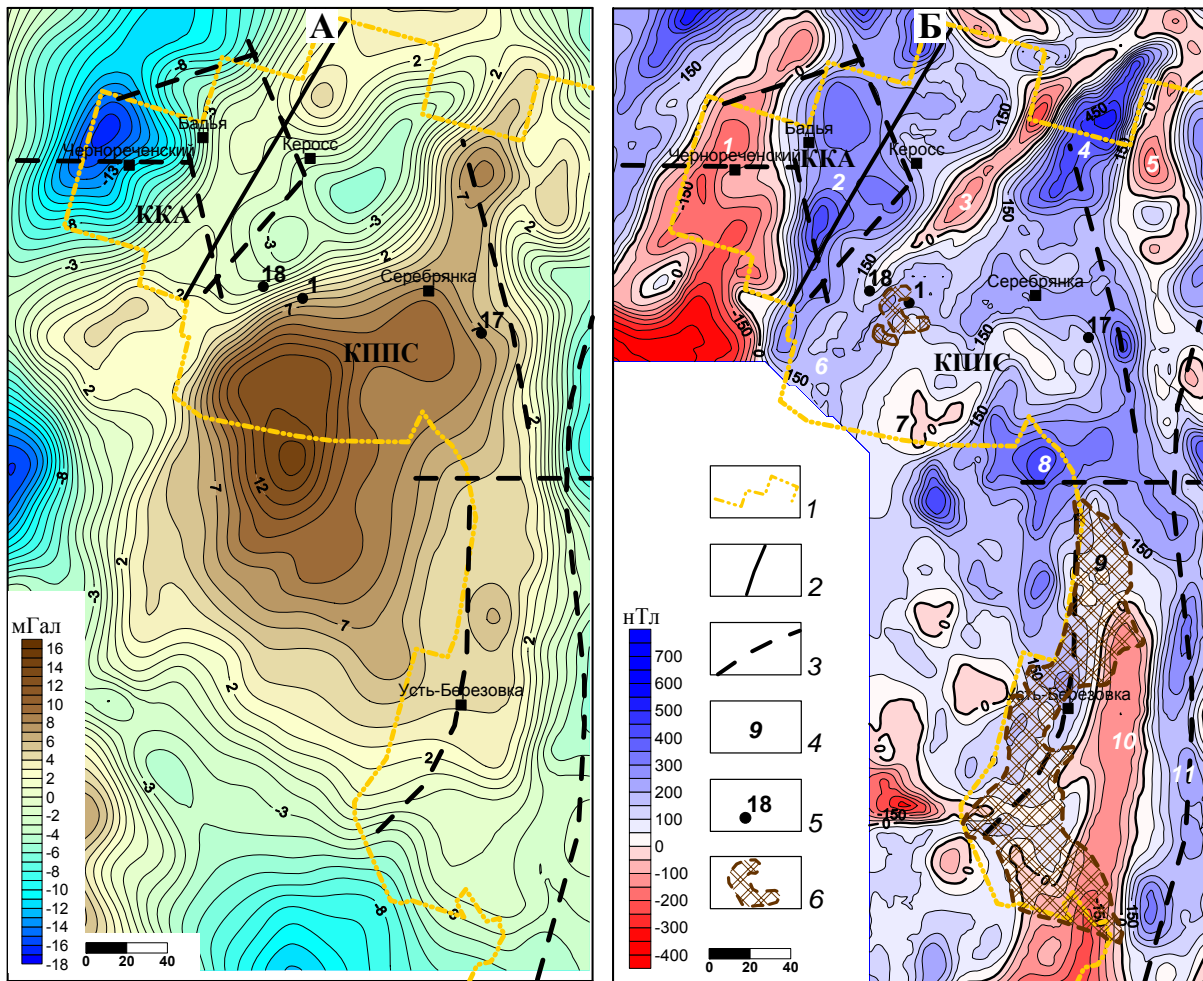


Рис. Карты гравитационного Δg (А) и магнитного ΔT (Б) полей:

1 – административная граница; 2 – граница ККА (общепринятая); 3 – глубинные разломы по геофизическим параметрам; 4 – номер магнитной аномалии; 5 – скважины, вскрывшие кристаллический фундамент; 6 – рудоносная пачка.

ККА – Казанско-Кажимский авлакоген, КППС – Коми-Пермяцкий погребенный свод

На карте (рис. А) отображается блоковое строение пород фундамента ориентировочно глубже 3 км. Показана система глубинных разломов [4]. Отчетливо проявляются Казанско-Кажимский авлакоген и Коми-Пермяцкий свод. В поле трансформанты отчетливо видно, что сводовая часть КППС находится на границе Пермского края и Кировской области. Сведения по тектонике фундамента и осадочного чехла приведены в монографиях [5, 6].

На рис. Б дана карта магнитного поля. Здесь визуально выделено 11 основных аномалий. Аномалии 1 и 2 территориально соответствуют Веслянскому району, аномалии 8 и 9 – Косинскому. Минимальными значениями магнитное поле, западнее пос. Бадья, характеризует (аномалия 1) восточную часть Казанско-Кажимского авлакогена (ККА), где присутствуют терригенные породы T_1 . С запада на восток отмечается чередование примерно до широты $58^{\circ}40'N$ отрицательных и положительных зон почти субмеридионального направления.

К геологическим формам относительно высокого порядка следует отнести Северо-Мыйскую структуру [7]. В магнитном поле (аномалия 3) структура прослеживается в виде узкой аномальной полосы северо-восточного направления протяженностью порядка 70 км интенсивными отрицательными значениями поля (до -200 нТл). В гравитационном поле она также выделяется относительно пониженными значениями.

Скважиной «Северо-Мыйская 1» (интервал 1228–1235 м) вскрыты [7] магматические породы – на сопряжении аномалий 2, 3 и 6. По данным [8], в районе скважины № 18 прогнозируется наклонный шток. Величина магнитной аномалии более 150 нТл.

Зональная магнитная аномалия почти меридионального простирания имеет место вдоль границы края (аномалия 8) в пределах большей части рассматриваемой площади. Аномалии, возможно, обусловлены наличием рудной пачки J_2b –bt, сложенной глинами с прослоями сидерита и образовавшегося по нему лимонита. Породы юры относятся к трансгрессивной континентальной сероцветной терригенной формации [5]. Не исключено, что наличие пачки связано с разломной тектоникой [4, 5]. Выходы рудной пачки имеют извилистый вид (рис. Б), обусловленный ее субгоризонтальным залеганием и холмистым рельефом местности. Пачка прослеживается по цепочке аномалий, близких к изометрическим, по форме интенсивности не менее 50 нТл и размером приблизительно 10 км. В наблюдаемом гравитационном поле она проявляется менее отчетливо. Южнее района скважин «Усть-Черная 18» и «Оньльская 17» также отмечены проявления этой пачки. Не известно – это отдельная ветвь (аномалии 6 и 7) или продолжение основной рудоносной пачки (аномалия 9).

Интенсивные положительные магнитные аномалии с номерами 2, 4, 6, 8 и коррелируемые с ними гравитационные аномалии, получаемые на трансформантах поля, обусловлены отдельными блоками внутри кристаллического фундамента. К ним, например, относятся аномалия 8 (выступ КППС) и аномалия 2 (выступ фундамента).

На рассматриваемой площади известны проявления алмазов, железа, меди, золота, бокситов и других полезных ископаемых.

На основе обработки материалов исследований [9] по составу интерметаллидов, золота, в частности наличия в них высоколетучих (Sb, Hg), а также типичных для ультраосновных пород (Co, Ni, Pt, Rh, Pd, Ir), приуроченности к бортовой части Казанско-Кажимского авлакогена, предполагается формирование данного оруденения в результате разгрузки мантийных флюидов вдоль глубинных разломов.

На основании изложенного для изучения высокоточными магниторазведочными и гравиразведочными исследованиями возможно рекомендовать уточнение положения границы Казанско-Кажимского авлакогена и детализацию его строения, изучение рудоносной пачки J_2b –bt, выявление новых ее проявлений, участки рудопоявления, тектонические нарушения. Особое значение при этом имеют рудоподводящие и рудоконтролирующие разломы.

Глубинные разломы выявлены в пределах Казанско-Кажимского авлакогена. Глубинные разломы в основном имеют северо-восточное простирание вдоль границы ККА и достигают глубины порядка 20–30 км.

Большую глубинность, до 70–80 км, имеют разломы [10], расположенные в восточной части исследуемой территории. Разломы имеют субмеридиональное простирание, точнее, имеют место два последовательных разлома субмеридионального простирания. Западный разлом имеет две ветви: к южной ветви приурочена рудная пачка, северная ветвь несколько смещается к западу. Обе ветви разделяет поперечный разлом. Здесь зона пересечения разломов имеет трансформный характер и более обширную область развития. Восточный разлом прослеживается непрерывно и, по-видимому, разграничивает зоны сочленения крупных блоков земной коры. По методу трансформаций полного градиента потенциала поля (программа «Полюс» [11]) наблюдается плановое совпадение множества псевдоисточников с перечисленными разломами, при этом глубины скоплений соответствуют указанным выше интервалам.

Для детализации структурно-тектонического строения рассматриваемого района необходимо применять крупномасштабные высокоточные гравиразведочные и магниторазведочные исследования. Они включают поисковые работы масштаба 1:50000–1:25000 по сети порядка $(250-100) \times 25$. В зависимости от полученных результатов для детализации геологического строения целесообразно применять магнитную и гравиметрическую съемки, соответственно, с точностью $\pm(1.0-1.5) \text{ нТл}$ и 0.05 мГал по сети порядка $50 \times (10-5) \text{ м}$ для картирования разрывных нарушений морфологических образований пород.

В связи с обнаружением на территории алмазов особый интерес должны представлять небольшие кольцевые магнитные аномалии, которые могут быть связаны с телами кимберлитов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бычков С.Г.** Методы обработки и интерпретации гравиметрических наблюдений при решении задач нефтегазовой геологии. – Екатеринбург: УрО РАН, 2010. – 188 с.
2. **Попов А.Г.** Минерагенические исследования на основе геолого-картографического моделирования (на примере Пермского края): Дис. канд. геол.-минер. наук: 25.00.11. – Пермь: ПГУ, 2009. – 145 с.
3. **Простолупов Г.В., Новоселицкий В.М., Конешов В.Н., Щербинина Г.П.** Об интерпретации гравитационного и магнитного полей на основе трансформации горизонтальных градиентов в системе «VECTOR» // Физика Земли. – 2006. – № 6. – С. 90–96.
4. **Чадаев М.С., Гершанок В.А.** Система глубинных разломов земной коры Пермского Приуралья на основе совместного анализа гравитационного и магнитного полей // Геофизические методы поисков и разведки месторождений нефти и газа. Межвузовский сборник научных трудов. – Пермь: Изд-во Пермского гос. ун-та, 1998. – С. 38–46.
5. **Ибламинов Р.Г., Лебедев Г.В.** Геология и полезные ископаемые Коми-Пермяцкого автономного округа. – Кудымкар: Коми-Пермяцкое книжное изд-во, 1995. – 136 с.
6. **Проворов В.М., Вилесова Л.А., Проворов М.В., Александрова Т.В.** Геологическое строение и нефтегазоносность Коми-Пермяцкого округа Пермского края. – Пермь: ОАО «КамНИИКИГС», 2008. – 132 с.
7. **Ехлаков Ю.А., Горбачев В.И., Узрюмов А.Н., Санфинова С.С.** Новые данные по геологическому строению северо-западной части Пермского края (по результатам бурения Северо-Мыйской параметрической скважины № 1) // Состояние и перспективы нефтегазового потенциала Пермского края и прилегающих регионов. Материалы научно-практической конференции. – Пермь: ОАО «КамНИИКИГС», 2007. – С. 131–140.
8. **Гершанок Л.А., Проворов В.М.** Особенности строения кристаллического фундамента Коми-Пермяцкого автономного округа по магнитным аномалиям // Вестник Пермского университета. Геология. – 2001. – Вып. 3. – С. 45–60.
9. **Осовецкий Б.М.** Россыпеобразующие минералы Вятско-Камской впадины. – Пермь: Изд-во Пермского гос. ун-та, 2011. – 250 с.
10. **Чадаев М.С., Гершанок В.А.** Система глубинных разломов земной коры Пермского Приуралья на основе совместного анализа гравитационного и магнитного полей // Геофизические методы поисков и разведки месторождений нефти и газа. Межвузовский сборник научных трудов. – Пермь: Изд-во Пермского гос. ун-та, 1998. – С. 38–46.
11. **Простолупов Г.В., Тарантин М.В.** Трансформация векторов полного градиента потенциала притяжения // Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей. Материалы 38 сессии Международного семинара им. Д.Г. Успенского. – Пермь: ГИ УрО РАН, 2011. – С. 245–248.

РАЗВИТИЕ МЕТОДА НВСП В ОАО «ПЕРМНЕФТЕГЕОФИЗИКА»

Ю.В. Чудинов, Н.А. Богомолова, И.А. Тимошенко,
Л.Н. Коровко, А.И. Шляпников
ОАО «Пермнефтегеофизика», г. Пермь

Аннотация. Показана история развития метода ВСП в ОАО «Пермнефтегеофизика» с далеких 1960-х гг. до наших дней. Метод успешно применяется при разведке недр и востребован в настоящее время. Благодаря идеям Е.И. Гальперина мы прошли путь от одиночного сейсмоприемника до универсального трехкомпонентного приема сейсмических колебаний, независимого от наклона скважин. В обработке – от простого синфазного выделения падающих и восходящих продольных волн до поляризационной обработки всех типов сейсмических сигналов. При изучении околоскважинного пространства применяется комплексная интерпретация данных ГИС, ПМ НВСП и наземной сейсморазведки.

Группа скважинной сейсморазведки основана в ОАО «Пермнефтегеофизика» 23 октября 1962 года. В 1960-е гг. группу курировал Адам Константинович Урупов (1923–2008 гг.), работавший тогда доцентом кафедры геофизики ПГУ. Группа занималась обработкой скважинных данных, когда в год бурилось в десятки раз больше скважин, чем сейчас.

Более тридцати лет группу скважинной сейсморазведки возглавлял Виктор Иванович Патрикеев (1932–2004 гг.), студент самого первого выпуска кафедры геофизики ПГУ 1956 года. С 1964 г. старшим геологом работал Владимир Иванович Пирожников. Это был поистине творческий союз двух замечательных, знающих свое дело специалистов. Под их руководством написаны десятки отчетов, составлены карты скоростей практически по всему Пермскому краю, изучены региональные, локальные закономерности поведения сейсмических скоростей и увязаны с особенностями геологического строения регионов и отдельных площадей. Многие ошибки в подготовке локальных структур происходили из-за недостатка информации о скоростях, поэтому та работа, которую выполняла партия скважинной сейсморазведки по обеспечению камеральных групп скоростями, была чрезвычайно важной.

Кроме обработки скважинных данных, в 1970-е гг. в сейсмокаротажной партии была организована группа сейсмозондирования. Эта группа, возглавляемая Марсом Абдуловичем Нурсубиным (1938–2009 гг.), занималась определением скоростей. Марс Абдулович окончил ПГУ по геофизической специальности, и, где бы он ни работал, всегда учился всему новому и обучал своих подчиненных. Многие его новаторские идеи до сих пор применяются в интерпретации материалов наземной и скважинной сейсморазведки.

В начале 1970-х гг. партия скважинной сейсморазведки занималась обработкой материалов вертикального сеймопрофилирования (ВСП). Обработкой ВСП с самого начала занималась М.И. Серова, знакомая с этим методом со времен совместных работ треста «Пермнефтегеофизика» и ИФЗ АН СССР (1966–1967 гг.).

В 1980-е гг. в группу ВСП влилось много молодых специалистов: геофизики Е.В. Растегаева, Л.Н. Коровко, М.Г. Сандраков, математик-программист В.Б. Манько. Это было время широкого внедрения в производство новой техники ЭВМ и ПК, новых обрабатывающих комплексов.

В 1997 г. группу скважинной сейсморазведки возглавил Рудольф Федорович Лукьянов (1997–2006 гг.), проработавший к тому времени в тресте почти 40 лет: от студента-практиканта до начальника производственного отдела. Большой опыт полевых работ и разнообразный творческий подход к делу позволил в короткие сроки поставить множество экспериментов по ВСП и выйти на принципиально новый уровень изучения околоскважинного пространства. В это время начался переход к трехкомпонентной регистрации колебаний и к вибросейсмическим источникам сейсмических сигналов.

Более двадцати лет в партии проработали Г.Х. Загуляева, В.П. Пьянкова, Е.П. Якушина, Э.Д. Браун, А.К. Соколов. Долгое время в партии работали З.С. Бояршинова, Н.Я. Власова, Л.В. Гмызина, В.А. Демин, М.Я. Дроздова, О.В. Лыкова, З.А. Мокрушина, М.Н. Павлова, И.Ф. Щелкунова, Н.А. Ябс, М.Т. Сибатуллин, Г.Ф. Минибаев, Н.А. Соснин, Л.В. Голубева, Л.П. Чирков. Не один десяток лет курирует все работы по ВСП заслуженный геолог РФ Валентин Михайлович Неганов.

Сейсмокаротаж (СК) применялся в скважинной сейсмике почти 37 лет, еще в 1999 г. оставался вертолетный вариант легкой станции и зонда для изучения скоростей в труднодоступных местах. На записях регистрирующей аппаратуры СК присутствовали только срывы первых вступлений продольной волны. Обработка и интерпретация проводилась в ручном варианте. С переходом на ЭВМ машинная обработка полевых материалов сводилась к формированию и выводу на печать сводной сейсмограммы.

В 1967 г. началось внедрение метода вертикального сейсмического профилирования в Пермском Прикамье. Институт физики Земли (ИФЗ АН СССР) совместно с трестом «Пермнефтегеофизика» выполнил большой объем полевых экспериментальных исследований в скважинах в Бардымском и Уинском районах Пермского края. С помощью разработанной в ИФЗ аппаратуры был проведен комплекс акустического каротажа, вертикального сейсмического профилирования и наземной сейсморазведки. В результате обработки и интерпретации данных был создан большой отчет, состоящий из двух томов в 600 страниц. Многие известные впоследствии ученые и производственники принимали участие в этом проекте: научный руководитель темы, доктор физико-математических наук И.С. Берзон, кандидат физико-математических наук О.К. Кондратьев, А.Г. Гамбурцев, В.В. Кузнецов, В.И. Патрикеев, М.И. Серова, В.И. Ощепков и многие другие. По воспоминаниям М.И. Серовой, идейным вдохновителем работ ВСП был Е.И. Гальперин. Очень подробно и с большим количеством иллюстраций коллектив решил многие задачи, выдвигаемые перед сейсморазведкой, – это расшифровка природы волн и выделение кратных отражений, стратиграфическая привязка отраженных волн к разрезу, определение параметров полезного сигнала и помех, расчет синтетических сейсмограмм. Были получены полевые материалы высокого качества. При работах методом ВСП соблюдались все условия производства работ. Возбуждение сейсмических сигналов происходило в скважинах с укупоркой водой ниже уровня зоны малых скоростей на глубинах 50–60 м тротиловыми шашками весом в 5.4–6.0 кг на одну расстановку зонда, с хорошо прижатыми к стенке скважины сейсмографами. Кроме того, впервые на машине для обработки сейсмоданных ПСЗ-2м была проведена настоящая обработка сейсмограмм ВСП. С помощью метода одновременного синфазного суммирования колебаний были получены волновые поля падающих и восходящих продольных волн, применена частотная фильтрация, сделан вывод на вертикаль отраженных волн. Выполнена стратиграфическая привязка отраженных волн к разрезу скважины и к сейсмограмме наземной сейсмике. Рассчитаны синтетические сейсмограммы. Эти исследования намного опередили время и многие годы оставались главным вектором развития метода ВСП в Прикамье. Только через 14 лет, в 1981 г., в тресте смогли повторить аналогичную обработку, только уже на ЭВМ.

Внедрение метода ВСП в Пермском Прикамье длилось около 30 лет. Техническая оснащенность полевых партий была недостаточной. При обработке данных в среднем 40 глубоких и 80 структурных скважин в год в тресте просто не в состоянии были выполнить полную интерпретацию в полуручном варианте. Но каждый год работы ВСП все-таки выполнялись с увеличением технической оснащенности партий все в больших объемах. Проводился анализ волновых полей, рассчитывались скорости, выполнялась стратиграфическая привязка волновых полей ВСП к сейсмограммам наземной сейсморазведки, рассчитывались синтетические трассы.

Ниже приводятся только яркие изменения в аппаратуре ВСП и коренные изменения в обработке и интерпретации полевых материалов.

В 1970 г. проведены опытные работы методом ВСП с аппаратурой «Поиск – 24МОВ» и зондом в семь каналов.

В 1977 г. началась машинная обработка данных ВСП на ЭВМ М-222 по программе КВСП.

В 1981 г. получены полевые записи аппаратурой ВСП-1 и 6-канальным зондом. На ЭВМ М-222 и БЭСМ-4М впервые проведена обработка волновых полей, выделение падающих и восходящих волн.

В 1982 г. началась обработка материалов на ЭВМ ЕС-1055 в программном комплексе СЦС-3.

В 1987 г. полевые партии перешли на аппаратуру «Волжанка» и «Прогресс-1», а также зонд с семью каналами. Впервые появился четырехкомпонентный одноканальный зонд разработки Е.И. Гальперина. Три сейсмоприемника крепились в зонде под углом в 35° к горизонту и относительно друг друга – 120° . Четвертый сейсмоприемник был установлен вертикально. Проведены первые опыты по регистрации полного вектора сейсмического сигнала. Впервые получена трасса однократных отражений (ТОО) во временной области. Применение ТОО позволило выполнить более точную привязку данных ВСП к разрезу наземной сейсморазведки.

В 1991 г. впервые получены временные разрезы ВСП. Открылась перспектива изучения не только скоростей и стратиграфической привязки отражений, но и изучение структурного околоскважинного пространства.

В 1993 г. трасса ТОО из временной области пересчитана в глубинный масштаб, что позволило совместить отражения и данные ГИС.

В 1994 г. начался переход от больших и громоздких ЭВМ типа ЕС-1066 к настольным персональным компьютерам (ПЭВМ) РС-486. Были проведены первые исследования с вибрационными источниками сейсмических сигналов – СВ-10-180.

В 1996 г. на ПЭВМ в комплексе SPS-PC были получены первые глубинные разрезы.

В 1998 г. приобретен и освоен программный комплекс ВСП-ЛОГ, в котором выполнялась вся обработка материалов ВСП. Комплекс представлял собой набор программ со всей нашей необъятной Родины и позволял проводить почти полностью всю обработку и интерпретацию материалов ВСП. В связи с тем, что комплекс состоял из разных программных подсистем, и каждая из них требовала свои форматы, обработка данных осложнялась бесконечным переформатированием данных. Несмотря на недостатки, комплекс ВСП-ЛОГ был уже полноценным рабочим местом геофизика с двумя мониторами и цветным выводом на печать.

В 1999 г. произошел переход на использование вибраторов СВ-10-180МП в качестве источников возбуждения сейсмических сигналов. Обработка материалов проводилась на компьютерах Pentium-2, SUN Sparc 20/50. Наряду с комплексом ВСП-ЛОГ использовались комплексы SDS-PC, ВСП-Экспресс, Геовектор-Плюс, Интеграл-Плюс. Впервые получены динамические преобразования временных разрезов ВСП.

В 2000 г. впервые выделены и обработаны обменные поперечные волны, проведена совместная интерпретация глубинных и временных разрезов продольных и поперечных волн.

В 2001 г. началось освоение цифрового трехкомпонентного зонда, установка нового единого комплекса обработки и интерпретации скважинных данных ЮНИВЕРС (А.А. Табаков, Москва, ЦГЭ). В комплексе можно обработать все имеющиеся в скважинной и наземной сейсморазведке материалы, данные ГИС и вывести на одном планшете. Начались опыты по поляризационной обработке продольных и поперечных волн.

В 2011 г. была проведена модернизация глубинного зонда с оснащением сейсмоприемниками голландского производства. Данная рационализация позволила проводить работы ПМ НВСП в скважинах с любым наклоном ствола, вплоть до горизонтального. Успешно проведены работы ПМ ВСП в двух скважинах с наклоном ствола около 60°.

За прошедшие 50 лет ОАО «Пермнефтегеофизика» накопила огромный опыт проведения работ методом ВСП в различных его модификациях: ПМ ВСП, ПМ НВСП. Существует большая база сейсмических и скважинных данных. Не прекращается преемственность поколений геофизиков и геологов. Простой сейсмокаротаж превратился в метод исследования околоскважинного пространства – от изучения скоростей по срывам первых вступлений до регистрации полного волнового пакета всех типов волн. Проводятся работы по определению напряженности массива горных пород, выделению зон трещиноватости и замещения отложений, прослеживание тектонических нарушений. Особую роль имеет ПМ НВСП в разведке сложных геологических сред на этапе эксплуатации месторождений.

В заключение хочется отметить, что успешность скважинных работ во многом зависит от творческого союза геофизиков и геологов, умения представлять модель строения структуры еще на этапе проектирования работ.

НОРМИРОВАНИЕ ГРАВИТАЦИОННЫХ АНОМАЛИЙ ПРИ АНАЛИТИЧЕСКОМ ПРОДОЛЖЕНИИ ЗНАЧЕНИЙ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ

С.А. Шихов, д.г.-м.н., проф., В.А. Казанцев
Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, г. Пермь

Аннотация. Рассмотрено применение нормированной функции при аналитическом продолжении аномалий и определении глубины контактной поверхности. Предложен новый способ аналитического продолжения на основе эквивалентной замены сложного гравитационного поля суммой полей однородного горизонтального цилиндра и его неоднородного аналога.

Введение

При интерпретации гравитационных аномалий необходимо знать плотность не только горных пород, представляющих поисковый интерес, но и вмещающих пород [1–3]. Для сведения к минимуму трудностей такого рода в работе [4] рассмотрен способ нормирования геофизических аномалий, вызванных двухмерными объектами. Для нормирования аномалий следует разделить функцию, которой описывается аномалия, на одно из каких-либо значений функции, или на производную от этой функции. Поскольку все значения функции и значения производных в одинаковой степени зависят от плотности пород, то в результате такого деления должна получаться единица, т.е. влияние плотности горных пород исключается. Как показали исследования, нормирование гравитационных аномалий с целью определения глубины залегания источников целесообразно выполнять по их максимальной величине.

Нормирование вертикальной составляющей притяжения горизонтального цилиндра бесконечного простираения

Нормированное значение от вертикальной составляющей притяжения горизонтального цилиндра бесконечного простираения получим после деления ее функции на максимальную величину $V_z(x, 0)_m = E$, т.е.:

$$V_z(x, 0)_ц = \frac{2Gmz}{x^2 + z^2}, \quad E = \frac{Gm}{z^2}, \quad \frac{V_z(x, 0)_ц}{E} = E \frac{z_0^2}{x^2 + z_0^2}, \quad (1)$$

где G – гравитационная постоянная, m – масса цилиндра, z_0 – глубина залегания центра цилиндра.

В конечном итоге нормированная функция $P(x)$ для горизонтального цилиндра будет:

$$P(x) = E \frac{z_0^2}{x^2 + z_0^2}. \quad (2)$$

Из формулы (1) следует, что любое значение $V_z(x, 0)$ можно представить, как произведение E на величину $P(x)$, а именно:

$$V_z(x, 0) = E \cdot P(x). \quad (3)$$

Иначе говоря, если известна величина E , то можно вычислить по формуле (3) любое значение $V_z(x, 0)$. Использование нормированных аномалий целесообразно при решении многих задач гравиразведки, в том числе оно достаточно эффективно и при решении задач аналитического продолжения аномалий силы тяжести [5].

Как известно [6–8], одним из способов решения этой задачи является решение интегрального уравнения типа Пуассона:

$$V_Z(x, 0) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} V_Z(x, z_0) \frac{z_0}{x^2 + z_0^2} dx, \quad (4)$$

где $V_Z(x, z_0)$ – неизвестная функция, выражающая аналитическое продолжение аномалий на горизонтальную плоскость с глубиной залегания z_0 . Одним из эффективных решений интегрального уравнения (4) можно назвать способ, основанный на замене интегрального уравнения суммой алгебраических уравнений. При этом весь интервал интегрирования разбивается на одинаковые отрезки Δ . В пределах каждого отрезка все значения $V_Z = \delta g$ выносятся за знак интеграла, предполагая, что на данном отрезке эта величина постоянная.

В результате получаем уравнение [6]:

$$V_Z(x, 0) = \delta g(0)a_0 + \delta g(-\Delta)a_{-1} + \delta g(\Delta)a_1 + \delta g(2\Delta)a_2 + \delta g(-2\Delta)a_{-2} + \dots \quad (5)$$

Для любой точки x можно записать:

$$(V_Z)_i = \sum a_k \delta g_{i+k}, \quad (6)$$

где a_0, a_1, a_2, \dots – коэффициенты, полученные в итоге интегрирования уравнения (4) на каждом отдельном отрезке.

При практической реализации этот способ довольно громоздкий и сложный, так как необходимо составлять систему из n уравнений с n неизвестными. Применение нормированных аномалий существенно упрощает и повышает точность решения. Вначале представим неизвестную функцию $V_Z(x, z_0)$ в виде:

$$V_Z(x, 0) = EP(x) \quad (7)$$

и заменим $V_Z(x, z_0)$ в интегральном уравнении (4) на выражение (7). Тогда получим:

$$V_Z(x, 0) = \frac{E}{p} \int_{-\infty}^{\infty} P(x) \frac{z_0}{x^2 + z_0^2} dx. \quad (8)$$

Как видим, под интегралом вместо всей функции $V_Z(x, z_0)$ остались только ее нормированные значения. Далее точно так же, как было уже описано выше, разбиваем весь интервал интегрирования на равные отрезки Δ . После интегрирования на каждом отрезке имеем:

$$V_Z(x, 0) = E[p(0)a_0 + p(-\Delta)a_{-1} + p(\Delta)a_1 + p(2\Delta)a_2 + p(-2\Delta)a_{-2} + \dots]. \quad (9)$$

Для любой точки x , по аналогии с выражением (6), получим:

$$(V_Z)_i = E \sum_{-\infty}^{\infty} a_k P(x)_{i+k}. \quad (10)$$

Сравнивая формулы (5) и (6) с выражениями (9) и (10), видим, что в формулах (5) и (6) известны только коэффициенты a_k , а значения δg не известны, тогда как в выражениях (9) и (10), кроме этих коэффициентов, можно определить прогнозируемые значения $P(x)$. После этого уже нетрудно вычислить величину E и все остальные значения $V_Z(x, z_0)$.

Таким образом, применение нормированных аномалий позволяет привести решение задачи к решению одного уравнения с одним неизвестным вместо решения n уравнений с n неизвестными.

Отметим, что формулы (9) и (10) можно использовать и при аналитическом продолжении аномалий силы тяжести в верхнее полупространство. Но в этом случае неизвестная величина $V_Z(x, -z_0)$ будет располагаться в левой части уравнения, а известные значения $V_Z(x, z_0)$ – в правой части.

Применение нормированной функции для аналитического продолжения аномалий и глубины контактной поверхности

Рассмотрим практический пример использования нормированной функции для аналитического продолжения аномалий и определения глубины контактной поверхности. Представим возмущающую массу в виде горизонтального кругового цилиндра с глубиной залегания его центра (z_0) 4 км и максимальной величиной $E=4$ мГал. Значения $V_Z(x, z_0)$ и $P(x)$ для разных глубин приведены в табл. 1 (строки 1 и 2).

Таблица 1. Значения вертикальной составляющей притяжения, нормированной функции и коэффициентов при аналитическом продолжении аномалий

	x	0	0.5h	h	1.5h	2h	2.5h	3h	Значения на уровне
1	$V_z(x, 0)$	4.00	3.20	2.00	1.20	0.80	0.60	0.40	$z_0=0$
2	$P(x)$	1.00	0.80	0.50	0.31	0.20	0.15	0.10	
3		a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	
4		0.295	0.165	0.66	0.009	0.007	0.004	0.003	
5	$P(x)$	1.00	0.50	0.30	0.10	0.06		0.03	$z_0=2$ км
6	$V_z(x, z_0)$	8.10	4.05	2.46	1.65	1.25		0.85	$z_0=2$ км
7	$V_z(x, z_0)$	8.00	4.00	2.40	1.60	1.20		0.80	$z_0=2$ км
8	$h, м$	640	320	170	127	95		63	$z_0=2$ км
9	$h, м$	630	315	187	121	80		62	$z_0=2$ км

Предположим, что необходимо построить контактную поверхность с горизонтальной подошвой на глубине $z_0=2$ км. Для этого необходимо выполнить аналитическое продолжение значений $V_z(x, 0)$ на глубину $z_0=2$ км. При решении поставленной задачи с помощью нормированных функций воспользуемся формулой (10). Коэффициенты a_1, a_2, a_3, \dots при шаге $\Delta x=z_0$ вычислены [6] и приведены в строке 4, а в строке 5 даны прогнозные значения нормированной функции $P(x)$. Следует заметить, что ввиду симметричного распределения контактной поверхности относительно оси OZ коэффициенты $a_n=a_{-n}$, поэтому все коэффициенты a_k (кроме a_0) требуется удвоить. После подстановки известных a_k и $P(x)$ в формулу (10) получим $E(0.2)=0.415E(0, 0)$. Отсюда $E=8.10$ мГал, а все остальные значения вертикальной составляющей $V_z(x, z_0)$ приведены в строке 6. Как видим, расхождения с точными значениями (строка 7) небольшие.

После завершения аналитического продолжения аномалий определим толщину контактной поверхности в каждой точке по известной формуле [1, 2]:

$$h = \frac{V_z(x, z_0)}{2pfy}. \quad (11)$$

Результаты вычислений приведены в строке 8 при $\Delta=0.3$ г/см³. В строке 9 приведены значения h распределения массы в виде:

$$h = \frac{2z_0^2}{p(x^2 + z_0^2)}. \quad (12)$$

Сравнение значений в строках 8 и 9 показывает, что они отличаются друг от друга незначительно. Отсюда можно сделать вывод, что обе контактные поверхности практически эквивалентны.

При аналитическом продолжении в верхнее полупространство, как уже отмечалось, $V_z(x, z_1)$ и $V_z(x, 0)$ меняются местами. Поэтому, если $z=-2$ км, то $V_z(x, -z_0)=1.98$ мГал.

Способ аналитического продолжения аномалий на основе эквивалентной замены сложного гравитационного поля

Наряду с эффективным применением нормированных функций для аналитического продолжения аномалий силы тяжести классическими методами рассмотрим новый способ аналитического продолжения, основанный на эквивалентной замене сложного (неоднородного) гравитационного поля суммой полей однородного горизонтального цилиндра и его неоднородного аналога.

Вначале покажем, что любую сглаженную аномалию, стремящуюся к нулю при $x \rightarrow \infty$ и не содержащую вторых максимумов, особенно на периферии, можно выразить суммой слагаемых:

$$V_z(x, 0) = 2fs\sigma \frac{z_0}{x^2 + z_0^2} + 2fs\Delta\sigma(x) \frac{z_0}{x^2 + z_0^2}, \quad (13)$$

где s – поперечное сечение цилиндра, f – аномальная плотность.

В равенстве (13) первый член представляет собой гравитационный эффект горизонтального однородного цилиндра, а второй – гравитационное действие его неоднородного аналога.

После нормирования получим:

$$V_z(x, 0) = E \frac{z_0}{x^2 + z_0^2} + \frac{E\Delta\sigma(x)}{\sigma} \frac{z_0}{x^2 + z_0^2} = EP(x) + E \frac{\Delta\sigma(x)P(x)}{\sigma}. \quad (14)$$

Нетрудно доказать, что:

$$\frac{\Delta\sigma(x)}{\sigma} = \frac{\Delta V(x, 0)}{V_z(x, 0)_{\text{ц}}} = K_{\text{н}}, \quad (15)$$

где $V_z(x, 0)_{\text{ц}}$ – вертикальная составляющая притяжения горизонтального цилиндра, $K_{\text{н}}$ – коэффициент неоднородности.

Действительно, если перенести в левую часть первое слагаемое в уравнении (14) и разрешить его относительно $\frac{\Delta\sigma(x)}{\sigma}$, то будем иметь соотношение (15).

Поскольку новый способ предусматривает аппроксимацию аномалий силы тяжести гравитационным полем однородного кругового цилиндра бесконечного простира- ния и полем его неоднородного аналога, то вначале необходимо рассмотреть более подробно нормированную функцию для однородного цилиндра.

Данную нормированную функцию $P(x)$ выражает равенство (2). По нашему мнению, наиболее просто и полно нормированная функция $P(x)$ описывает последовательность значений в точках x , которые являются кратными глубине (h) залегания его центра (табл. 2).

Таблица 2. Значения нормированной функции, вертикальной составляющей и других параметров при $h=4$ км и $E=4$ мГал

1	x	0	$0.5h$	h	$1.5h$	$2h$	$2.5h$	$3h$	Примечание
2	$P(x,0)$	1.00	0.80	0.50	0.30	0.20	0.15	0.10	На земн. поверхн. $z_0=0$
3	x	0	$0.25h$	$0.5h$	$0.75h$	$1.0h$	$1.25h$	$1.5h$	
4	$P(x,z_0)$	1.00	0.80	0.50	0.30	0.20	0.15	0.10	На глуб. $z_0=2$ км
5	$V_z(x,0)$	4.00	3.20	2.00	1.20	0.80	0.60	0.40	$z_0=0$
6	$V_z(x,z_0)$	8.00	6.40	4.00	2.40	1.60	1.20	0.80	$z_0=2$ км
7	$V_z(x,0), \text{ м.н.}$	2.0	1.80	1.41	1.10	0.90	0.70	0.63	Матер. полоса, $z_0=0$
8	$V_z(x,z_0), \text{ м.н.}$	4.00	3.57	2.83	2.20	1.80	1.40	1.21	Матер. полоса, $z_0=2$ км
9	x	0	$0.5h$	h	$1.5h$	$2h$	$2.5h$	$3h$	
10	Коэфф. неодн. $K_{\text{н}}$	0.50	0.56	0.70	0.90	1.10	1.25	1.60	На земн. поверхн. $z_0=0$
11	$V_z(x,0)$	6.00	4.99	3.40	2.29	1.68	1.35	1.04	По форм. (14)
12	x	0	$0.25h$	$0.5h$	$0.75h$	$1.0h$	$1.25h$	$1.5h$	
13	Коэфф. неодн. $K_{\text{н}}$	0.50	0.56	0.70	0.90	1.10	1.25	1.60	$z_0=2$ км
14	$V_z(x,z_0)_{\text{ц}} K_{\text{н}}$	4.00	3.84	2.80	2.16	1.76	1.50	1.28	$z_0=2$ км
15	$V_z(x,z_0)$	12.00	10.12	6.80	4.56	3.46	2.41	2.11	
16	$\sum(V_z)_{\text{ц}}+(V_z)_{\text{м.п.}}$	12.00	10.00	6.83	4.60	3.40	2.50	2.02	

Соответствующие значения нормированной функции $P(x,0)$ даны в строке 2, а значения $P(x, z_0)$ на глубине $z_0=2$ км приведены в строке 4. Они точно такие же, как и на земной поверхности, но при этом интервал наблюдения сократился в два раза.

Как было показано выше, однородный цилиндр сохраняет свои свойства на разных уровнях наблюдений через свою нормированную функцию. Точно так же сохраняет свою неоднородность (через коэффициент $K_{\text{н}}$) на разных уровнях неоднородный цилиндр через конкретный символ этой неоднородности ($K_{\text{н}}$).

Рассмотрим справедливость такого утверждения на конкретном примере. Пусть на гравитационное поле однородного цилиндра наложилось поле материальной полосы:

$$V_z(x, 0) = \frac{G\mu\pi z_0}{2\sqrt{x^2 + z_0^2}}, \quad (16)$$

где μ – поверхностная плотность, $z_0=4$ км – глубина залегания материальной полосы.

Заметим, что формула (16) является аналогом известной формулы для расчета гравитационного поля материальной полосы. Отличие только в том, что градусная мера здесь заменена радианной.

Значения, рассчитанные по формуле (16), приведены в табл. 2 (строка 7). Данные величины, наложенные на поле $V_z(x, 0)$ цилиндра, создают неоднородность гравитационного поля. Такое сложное неоднородное гравитационное поле можно заменить суммой двух слагаемых (14). С целью подобной замены вычислим коэффициенты неоднородности на уровне $z_0=0$, полученные значения приведены в строке 10.

Подставим вычисленные коэффициенты в формулу (14) вместо отношения $\frac{\Delta\sigma(x)}{\sigma}$.

После несложных расчетов убеждаемся, что такая замена действительно эквивалентна, так как вычисленные по формуле (14) значения $V_z(x, 0)$ практически равны значениям $V_z(x, 0)$ сложного неоднородного поля (см. строки 11 и сумму значений в строках 5 и 7).

Определение величины степени неоднородности K_H на уровне $z_0=0$ дано в строке 10, а в строке 12 показано, что степень неоднородности сохраняется полностью и на уровне $z_0=2$ км, но при этом шаг (интервал) наблюдений уменьшается в два раза.

Для нахождения суммарного поля (аналитическое продолжение $V_z(x, z_0)$) необходимо в каждой точке x определить: какую часть в суммарное поле вносит неоднородная часть цилиндра и его однородная часть. Влияние неоднородной части определяем путем умножения $V_z(x, z_0)_{\text{ц}}$ на коэффициент неоднородности K_H (значения даны в строках 6 и 14) и прибавляем к этой величине ($K_H V_z(x, z_0)_{\text{ц}}$) аналитически продолженное значение $V_z(x, z_0)_{\text{ц}}$. Результаты суммирования приведены в строке 15. Они хорошо контролируются путем сложения $V_z(x, z_0)_{\text{ц}}$ и $V_z(x, z_0)_{\text{м.п.}}$ (строка 16).

Таким образом, сопоставление значений вертикальной составляющей силы притяжения в строках 15 и 16 показывает, что каких-либо заметных расхождений не наблюдается. Это является доказательством того, что предлагаемый способ аналитического продолжения аномалий силы тяжести, основанный на эквивалентной замене сложного гравитационного поля суммой полей однородного горизонтального цилиндра и его неоднородного аналога, является достаточно простым и дает хорошие результаты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Маловичко А.К., Костицын В.И., Тарунина О.Л.* Детальная гравиразведка на нефть и газ. – М.: Недра, 1989. – 224 с.
2. *Слепак З.М.* Гравиразведка в нефтяной геологии. – Казань: Изд-во Казанского ун-та, 2005. – 224 с.
3. *Серкеров С.А.* Гравиразведка и магниторазведка в нефтегазовом деле. Учебное пособие. – М.: ФГУП «Изд-во Нефть и газ РГУ нефти и газа», 2006. – 512 с.
4. *Шихов С.А., Каракулов В.А.* Определение элементов залегания возмущающих объектов с помощью нормирования геофизических аномалий // Геофизические методы поисков и разведки месторождений нефти и газа. – Пермь: Изд-во Пермского ун-та, 2001. – № 19 (33). – С. 47–53.
5. *Маловичко А.К.* Методы аналитического продолжения аномалий силы тяжести. – М.: Гос-топтехиздат, 1956. – 160 с.
6. *Маловичко А.К., Костицын В.И.* Гравиразведка. Учебник для вузов. – М.: Недра, 1992. – 357 с.
7. *Кобрунов А.И.* Математические основы теории интерпретации геофизических данных. Учебное пособие. – М.: ЦентрЛитНефтеГаз, 2008. – 288 с.
8. *Страхов В.Н.* Методы интерпретации гравитационных и магнитных аномалий. – Пермь: Изд-во Пермского ун-та, 1984. – 72 с.

ВОЗМОЖНОСТИ МЕТОДОВ СОПРОТИВЛЕНИЙ И ВЫЗВАННОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ ПРИ ИЗУЧЕНИИ СЛОЖНОПОСТРОЕННЫХ СРЕД

Н.Г. Шкабарня, д.т.н., проф., Г.Н. Шкабарня, к.т.н.
Институт горного дела ДВО РАН, г. Хабаровск

Аннотация. Рассмотрены возможности методов сопротивлений и вызванной поляризации в модификации электрической томографии при изучении сложно-построенных сред на основе математического моделирования электрического поля на поверхности горизонтально-неоднородных сред.

Решение фундаментальных проблем методов сопротивлений и вызванной поляризации в условиях горизонтально-неоднородных сред связано с применением цифровых многоканальных комплексов, получением и обработкой большого объема измерений, созданием вначале фоновой, а затем геоэлектрической модели. Именно такой путь развития методов позволит после истолкования геоэлектрического разреза формировать петрофизические модели с целью решения разнообразных задач рудной и инженерной геологии, гидрогеологии, геоэкологии и археологии.

Последние десятилетия в методе сопротивлений широкое развитие получило направление электрической томографии (Electrical resistivity tomography) с применением многоканальной аппаратуры с высокой производительностью, повышенной точностью измерений и помехоустойчивостью. Несмотря на интегральную природу полей кажущихся сопротивлений и поляризуемостей, плотная информация томографических систем наблюдений с учетом разных позиций расположения источников и приемников на поверхности сложнопостроенных сред не является избыточной и позволяет получать необходимые сведения о строении и физических свойствах изучаемого разреза на глубинах до 30–50 м. Это положение, а также разрешающая способность модификации, закономерности полей и критерии выделения элементов горизонтально-неоднородных сред, рациональная методика полевых работ обоснованы на основе моделирования электрических полей.

Для решения задач выбраны модели [1], которые включают полупространства с горизонтальными, наклонными и вертикальными границами, а также локальными объектами в виде сфероида вращения. В первом приближении эти модели отражают фрагменты сложнопостроенных сред. На первом этапе для моделей и многоканальных систем наблюдений были разработаны алгоритмы и программное обеспечение расчета полей с источниками только на поверхности.

Основным назначением анализа результатов моделирования полей в конечном счете было установление критериев выделения и прослеживания границ, слоев и локальных объектов на основе закономерностей аномальных областей поля. Причем, наряду с анализом разрезов кажущихся сопротивлений и поляризуемостей, полученных в результате первичной обработки, рассматривались закономерности кривых электрического зондирования, которые можно легко получать из цифровых матриц.

Закономерности поля получены для различных вариантов соотношения геометрических и электрических параметров моделей, а также расположения многоэлектродной системы относительно выхода границ на поверхность и особых точек локального объекта. Рассмотрим некоторые закономерности.

При расположении системы наблюдений на поверхности среды с пологими границами анализ матриц ничего существенного к известным закономерностям поля [1] не добавляет. Однако при интерпретации полевых материалов плотная информация позволяет точнее определять локальные участки подъема и опускания границ по сгущению изолиний поля.

Для модели с выходом наклонных границ на поверхность установлены следующие закономерности:

- начальные значения на малых разносах (начальная асимптота кривых) определяются удельным сопротивлением той среды, на поверхности которой находится центр установки, конечные значения – асимптотическими формулами для соответствующих установок;

- если установка не пересекает линию контакта сред на поверхности, то значения поля изменяются монотонно, как и в случае слоистых сред; на поверхности с острыми углами ($\alpha < 30^\circ$) кривые зондирования по форме приближаются к двухслойным, либо трехслойным; на поверхности среды с тупыми углами ($\alpha > 150^\circ$) кривые приближаются к начальной асимптоте; расхождения значений ρ_k и η_k при переходе на большую приемную линию не превосходят 8% для стандартных соотношений MN/AB;

- если установка пересекает линию контакта, то форма кривых характеризуется изломами при переходе линии питающим электродом, а после излома наблюдаются прямолинейные отрезки, на которых значения ρ_k и η_k определяются асимптотическими формулами; с уменьшением угла наклона аномальные особенности проявляются более ярко; значительные расхождения (до 100%) установлены при проходе приемного электрода через линию контакта.

Для обнаружения и прослеживания локальных объектов следует учитывать следующие особенности:

- начальные значения (начальные асимптоты кривых) определяются удельным сопротивлением и поляризуемостью вмещающей среды, конечные асимптоты характеризуются асимптотическими формулами, либо электрическими свойствами вмещающей среды; между асимптотами кривые монотонно изменяются, как и в случае слоистых сред, за исключением среды с вертикально-протяженным сфероидом («веретеном»), – тогда имеем излом на кривых зондирования при переходе питающего электрода через эпицентр объекта;

- при расположении центра установки над горизонтально-протяженным сфероидом («диском») начальные фрагменты кривых имеют вид двухслойных, а за пределами сфероида – трехслойных; расхождение на перекрытиях приемных линий достигает 50%;

- вертикально-протяженный сфероид повышенного сопротивления практически не выделяется в поле кажущихся сопротивлений, а в поле поляризуемостей не выделяются любые объекты, если они имеют высокие сопротивления и низкие поляризуемости.

При исследовании горизонтально-неоднородных сред наиболее эффективно применять комбинированные установки, причем наибольшие возможности имеет трехэлектродная установка, питающий электрод которой переходит линию выхода границ на поверхности или эпицентр локального объекта. Основными характерными особенностями кривых зондирования являются изломы, расхождения значений ρ_k и η_k на перекрытиях приемных линий, углы наклона восходящих и нисходящих ветвей, поведение конечных асимптот, законы обращения кривых встречных трехэлектродных установок, смещения аномальных участков кривых по оси разносов в разных точках зондирования на профиле.

Установленные закономерности поля широко использовались в практике для формирования фоновой или интерпретационной [2] геоэлектрической модели. Это сложный многостадийный процесс, который, кроме выделения и идентификации однотипных блоков, предусматривал изучение априорной геолого-геофизической информации и определение приближенных геометрических и физических параметров разреза. В процессе формирования фоновой модели старались уменьшить число определяемых параметров и оставляли только параметры доминирующих объектов. Использование таких моделей на этапе количественной интерпретации данных позволило существенно повысить устойчивость решения обратной задачи. Для количественной оценки параметров среды и построения окончательных геоэлектрических моделей применялась инверсия результатов наблюдений с помощью программы Res2dinv с минимизацией модельной невязки практической и теоретической матриц [3].

К настоящему времени накоплен достаточный опыт по изучению структурно-тектонического строения на месторождениях угля и золота, на оползневых склонах угольных разрезов и многочисленных площадках строительства различных объектов.

В качестве примера рассмотрим результаты полевых работ на Фадеевском углеперспективном участке (Приморский край, Раздольненский угольный бассейн). Поскольку подобные угольные объекты предназначаются для открытого способа добычи, исследования были ограничены глубиной 50 м. Всего выполнено восемнадцать 60-электродных расстановок электрической томографии с шагом между электродами 2.5 м и опросом единичной установки по типу Веннера. Кроме того, были выполнены 12 точек вертикального электрического зондирования с максимальным разносом АВ=700 м с целью сравнения результатов интерпретации и увеличения глубины изучения разреза. Также на профилях было пробурено четыре параметрические скважины, одна из которых вскрыла пласт каменного угля.

Предварительные количественные параметры по фрагментам разреза были получены в результате интерпретации выборок кривых зондирования из томографических матриц, практических кривых ВЭЗ и обработки графиков профилирования по отдельным разносам. В результате формировались фоновые модели с установленными размерами блоков по горизонтали, приближенными величинами мощностей и удельных сопротивлений отдельных слоев в пределах блоков.

В результате интерпретации получены геоэлектрические разрезы по профилям до глубин 40 м, а на отдельных участках – до 50 м. После геологического истолкования этих разрезов с использованием данных каротажа скважин и привязки электрических границ к литологическим составлены геолого-геофизические разрезы.

Ниже приведено рассмотрение для ПР 2 (рисунок), где строение менее сложное и почти на линии профиля располагаются три скважины № 25, 26, 28. Здесь выделяем четыре блока, разделенных разломами. Наличие блоков можно установить при анализе количественных разрезов ρ_k и карт графиков ρ_k по смене электрических свойств, а линии разломов – по наибольшему градиенту изолиний. По результатам количественной интерпретации в пределах каждого блока выделяется четыре либо пять слоев.

В пределах первого блока ниже почвенно-растительного слоя (14–16 Ом) в локальных прогибах на южном и северном участках прослеживаются аргиллиты с прослоями туфогенного песчаника галенкинской свиты, отмечаемые повышенными сопротивлениями (22–25 Ом). Наибольшая мощность этого слоя (10 м) отмечена в районе ПК 50–70, а на ПК 350 (скважина 26) он составляет 8 м. На южном участке нижняя часть галенкинской свиты в большей мере представлена туфогенными песчаниками, и по электрическим свойствам она выделяется выдержанным электрическим слоем с удельными сопротивлениями 50–55 Ом.

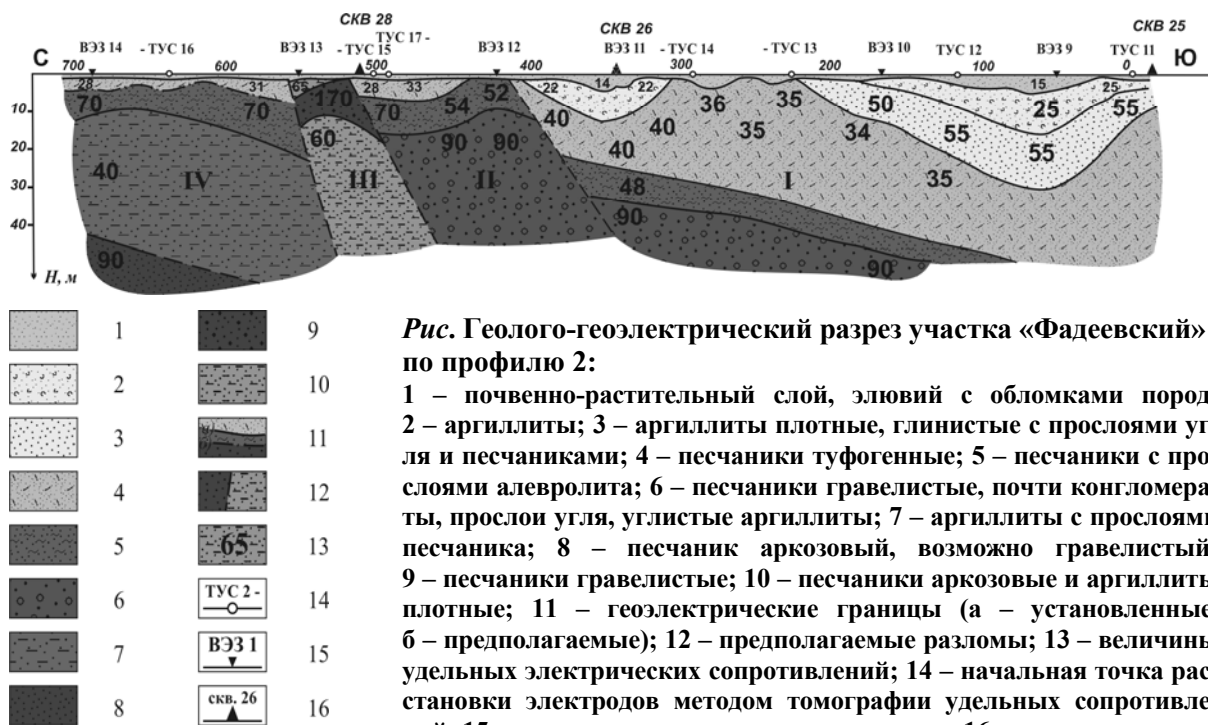


Рис. Геолого-геоэлектрический разрез участка «Фадеевский» по профилю 2:
 1 – почвенно-растительный слой, элювий с обломками пород; 2 – аргиллиты; 3 – аргиллиты плотные, глинистые с прослоями угля и песчаниками; 4 – песчаники туфогенные; 5 – песчаники с прослоями алевролита; 6 – песчаники гравелистые, почти конгломераты, прослой угля, углистые аргиллиты; 7 – аргиллиты с прослоями песчаника; 8 – песчаник аркозовый, возможно гравелистый; 9 – песчаники гравелистые; 10 – песчаники аркозовые и аргиллиты плотные; 11 – геоэлектрические границы (а – установленные, б – предполагаемые); 12 – предполагаемые разломы; 13 – величины удельных электрических сопротивлений; 14 – начальная точка расстановки электродов методом томографии удельных сопротивлений; 15 – точка электрического зондирования; 16 – точка скважины

На рассматриваемом профиле почти повсеместно выделяется слой с сопротивлениями 26–38 Ом·м. Это аргиллиты плотные глинистые с прослоями угля и песчаника липовецкой свиты. В первом блоке изученная мощность его колеблется от 15 до 35 м, наибольшая мощность приходится на интервал профиля ПК 210–305, где выклиниваются отложения галенкинской свиты. В пределах II–IV блоков мощность слоя небольшая (2–6 м), и он залегает ниже почвенно-растительного слоя и практически выходит на поверхность. Ниже в разрезе липовецкой свиты установлен слой повышенного сопротивления с величинами 48 Ом·м в первом блоке и 52–70 Ом·м – во втором и четвертом блоках. Он представлен песчаниками с прослоями алевролитов. Мощность слоя колеблется от 5 до 15 м, залегание пологое. Еще ниже выделяется слой сравнительно высокого сопротивления (90 Ом·м), который представляет наибольший интерес, поскольку среди гравелистых песчаников и углистых алевролитов он содержит прослой угля. В пределах первого блока кровля его фиксируется на глубине 30 м (ПК 390), а в пределах второго блока – на глубине 10–15 м. Скважиной № 26 он вскрыт на глубине 34 м, а скважиной № 28 не был вскрыт, поскольку она расположена вне блока II. В первом блоке слой монотонно погружается в южном направлении. Мощность слоя, судя по блоку II, превышает 40 м.

В пределах IV блока в разрезе липовецкой свиты ниже песчаников с прослоями алевролитов (70 Ом·м) выделяется слой пониженного сопротивления (40 Ом·м), который отличается большим содержанием алевролита, чем песчаника. В основании разреза отмечен слой высокого сопротивления (100 Ом·м), который, по-видимому, представлен исключительно песчаником.

В районе скважины 28 выделяется блок, строение которого резко отличается от соседних блоков. Ниже почвенно-растительного слоя выделяется слой песчаников липовецкой свиты (65 Ом·м), а еще ниже – высокоомный слой (170 Ом·м), представленный, вероятно, гравелистыми песчаниками. Мощность последнего не превышает 12 м. В основании разреза здесь отмечается слой с сопротивлением 60 Ом·м, который, судя по величине сопротивления, представлен песчаником с прослоями аргиллита. В разрезе этого блока угольные пласты отсутствуют.

Основными геологическими результатами работ на участке являются:

– детальное изучение структурно-тектонического строения с определением условий и характера залегания слоев, отличающихся по литологическому составу и удельному сопротивлению;

– определение контактов и установление блокового строения, которое представляет значительные трудности при прослеживании слоев, поэтому достоверная увязка электрических горизонтов с угольными пластами возможна при наличии скважины в пределах каждого блока;

– выделение участков для постановки площадных работ в комплексе с единичными скважинами для поиска и прослеживания угольных пластов, близких к поверхности.

Такая детальность стала возможной только благодаря электрической томографии, поскольку плотная система значений кажущихся сопротивлений обеспечивает решение задачи по выделению маломощных пластов с небольшим различием по сопротивлению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Шкабарня Г.Н., Шкабарня Н.Г.** Обоснование новой технологии электрической томографии для разведки угольных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: Мир горной книги, 2007. – Вып. 9 «Дальний Восток». – С. 377–390.
2. **Светов Б.С., Бердичевский М.Н.** Электроразведка на современном этапе // Геофизика. – 1998. – № 2.
3. **Loke M.H., Barker R.D.** Least-squares deconvolution of apparent resistivity pseudo sections // Geophysics. – 1995. – Vol. 60. – P. 1682–1690.

МЕТОДИКА ГРАВИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ЛИТОСФЕРЫ

В.А. Шляховский, к.г.-м.н.

Научно-производственная фирма «ЛАНЕФ», г. Казань

Аннотация. Представлена методика расчета гравитационных эффектов от границ земной коры, определены основные параметры расчета, позволяющие выделять остаточные эффекты от вертикальных неоднородностей литосферы. Приведены примеры выявления источников в пределах Восточной Европы.

С 70-х годов прошлого столетия была развернута дискуссия о правилах гравитационного моделирования. Это вызвано тем, что была реализована идея использования соотношения скорости распространения упругих волн и плотности пород. Эти соотношения, полученные из теоретических расчетов и в результате соответствующих испытаний образцов керна глубоких скважин, использовались для создания планетарной плотностной модели (К.М. Картвелишвили, М.А. Алексидзе) и плотностных моделей, построенных с опорой на скоростные модели земной коры, полученные по данным ГСЗ (С.С. Красовский, В.И. Старостенко, В.Г. Козленко, В.В. Бурьянов и др.).

Полагалось, что такой подход позволит геологам оперировать абсолютными значениями плотностей в пределах построенных геолого-геофизических разрезов земной коры. Классический подход, как представление среды системой субгоризонтальных границ (контактных поверхностей), был подвергнут критике. Отмечалось, что такой параметр, как средняя глубина залегания контактной поверхности, не имел постоянного значения, а был различным для разных территорий. В таком виде построенные модели земной коры для различных регионов не могли быть сопоставимы и использованы геологами для анализа [1]. Теоретически гравитационные модели полной среды представляли несомненное преимущество. И это направление в гравиразведке получило широкое распространение. Но со временем стало очевидным, что такой подход имеет ряд существенных недостатков, и в первую очередь различие в выборе уровня сравнения. Дело в том, что из гравитационного поля Земли исключен гравитационный эффект всей массы Земли, а потом через соотношение скорость–плотность вносится масса слоя земной коры, которую определить уже точно невозможно, учитывая не только мощность, но и неоднозначность корреляционных зависимостей скорость–плотность. Таким образом, и новый подход в моделировании не смог уйти от решения вопроса о базисе сравнения.

Между тем эта проблема в рамках классического подхода в представлении аномальных масс, была решена около 30 лет назад в Институте геофизики АН УССР. Это стало возможным, когда была поставлена задача построения геолого-геофизической модели литосферы. Длина геотраверсов увеличивалась в 2–3 раза, глубина исследований составляла 200–250 км.

Первая модель такого рода была составлена вдоль геотраверса V, расположенного от Трансильванской впадины до Керченского полуострова [2]. В качестве плотностных границ с соответствующими избыточными плотностями были выбраны поверхности молодого киммерийского фундамента K_0 (0.1 г/см^3), дорифейского фундамента K_1 (0.1 г/см^3), сейсмической границы К–М (0.2 г/см^3), границы Мохоровичича ($0.2\text{--}0.3 \text{ г/см}^3$). Меньшие значения избыточной плотности на последней границе соответствуют области развития коромантийного слоя. Гравитационный эффект от каждой границы был подвергнут анализу на их вклад в аномальное поле. Поскольку исследовались аномалии в регионах с различной мощностью земной коры, необходимо было найти уровень отсчета аномальных масс такой, при котором соотношение аномалий

было бы сбалансированным относительно друг друга. Путем многократных просчетов такой уровень для поверхности Мохоровичича был выбран в 42.5 км, а для дорифейского фундамента – 6 км [3]. Впоследствии мы нашли подтверждение выбранных параметров из данных о строении кристаллического фундамента и поверхности Мохоровичича в пределах территории СССР, где была указана средняя глубина залегания этих границ, соответственно, 42 и 6 км [4]. С этого момента эти параметры стали неизменными и определяющими для построения модели литосферы, как континентальной, так и океанической. Стоит обратить внимание на тот факт, что только в 1999 г. В.В. Гордиенко отметил, что при выборе нормы сравнения в полной модели среды следует брать мощность земной коры 42 км [5].

В пределах V геотраверса находится сейсмофокальная область Вранча, где фиксируются очаги землетрясений до глубин в 170 км. Этой области на поверхности Земли, после исключения из наблюдаемого поля гравитационных эффектов вышеназванных границ земной коры, соответствовала остаточная отрицательная аномалия до $80 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}^2$. Объяснить ее происхождение с помощью известных плотностных границ литосферы не представляется возможным, так как это требует изменение глубин залегания, к примеру, границы Мохоровичича, – до десятка километров, что исключено ввиду того, что эта граница уверенно выделена по данным ГСЗ и сейсмологии. Существовало несколько гипотез и моделей строения этой области (остаток океанической плиты в пределах астеносферного слоя и т.п.), но ни один гравитационный эффект от этих моделей не мог вызвать нужный эффект [6].

Была выдвинута гипотеза об изменении плотности с глубиной в пределах выделяемых здесь зон разломов Г' (граница Карпат и Трансильванской впадины) и Г'' (область Вранча). Для решения этой задачи создавался специальный алгоритм, реализованный с помощью системы аналитических вычислений [7], который позволяет подобрать под исходную гравитационную аномалию гравитационный эффект от непрерывного изменения плотности с глубиной (аппроксимированного полиномом произвольной степени) в пределах замкнутого объема. Анализируя исходные данные и проводя многочисленные расчеты, были определены геометрические размеры разломов Г' и Г'' (ширина первого – 45, второго – 25 км; глубина, соответственно, – 150 и 180 км). Необходимый гравитационный эффект был получен при аппроксимации изменения плотности с глубиной полиномом 1 и 2 порядка (рис., [6]). Для окончательного выбора закона изменения плотности с глубиной были привлечены данные других геофизических методов.

Вычисленные скорости в гипоцентрах землетрясений области Вранча и скорости, определенные на румынских сейсмологических станциях, показывают, что их изменение с глубиной имеет нелинейный характер. Такой же закон изменения выбран и для плотности в пределах разлома Г''. С глубиной в пределах разлома Г'' хорошо коррелируются зоны пониженных (60–120 км) и повышенных (130–180 км) значений скоростей и плотностей. Следует отметить, что к вышеуказанной зоне пониженных значений примыкает с востока область волновода. Глубокофокусные землетрясения отмечаются в пределах области повышенных значений скоростей и плотностей.

При исследовании теплового потока были выявлено резкое повышение температур в зоне Г' [8]. В [9] приведены данные о существовании астеносферы в этой области до глубины 70–80 км. Сопоставляя эти данные с полученными результатами расчета гравитационных эффектов (обширная зона; при линейном законе изменения плотности с глубиной дефицит плотности также увеличивается с глубиной), можно предположить, что в действительности разлом Г' – это ослабленная зона в верхней мантии, вдоль которой происходит прогрев литосферы за счет присутствия астеносферного вещества. Для этой зоны был выбран линейный закон, учитывая и тот факт, что при квадратичном законе должны проявляться землетрясения в пределах области повышенных значений плотности, что на самом деле не наблюдается.

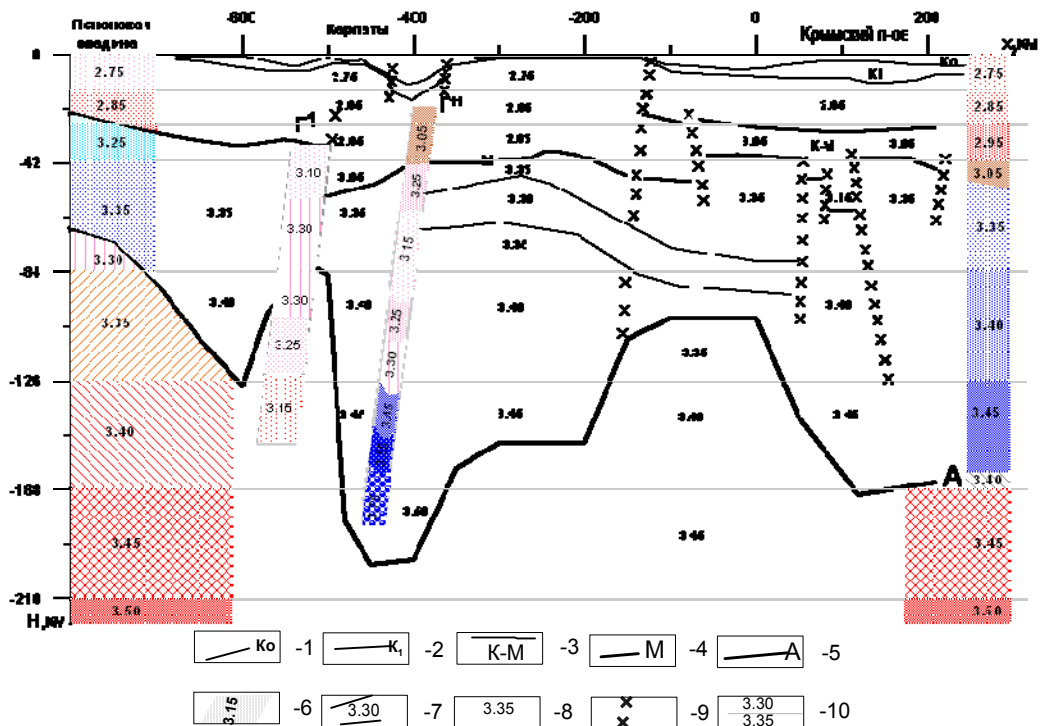


Рис. Плотностная модель литосферы вдоль траверса V.

Границы: 1 – киммерийского фундамента; 2 – дорифейского фундамента; 3 – коромантийной смеси; 4 – Мохоровичича; 5 – астеносферы; 6 – разломов и значения плотности в их пределах; 7 – границы «волновода»; 8 – значения плотности в слоях литосферы; 9 – разломы по данным ГСЗ; 10 – условные границы градиентного нарастания плотности с глубиной

Таким образом, было определено, что в зоне сочленения Трансильванской впадины, Карпат и области Вранча существует зона глубинных разломов Γ' и Γ'' , которые являются границей между двумя литосферными блоками различной мощности. На западе находится прогретый блок за счет присутствия астеносферы на глубине до 70 км, восточнее – холодный блок, где кровля астеносферы расположена на глубинах около 200 км. При этом образуется пара разломов, один из которых служит «подводящим» каналом для астеносферного вещества (Γ'), а второй образован вследствие процессов, вызванных резкой разницей глубины залегания астеносферного слоя (Γ''). Было предположено, что изменения физических свойств в этом разломе связаны с процессом «зонной плавки» [10].

С методической стороны важно, что впервые были показаны аномальные массы, эффект от которых компенсируется поверхностью Мохоровичича. Впоследствии, когда по аналогичной методике рассчитывались модели литосферы в пределах Украинского кристаллического щита, нами были выделены вертикальные плотностные неоднородности с положительной избыточной плотностью с нижней кромкой до 200 км.

Накопленный материал позволил нам подойти к решению вопроса о том, как может изменяться плотность в абсолютных значениях в пределах литосферы. Простой пересчет сверху вниз от известных значений плотностей в осадочном чехле и до пород верхней мантии дает заниженные значения для последних – 3.0 г/см^3 . Между тем, экспериментальный и расчетный материал указывает величины $3.3\text{--}3.4 \text{ г/см}^3$ [11].

Определенное в разломных зонах Вранча изменение избыточной плотности с глубиной по отношению к вмещающим породам не позволяет получить сколько-нибудь логичного распределения плотностей в земной коре и верхней мантии. Решение может быть получено лишь при использовании идеи о градиентном нарастании плотности с глубиной [12]. Необходимо отметить, что использование модели контактных плотностей с избытком плотности на них не позволяет определять границы такого типа, так как аномалия может появляться только в случае флуктуации границы относительно

ее среднего уровня. Поэтому, исходя из вышеизложенного, искусственно введем градиентное нарастание плотности на 0.3 г/см^3 в пределах земной коры. Это можно представить как присутствие, например, трех абсолютно горизонтальных поверхностей с избытком плотности 0.1 г/см^3 на каждой. Пусть глубина между ними будет 14 км (из расчета, что средняя мощность земной коры – 42 км, разделенная на три).

Далее, сопоставляя полученные значения плотности в земной коре и распределение плотности с глубиной в разломах Вранча, мы пришли к выводу, что и в верхней мантии необходимо допустить наличие градиентного нарастания плотности с глубиной на величину 0.05 г/см^3 каждые 42 км. Рассчитанные таким образом абсолютные значения плотностей земной коры и верхней мантии не противоречили результатам моделирования, проведенного по сейсмологическим данным [6], что нашло свое отражение в комплексной модели V геотраверса (рисунок).

В связи с вышеизложенным обратимся к сейсмологическим данным. И.Г. Керимов (1984) рассмотрел распределения количества землетрясений по магнитудам и глубине. Им были построены соответствующие графики с шагом 10 км до глубин 400–450 км. И для всех интервалов глубин наиболее характерными оказались землетрясения с $M=4.8-4.9$. Полученное им распределение имеет под собой принципиально иную сейсмологическую основу, чем было принято ранее. Если считалось, что количество землетрясений убывает с увеличением их энергии, или, иначе говоря, имелось определенное соотношение между распределением числа «больших» и «малых» блоков, то в полученном распределении наиболее важную в сейсмогенном смысле роль играет слоистость верхней части Земли. Действительно, так как $M=4.8-4.9$ соответствует размерам блоков порядка 12–15 км, следовательно, слои чередуются именно с такой периодичностью [13].

Таким образом, выделенные интервалы градиентного нарастания плотности в земной коре имеют не виртуальный характер, а несут определенную геодинамическую нагрузку. Обратим внимание и на то, что автором подчеркивается однородность среды, т.е. это указывает, что градиентное изменение свойств среды происходит повсеместно с одинаковыми значениями, а не дискретно в различных блоках земной коры и верхней мантии.

Необходимо сделать одно важное замечание. В модели мы оперируем значениями плотности, но не определяем ее генезис. В простом случае – это изменение литологии. Однако с увеличением глубины необходимо учитывать состояние среды. Это не только разница в температурных значениях, но и в поле напряжений. Причем речь идет не о банальном увеличении давления с глубиной, а об изменениях напряжений, как самостоятельном источнике аномалий гравитационного поля. Причем и для сейсмических границ существуют так называемые границы второго рода. Здесь уместно вернуться к границе Мохоровичича, поскольку вариации ее глубины залегания, отмечаемые Краснопевцевой на Кавказе [4], равно как и другими исследователями, в 5–7 км за два года, говорят о том, что данная граница выполняет функцию компенсирующей напряжения в среде. А, значит, учитывая ее положение, мы можем определить те источники, эффекты от которых скрыты в наблюдаемых на поверхности геофизических полях.

Выше был рассмотрен случай, когда используются данные региональной сейсморазведки о строении субгоризонтальных границ земной коры. Эти границы (определяющая – поверхность Мохоровичича) служат ключом к открытию источников, эффекты от которых скрыты в наблюдаемых на поверхности геофизических полях.

Но не только поверхность Мохо проявляет компенсационные свойства в гравитационном поле. Данные других (не сейсморазведочных) методов позволяют выделять вертикальные источники, которые в наблюдаемом поле также не проявляются, к примеру, дайки диабазов, отмечаемые в пределах Северо-Татарского свода. Эти неоднородности в пределах кристаллического фундамента определяются методом точечного электромагнитного зондирования [14]. Плотность диабазов, определенная по керну,

на $0.2\text{--}0.3 \text{ г/см}^3$ выше вмещающих гранитогнейсов, а гравитационное поле над дайками имеет пониженные значения. Аналогичные соотношения отмечаются для даек и железорудных жил Ангарской провинции [15]. Однако в этом случае крайне сложно найти компенсирующие массы, поскольку невозможно определить изменение плотности с глубиной в пределах даек. Можно только предположить, что и здесь образующую роль будут играть поля напряжений.

Таким образом, при составлении плотностных моделей любого уровня важно найти опорные данные других методов, позволяющих за их счет расширить наши представления об источниках гравитационных аномалий в среде.

Из вышеизложенного следует вывод о том, что представление источников гравитационных аномалий в среде, как набор аппроксимирующих их контактных поверхностей с установленными и закрепленными средними уровнями глубины залегания, позволяет перейти к открытию источников, эффект от которых компенсируется расположением субгоризонтальных границ (прежде всего – Мохо). Вновь открытые источники чаще всего представляются вертикальными неоднородностями глубокого заложения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексидзе М.А.* Приближенные методы решения прямых и обратных задач. – М.: Наука, 1987. – 336 с.
2. *Соллогуб В.Б., Чекунов А.В. и др.* Строение литосферы вдоль геотраверса V на основании комплексных геолого-геофизических данных // Геофизический журнал. – 1985. – Т. 7, № 4. – С. 3–18.
3. *Шляховский В.А., Тимошенко В.И. и др.* О методике составления гравитационных моделей литосферы // Геологическая интерпретация гравитационных и магнитных аномалий. – Ташкент: ФАН, 1988. – С. 138–150.
4. *Краснопецева Г.В.* Современные представления о сейсмической модели земной коры континентов // Разведочная геофизика. – М.: ВИЭМС, 1985. – 49 с.
5. *Гордиенко В.В.* Плотностные модели тектоносферы территории Украины. – Киев: Интеллект, 1999. – 100 с.
6. *Тимошенко В.И., Шляховский В.А., Сагалова Е.А., Соллогуб Н.В.* Исследование геофизических полей области Вранча // Доклады АН УССР. Сер. Б. – 1984. – № 7. – С. 23–25.
7. *Булах Е.Г., Тимошенко В.И., Шляховский В.А. и др.* Использование систем аналитических вычислений для решения задач гравиметрии // Изучение литосферы геофизическими методами (электромагнитные методы, геотермия, комплексная интерпретация). – Киев: Наукова думка, 1987. – С. 22–37.
8. *Соллогуб В.Б., Соллогуб Н.В., Кутас Р.И.* Неоднородности верхней мантии на западе Украины // Доклады АН УССР. Сер. Б. – 1982. – № 2. – С. 19–22.
9. *Demetrescu C.* Thermal structure of the crust and upper mantle of Romania // Tectonophysics. – 1982. – Vol. 90. – P. 123–135.
10. *Виноградов А.П., Ярошевский А.А.* О физических условиях зонного плавления в оболочках Земли // Геохимия. – 1965. – № 7. – С. 779–790.
11. *Красовский С.С.* Основные закономерности плотностных моделей тектонических структур континентального типа // 27 Международный геологический конгресс. Тезисы докладов. – М.: Наука, 1984. – Т. 3. – С. 276–278.
12. *Красовский С.С.* Отражение динамики земной коры континентального типа в гравитационном поле. – Киев: Наукова думка, 1981. – 264 с.
13. *Керимов И.Г.* О новом подходе к некоторым вопросам в сейсмологии // Известия АН АзССР. Сер. Науки о Земле. – 1984. – № 5. – С. 41–43.
14. *Финчук В.В., Скопиченко И.М., Новиков А.В.* Метод точечного электромагнитного зондирования. Теория и способы обработки // Екологія і природокористування. – Днепропетровск, 2003. – Вып. 6. – С. 173–178.
15. *Амиржанов А.А.* Признаки глубинной дегазации в рудоносных диатермах Ангарской провинции // Дегазация Земли: геодинамика, геофлюиды и их парагенезы. – М.: ГЕОС, 2008. – С. 29–32.

СПОСОБ РАСЧЕТА КАРТ ПЛОТНОСТИ ВЫДЕЛЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА РУДНИКАХ ВЕРХНЕКАМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ

Д.Ю. Шулаков
Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация. Описывается методика расчета карт плотности выделения сейсмической энергии, позволяющая учитывать геометрические размеры очагов и влияние конфигурации системы сейсмического мониторинга.

Сейсмический мониторинг, который проводится на территории рудников Верхнекамского месторождения калийных солей (ВКМКС) с 1995 г., дает очень большой объем информации о динамике процессов деформирования и разрушения, происходящих в породном массиве, прилегающем к горным выработкам. На начало 2012 г. сейсмологический каталог насчитывает свыше 9000 событий с энергией от единиц *Дж* до 100 *кДж*. Однако для анализа динамики микросейсмической активности и сопоставления ее с изменением горнотехнических условий и природных факторов использовать дискретные в пространстве и времени сейсмические события весьма неудобно. Для этих целей представляется рациональным использовать непрерывные в пространстве параметры, отражающие интенсивность сейсмических процессов. Одним из таких параметров является плотность выделения сейсмической энергии E_S , представляющая собой отношение суммарной выделившейся сейсмической энергии на каком-либо участке к площади этого участка. Данный параметр рассчитывается для определенного временного интервала. К его преимуществам следует отнести высокую информативность, удобство в использовании и относительную простоту расчета.

При построении карт параметра E_S важно правильно выбрать временной интервал, для которого выполняется расчет. Экспериментально было установлено, что оптимальная его величина составляет от трех до шести месяцев. Использование меньших или больших интервалов представляется нецелесообразным, так как в первом случае сильно возрастает влияние случайных факторов, а во втором из-за слишком большого временного окна теряется информация о пространственной динамике.

Не менее важным, чем определение временного интервала, является выбор размера пространственного окна, в пределах которого проводится расчет. Размер данного окна было решено определять для каждого сейсмического события отдельно, в зависимости от его энергии. Это обусловлено тем, что для более крупных событий больше размеры зон формирования очага и последующей разрядки напряжений. Исходя из этих соображений, эффективный радиус окна сглаживания был выбран равным двум размерам очага, соответствующим энергии данного события. Для определения линейных размеров очага использована эмпирическая формула Ю.В. Ризниченко [1], поскольку она дает удовлетворительные результаты для большинства геологических условий:

$$\lg l = 0.244 \cdot \lg E - 2.266, \quad (1)$$

где E – энергия в *Дж*, l – длина сейсмогенного разрыва в *км*.

При анализе данных сейсмических наблюдений необходимо учитывать, что мониторинговая система регистрирует не все сейсмические события, происходящие на контролируемой территории, а лишь начиная с какой-то минимальной энергии,

причем эта энергия для разных участков шахтных полей будет разной, что обусловлено пространственной конфигурацией сейсмической сети. Таким образом, для корректного построения карт плотности выделения сейсмической энергии необходимо решить две задачи: определить предельные регистрационные возможности мониторинговой системы в пределах контролируемой территории и учесть их влияние на регистрируемый уровень микросейсмической активности.

Очевидно, что для определения регистрационных возможностей мониторинговой системы в какой-либо точке шахтного поля необходимо знать зависимость минимальной предельно регистрируемой магнитуды M_{\min} от расстояния R для каждого из подземных сейсмопавильонов. Для решения данной задачи были проведены отдельные опытно-методические работы [2], в которых использовался следующий подход:

- для отдельного сейсмопавильона на основании анализа локальных, региональных и мировых каталогов сейсмических событий (как природных, так и техногенных) выбирались зарегистрированные и пропущенные события;

- обе категории событий наносились на график в координатах расстояние/магнитуда, и на основании их распределения определялась зависимость, описывающая предельные регистрационные возможности для данного сейсмопавильона.

На основании анализа данных по различным сейсмопавильонам было установлено, что для условий ВКМКС минимальная регистрируемая магнитуда может быть определена по формуле:

$$M_{\min} = 1.5 \cdot \lg(R) + b, \quad (2)$$

где R – расстояние от сейсмопавильона до гипоцентра в км, b – коэффициент, зависящий от уровня помех. Для рудников ВКМКС коэффициент b определяется для каждого сейсмопавильона отдельно и, как правило, находится в диапазоне от -1.5 до 0.2 .

На основании формулы (2) и исходя из условия, что для определения координат эпицентра сейсмическое событие должно быть зарегистрировано не менее чем тремя сейсмопавильонами, были рассчитаны карты предельных регистрационных возможностей для всех шахтных полей, охваченных сейсмологическим мониторингом. Установлено, что практически для всей контролируемой территории минимальная предельно регистрируемая магнитуда M_{\min} не превышает -0.4 , а для отдельных участков шахтных полей она может составлять -0.8 и менее.

При наличии достаточно большого объема данных мониторинга определить средние регистрационные возможности на каком-либо участке территории можно более точно. Особенности сейсмического режима отдельных сейсмоактивных зон в сейсмологии принято характеризовать построением графика повторяемости землетрясений (микроземлетрясений). Он отражает универсальный характер разрушения в геофизической среде и известен как закон Гутенберга–Рихтера [3]:

$$\lg N = a - bM = \alpha - \gamma \cdot \lg E, \quad (3)$$

где M – магнитуда, E – энергия, a и b , α и γ – параметры графика повторяемости, N – число землетрясений с магнитудой $M \geq M_0$ (или $E \geq E_0$). Число N обычно нормировано на единичный интервал времени (год) и на некоторую стандартную площадь S_0 .

Расчет графиков повторяемости был выполнен для нескольких участков шахтных полей в г. Соликамске, характеризующихся повышенным уровнем микросейсмической активности. В этом случае значение M_{\min} было определено по точке излома графика. Сравнение величин минимальных предельно регистрируемых магнитуд, полученных с использованием формулы (2) и графика повторяемости, показало, что они отличаются не более чем на 0.1 . Это позволяет сделать вывод о достоверности полученных характеристик регистрационных возможностей мониторинговой системы.

Необходимо отметить, что при обработке данных локальных сейсмологических наблюдений в качестве энергетического параметра удобнее использовать не магнитуду M , а сейсмическую энергию E и энергетический класс K . Эти величины связаны между собой следующим простым соотношением:

$$K = \lg E = 1.5 \cdot M + 4.5. \quad (4)$$

После того, как определены регистрационные возможности мониторинговой системы, можно приступить к решению задачи по учету их влияния при построении карт плотности выделения сейсмической энергии. Самым простым способом является приведение сейсмического каталога к однородному виду, исключив из него события с энергией меньшей, чем предельно регистрируемая на всей рассматриваемой территории. Однако при этом будет потеряна значительная часть информации, связанной с низкоэнергетическими событиями на тех участках шахтного поля, где регистрационные возможности выше. В связи с этим был разработан следующий подход.

В первую очередь производится очистка сейсмологического каталога от событий, лежащих ниже предела представительной регистрации в данной точке шахтного поля. Необходимость такой очистки обусловлена тем, что регистрация или пропуск слишком слабых событий носит случайный характер, и в дальнейшем учесть их вклад в суммарную энергию невозможно.

Далее для определения полной выделившейся сейсмической энергии можно воспользоваться фрактальными свойствами энергетических характеристик сейсмичности, а именно законом Гуттенберга–Рихтера. В общем случае в данном законе диапазон энергий не ограничен ни сверху, ни снизу. Однако известно, что параметры графика повторяемости α и γ постоянны лишь для сейсмических событий со сходной природой. В частности, на горнодобывающих объектах этот график носит как минимум бимодальный характер, и для горно-тектонических ударов и техногенных землетрясений угол наклона γ значительно отличается от такового для сейсмических событий, связанных с динамическим разрушением небольших объемов пород в окрестностях горных выработок [4]. Исходя из этого, следует ограничивать энергетический диапазон рассматриваемых событий минимальным энергетическим классом K_{\min} и максимальным K_{\max} , которые соответствуют минимальной и максимальной сейсмической энергии событий, связанных с изучаемыми процессами. В этом случае, исходя из формулы (3), суммарное выделение сейсмической энергии E_{Σ} на единичной площади за единичное время будет равно:

$$E_{\Sigma} = \int_{K_{\min}}^{K_{\max}} 10^{\alpha+(1-\gamma)K} dK = \frac{10^{\alpha+(1-\gamma)K_{\max}} (1 - 10^{(1-\gamma)(K_{\min}-K_{\max})})}{(1-\gamma) \ln 10}. \quad (5)$$

Зная минимальный предельно регистрируемый класс на данном участке шахтного поля K_r , можно аналогично определить суммарную энергию всех зарегистрированных событий E_r :

$$E_r = \frac{10^{\alpha+(1-\gamma)K_{\max}} (1 - 10^{(1-\gamma)(K_r-K_{\max})})}{(1-\gamma) \ln 10}. \quad (6)$$

Из формул (5) и (6) можно определить поправочный коэффициент Δ , позволяющий перейти от зарегистрированной сейсмической энергии к полной:

$$\Delta = E_{\Sigma} / E_r = \frac{1 - 10^{(1-\gamma)(K_{\min}-K_{\max})}}{1 - 10^{(1-\gamma)(K_r-K_{\max})}}. \quad (7)$$

Как видно из последней формулы, поправочный коэффициент зависит только от регистрационных возможностей мониторинговой системы в данной точке шахтного поля и наиболее стабильных характеристик микросейсмического режима – целевого диапазона энергетических классов и наклона графика повторяемости γ , – что делает применение данной формулы весьма удобной на практике. Из анализа многолетних данных сейсмического мониторинга установлено, что для рудников ВКМКС энергетический диапазон сейсмических событий, связанных с процессами разрушения горных пород в окрестностях выработок, можно ограничить значениями $K_{\min}=1$ и $K_{\max}=6$.

Таким образом, предложенная методика позволяет перейти от дискретных сейсмических событий к непрерывному в пространстве полю плотности выделения сейсмической энергии E_S , хорошо отражающему особенности пространственного распределения микросейсмической активности, удобному для дальнейшего использования как при ручной интерпретации, так и с применением геоинформационных систем, и свободному от влияния конфигурации мониторинговой системы. В качестве примера на рисунке представлены карты плотности выделения сейсмической энергии для рудника СКРУ-2 за 1 полугодие 2011 года.

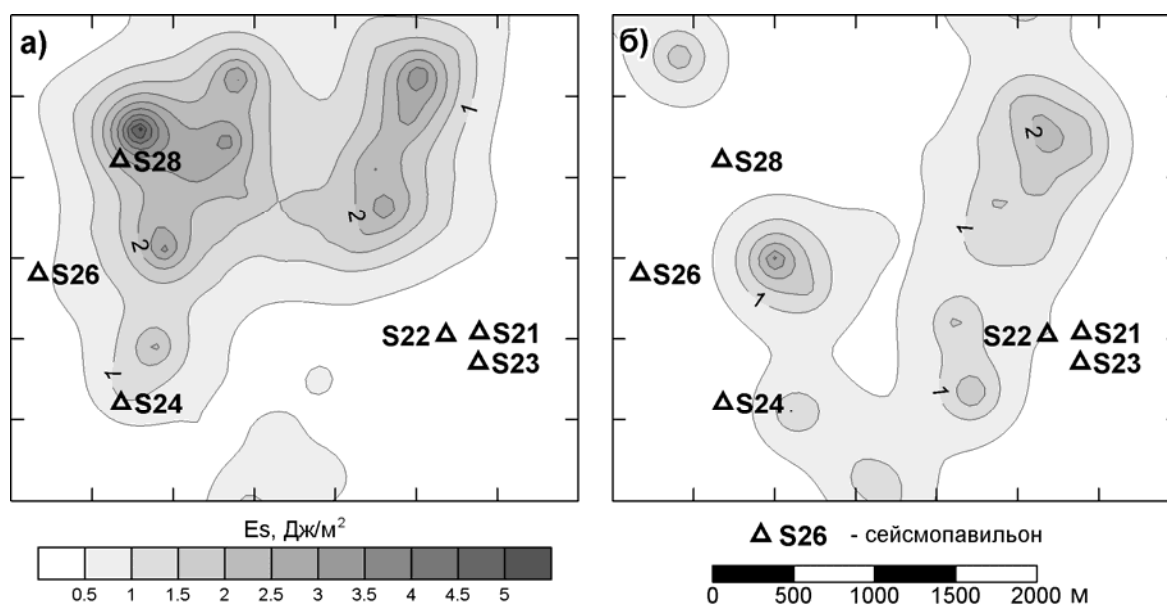


Рис. Карты параметра E_S для территории рудника СКРУ-2 в I (а) и II (б) кварталах 2011 года

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ризниченко Ю.В.** Размеры очага корового землетрясения и сейсмический момент // Исследования по физике землетрясений. – М.: Наука, 1976. – С. 9–27.
2. **Маловичко А.А., Дягилев Р.А., Шулаков Д.Ю., Баранов Ю.В.** Мониторинг природно-техногенной сейсмичности на территории Верхнекамского региона // Проблемы геодинамики, сейсмичности и минерагении подвижных поясов и платформенных областей литосферы. Материалы международной конференции. – Екатеринбург, 1998. – С. 118–120.
3. **Рихтер Ч.Ф.** Элементарная сейсмология. – М.: Иностранная литература, 1963. – 670 с.
4. **Дягилев Р.А.** Особенности энергетического распределения техногенных сейсмических событий на горнодобывающих объектах Западного Урала // Материалы научной сессии Горного института УрО РАН по результатам НИР в 1999 г. – Пермь, 2000. – С. 97–101.

**Награды
Пермского отделения
Межрегиональной
общественной организации
Евро-Азиатское
геофизическое общество**

ПЕРМСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
МЕЖРЕГИОНАЛЬНОЙ ОБЩЕСТВЕННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ
ЕВРО-АЗИАТСКОЕ ГЕОФИЗИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО
(Пермское отделение ЕАГО)

УТВЕРЖДЕНО:

Правлением Пермского отделения
Межрегиональной общественной
организации Евро-Азиатское
геофизическое общество (ПО ЕАГО)
30 августа 2011 г.
Протокол № 3/2011

Председатель правления ПО ЕАГО

_____ А.В. Шумилов

ПОЛОЖЕНИЕ О НАГРАДАХ

**Пермского отделения Межрегиональной общественной организации
Евро-Азиатское геофизическое общество**

Пермь 2011

1. Общие положения

1.1. Настоящее Положение определяет основания и порядок морального стимулирования медалью и дипломом Пермского отделения Межрегиональной общественной организации Евро-Азиатское геофизическое общество (Пермское отделение ЕАГО).

1.2. В соответствии со стоящими перед Пермским отделением ЕАГО задачами по развитию геофизики и созданию благоприятных условий для развития геофизического образования, науки, по поддержанию и поощрению известных ученых, молодых ученых и специалистов в области геофизики, Пермское отделение ЕАГО учреждает следующие формы морального поощрения:

1.2.1. Медаль имени А.К. Маловичко «Выдающийся геофизик А.К. Маловичко. За достижения в геофизике».

1.2.2. Диплом Пермского отделения ЕАГО.

1.2.3. Ценные подарки Пермского отделения ЕАГО.

2. Основания для присвоения медали имени А.К. Маловичко

2.1. Медаль «Выдающийся геофизик А.К. Маловичко. За достижения в геофизике» учреждается в ознаменование российского геофизика А.К. Маловичко, 100-летие со дня рождения которого отмечается геофизической общественностью в 2011 году.

Александр Кириллович Маловичко (1911–1996) – доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники РСФСР, основатель и первый заведующий кафедрой геофизики (1954–1989), создатель пермской научной школы геофизиков, автор и соавтор 17 монографий, в том числе фундаментального двухтомника (два издания) «Основной курс гравиразведки» (1960, 1962 и 1966, 1968), монографий «Методы аналитического продолжения аномалий силы тяжести и их приложения к задачам гравиразведки» (1956), «Детальная гравиразведка на нефть и газ» (1979, 1989), «Использование высших производных при обработке и интерпретации результатов геофизических наблюдений» (1981), учебника для вузов «Гравиразведка» (1992). Под его руководством кафедрой геофизики Пермского государственного университета (ПГУ) за 42 года работы подготовлено более 2300 инженеров-геофизиков, многие из которых работают ведущими специалистами, главными инженерами и генеральными директорами производственных объединений, экспедиций и геофизических организаций. Кафедра геофизики первой в ПГУ создала филиал в ОАО «Пермнефтегеофизика» (1984 г.) и впоследствии – филиал в Горном институте Уральского отделения Российской академии наук (1990 г.). Под руководством А.К. Маловичко издавался межвузовский сборник научных трудов «Геофизические методы поисков и разведки месторождений нефти и газа» (25 изданий). Экспертами-специалистами сборник был включен в число 15 ведущих изданий мира. Из его учеников 12 человек стали докторами наук. Под научным руководством А.К. Маловичко защитили кандидатские диссертации 25 человек.

Признавая вклад и особые заслуги А.К. Маловичко в области геофизики, Пермское отделение ЕАГО учреждает медаль «Выдающийся геофизик А.К. Маловичко. За достижения в геофизике» (далее – медаль). Награждение медалью производится на принципах равенства условий, единства требований и гласности.

2.2. К награждению медалью представляются российские и зарубежные ученые, геофизики производственных организаций, входящие в состав Евро-Азиатского геофизического общества (ЕАГО), внесшие выдающийся вклад в развитие, разработку, внедрение результатов геофизической науки, производства и образования.

2.3. Медалью награждаются также лица, активно участвующие в работе Пермского отделения ЕАГО, осуществляющие большую благотворительную, издательскую и информационную деятельность.

2.4. Предложения от организаций, представленных своими членами в Пермском отделении ЕАГО, других коллективов, обществ, общественных деятелей о награждении медалью представляются в правление Пермского отделения ЕАГО за 15 дней до его очередного заседания. Предложение о награждении должно содержать описание конкретных результатов деятельности претендента, послуживших основанием для принятия соответствующего решения о выдвижении кандидатуры для поощрения.

2.5. На заседании правления Пермского отделения ЕАГО кандидатуры претендентов на награждение медалью утверждаются большинством голосов.

2.6. Медаль вручает председатель правления Пермского отделения ЕАГО или по его поручению один из членов правления Пермского отделения ЕАГО. Вручение медали производится на общем собрании, заседании правления Пермского отделения ЕАГО или собрании организации, в которой работает претендент, в торжественной обстановке.

2.7. При награждении медалью может выдаваться денежная премия в зависимости от финансового положения Пермского отделения ЕАГО, организации, в которой работает награждаемый, благотворительной или спонсорской помощи.

2.8. Повторное награждение медалью не производится.

2.9. Награждение медалью не является основанием для предоставления социальных и иных льгот или преимуществ для ее обладателя.

2.10. В случае утери или хищения медали ее дубликат не выдается.

3. Описание медали имени А.К. Маловичко

3.1. Медаль имени А.К. Маловичко является нагрудным знаком и носится на левой стороне груди.

3.2. Медаль выполнена из латуни с чернением и имеет форму круга диаметром 32 мм. На лицевой стороне медали помещен выпуклый портрет А.К. Маловичко и надпись сверху вогнутыми буквами полукругом «Выдающийся геофизик», внизу вогнутыми буквами полукругом «А.К. Маловичко». На оборотной стороне медали по окружности в две строки надпись выпуклыми буквами – «Пермское отделение Межрегиональной общественной организации Евро-Азиатское геофизическое общество», горизонтальная надпись выпуклыми буквами – «За достижения в геофизике».

Медаль при помощи ушка и кольца соединяется с прямоугольной колодкой, покрытой эмалью (в цветовой гамме красного и синего цветов помещены четыре прямоугольника в шахматном порядке).

3.3. При награждении медалью в Пермском отделении ЕАГО выдается удостоверение установленного образца.

4. Основания и порядок награждения дипломом Пермского отделения ЕАГО

4.1. Диплом Пермского отделения ЕАГО (далее – диплом) является выражением признательности, уважения и благодарности геофизической общественности за развитие геофизики и создание благоприятных условий для развития науки, производства и образования в области геофизики.

4.2. Дипломом Пермского отделения ЕАГО награждаются лица, активно участвующие в работе Пермского отделения ЕАГО, осуществляющие благотворительную, издательскую и информационную деятельность, в связи с заслугами и юбилейными датами по представлению руководителей предприятий, общественных организаций или по инициативе правления Пермского отделения ЕАГО.

4.3. Предложения о награждении дипломом представляются в правление Пермского отделения ЕАГО за 15 дней до его очередного заседания. Предложение о награждении должно содержать описание конкретных результатов деятельности претендента, послуживших основанием для выдвижения кандидатуры на поощрение дипломом.

4.4. Вручение диплома производится на общем собрании, заседании правления Пермского отделения ЕАГО или в организации, где работает награждаемый.

4.5. Диплом вручает председатель правления Пермского отделения ЕАГО или его доверенное лицо.

4.6. При вручении диплома может выдаваться денежная премия в зависимости от финансового положения Пермского отделения ЕАГО, или организации, в которой работает претендент, или спонсорской помощи.

5. Описание диплома Пермского отделения ЕАГО

5.1. Диплом изготавливается типографским способом на плотной мелованной или глянцеваы бумаже в вертикальном (книжном) варианте.

5.2. Размер диплома соответствует формату А4 (287×210 мм).

5.3. В верхней части бланка диплома располагается логотип Пермского отделения ЕАГО, ниже располагается надпись «Диплом». Под этой строкой – подпись: «В соответствии с решением правления Пермского отделения ЕАГО», номер протокола, дата.

5.4. В свободное поле бланка черным цветом вносятся сведения:

– должность награждаемого (фамилия, имя отчество);
– лаконичный текст не более 2–3 строк, например: «За заслуги в области геофизики», и т.п.;

– под текстом расположены подпись председателя Пермского отделения ЕАГО (одинаковым шрифтом), фамилия и инициалы председателя.

5.5. При утере диплома дубликат не выдается.

6. Дополнительные положения

6.1. В Пермском отделении ЕАГО ведутся две книги награжденных: медалью «Выдающийся геофизик А.К. Маловичко. За достижения в геофизике» и дипломом Пермского отделения ЕАГО.

6.2. В книги заносятся фамилии, имена и отчества награжденных, указывается решение правления Пермского отделения ЕАГО о награждении; дата, заслуги, за которые медаль или диплом были вручены, и юбилейные даты, к которым приурочены вручение медали или диплома.

6.3. Организацию работ, внесение предложений по награждениям, наблюдение за их реализацией осуществляют ответственные члены правления Пермского отделения ЕАГО.

6.4. Оформление документов о награждениях, учет и регистрацию награжденных, организационно-техническое обеспечение работы осуществляют ответственные члены правления Пермского отделения ЕАГО.

6.5. Медали, бланки дипломов хранятся в сейфе у председателя правления Пермского отделения ЕАГО.

6.6. Расходы по изготовлению медалей, дипломов и приобретению ценных подарков осуществляются за счет средств Пермского отделения ЕАГО при финансовой поддержке организаций, представленных своими членами в Пермском отделении ЕАГО, а также благотворительной или спонсорской помощи других организаций и физических лиц.



Медаль им. А.К. Маловичко

**Торжественное заседание,
посвященное
100-летию со дня рождения
Александра Кирилловича
Маловичко**

27 октября 2011 г. в Пермском государственном университете состоялось торжественное заседание, посвященное 100-летию со дня рождения выдающегося геофизика А.К. Маловичко. В заседании приняли участие более 100 выпускников кафедры, а также ряд приглашенных ученых. С воспоминаниями выступили профессор Б.К. Матвеев, который более 40 лет проработал вместе с Александром Кирилловичем, а также его ученики – доктора наук В.А. Силаев, О.Л. Горбушина, М.С. Чадаев.

В заседании принял участие первый вице-президент Евро-Азиатского геофизического общества (ЕАГО) Владимир Викторович Лаптев. Он выступил с приветствием участникам конференции и сообщил об учреждении медали им. А.К. Маловичко за достижения в геофизике.



Открытие торжественного заседания, посвященного 100-летию А.К. Маловичко



Первый вице-президент ЕАГО канд. техн. наук В.В. Лаптев



Д-р техн. наук М.С. Чадаев



Участники торжественного заседания

На заседании было произведено награждение членов Пермского отделения ЕАГО, внесших большой вклад в развитие геофизической науки, разработку новых методов и методик обработки и интерпретации данных геофизических наблюдений, их внедрение в практику геолого-разведочных работ, а также в развитие и совершенствование геофизического образования.

Медаль имени В.В. Федынского «За выдающийся вклад в геофизику»

Первый вице-президент ЕАГО В.В. Лаптев вручил высшую награду ЕАГО – медаль им. В.В. Федынского «За выдающийся вклад в геофизику» – члену-корреспонденту РАН, директору Геофизической службы РАН **Алексю Александровичу Маловичко** и кандидату технических наук, заместителю генерального директора ОАО «Пермнефтегеофизика», председателю Пермского отделения ЕАГО **Александру Владимировичу Шумилу**.



Член-корреспондент РАН А.А. Маловичко



Канд. техн. наук А.В. Шумилов

Медаль имени А.К. МАЛОВИЧКО «За достижения в геофизике»

Первые медали им. А.К. Маловичко «За достижения в геофизике» выдающимся ученикам и последователям Александра Кирилловича вручили член-корреспондент РАН, директор ГС РАН А.А. Маловичко, кандидат технических наук, председатель Пермского отделения ЕАГО А.В. Шумилов и доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой геофизики ПГНИУ В.И. Костицын.



Вручение медали им. А.К. Маловичко канд. геол.-мин. наук Н.И. Дергачеву

Список награжденных медалью им. А.К. Маловичко «За достижения в геофизике»

Бабуров Валерий Николаевич – первый заместитель директора, главный инженер ООО «ПИТЦ “Геофизика”».

Балдин Анатолий Валентинович – кандидат технических наук, директор ООО «ПИТЦ “Геофизика”».

Бычков Сергей Габриэльевич – доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией геопотенциальных полей Горного института УрО РАН.

Вовк Владимир Васильевич – начальник промыслово-геофизической экспедиции ОАО «Когалымнефтегеофизика».

Горбушина Ольга Леонидовна – доктор геолого-минералогических наук, профессор. С 1956 по 2009 г. работала на кафедре геофизики Пермского государственного университета, в т.ч. с 1999 г. – профессором.

Губина Августа Ивановна – доктор геолого-минералогических наук, главный геолог ООО «ПИТЦ “Геофизика”», профессор кафедры геофизики ПГУ.

Дергачев Николай Иванович – кандидат геолого-минералогических наук, доцент, на пенсии. С 1955 по 2000 г. работал доцентом кафедры геофизики Пермского государственного университета.

Лаптев Александр Павлович – кандидат геолого-минералогических наук, заместитель генерального директора, главный инженер ОАО «Пермнефтегеофизика», заведующий филиалом кафедры геофизики ПГУ в ОАО «Пермнефтегеофизика».

Матвеев Борис Константинович – доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры геофизики Пермского государственного университета, заслуженный деятель науки РФ, заслуженный профессор ПГУ.

Некрасов Александр Сергеевич – доктор геолого-минералогических наук, начальник отдела промышленной геофизики и гидродинамических исследований скважин ООО «ПермНИПИнефть», профессор кафедры геофизики ПГУ.

Огородов Владимир Иванович – генеральный директор ОАО «Удмуртгеофизика».

Савич Анатолий Данилович – кандидат технических наук, главный геофизик по промышленной геофизике ОАО «Пермнефтегеофизика», доцент кафедры геофизики ПГУ.

Санфиоров Игорь Александрович – доктор технических наук, профессор, заместитель директора по науке Горного института УрО РАН, заведующий филиалом кафедры геофизики ПГУ в Горном институте УрО РАН.

Секлецов Валерий Павлович – основатель и первый директор ООО «Универсал-Сервис».

Семенцов Анатолий Анатольевич – директор ООО «Пермгеокабель».

Шарин Петр Михайлович – основатель и в течение 30 лет – начальник вычислительного центра ОАО «Пермнефтегеофизика».

Шипунова Наталья Георгиевна – геофизик КИП ОАО НПФ «ЧЕГИС».

Шихов Степан Александрович – доктор геолого-минералогических наук, профессор. В течение многих лет работал заведующим, затем – профессором кафедры геологии нефти и газа Пермского политехнического университета.



Д-р геол.-мин. наук Б.К. Матвеев



Д-р техн. наук И.А. Санфиоров



Д-р геол.-мин. наук С.А. Шихов



Канд. техн. наук А.Д. Савич

Диплом Евро-Азиатского геофизического общества «За научные достижения в области теории геофизических методов поисков и разведки месторождений полезных ископаемых»

За научные достижения в области теории геофизических методов поисков и разведки месторождений полезных ископаемых к 100-летию А.К. Маловичко дипломами Евро-Азиатского геофизического общества были награждены выдающиеся ученые из Пермского государственного национального исследовательского университета:

Гершанок Валентин Александрович – доктор технических наук, профессор;

Гершанок Лариса Алексеевна – кандидат геолого-минералогических наук, профессор;

Колесников Владимир Петрович – доктор технических наук, профессор;

Спасский Борис Алексеевич – доктор геолого-минералогических наук, профессор.

Награды вручил первый вице-президент ЕАГО В.В. Лаптев.



Д-р техн. наук В.А. Гершанок



Канд. геол.-мин. наук Л.А. Гершанок



Д-р техн. наук В.П. Колесников



Д-р геол.-мин. наук Б.А. Спасский

Диплом Пермского отделения ЕАГО «За большой вклад в развитие геофизического производства»

Дипломы Пермского отделения ЕАГО «За большой вклад в развитие геофизического производства» и в связи со 100-летним юбилеем выдающегося геофизика А.К. Маловичко вручил кандидат технических наук, председатель Пермского отделения ЕАГО А.В. Шумилов.



Канд. техн. наук А.В. Шумилов зачитывает список награжденных дипломами Пермского отделения ЕАГО

Список награжденных дипломом Пермского отделения ЕАГО

- Белов Сергей Владимирович** – заместитель генерального директора ООО «Предприятие ФХС-ПНГ».
- Вернидуб Владимир Николаевич** – ОАО «Пермнефтегеофизика».
- Голицын Виталий Анатольевич** – ООО «ПИТЦ “Геофизика”».
- Костливых Людмила Николаевна** – геофизик I кат. ОАО «Пермнефтегеофизика».
- Лаврентьев Владимир Леонидович** – первый заместитель генерального директора ОАО «Удмуртгеофизика».
- Лагунов Павел Сергеевич** – главный инженер ООО «Универсал-Сервис».
- Лапин Серафим Иванович** – кандидат геолого-минералогических наук, доцент, на пенсии. До выхода на пенсию работал доцентом кафедры геофизики Пермского государственного университета.
- Махмутов Марат Зарифович** – ОАО НПФ «ЧЕГИС».
- Никонов Андрей Николаевич** – директор ООО «Универсал-Сервис».
- Пинчук Михаил Михайлович** – ОАО «Когалымнефтегеофизика».
- Попов Виктор Михайлович** – главный геолог ОАО «Удмуртгеофизика».
- Прийма Галина Юрьевна** – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Горного института УрО РАН.
- Рафикова Вера Николаевна** – ОАО «Пермнефтегеофизика».
- Ржевитина Наталья Марковна** – заведующая учебно-методическим кабинетом Пермского государственного университета.

Рошмаков Юрий Владимирович – начальник отдела ОАО «Пермнефтегеофизика».
Рыбка Валерий Федорович – заместитель директора по развитию ООО «ПИТЦ “Геофизика”».

Савин Евгений Владимирович – ООО «ПИТЦ “Геофизика”».

Санин Владислав Геннадьевич – исполнительный директор ООО «ГЕОЛАЙН».

Хамзин Камиль Мидхатович – главный инженер ПУГР ОАО «Пермнефтегеофизика».

Шадрина Лидия Дмитриевна – ведущий инженер Пермского государственного университета.

Ширинкина Надежда Тихоновна – ООО «ПИТЦ “Геофизика”».

Щербинина Галина Прокопьевна – кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник Горного института УрО РАН.



Л.Н. Костливых



В.Н. Верндуб



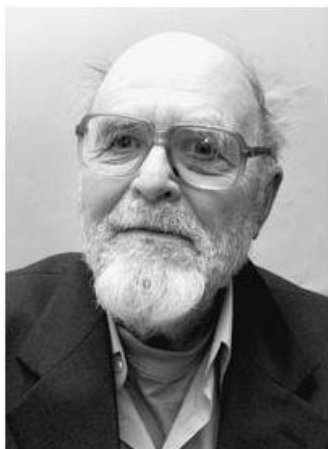
Е.В. Савин



Н.М. Ржевитина

**Воспоминания
коллег и учеников
профессора
А.К. Маловичко**

ЖИЗНЬ, ОТДАНАЯ НАУКЕ



В.Н. Страхов, академик РАН
Институт физики Земли РАН, г. Москва

Если мне не изменяет память, с Александром Кирилловичем Маловичко я познакомился осенью 1963 г., когда впервые приехал в Пермь по приглашению Владимира Марковича Новоселицкого, ученика Александра Кирилловича. С В.М. Новоселицким меня познакомил Александр Вениаминович Цирульский летом 1963 г. на V Всесоюзной геофизической конференции, проходившей в Новосибирске.

Знакомство с Александром Кирилловичем для меня было профессионально очень важным, ибо в те годы я занимался в основном проблемами аналитического продолжения и особых точек потенциальных полей, а Александр Кириллович был автором, по существу, единственной в советской геофизической литературе монографии по этим вопросам «Методы аналитического продолжения аномалий силы тяжести и их приложения к задачам гравirazведки», выпущенной Гостоптехиздатом в 1956 году. С книгой Александра Кирилловича я познакомился в 1957 г. еще будучи аспирантом А.И. Заборовского во МГРИ (сам Александр Игнатьевич тогда в МГРИ уже не работал, но вел нескольких аспирантов, в том числе и меня). Должен сказать, что книга Александра Кирилловича произвела на меня двойственное впечатление. С одной стороны, она содержала большой (и для меня существенно новый и важный) материал по применению методов аналитического продолжения в гравirazведке и по вычислительным схемам продолжения, главным образом, в двумерном варианте. Но, с другой стороны, в книге, по сути, отрицалось существование особых точек аналитического продолжения, что было для меня поразительным. Здесь я должен также отметить и подчеркнуть содержащееся в книге утверждение о том, что есть (в двумерном случае) такая контактная поверхность (граница раздела двух сред постоянной плотности), аномальное поле которой эквивалентно (в верхней полуплоскости) полю точечного (двумерного) источника, т.е. полю однородного кругового цилиндра. В то время я не сумел в должной мере оценить принципиальное значение этого факта и удивительную интуицию Александра Кирилловича; лишь позднее – в 1969–1970 гг. – я сумел все это осознать и построить соответствующую строгую аналитическую конструкцию.

Должен добавить, что еще до первой встречи с Александром Кирилловичем в 1963 г. я был много наслышан о нем от Германа Ивановича Каратаева, работавшего в 1955–1958 гг. в Пермском университете на кафедре геофизики, которой тогда руководил Александр Кириллович.

Г.И. Каратаев восторженно характеризовал Александра Кирилловича как человека, бесконечно преданного науке, конкретно – гравиразведке, курс которой он читал в Пермском университете (практически всю творческую жизнь) и в которой создал свою школу. К этой школе, прежде всего, следует отнести О.Л. Тарунину, С.А. Шихова, В.И. Костицына, В.М. Новоселицкого, М.С. Чадаева, а также ряд других ученых и геофизиков-производственников. Следует подчеркнуть, что в 1960-е гг. геофизических центров в СССР, если иметь в виду гравиразведку и магниторазведку, было не так много, как сейчас: Новосибирский центр только-только начал формироваться, Свердловский также еще не имел того ведущего значения, которое он получил позднее благодаря работам А.И. Цирульского, Г.М. Воскобойникова и их учеников. То же можно сказать и о Киевском центре. Фактически тон задавали три центра: Ленинградский, Московский и Днепропетровский.

Переехав в 1950-е гг. из Новосибирска в Пермь, Александр Кириллович сумел быстро обеспечить Пермскому университету роль нового геофизического центра; это произошло уже в начале 1960-х гг. и стало особенно очевидным после издания Александром Кирилловичем «Основного курса гравиразведки» в двух томах. И это было безусловной заслугой А.К. Маловичко, в этом состояло непреходящее значение его научной и педагогической деятельности 1950–60-х гг.

Первая же встреча с Александром Кирилловичем полностью подтвердила характеристику, данную ему Г.И. Каратаевым. Он говорил исключительно о науке (гравиразведке), о своих замыслах, о тех сборниках «Вопросы обработки в интерпретации геофизических данных», выпускаемых как «Труды Пермского университета», которые он начал выпускать в свет несколько лет ранее и которые и тогда (и много лет позже) были его любимым детищем. В этих сборниках он опубликовал результаты большей части своих исследований.

Диапазон интересов и эрудиция Александра Кирилловича в вопросах гравиметрии были очень велики, в особенности в вопросах методик съемок, обработки данных наблюдений и геологической интерпретации этих данных. Был он основательно знаком и с измерительной аппаратурой. Однако чувствовалось, что именно проблемы методики съемки, обработки и количественной интерпретации данных были для него главным объектом исследований. И именно эти вопросы были постоянным предметом его размышлений; проблемы собственно геологической интерпретации занимали его гораздо меньше.

В первую же встречу (и при последующих, состоявшихся в мой первый приезд) я отметил у Александра Кирилловича одну из главнейших особенностей – хорошее знакомство с текущей литературой, в частности с рядом работ (по проблемам аналитического продолжения и применения теории функций комплексного переменного в плоских задачах гравиметрии и магнитометрии) автора данных воспоминаний. Следует подчеркнуть, что это свойство Александр Кириллович сохранил практически до конца своей жизни. Это объясняется прежде всего желанием быть в курсе всех новинок (что очень важно не только для собственной научной работы, но и для преподавания), в особенности за время многолетнего неотлучного пребывания в Перми. Здесь следует подчеркнуть, что Александр Кириллович очень ответственно относился к своим обязанностям заведующего кафедрой и профессора, но был по характеру домосед и выезжал в командировки крайне редко.

Одновременно при первом же разговоре с Александром Кирилловичем я понял еще одну важную его сторону как геофизика-теоретика: он был очень хорошо эрудирован в классической теории потенциала и в классическом математическом анализе, но не был должным образом знаком с более современными разделами математики, которые в то время только-только начали осваиваться геофизиками (и в первую очередь специалистами по интерпретации гравитационных и магнитных аномалий), – теорией функций

комплексного переменного, функциональным анализом, вариационным исчислением и т.д. При этом чувствовалось, что Александр Кириллович осознает все это и переживает, и в то же время как бы уходит от этого, прикрываясь шутливой позицией, что все эти математические новшества мало что дают для реальной гравиметрической практики. Эта его позиция была для него принципиальной, и, по существу, на ней он стоял всю жизнь. Нет сомнений, что возраст (в 1961 г. Александру Кирилловичу исполнилось 50 лет) и многочисленные обязанности не давали ему возможности овладеть новыми разделами математики, хотя значение их он, безусловно, понимал.

Как Александр Кириллович ставил и решал задачи, какие математические средства использовал, читатель легко увидит из названных ниже пяти книг:

- Маловичко А.К. Методы аналитического продолжения аномалий силы тяжести и их приложения к задачам гравиразведки. М.: Гостоптехиздат, 1956. 160 с., с ил.
- Маловичко А.К., Тарунина О.Л. Высшие производные гравитационного потенциала и их применение при интерпретации аномалий. М.: Недра, 1972. 151 с., с ил.
- Маловичко А.К. Основной курс гравиразведки. Ч. 1. Пермь: Пермский ун-т, 1966. 327 с., с ил.
- Маловичко А.К. Основной курс гравиразведки. Ч. 2. Пермь: Пермский ун-т, 1968. 288 с., с ил.
- Маловичко А.К., Костицын В.И., Тарунина О.Л. Детальная гравиразведка на нефть и газ. М.: Недра, 1979. 190 с., с ил.

Чтобы закончить рассказ о моей первой встрече с Александром Кирилловичем, отмечу, что его преданность науке поражала – он в буквальном смысле этого слова жил наукой, без научного творчества и профессионального общения я не мог себе его представить.

Это впечатление, сложившееся у меня при первой встрече, сохранилось и укреплялось во все мои последующие приезды в Пермь и встречи с Александром Кирилловичем. Число приездов было не очень велико – приблизительно 12–14, хотя точно сосчитать их не могу. Однако необходимо отметить в этой связи два особенно продолжительных и важных приезда – в 1976 г., когда впервые состоялась Первая всесоюзная школа «Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных и магнитных аномалий», а также в январе 1982 г., когда в Перми проходила очередная сессия Всесоюзного семинара им. Д.Г. Успенского, имевшего то же наименование, что и школа, и которая (сессия) была посвящена 70-летию со дня рождения А.К. Маловичко. И на школе, и на семинаре Александр Кириллович выступал с докладами, которые свидетельствовали не только о его колоссальной работоспособности и любви к науке, но и о неиссякаемом творческом потенциале.

И на школе, и на семинаре с докладами выступили многие ученики Александра Кирилловича и продемонстрировали вклад в развитие гравиметрии и магнитометрии пермской школы.

Заканчивая эти воспоминания, хочу особо подчеркнуть, что Александр Кириллович всегда был выше всяких дрызг и сплетен («перемывания косточек»), и что он не поддерживал разговоры о грехах и недостатках коллег, что свойственно многим. Он никогда не любил покрасоваться и не афишировал свою любовь к науке; о его отношении к науке лучше всего сказать строками знаменитого шекспировского сонета:

Люблю тебя, но не кричу об этом.

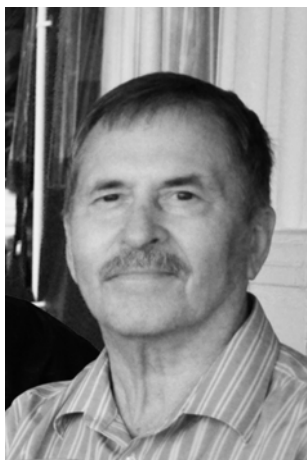
Люблю тебя, но не для многих глаз.

Торгует чувством тот, кто перед светом

Все чувства обнажает напоказ.

Ни минуты не сомневаюсь в том, что коллеги и ученики Александра Кирилловича сделают все, чтобы увековечить его светлую память.

НЕЗАБЫВАЕМОЕ ВРЕМЯ, НЕЗАБЫВАЕМЫЕ ВСТРЕЧИ...



**Ю.А. Бяков, к.г.-м.н., доцент,
выпускник кафедры геофизики ПГУ 1959 г.
ФГУГП ГНЦ «Южморгеология», г. Геленджик**

Итак... Незаметно и даже неожиданно произошло поистине историческое для многих выпускников Пермского университета событие – 100 лет со дня рождения основателя кафедры геофизики, доктора технических наук, профессора, заслуженного деятеля науки и техники РСФСР Александра Кирилловича Маловичко.

«Почему историческое?», – может спросить сегодняшний студент или молодой специалист. Ответ достаточно прост и состоит в том, что в сферу развития отечественной полевой геофизики, ставшей уже солидной историей, пермских геофизиков ввел Александр Кириллович.

Многое о нем уже было сказано в предыдущих памятных изданиях и статьях ученых и специалистов основанной им школы пермских геофизиков. И тем не менее воспоминания о прекрасных годах учебы и работы на кафедре геофизики и за ее пределами вновь оживляют неординарный образ этого ученого, педагога и очень человеческого человека.

Мои первые впечатления об Александре Кирилловиче Маловичко относятся, скорее всего, к зимнему семинару 1955 года. Будучи старостой учебной группы, я должен был, как положено старосте, найти указанную в расписании занятий аудиторию, проверить, есть ли у доски мел и влажная тряпка, и оповестить своих однокашников о месте очередных занятий. В условиях нехватки учебных помещений это было достаточно сложной проблемой, решение которой сопровождалось систематическими перебежками из одного корпуса в другой с «внедрением» на территории практически всех факультетов университета. Единственной официальной точкой, «разруливающей» учебный процесс, был деканат в одной из аудиторий на 10–12 человек на первом этаже в тогдашнем геологическом корпусе, где сидели одновременно секретарь и декан факультета. Достаточно вольготно располагались кафедры динамической геологии в «химическом» корпусе, минералогии и кристаллографии, исторической геологии и общей геологии – в геологическом. И вот неожиданность! На втором этаже химического корпуса появилась табличка с надписью «Кафедра геофизики» на дверях помещения, выходящего на лестничную площадку. Случилось это, возможно, в феврале 1955 года. Сгорая от любопытства, при очередном поиске новой аудитории я набрался храбрости и, постучав в дверь, проскользнул в помещение за табличкой. Вдоль громадного арочного окна помещения стояло несколько потертых стульев (выделили, что было), а слева высился громадный черный из мореного дуба двухтумбовый стол с солидной стопкой книг, за которым работал крупный седоватый мужчина.

Оторвавшись на миг от работы и обратив на меня взгляд внимательных темных глаз, человек спросил достаточно доброжелательно: «Вы что-то хотели?» Будучи застигнут врасплох по части причины своего появления, я, тем не менее, постарался изобразить, что ищу аудиторию № 622. «Это слева», – ответил мужчина и вновь погрузился в работу. Вечером в общежитии я поинтересовался у одного из старшекурсников о том, кто занимает кабинет с табличкой «Кафедра геофизики», который не без чувства превосходства ответил: «Как кто? Да это же сам Маловичко – зав. кафедрой!».

Начиная с третьего курса, наши встречи стали носить регулярный характер во время посещения лекций А.К. Маловичко по курсу гравиметрии. Эти лекции всегда носили конкретный характер с использованием солидного математического обоснования. Первая, можно сказать, научно ориентированная встреча с А.К. Маловичко состоялась, когда кафедра переехала на новое место в аудиторию № 608 в геологическом корпусе, при выборе темы первой курсовой работы, в качестве которой мне было предложено «запустить» гравиметр Молоденского. Это было весьма своеобразное сооружение, размещенное во внушительном, размером 60×60×80 см, ящике с открывающейся сверху крышкой. В помощь по части «запуска» мне было рекомендовано общаться с Германом Ивановичем Коротаевым, ассистентом А.К. Маловичко. В процессе попытки «запуска» гравиметра я вытер пыль с его внутренностей, в том числе, кажется, плоско-спиральной, типа патефонной, пружины, и заменил батарею. И, о чудо! В нем засветилась лампочка, после чего мы с кем-то из сокурсников несколько раз пронесли гравиметр по этажам корпуса снизу вверх и обратно, снимая показания. Используя лекционные и книжные описания принципов гравиметрии и инструкцию к гравиметру, курсовая была выполнена. Недели через две она получила одобрение А.К. Маловичко. Практически с первых дней организации кафедры Александр Кириллович пользовался высоким авторитетом как у студентов, так и преподавателей благодаря четкой организации работы кафедры по всем направлениям учебной и научной деятельности. Находясь на кафедре, он был всегда предельно собран, деловит без тени искусственного желания понравиться всем и каждому и натирать руки пожатиями со всеми посетителями. По истечении многих лет становится все более ясным осознание того, что А.К. Маловичко знал истинную оценку своей личности, лишенной чванства и гордыни, и уважал эти качества в окружающих его людях. Он не расточал многословных похвал, фальшивых любезностей и улыбочки, говорил кратко и ясно, а истинной наградой нам была его молчаливая, но неподдельно добрая улыбка с искорками в глазах.

Моя первая судьбоносная встреча с А.К. Маловичко, определившая во многом всю мою последующую жизнь, состоялась на третьем курсе. Примерно за неделю до начала осенней сессии секретарь кафедры Таисия попросила меня зайти к Александру Кирилловичу. Теряясь в догадках относительно цели предстоящего визита, я отправился к нему. Поздоровавшись, стал напряженно соображать, в чем дело, а оно наверняка было. Несколько помолчав, А.К. Маловичко спросил меня: «Ну что вы решили?». (Примечание: А.К. Маловичко всегда обращался к студентам на «Вы»). «В каком смысле?», – озадаченно выдавил я из себя. «Ну как в каком? Вы же знаете, что группу студентов геофизиков четвертого курса (50 человек) делят на две, одна из которых продолжит учебу на физмате, а вторая – на геофаке. Ваша фамилия среди “физиков”».

Здесь надо пояснить, что имевшее место событие по сокращению студентов-геофизиков отражало главенствующую тогда ситуацию в нефтегазовой геологии и геофизике при безумно нарастаемых объемах поискового и разведочного бурения, тогда как полевая геофизика была слаба и делала только первые шаги на пути к своей, безусловно, выдающейся роли. Что касается данного конкретного случая в Пермском университете, то он копировал отношение к геофизике практически во Всесоюзном масштабе в угоду «буровому лобби». В то же время специалисты физико-математических

факультетов были востребованы бурно развивающимися предприятиями оборонпрома с весьма заманчивыми льготами (зарплата, жилье). У геофизиков, кроме доплат по условиям работы (Север, Средняя Азия и т.п.), льгот социального характера не было.

Лично для меня, паренька из Вятской глубинки, было привлекательным разнообразие полевых практик и, конечно же, неплохая зарплата. Имело место и моральное неудовольствие тем, что деление студентов проводилось механически по принципу среднего балла: отличники и хорошисты становились физиками, а все остальные – геофизиками. Это меня очень задело, и я спросил у Александра Кирилловича: «Что делать?» «Пишите заявление на имя ректора, – ответил он, – если действительно решили остаться». Я тут же написал заявление и со спокойной душой отправился в общежитие делиться опытом решения проблемы со своими сокурсниками. Так или иначе, первая группа геофизиков, старостой которой был я, практически полностью осталась на геофаке. Вторую группу перевели на физмат. Среди них было много очень способных студентов. В частности, мне очень жаль, что из геофизики ушел круглый отличник Субботин и другие. Хотя, может быть, их судьба сложилась вполне благополучно.

Из других ярких событий, врезавшихся мне в память, был мой конфуз на экзамене у А.К. Маловичко по завершению зимнего семестра на четвертом курсе. Обычно я и ряд моих сокурсников приходили на экзамены за час или больше и устанавливали очередь. Как правило, я попадал в первую пятерку. На этот раз девочки заявили, что, независимо от того, когда пришли, их надо пропустить вперед, а иначе А.К. Маловичко «раздаст все пятерки и четверки, а им останутся тройки». Дабы сохранить дружескую атмосферу, я согласился передвинуться в конец очереди и стал своего рода репетитором. Экзамены в то время длились долго, и когда где-то около пяти часов вечера я зашел к А.К. Маловичко, то настолько устал, что стал запинаться при ответах на элементарные вопросы (четкие ответы на которые, кстати, всплыли сразу после экзамена). А.К. Маловичко удрученно спросил: «Что с Вами? На этот раз я, к сожалению, вынужден Вам снизить оценку на один балл». Это была единственная сессия, когда я не получил повышенной стипендии, и тем не менее у меня не было никаких оснований обижаться на преподавателя. Он был справедлив и прав, как до этого, так и позже, как всегда.

Из череды многих других встреч, раскрывающих многогранность организаторских и чисто человеческих качеств А.К. Маловичко, я хотел бы остановиться еще на нескольких, также судьбоносных для меня.

В СССР все выпускники вузов, за отдельным исключением (состояние здоровья, интересы сохранения семьи и т.п.), получали сформированные на уровне министерств направления на работу. По линии кафедры геофизики основными местами распределения выпускников были Пермь («Пермнефтегеофизика»), Оренбургская область (Бугуруслан, Оренбург), Тюмень («Тюменьнефтегеофизика») и Башкирия. Примерно за полгода до распределения в трест «Пермнефтегеофизика» на кафедре побывал бывший ассистент А.К. Маловичко Герман Иванович Каратаев, уехавший за год до этого в Новосибирск в созданный Институт геологии и геофизики Сибирского отделения Академии наук. Поведав о больших перспективах развития сибирской науки, Г.И. Коротаев предложил посодействовать моему распределению в этот институт. Не надеясь на серьезность возможных событий, я ответил, что это интересно, но вряд ли возможно. Однако произошло достаточно неожиданное событие: буквально за несколько дней до заседания ГЭК и распределения под председательством управляющего «Пермнефтегеофизики» Александра Исааковича Гершанюка на имя А.К. Маловичко поступило официальное приглашение на мою работу в Институте геологии и геофизики за подписью его директора – Э.Э. Фотиади. Я как бы оказался на распутье. С одной стороны, некая заманчивая перспектива работы на Горно-Бадахшанской сейсмологической обсерватории, с другой – работа в уже ставшем близким коллективе треста (тогда конторе) «Пермнефтегеофизика». Все решилось непосредственно в ходе ГЭК, когда

А.И. Гершанок сказал, что он и А.К. Маловичко лично позвонят своему другу и коллеге Э.Э. Фотиади и пристыдят его за переманивание кадров, так как меня уже ждали на работу в опытно-методической сейсмокаротажной партии «Пермнефтегеофизики» в Коми округе. Так решилось, что вместо Сибири я поехал в Коми, о чем не только не сожалею, но и благодарю судьбу за начало интересной работы по исследованию взаимосвязи сейсмических отражений с промыслово-геофизическими особенностями разреза, выросшей в направлении отечественной сейсмостратиграфии. Важно отметить и то, что работа в «Пермнефтегеофизике» была крепко-накрепко увязанной с научной деятельностью кафедры, чему, прежде всего, способствовало то, что техническим руководителем названной выше партии был доцент кафедры геофизики, а впоследствии доктор геолого-минералогических наук, профессор Адам Константинович Урупов, руководитель моей дипломной работы, а впоследствии и аспирантской подготовки.

Открытие аспирантуры при кафедре геофизики было организовано А.К. Маловичко в 1962 г., а ее первыми аспирантами стали В.М. Новоселицкий (руководитель – А.К. Маловичко), Н.Г. Шкабарня (руководитель – Б.К. Матвеев) и я (руководитель – А.К. Урупов).

К этому времени, преодолев все препоны и рогатины издательских тонкостей, А.К. Маловичко организует официальное издание сборника научных трудов кафедры «Вопросы обработки и интерпретации геофизических наблюдений». Надо было видеть неподдельную радость Александра Кирилловича с экземпляром первого сборника в руках. Он просто весь светился и улыбался, слегка «хмыкая» в его стиле и говоря что-то вроде: «Это, так сказать, получилось неплохо». В первый сборник (1959 г.) вошли работы А.К. Маловичко, основных преподавателей кафедры А.К. Урупова, Б.К. Матвеева, Н.И. Дергачева, О.Л. Таруниной и наиболее творчески активных в то время выпускников-предшественников С.Н. Шихова, В.М. Новоселицкого и Н.Г. Шкабарни.

Формируя второй сборник, А.К. Маловичко, как главный его редактор, активно способствовал расширению круга авторов за счет выпускников кафедры, в число которых попал и я. Помнится мне, как Александр Кириллович при одном из посещений кафедры, вручив мне, совместно с А.К. Уруповым, экземпляр первого издания, сказал: «Ну что, Юрий Алексеевич, пора и Вам запачкать руки типографской краской». Я ответил, что в этом нет проблем, и через несколько дней статья будет. А.К. Маловичко лукаво усмехнулся и сказал: «Ну, ну, давайте, чем скорее, тем лучше». Примерно через пару недель я принес рукопись статьи и передал ее А.К. Маловичко в надежде на безусловный успех.

Каково же было мое удивление, когда при следующей встрече я увидел рукопись, перечеркнутую вдоль и поперек с массой вопросов. С этого началась работа по приведению рукописи к виду, приемлемому для публикации. После трех-четырех дополнительных просмотров и экзекуций над содеянным мною, наконец-то прозвучало, что на этот раз статья почти готова, но что придется еще поработать при получении гранок. Что это – я тогда не знал. И вот вновь следует приглашение поработать над гранками, которыми оказался первый типографский набор очередного сборника, включавшего и мою, как теперь абсолютно ясно, весьма скромную статью. Но Александр Кириллович всем видом демонстрировал, дабы подбодрить «научного новобранца», что работа, вне сомнения, заслуживает помещения в сборник «Ученых записок» и вновь, при моем слабом участии, уверенно подправил текст гранок.

Так было практически со всеми авторами, невзирая на звания и должности. Тем самым все, внешне незаметно, от статьи к статье получали дополнительное маловичкинское образование не только в написании работ, но и их доработке и корректуре. Это создавало хороший фундамент для более качественной работы над всеми последующими публикациями многих пермских геофизиков и, безусловно, способствовало их профессиональному и научному росту.

Следующее важное участие А.К. Маловичко в моей судьбе было связано с моей работой над кандидатской диссертацией и ее защитой. Хотя официально и по существу моим руководителем диссертационной работы был Адам Константинович Урупов, тем не менее Александр Кириллович постоянно интересовался ходом работы и настойчиво требовал умножать публикации. После подготовки текста диссертации и автореферата судьбу последнего постигла та же участь, что и моей первой статьи. А.К. Маловичко неоднократно вносил редакционные поправки в текст рукописи и гранки реферата. А дня за два до защиты пригласил меня и попросил ознакомить с текстом доклада. Я пришел к нему и сказал, что полностью представляю, как доложить, имея текст автореферата. «Э, – сказал Александр Кириллович, – Вам будет дано 20 минут на доклад, а надо доложиться минут за 17–18, но не более 20. Всякая задержка не в Вашу пользу, так как будет раздражать членов Ученого совета, которые при голосовании могут набросать Вам «черных шаров». Так что давайте пишите текст доклада, полностью соответствующий положениям реферата, и учите его наизусть, чтоб отскакивало от зубов. Поначалу я не очень-то разделял озабоченность А.К. Маловичко, хотя все сделал, как он рекомендовал. Но когда аудитория наполнилась не только членами Совета, но и сотрудниками кафедры и студентами, я, признаться, изрядно разволновался, и заученный текст доклада меня просто спас. К нескрываемой радости Александра Кирилловича и моего руководителя А.К. Урупова, и, конечно, моей, эта первая из выпускников кафедры защита прошла успешно и, как положено, была «обмыта» в ресторане «Кама», где рядом со мной впервые появилась моя жена – Наталья Черепанова-Бякова.

Поскольку защита диссертации состоялась в феврале (1966 г.), были все основания надеяться на ее утверждение ВАКом до начала летних каникул, т.е. до июня-июля. Однако прошло лето, наступил сентябрь, а утверждения все не было. Конечно, это очень беспокоило меня, нуждающегося в улучшении материального состояния молодой семьи, но и не меньше – Александра Кирилловича, который тем не менее постоянно успокаивал меня возможными версиями на этот счет. Первоначально думалось, что у ВАК было много работы, и до моей диссертации дело ко времени летних отпусков не дошло. В сентябре появились надежды на октябрьско-ноябрьские варианты утверждения, но его все не было ни в октябре, ни в ноябре. А.К. Маловичко был обеспокоен не на шутку, так как в случае неутверждения диссертации тень могла упасть и на компетентность работы Ученого совета по геолого-геофизическому профилю (тогда это был профиль геолого-минералогических наук). И вот появился некоторый свет в туннеле неопределенности. Каким-то образом, скорее всего через самого авторитетного в то время геофизика России, члена-корреспондента АН СССР Всеволода Владимировича Федынского, председателя геофизической секции ВАК, Александр Кириллович получает практически секретную информацию (имена «черных» оппонентов были закрытыми), что моим «черным» оппонентом является академик Николай Никитович Пузырев, директор Института геологии и геофизики СО АН СССР, и что он в длительной командировке в Индии, а диссертация находится у него в сейфе. Стало веселее, но масштаб личности Н.Н. Пузырева, конечно, обескураживал. Но все обошлось благополучно. По возвращении из Индии, как я думаю, Н.Н. Пузырев быстро дал положительную рецензию работе, и к годовщине защиты я получил аттестат кандидата геолого-минералогических наук, а А.К. Маловичко еще более активно стал выстраивать очередь из следующих выпускников, которыми явились В.М. Новоселицкий, Н.Г. Шкабарня, С.И. Шихов, О.А. Тарунина, Б.А. Спасский, М.И. Чадаев, Л.П. Неволин и многие, многие другие. И с каждым из них, независимо от того, чьи это были аспиранты и соискатели, А.К. Маловичко работал столь же заботливо и системно, как и со мной.

Перед тем, как завершить приведенные выше воспоминания об Александре Кирилловиче Маловичко, в основном связанные со мной, мне думается, было бы несправедливо не вспомнить об отдельных более масштабных особенностях этой личности во взаимосвязи как с учеными и сотрудниками созданной им кафедры, так и с «сильными мира сего».

Специфической особенностью жизни университетских кафедр, прекрасно раскрытой в вышедшей в то время в одном из журналов типа «Роман-газета» статье «Кафедра», являлось наличие хитрых взаимоотношений и интриг, опутанных своего рода паутиной тайн и компроматов. Такого рода особенности характеризовали в большей или меньшей степени отдельные факультетские и межфакультетские кафедры университета. Как правило, жизнь этих кафедр изрядно лихорадило, что заканчивалось разными разборками вплоть до смены руководителей.

С точки зрения особенностей психологии личности, такого рода явления могли прорасти и на кафедре геофизики, но ... не проросли. И причиной этому являлись не только научный авторитет А.К. Маловичко, но и его стиль руководства с четко обрисованными и прозрачно изложенными намерениями относительно тех или иных целей и задач, целесообразности и путях их решения. При этом, не растекаясь в многословии обсуждений, он умело все сводил к четким, конкретным действиям.

Так были реализованы уже описанные выше «животворящие» для формирования школы пермских геофизиков идеи по созданию периодического сборника научных статей кафедры и созданию Ученого совета по присуждению ученых степеней, проведению ежегодных научных конференций преподавателей и студентов кафедры и многое другое. Все мероприятия тщательно продумывались А.К. Маловичко и доводились до удачного завершения в ходе постоянной хорошо продуманной системной работы. Я не помню ни одного случая, когда бы Александр Кириллович отменял свои установки по решению тех или иных кафедральных мероприятий. Могли быть сдвинуты сроки, расширен круг исполнителей, но не более. Все это формировало состояние текущей и перспективной устойчивости функционирования кафедры, работу ее преподавателей, сотрудников и студентов. При этом всегда имело место не навязывание какого-то спонтанно возникшего мнения «шефа» в стиле тогдашней тоталитарно-авторитарной системы, а выполнение согласованного на заседании кафедры или рабочем совещании решения, запротоколированного с указанием даты, повестки заседания, списка присутствующих, хода обсуждения (в сжатом «телеграфном» изложении) и принятом решении. Помнится, поначалу основными действующими лицами на заседаниях кафедры были, наряду с А.К. Маловичко, доценты А.К. Урупов, Б.К. Матвеев и Н.И. Дергачев. Однако А.К. Маловичко как-то устроил молодежи «выволочку», осудив наше молчание очень образной репликой: «Вместо того, чтобы активно участвовать в обсуждении, сидите, как задницы в гостях». С тех пор мы взяли за правило: если есть о чем-то конкретном сказать, нужно обязательно это сделать, чтобы потом не сожалеть об упущенной возможности внести свой вклад в принятие того или иного решения.

Идею важности дискуссионного обсуждения научных идей и разработок А.К. Маловичко всячески продвигал не только в рамках деятельности сотрудников кафедры и их участия в различного рода конференциях, но и на уровне публикаций в сборнике статей кафедры, начав со своей беспрецедентно смелой и лично небезопасной публикации серии дискуссионных статей на тему «Об исследованиях М.С. Молоденского по вопросам теории внешнего гравитационного поля и фигуры физической поверхности Земли» (сборники № 3, 1962 г.; № 4, 1963 г.; № 5, 1964 г.; № 6, 1965 г.). Надо было обладать поистине героической смелостью ученого с абсолютной уверенностью в своей правоте, чтобы замахнуться на обсуждение достоверности общепризнанных тогда идей

М.С. Молоденского, касающихся фигуры Земли. Поначалу, после двух статей, казалось, что приглашение А.К. Маловичко на публичное обсуждение М.С. Молоденского с его школой попросту игнорируется. Мало ли, мол, что там в каком-то пермском сборнике пишет какой-то А.К. Маловичко.

Однако вместо ожидаемой научной дискуссии с М.С. Молоденским в ход был запущен модный в то время аппарат административного противодействия. Произошло это так. Однажды секретарь кафедры сообщила мне, что я должен тогда-то подойти в главный корпус в кабинет заведующего библиотекой университета. В то время, будучи руководителем хоздоговорной тематики, я выписывал для работы несколько зарубежных изданий по геофизике и решил, что меня попросили подойти в части решения вопроса о продлении подписки этих журналов. Каково же было мое удивление, когда в кабинете зав. библиотекой я увидел ректора В.П. Живописцева и секретаря партбюро, зав. военной кафедрой полковника Милюкова. Кто-то из них сказал мне, что хотели бы ознакомить меня, как секретаря партбюро факультета, с некоторым письмом из Москвы относительно научной полемики А.К. Маловичко. Я был поражен очень резким тоном письма, его ярко выраженной обвинительной направленностью с требованием немедленного наказания А.К. Маловичко с санкциями административно-партийного характера от имени группы товарищей, поддерживающих М.С. Молоденского. На вопрос Милюкова, не стоит ли для начала рассмотреть вопрос на партбюро факультета, я ответил, что А.К. Маловичко не член партии, и что лучше ознакомить с письмом его самого. В связи с этим меня попросили сообщить А.К. Маловичко о письме и попросить его, не откладывая, зайти в библиотеку и ознакомиться с ним.

Так началось нелегкое для А.К. Маловичко время с непредсказуемыми последствиями. К счастью, это было время Хрущевской оттепели, но тем не менее стиль борьбы с инакомыслящими в науке еще сохранялся. Однако А.К. Маловичко не был намерен отступать от своих научных позиций. Принципиальную, к счастью, позицию занял и ректор университета, давший понять в ответном письме «группе товарищей», что в части проведения и публикации научных дискуссий он поддерживает А.К. Маловичко.

Эта неприятная история длилась не менее двух-трех месяцев. Практически сразу Александр Кириллович не сделал тайны из возникшей ситуации и сообщил на заседании кафедры о ее сути и намерении подготовить еще одну, уже четвертую статью, завершающую получившуюся односторонней дискуссией. Так что, подобно Галилею, произнесшему во время суда инквизиторов по поводу его гипотезы о месте Земли во Вселенной: «А все-таки она вертится», А.К. Маловичко заявил, что все-таки основные формулы М.С. Молоденского по теории гравитационного поля Земли нуждаются в исправлении.

Надо отдать должное выдержке и мужеству Александра Кирилловича в этой ситуации, так как на карту жизни было поставлено многое, вплоть до потери работы, появления проблем материального обеспечения многодетной семьи (дочь, двое сыновей). Хотя все, слава Богу, закончилось благополучно, но думаю, что эти события стоили А.К. Маловичко нескольких лет жизни.

Два слова мне хотелось бы сказать об отношении А.К. Маловичко к своим детям: Наташе, Павлу и Алексею. Все они закончили геофизическое отделение Пермского университета, но, как мне кажется, не по принуждению, а из желания походить на отца. Очень характерно, что Александр Кириллович никогда не использовал своего положения для создания им каких-то особых условий в учебе. А между тем, если Наташа была просто хорошо успевающей, отличающейся исключительной скромностью, то Павел и Алексей заметно выделялись на общем фоне своими незаурядными способностями. Окончив с золотыми медалями известную в Перми элитную школу № 9 с физико-математическим уклоном, они без особых усилий не только успешно осваивали лекционный материал, но и сумели уже на уровне курсовых работ получить результаты на уровне публикаций, которые в дальнейшем составили основу их дипломных проектов.

А теперь о том, как закончился мой пермский период общения с Александром Кирилловичем Маловичко. В июле 1971 г. моя теща, Елизавета Андреевна Гилева, предложила нам с женой побывать в г. Риге в связи с 50-летием отца Наташи, Георгия Николаевича Черепанова. Идея понравилась, и мы решили часть своего отпуска провести в Риге, а заодно посетить открытый там Всесоюзный институт морской геологии и геофизики (ВНИИМоргео). Побывав на юбилее, я разыскал этот институт на ул. Лачплеша, 13 и попал на прием к Андрею Андреевичу Гагельганцу, известному в морской отрасли по работам в Геленджикском отделении ВНИИГеофизики. Андрей Андреевич радушно встретил меня, помня о моем участии в проходившей в Геленджике года два до этого Школе морской геологии и о том, как мой доклад о применении синтетических сейсмограмм в морской геофизике похвалил руководитель школы В.В. Федынский. В конце встречи А.А. Гагельганц предложил мне переехать в Ригу с гарантией предоставления жилья, и, более того, вручил ключи «для начала от двухкомнатной квартиры» в доме института в пос. Саласпилс под Ригой, где развивался так называемый академгородок Латвии. Не зная, как быть, я все-таки взял ключи и съездил с Наташей в Саласпилс. Достаточно просторная квартира с большой лоджией и кухней и двумя отдельными комнатами, с перспективами работы в новой отрасли были очень заманчивы. Так или иначе, по прибытии в Пермь я поделился с А.К. Маловичко результатами своей поездки, включая возможность переезда в Ригу. Александр Кириллович выслушал меня очень внимательно, но сказал, что в Риге могут быть свои скрытые сложности, о чем знает не понаслышке от своей жены. Спустя какое-то время, он вернулся к этому разговору и посоветовал не валять дурака, а отослать обратно ключи и выйти в докторский отпуск.

Однако инициатива рижан, запросивших срочно документы для прохождения по конкурсу, пересилила, и вскоре я получил положительное решение Ученого совета и дирекции ВНИИМоргео с официальным приглашением. Терзаемый сомнениями и внутренним чувством опасности, я тем не менее написал заявление об уходе. А.К. Маловичко и тогдашний декан И.А. Печеркин не раз пытались вразумить меня, что Рига хороша летом, но в части работы все может обстоять иначе. Однако «рубикон» был перейден, я настоял на увольнении и расчете и сдал квартиру. Помнится, при получении денег в кассе, меня спросил В.В. Маланин (тогда ассистент, а впоследствии – ректор), правда ли, что я собрался в Ригу и сдаю, а не оставляю за собой квартиру. Услышав утвердительный ответ, сказал, что это глупость, и что он даже в Москву ехать отказался.

Итак, вещи были отправлены, квартира сдана и 25 декабря 1971 года, ровно в 5-летний юбилей нашей встречи с женой в Пермском оперном театре, я оказался в обстановке нового театра жизни. Мы все – моя мать, Бякова Юлия Ивановна, жена Наташа и сын Алексей – сидели вечером с собранным в дорогу скарбом в однокомнатной квартире тещи в состоянии непонятной подавленности. Часов в девять вечера в дверь кто-то постучал. Я открыл дверь и был страшно удивлен, увидев на пороге А.К. Маловичко. Он зашел в комнату, сказав что-то вроде своего типичного: «Это, так сказать, все же собрались», и сказал, что он уже поговорил с ректором о пересмотре моего решения, возможности предоставления трехкомнатной квартиры и, в перспективе, разделении кафедры на две. Мы посидели, о чем-то поговорили и, убедившись в том, что названные им аргументы (которые, возможно, кто-то в университете и на кафедре муссировал) не принимались мною во внимание, сказал: «Ну что ж. Доброго пути. Если что, пишите, звоните». По уходу Александра Кирилловича у меня навернулись слезы на глаза, и жене, и матери пришлось меня успокаивать. Так была открыта новая, далеко не легкая страница моей жизни вдали от кафедры.

Прибыв в Ригу, я вскоре понял, что до меня нет никому дела. У всех были свои заботы и планы. У меня не оказалось поначалу даже письменного стола, и вместо завлаба я оказался старшим научным сотрудником лаборатории физических свойств. Надо сказать, что отношение ко мне зав. лабораторией Нины Карловны Озолинь и сотрудников лаборатории было очень лояльным, даже заботливым. Во всяком случае они предупредили меня, что в помещении лаборатории была в свое время пролита ртуть и там не стоит находиться долго, а за ртуть всем доплачивали 10% к окладу.

По истечении полугода, не видя реальных возможностей как-то проявить себя и улучшить ситуацию, я начал подумывать о возвращении в Пермь. Получив не без труда командировку, прилетел в Пермь и зашел на кафедру. Всех интересовало, как дела в Риге. Не вынося ситуацию на широкое обсуждение, я все-таки поведал А.К. Маловичко о реально возникшей ситуации. Александр Кириллович внимательно выслушал меня и, не напоминая о своих предосторожностях, что на его месте кто-то не преминул бы сделать, посоветовал одеть «кирзовые сапоги» и активизировать свою деятельность на знания и опыт, полученные в Перми и поддержку А.К. Урупова, работавшего тогда заместителем директора по науке ВНИИгеофизики. А что касается возвращения, то он пояснил, что это не будет воспринято положительно, так как неудачников никто не любит. При этом произнес запомнившуюся фразу, возможно, из украинского фольклора: «К старому месту только собаки возвращаются». С этим ярким наставлением я возвратился в Ригу и, одев «кирзовые сапоги», стал шаг за шагом бороться за достойное место в морской геофизике и в жизни. Опорой мне продолжали служить неоднократные письма А.К. Маловичко и его желание узнать, что у меня нового. Постепенно эти шаги привели к созданию лаборатории, затем отдела, затем к должности руководителя совместного коллектива по трехстороннему (ГДР, ПНР, СССР) морскому контракту на Балтийском море и должности заместителя директора по науке ВНИИМоргео.

И сейчас, в день 100-летнего юбилея Александра Кирилловича Маловичко, мне кажется, что в жизни любого геофизика пермской школы этот выдающийся человек незримо всегда присутствовал самым позитивно-активным образом.

ЭПИЗОДЫ ИЗ ЖИЗНИ КАФЕДРЫ ГЕОФИЗИКИ



О.Л. Горбушина (Тарунина), д.г.-м.н., проф.,
*выпускница кафедры геофизики ПГУ 1956 г.,
Пермский государственный национальный
исследовательский университет, г. Пермь*

Мне крупно повезло. Значительная часть моей творческой биографии была связана с Александром Кирилловичем Маловичко. Я не раз уже об этом писала: и в 1998 г. в книге «Профессор А.К. Маловичко и пермская школа геофизиков», и в 2004 г. в книге «50 лет кафедре геофизики», и в 2009 г. в книге «Кафедра геофизики, дневниковые записи 1989–2009 гг.», которую приурочила к столетнему юбилею этого неординарного ученого. Постоянно вспоминаются эпизоды и фрагменты совместной работы и открытых разговоров с этим большим, мудрым человеком.

Возглавив кафедру геофизики в 1954 г., Александр Кириллович подбирал коллектив преподавателей для обучения студентов. Из треста «Пермнефтегеофизика» были приглашены В.К. Серов – на электроразведку, Г.М. Фролович – на сейсморазведку. На гравиразведку он пригласил выпускника Московского нефтяного института Н.И. Дергачёва, работавшего в Коми АССР.

Курсовые и дипломные работы я писала у Александра Кирилловича. На основе первой курсовой работы впоследствии родилась статья по методике графического определения эпицентров локальных масс, результаты которой были включены А.К. Маловичко в известный его учебник по гравиразведке.

После защиты дипломного проекта и по результатам распределения я осталась на кафедре. О том, что кафедру геофизики хотели ликвидировать в 1957 году, и как проходила борьба за сохранение кафедры, подробно описал В.И. Костицын в юбилейной книге «50 лет кафедре геофизики» в 2004 году. В этот период меня временно откомандировали в трест «Пермнефтегеофизика», где я работала в партии Романа Ковалика по электроразведке.

Вскоре с кафедры уволилась лаборант Александра Ивановна Мельникова, и Александр Кириллович несколько раз звонил мне с просьбой вернуться на кафедру. Однако возвращаться на кафедру лаборантом мне не хотелось. К счастью, А.К. Маловичко добился открытия хоздоговорной темы с трестом «Пермнефтегеофизика», и я вернулась на кафедру инженером-исследователем.

Тема хоздоговора «Проверка сейсмических структур детальными гравиметрическими работами» взбудоражила и всколыхнула все руководство треста «Пермнефтегеофизика», которое целиком было ориентировано только на методы сейсморазведки. При бурной защите отчета в 1960 г. были произнесены довольно емкие реплики: «Это не комплексирование методов – гравиразведки и сейсморазведки, а ревизия!!!» Самым яростным оппонентом был главный геолог К.С. Шершневу: «Чтобы гравиразведка проверяла сейсмические структуры?! Этого не будет никогда!!! Только через мой труп!!!».

Константин Степанович довольно аргументированно защищал свою позицию: «Сейсморазведка дает глубины до отражающих горизонтов. Я хорошо знаю эту формулу! А где формула в гравиразведке для определения глубины?! Покажите эту формулу!!!», – настаивал он. К сожалению, показать ее в то время не представлялось возможным. Аномалии силы тяжести использовались лишь на качественном уровне. Для четкого и доказательного ответа понадобилась целая жизнь... Предстояли долгие годы научных исследований, поисков, экспериментов, практических доказательств.

Что касается главного геолога треста «Пермнефтегеофизика» К.С. Шершнева, то надо признать, что его имя с любовью вспоминают сейчас многие работники треста. Следует отметить, что в последующие годы ни одну сейсмическую структуру он не принимал, не удостоверившись, что по результатам гравиразведки она отражается максимумом силы тяжести. Это было бы приятно слышать Александру Кирилловичу Маловичко.

Из записей Семена Иегудовича Ваксмана в книге «Пермнефтегеофизика. Сквозь годы испытаний и трудовых побед» (2010) я недавно узнала, что К.С. Шершнев являлся открывателем «идеи рифовых барьеров и атолловых островов с теплыми лагунами, содержащими над собой залежи нефти и газа» (с. 43). Благодаря постижению Закона Большого барьера и были открыты, как пишет С.И. Ваксман, одно за другим месторождения Соликамской депрессии, связанные с рифами. Рифы же Камско-Кинельской системы прогибов были открыты ранее С.А. Шиховым и В.М. Новоселицким по результатам общей съемки и детальных профильных гравиметрических наблюдений. Все это было показано в диссертациях этих двух корифеев гравиразведки – учеников А.К. Маловичко. Этот факт свидетельствовал о замечательном достижении поисковой гравиразведки... То, о чем мечтал Александр Кириллович, свершилось! Гравиразведка получила признание у геологов и заняла свое достойное место в комплексе геолого-разведочных работ на нефть и газ.

Как записано у С.И. Ваксмана, на одном из заседаний НТС треста «Пермнефтегеофизика» на вопрос А.В. Винниковского: «А на севере Соликамской депрессии гравика есть?» (туда перекидывали сейсморазведку на поиски нефти) Константин Степанович Шершнев ответил: «А где у нас нет гравика? Гравика можно применять везде».

Вернемся в 60-е годы прошлого столетия. После защиты «скандального», а точнее сенсационного для того времени отчета, Александр Кириллович предложил мне поступить в аспирантуру. Но в 1960 г. я уже вышла замуж и для осуществления столь ответственного шага нужны были понимание и поддержка моего мужа В.Н. Горбушина. Он благословил мое желание, и я поступила в аспирантуру.

Просматривая годы учебы в аспирантуре с высоты прожитой жизни, хочу еще раз оценить А.К. Маловичко как научного руководителя. Он был строгим, очень ответственным руководителем каждого аспиранта, требуя отчет о проделанной работе не только за каждую неделю, но и за каждый день пребывания в аспирантуре. Ежегодно издавая сборник научных статей кафедры геофизики, он требовал с аспирантов в обязательном порядке статью, которую сам же правил. Но главное, что меня подвигло поступить в аспирантуру, было то, что с Александром Кирилловичем было очень интересно работать. Он быстро проверял текст, тут же начинал блистательно править мой, нередко корявый и туманный «язык», высвечивая и четко формулируя мои же мысли. Умело убирал все длинноты и лишние слова.

Он тратил очень много времени как редактор на каждого аспиранта и преподавателя – автора статьи. Будучи сам аккуратным и обязательным, он приучал и аспирантов к железной дисциплине. Времени на аспирантов, так же как и на студентов, он никогда не жалел. Сохранилась газета «Пермский университет» от 1963 г. времен моей аспирантуры с фотографией А.К. Маловичко. Это фото я поместила в альбом, который был сделан к 65-летию Александра Кирилловича в 1976 году.



Год изд. XVI
№ 5 (392)

ПГУ

Среда, 6 февраля 1963 г.

110 будущих ученых учатся сегодня в аспирантуре нашего университета, учатся серьезно, увлеченно, внося свой вклад в научно-исследовательскую работу университета.

О двух из них мы рассказываем в этом номере газеты.

На консультацию к своему научному руководителю доценту А. К. МАЛОВИЧКО пришла аспирантка О. Л. ТАРУНИНА. Она исследует свойства вторых производных аномалий силы тяжести. В недавно вышедшем в свет сборнике «Вопросы обработки и интерпретации геофизических наблюдений» есть и статья аспирантки кафедры геофизики О. Л. Таруниной.

Под фотографией в альбоме сделана очень емкая подпись:

*Вот так Вы нас учили день за днем
Уметь зерно отыскивать в полове,
И до конца сурового на слове
Своем стоять, как воин под огнем!*

Это четверостишие Льва Куклина говорит не только об умении улавливать рациональное зерно любой статьи, но и о глубине его собственных мыслей, многократно проверенных, а, главное, о глубокой убежденности, честности, прямоте и смелости ученого в делах, словах, поступках, мыслях. Следовать этому кредо он и учил каждого аспиранта.

Аспирантура у меня несколько затянулась в связи с рождением двух дочерей и переводом меня дважды в ассистенты, но тем не менее в феврале 1968 г. я успешно защитила кандидатскую диссертацию на тему «О вычислении и применении высших производных гравитационного потенциала при решении геологоразведочных задач». С декабря 1967 г. я уже работала в должности старшего преподавателя, осваивая очень большой по объему и сложности курс «Геофизические исследования скважин». В это непростое для меня время я продолжала ощущать постоянную поддержку Александра Кирилловича, который оставался Человеком и Ученым с большой буквы.

Вспоминается трогательное поздравление кафедры с моим сорокалетием в 1973 году. Александр Кириллович зачитал нестандартное поздравление – стихотворение, которое по его просьбе сочинил известный пермский поэт В.И. Радкевич:

Ольге Леонидовне по случаю 4.IV.73 г.

*Вы сориентировались превосходно,
Верно взяли прицел на даль, –
На уровне высших производных
Атакуете потенциал.
На полях затоптанных аномалий,
Прикинув производной туды и сюды,*

*Вы прогнозировали и намечали
Палеозойских структур следы.
Много идей и бумаг проворошено,
Продолжайте же их ворошить!
Желаем Вам лучшего из хорошего
От всей души!!!*

Все дружно отметили удачное сочетание в поздравлении целого ряда тонких деталей гравиметрии. Каждый поставил на открытке свой автограф. В последующие годы сотрудники кафедры еще не раз вспоминали это оригинальное поздравление, организованное Александром Кирилловичем. Я храню эту открытку, как дорогую реликвию, к тому же подписанную всеми сотрудниками кафедры (13 подписей).

В 1976 г. по инициативе А.К. Маловичко была организована первая всесоюзная школа-семинар. Идея обучения аспирантов «широко мыслить» возникла не случайно. У Александра Кирилловича к этому времени уже была большая армия учеников – кандидатов наук и аспирантов. От идеи до практики, до дела – дистанция, как известно, огромного размера. А.К. Маловичко не любил прожекторство, он был человеком конкретного дела. Математических идей у него была масса.

Прикладное значение многих математических процедур обработки раскрыл именно А.К. Маловичко: аналитическое продолжение, численное дифференцирование (палетка V_{zz}), сглаживание, гармонический анализ и многие другие. Слова томского доцента Г.К. Автеньева стали крылатым выражением: «Мы все вышли из раскрытых книжек А.К. Маловичко». Многие геофизики-москвичи (О. Литвиненко, В.Р. Мелихов) начинали свою научную карьеру с монографии Александра Кирилловича «Методы аналитического продолжения аномалий силы тяжести» (1956 г.) – она была настольной книгой в 1960-е годы, когда стали применяться цифровые вычислительные машины.

А.К. Маловичко, как человек крепкого ума и математических знаний, огромной трудоспособности, эрудиции, убежденности и сильной воли, пользовался большим авторитетом и любовью многих ученых-геофизиков. Идея о создании школы-семинара и о проведении ее в 1976 г. именно в Перми была воспринята геофизиками всего Советского Союза с большим энтузиазмом, так как Александру Кирилловичу в этом году исполнялось 65 лет, что и было торжественно отмечено на этой школе, посвященной юбилею А.К. Маловичко – доктора технических наук, заведующего кафедрой геофизики с 1954 году. Всю переписку по организации этой школы-семинара осуществляла я, будучи старшим преподавателем кафедры геофизики ПГУ.

При подведении итогов в 2000 г. работы школ-семинаров, ставших регулярными за 25 лет, в докладе академика В.Н. Страхова было отмечено: «Значение именно школы А.К. Маловичко нельзя сбрасывать со счетов при рассмотрении истории и значения всесоюзных семинаров имени Д.Г. Успенского». И было перечислено много ученых-геофизиков, учеников А.К. Маловичко, внесших существенный вклад в развитие поисковой и разведочной геофизики.

Благодаря активной научной работе всех сотрудников кафедры и выполнению учебных и общественных нагрузок кафедра геофизики в 1977 г. заняла первое место по всем показателям в социалистическом соревновании кафедр Пермского госуниверситета и в полном составе (уникальный случай!) была занесена на Доску почета ПГУ, чем Александр Кириллович очень гордился.

Эти краткие эпизоды-воспоминания мне хотелось бы завершить мартом 1978 г., когда пришло решение ВАК о выдаче диплома доцента О.Л. Горбушиной – через 10 лет после защиты кандидатской диссертации.

Сергей Владимирович Горожанцев по этому поводу сочинил и исполнил под гитарный аккомпанемент песню с актуальным припевом:

*Наша песенка с акцентом –
Поздравляем мы с доцентом
Ольгу Леонидовну!*

Больше всего моему диплому радовался Александр Кириллович.

Эти и многие другие события были отражены в моих стихах или альбомах. Только Александру Кирилловичу я сделала не меньше семи альбомов, что описано мною в книге «Кафедра геофизики...» (2011 г.).

В заключение кратко сформулирую важнейшие научные итоги своих исследований на кафедре. Мною выполнен целый ряд разработок, направленных на развитие гравиметрического метода и повышение его универсальности при количественном решении самых различных задач – от картирования поверхности фундамента до изучения неоднородностей ВЧР. Многочисленными практическими примерами было доказано, что задачи количественного изучения зон разломов фундамента по данным гравиразведки решаются гораздо детальнее и увереннее благодаря численному дифференцированию. Все эти задачи и методики их решения изложены в книге «Гравиразведка ...» (2006 г.), а также в статьях за 2007–2011 гг., вышедших в «Вестниках по геологии ПГУ». Другими словами, я приложила максимум усилий, чтобы сделать гравиразведку количественным методом, способным определять относительные глубины любых плотностных горизонтов.

Сейчас бы я уверенно ответила К.С. Шершневу на вопрос о главной формуле гравиразведки при определении глубины плотностных горизонтов – это формула плоского слоя! Об этом же писал в своем учебнике по гравиразведке Д.Г. Успенский еще в начале XX века. Истина возродилась на новом витке спирали.

ПРОФЕССОР А.К. МАЛОВИЧКО ЛЮБИЛ СВОЮ НАУКУ



Г.И. Каратаев, д.г.-м.н., проф.
*Институт природопользования
НАН Беларуси, г. Минск*

В 1950 г. на третьем курсе Новосибирского института инженеров геодезии, аэрофотосъемки и картографии (НИИГАиК) я впервые услышал лекции Александра Кирилловича. Он был доцентом этого института и читал у нас курсы лекций: по гравиметрии и теории фигуры Земли, физике Земли и геомагнетизму.

Я учился в группе астрономо-геодезистов и готовился стать специалистом по высшей геодезии. Но лекции Александра Кирилловича были настолько интересны по содержанию, что физика Земли сразу же пленила меня, и я под руководством Александра Кирилловича стал специализироваться в этой области. Учиться у него было очень интересно. Он любил свою науку, буквально разжевывал свой предмет. Акцентировал внимание на проблемах. Под его руководством я сначала подготовил и защитил в 1953 г. дипломную работу по вопросам аналитического продолжения аномалий силы тяжести, а затем – в 1961 г. – и кандидатскую диссертацию на тему «Гравитационное поле Пермского Прикамья».

Сам Александр Кириллович в то время занимался вопросами аналитического продолжения гравитационного поля, построением контактных поверхностей, разделением полей на региональную и локальную составляющие, методикой проведения гравиметрических съемок, квазигеоидом. Параллельно консультировал гравиразведочные работы в Сибирском геофизическом тресте. Писал монографию.

Житейские условия в то время были очень тяжелые. Однако вес Александра Кирилловича в институте, в научном мире Новосибирска, в Сибирском геофизическом тресте был настолько высок, что городские власти выделили его большой семье прекрасную квартиру в облисполкомовском коттедже в центре города. В квартире, помню, почти не было мебели, но в гостиной стоял большой круглый стол, часть которого всегда была занята бумагами, книгами, рукописями и... яблоками. Яблоки всегда у него были и в рабочем портфеле... Для нас сибиряков в то время яблоки, да еще зимой, были экзотикой. Как-то я его спросил о пристрастии к яблокам: «Я же с Украины, – ответил он».

Работал он очень много. Писал статьи, полемизировал в печати и на совещаниях с такими корифеями, как Ю.Д. Буланже, М.С. Молоденский и А.Н. Тихонов. Очень дружил с Б.К. Балавадзе и Ю.Д. Буланже.

Отношения у него со всеми преподавателями как в НИИГАиКе, так и в Пермском университете были всегда хорошие. Кафедрой гравиметрии и теории фигуры Земли в НИИГАиК руководил в то время опальный профессор Б.В. Базилевский. Однако Александр Кириллович, в те-то годы (!), поддерживал с ним добрые отношения.

В 1954 г. Александра Кирилловича пригласили в Пермский университет заведующим кафедрой геофизических методов поисков и разведки полезных ископаемых. В 1956 г. он взял меня к себе в качестве ассистента. Три года подряд ежедневно я был с ним. Это были годы нашего с ним совместного поиска моего пути в геофизическую науку, и мы его определили как комплексную интерпретацию геофизических полей в геолого-математическом аспекте.

В 1956 г. вышла в свет основополагающая монография Александра Кирилловича «Методы аналитического продолжения аномалий силы тяжести и их приложения к задачам гравиразведки». У всех гравиразведчиков эта книга стала настольной. Она указывала пути и конкретные методы решения многих проблем гравиразведки, предостерегала от ошибок. Далее последовали многочисленные статьи и монографии и великолепный «Курс гравиразведки» для студентов.

Надо сказать, что для всех книг и статей Александра Кирилловича было характерно удивительно четкое и логичное изложение материала, теоретические результаты всегда сопровождались конкретными практическими рекомендациями – чувствуется его многолетняя работа со студентами и производственниками. Его скрупулезность к печатному материалу особенно ярко проявлялась при корректировке гранок статей (не только своих, но и моих). Это прекрасное свойство для ученого было передано и мне.

Александр Кириллович вырастил великолепную плеяду ученых в различных областях геофизики.

Александр Кириллович был человеком добрым, отзывчивым, любил и жалел студентов. Еще в Новосибирске, будучи доцентом НИИГАиК, он некоторые сложнейшие разделы гравиметрии и теории фигуры Земли исключал из экзаменационного материала, например теорию сокачания маятников. Александр Кириллович вел у нас лабораторные работы по измерению приращений поля силы тяжести с помощью маятников. В процессе наблюдений необходимо было вести вслух счет и он произносил число четырнадцать с ударением на третьем слоге «над». Это настолько врезалось мне в память, что я до сих пор, ведя в уме последовательный счет, произношу это число помаловически.

Как представитель высокоточных астрономо-геодезических наук я был воспитан в НИИГАиК на аккуратном и строгом ведении полевых журналов и ведомостей обработки данных. Работая у Александра Кирилловича на кафедре ассистентом, я пытался требовать этого и от студентов-геофизиков. Спас студентов Александр Кириллович, который однажды сказал мне: «Это же геофизики, у них в теории заложена неоднозначность, потому и точность у них не та, что у геодезистов».

По рекомендации Александра Кирилловича я был приобщен к первому советскому спутнику Земли. По согласованию с Астрономическим советом АН СССР он направил меня на курсы начальников специальных наблюдательных станций. Благодаря этому в Пермском университете была создана служба слежения за искусственными спутниками Земли, и мы были первыми наблюдателями первого советского спутника Земли. Помню, я разработал методику прогноза времени появления спутника над Пермью. Однажды за несколько минут до его появления в небе Перми я остановил трамвай, в котором ехал, и все пассажиры с нескрываемым возбуждением и гордостью наблюдали полет спутника (тогда это было сказкой).

Александр Кирилловичу я обязан творческому и близкому знакомству с такими выдающимися учеными, как В.В. Федьинский, Б.К. Балавадзе, Ю.Д. Буланже, Ю.А. Мещеряков, К.Е. Веселов.

С именем Александра Кирилловича у меня ассоциируются только приятные воспоминания. Для меня Александр Кириллович – друг, учитель и та катапульта, с помощью которой он запустил меня в геофизическую науку.

Удивительно добрые и могучие люди рождались сто лет назад!

ВОСПОМИНАНИЯ ОБ АЛЕКСАНДРЕ КИРИЛЛОВИЧЕ МАЛОВИЧКО (С 1958 Г.)



М.И. Серова
*выпускница кафедры геофизики ПГУ 1963 г.,
ОАО «Пермнефтегеофизика», г. Пермь*

Мы, выпускники 1963 г., попали в группу возобновления специальности «Геофизические методы поисков и разведки полезных ископаемых», неожиданно прерванной указанием сверху в 1957 году. Нас, не прошедших по конкурсу на физический и механико-математический факультеты в 1958 г., но набравших 20 и более баллов, пригласили в деканат геологического факультета ПГУ. Деканом тогда был Александр Кириллович Маловичко. Он активно взялся за возобновление геофизической специальности в Пермском университете. На факультет были приглашены специалисты со средним техническим образованием из различных геологических организаций. В тот же год были проведены вступительные экзамены. Будущим студентам объявили, что обучение будет проводиться два года на вечернем отделении и три года – на дневном. Александр Кириллович спокойно сказал: «Если приходите учиться к нам на факультет – не уходить». К сожалению, к окончанию нашего курса в группе осталось только двенадцать человек. Некоторые перешли учиться в Политехнический институт, а другие перевелись на вечернее обучение. Самое главное – из специальности никто не ушел. А.К. Маловичко старался как можно больше уделять внимания нашему обучению. Работа в должности декана сдерживала его, и он просил об отставке. Только лишь когда на факультете случилось ЧП – гибель двух студентов в туристическом походе на Басегах, – Александра Кирилловича освободили от занимаемой должности.

В Предуралье на учебную практику после третьего курса в 1961 г. А.К. Маловичко с нами не ездил. Магниторазведку проводила О.Л. Тарунина, гравиразведку – Н.И. Дергачёв, электроразведку – Б.К. Матвеев. На практику в сейсморазведочную партию с нами поехал А.К. Урупов (пел вместе с нами в вагоне электрички московскую студенческую песню о кузнечике «с коленками назад»).

На первую производственную практику нам всем были даны путевки и даже подъемные средства. Обо всем этом позаботился А.К. Маловичко. Я попала в отряд речной сейсморазведки Урайской экспедиции в Ханты-Мансийском округе. Позднее оказалось, что исследования проводились на первом нефтяном месторождении Сибири – Шаимском. В экспедиции я получила должность техника-геофизика. За время практики удалось подготовить качественный материал для отчета по практике (с фотографиями, описанием техники и методики работ). Проработав дополнительный месяц, решила отдохнуть на море. Не заезжая домой, отправилась на Кавказ, ведь занятия в то время начинались 15 октября. Но в тот год (1961 г.) лекции начались уже 5 октября.

На первом же занятии Александр Кириллович поинтересовался:

– А где у вас студентка М.?

– Отдыхает на Чёрном море, – отвечают ему.

– Передайте ей привет!

На защите отчетов, разглядывая фотографию на обложке (болотистая с извилистыми речками Западно-Сибирская низменность, сфотографированная с вертолета), А.К. Маловичко спросил:

– Кто делал фотографии?

– Сама, – отвечаю я (на практике у меня с собой был даже портативный увеличитель). Опоздание к началу учебы было прощено.

После четвертого курса производственную практику нужно было проходить по другому методу разведки, не по сейсморазведке. Мы удивились, дипломные работы у многих были «сейсморазведочные». Но ведь практика преддипломная!

– Ничего страшного. У нас – университет, – отвечал А.К. Маловичко.

На пятом курсе один из студентов, что писал дипломную работу под руководством Александра Кирилловича, увлекся иностранными языками и эстрадной музыкой и исчез, стал пропускать консультации. Снова Александр Кириллович спрашивает:

– А где у вас студент Щ.?

– Уехал с концертом на гастроли, – отвечают ему.

– Передайте ему привет от руководителя дипломной работы!

Дипломная работа студентом Щ. была защищена вовремя.

Еще случай. Расчувствовавшийся на выпускном вечере студент говорит:

– Александр Кириллович, Вы извините нас, но у нас было прозвище для Вас...

– Ну и что? Я знаю.

После нашего последнего звонка:

– Александр Кириллович, пойдёмте в аудиторию с нами, выпьем по глоточку шампанского. Имелось в виду – из импровизированных бумажно-калечных бокалов.

– Так ведь столько уж было выпито...

Но пришел все-таки посмотреть на нас в последнем полном сборе.

Александр Кириллович всегда относился к студентам дружелюбно, но если дело касалось серьезных вопросов, был строг. Попадется на зачете нелюбимый студентами вопрос, например по теории ошибок, из-за кажущейся формальности мог отправить на повторную сдачу.

Поддерживалась им и работа студенческого научного общества, на заседаниях которого студенты выступали с докладами и показывали свои практические достижения. Если чья-то работа готовилась к печати, редакцию осуществлял сам А.К. Маловичко, «шерстил вдоль и поперек».

В кабинетах и аудиториях стояла сейсмическая аппаратура, полученная факультетом в дар от треста «Пермнефтегеофизика». Чувствовалось дружеское расположение управляющего трестом к нашему заведующему кафедрой геофизики А.К. Маловичко. Но и при распределении выпускников на производство прежде всего учитывались интересы треста «Пермнефтегеофизика». Взаимопомощь, беспредельная верность избранному делу – характерная черта того времени.

Еще раз о студентах. Была у нас в «Пермнефтегеофизике» девушка, техник-вычислитель, на работу попала сразу после школы. Специальность наша ей понравилась. Но врачи ей запретили поступать на геологический факультет из-за повышенного давления. Мы обратились за помощью к Александру Кирилловичу. Он внимательно выслушал и сказал: «Ничего страшного. Пусть полечится, а потом поступает. Такие случаи у нас были». Сейчас эта девушка стала одним из лучших специалистов «Пермнефтегеофизики».

В наше время один из абитуриентов не проходил по здоровью на специальность «Гидрогеология». А.К. Маловичко взял его на «Геофизические методы». В результате получился хороший специалист, работал и в полевых партиях, и в камеральных. Александр Кириллович всегда был очень внимателен к студентам, справедливо относился к решению их проблем, мог «войти в положение», если были на то объективные причины. Однажды Юрий Иванович Клестов на своем 60-летии припомнил двух наших однокурсников, которые на занятиях успевали «вслепую» играть в шахматы: «Представляете на лекции у самого Маловичко «е2–е4» (!) и передвигают что-то в ящике стола!». Кстати, Юра был единственным студентом-производителем в нашей группе, который не ушел на вечернее, успешно совмещал учебу и работу в полевой партии.

Однажды я была приглашена на празднование юбилея одного из них. Александр Кириллович сидел рядом с Рудольфом Павловичем Савеловым, казался безучастным, даже слегка дремлющим на фоне веселой компании. А в перерыве разговорился, рассказал о брате, который был невинно репрессирован, о суровом приговоре – «10 лет без права переписки». Потом стал расспрашивать о делах «Пермнефтегеофизики», рассказал, что в нашей группе работает его внучка, попросил быть снисходительнее к ней, так как у нее слабое здоровье. И действительно, он очень беспокоился о ней, когда она заболела и попала в больницу. Отдохнувший в перерыве Александр Кириллович, прервав веселье, обратился к юбиляру: «А ты сиди, пока тебе слово не давали!», и очень строго «разнес» его неспешную подготовку к диссертации. И хотя Александр Кириллович уже не был заведующим кафедрой, но он помнил о своем предназначении воспитывать кадры. В начале 1990-х, когда сокращали людей, производство, бюджеты, он сказал: «Вот если бы вдруг пришлось оставить свою работу, я бы не растерялся, стал бы преподавать математику в школе». Александру Кирилловичу тогда было 79 лет. И в таком возрасте он думал ни о себе, ни о деньгах, а о возможном приложении своих сил.

В заключение хочется вспомнить строчки из стихотворения А. Дементьева:

*Как важно вовремя успеть
Сказать кому-то слово доброе,
Чтоб от волненья сердце дрогнуло! –
Ведь все порушить может смерть.
Как важно вовремя успеть
Похлопотать или поздравить,
Плечо надежное подставить!
И знать, что будет так и впредь!*

МОЕ ГЕОФИЗИЧЕСКОЕ БЛАГОПОЛУЧИЕ ОПРЕДЕЛИЛ А.К. МАЛОВИЧКО



**В.А. Силаев, д.т.н., проф.,
выпускник кафедры геофизики ПГУ 1965 г.
ЗАО «Институт РОСТЭК», г. Пермь
Пермский государственный национальный
исследовательский университет, г. Пермь**

С годами мы начинаем понимать, что человеческие судьбы творят не какие-либо Высшие силы, а обычные люди, с которыми мы встречаемся на дорогах жизни. При этом эти люди могут быть носителями деструктивного, злого и разрушающего начала, а могут быть добрыми, созидателями, которые в конечном итоге определяют на долгие годы наши действия и поступки.

Мне повезло, что таким созидательным началом на моем жизненном пути стала встреча с Александром Кирилловичем Маловичко. Сейчас, по прошествии многих лет, я четко вижу его конструктивную, созидательную волю в моей судьбе. Мне вообще кажется, что человек ничего сам не решает, а выполняет волю других людей. Такой созидательной волей и обладал Александр Кириллович.

Первый момент его участия в моей геофизической жизни произошел при поступлении в Пермский государственный университет. Не набрав нужного количества баллов на выбранный мною факультет, я шел забирать документы. Зайдя в зал, где стояло большое количество столов, за которыми сидели представители многочисленных факультетов, подошел к своему столу и с тяжелым сердцем начал забирать у секретаря свою папку с сертификатами и результатами экзаменов. Было так горько и тяжело на душе. Рядом стоял другой стол, за которым сидела девушка. К ней подошел мужчина с крупным лицом, немного грузноватый, в мешковато сидящем костюме коричневого цвета, и о чем-то начал с ней говорить, видимо, о результатах прошедших экзаменов. Недовольно бурча, беря бумаги со стола, он поднял глаза и увидел меня. Я тоже на него посмотрел и заметил, что у того добрые голубые глаза, в которых читалось приветствие и участие. Он произнес с каким-то интересным акцентом: «Ну что? Не прошел по курсу?». «Да, – отвечаю я, – не прошел...». «Не прошел, – вторил он, – а сколько набрал?» «23, а нужно было 25», – говорю я. Мужчина попросил: «А ну дай-ка папку свою, посмотрю, что там в ней?» Я передал папку. Он перелистал документы, поднял на меня глаза и снова спросил: «На геологическом факультете хочешь учиться?» Я замер и вдруг сразу вспомнил все, о чем мечтал последние годы. А в те времена мы мечтали быть летчиками, металлургами и, конечно же, геологами. Я, естественно, радостно сказал: «Конечно, хочу». «Вот у нас есть одно место на специальность «Геофизика», – уточнил он, – если согласен, оставляй документы». Так начался этап моей судьбы, в котором я начал выполнять волю Александра Кирилловича: учиться на геологическом факультете по специальности «Геофизика».

На том этапе я был связан с Александром Кирилловичем, когда он был в должности декана, заведующего кафедрой, моим преподавателем. Конечно, он производил на всех нас, студентов, неизгладимое впечатление своей эрудицией, своей избранностью, которая определяла его как профессора – высшего существа, перед которым мы робели, и в мир, который он представлял, хотелось войти.

Вторая определяющая роль Александра Кирилловича Маловичко была в моей судьбе после окончания вуза. Учился я неплохо, под руководством профессора А.К. Урупова подготовил дипломную работу и настраивался на поступление в аспирантуру. Но так случилось, что мой наставник покинул страну, и я остался без поддержки. Спустя три года после окончания университета я случайно встретился с А.К. Маловичко. И он, узнав, что я так и не поступил в аспирантуру, пригласил меня на заочное отделение. Ухватившись за это предложение, я сдал кандидатский минимум и стал аспирантом. Под руководством А.К. Маловичко я защитил кандидатскую диссертацию. Продолжалась моя геофизическая жизнь, в которой я выполнял волю Александра Кирилловича.

Третья значимая для меня встреча произошла тогда, когда я начал робко думать о защите докторской диссертации. Тогда я пришел к Александру Кирилловичу сам и рассказал ему о своих планах и сомнениях. В надежде, что он не откажет, попросил его просмотреть мои черновики и дать свою оценку. Конечно, он не отказал мне. Взяв мою работу, предложил подойти через несколько месяцев. Спустя время, он отдал мне бумаги с напутствием, что это направление следует развивать и надо готовить диссертацию. Придя домой и, взглянув на свой текст, я был поражен: это был сплошной «красный карандаш»! И началась сложная и долгая работа по написанию докторской диссертации.

В конечном итоге его главным участием стало то, что он не только меня психологически поддержал, но и, по существу, определил тот стиль, который должен был соответствовать требованиям к диссертациям этого типа. Так, при поддержке и с подачи Александра Кирилловича, я стал доктором наук.

После защиты докторской моя жизнь сложилась так, что я был вынужден уйти из геофизики и организовать производственное предприятие. Несмотря на это, Александр Кириллович не изменил своего отношения ко мне. Как-то я спросил его мнение о том, что я ушел из науки в частный бизнес. Почему-то мне казалось, что он будет меня отговаривать продолжать производственную деятельность и советовать вернуться в науку. Однако он сказал, что не нужно ни о чем жалеть, и если жизнь так складывается, что необходимо заниматься чем-то новым, то следует развиваться дальше. Этот ответ вызвал во мне огромное уважение и благодарность к этому человеку. И эти чувства остаются со мной на протяжении всей моей жизни.

ПАМЯТНАЯ ВСТРЕЧА С А.К. МАЛОВИЧКО



**Н.Г. Шкабарня, д.т.н.,
выпускник кафедры геофизики ПГУ 1957 г.
Институт горного дела ДВО РАН, г. Хабаровск**

О моих воспоминаниях об этом замечательном Человеке можно рассказывать много и долго. Александр Кириллович, безусловно, обладал большим количеством ярких качеств, отдельные из которых имеются у многих из нас, но все одновременно – у единиц. Он был ученым, но главное – он был Личностью, смысл жизни которого можно выразить коротко – приносить пользу людям. Для студентов он был не только учителем, но и наставником. Это по его совету я не проходил учебные практики, а сразу начал работать в производственных геологических партиях. Вспоминаю и про то, как он учил работать над курсовыми проектами, как помогал готовить статьи. Уверен, что так он воспитывал всех студентов, но каждому казалось, что к нему Александр Кириллович относится по-особенному.

Часто вспоминаю одну из встреч. Это было почти 30 лет назад, в 1982 году.

Тогда была юбилейная встреча выпускников геологического факультета 1957 года. После официального заседания и выступлений, где повзрослевшие геологи и геофизики (тогда практически все работали в геологии) признавались в любви к своим учителям и говорили о своих достижениях, мы собрались в ресторане.

Помню, как в самом начале застолья, после первых тостов, когда народ расслабился, Александр Кириллович пригласил меня прогуляться с ним. Стояла прекрасная зимняя погода, падал крупный снег. Эта прогулка и разговор с ним остались в моей памяти навсегда.

Говорили обо всем: о геофизике, о моей работе во Владивостоке, о статьях, о моей докторской, которая была готова, но время было «незащитное». Александр Кириллович рассказывал о кафедре, о своей работе, о планах и, впервые, о своем пути в науку. Я узнал, что он работал в краевой газете г. Владивостока, учился в Дальневосточном государственном университете, после учебы работал на кафедре и в деканате. Спрашивал, как изменился город, как во Владивостоке развивается геофизическая наука, какие задачи решает Геологическое управление.

Мы уже расставались, когда он стал рассказывать мне, как попал во Владивосток из Украины. Оказалось, что до войны здесь жил и работал на таможне его старший брат Григорий Кириллович. И как-то по радио я услышал передачу о деятельности брата, который много сделал для Владивостока и тоже был незаурядной личностью.

Эта встреча врезалась в мою память на всю жизнь.

Ведь мы тогда не просто жили-были.

Мы делали дела, а мир был так велик!

К 100-ЛЕТНЕМУ ЮБИЛЕЮ АЛЕКСАНДРА КИРИЛЛОВИЧА МАЛОВИЧКО



**В.М. Шувалов, к.г.-м.н., доц.,
выпускник кафедры геофизики ПГУ 1969 г.,
Пермский государственный национальный
исследовательский университет, г. Пермь**

12 декабря 2011 г. исполнилось 100 лет со дня рождения одного из великих ученых геологического факультета Пермского госуниверситета, известного не только в Прикамье и на Урале, но и в России, и в международном масштабе – профессора Александра Кирилловича Маловичко. С приближением этой знаменательной даты вспоминаются многие жизненные события и ситуации, связанные с именем Александра Кирилловича.

Нам, выпускникам геологического факультета ПГУ 1969 г., посчастливилось быть его учениками, слушать и изучать курсы по гравиразведке и физике Земли. Будучи заведующим кафедрой геофизики (несколько лет он был и деканом факультета), Александр Кириллович всегда относился с уважением ко всем студентам. Он не наказывал студентов без значимой на то причины, тем более когда им грозило отчисление или снятие со стипендии. Он всегда давал шанс исправиться нерадивому студенту, и поэтому всегда был уважаем и любим студентами всех курсов, а особенно теми, кто писал у него курсовые и дипломные работы. Он с младших курсов настраивал учеников на научный лад и всячески поддерживал их вплоть до выпуска из университета. Редактировал статьи своих коллег он очень тщательно. Иногда приходилось переделывать статьи до десятка раз. Он говорил, что выход печатной работы в свет – очень ответственное дело перед читателями. Он сравнивал это с выходом на площадь. «Вы же не будете выходить на площадь в голом виде, – говорил он, – поэтому печатная работа должна быть информативной, причесанной и приглаженной».

Многие его ученики и выпускники ПГУ защитили докторские и кандидатские диссертации, стали лауреатами, известными руководителями в Прикамье, на Урале, в России и за рубежом. Благодаря Александру Кирилловичу, Школа МАЛОВИЧКО прочно вошла в ранг лучших школ геофизиков в нашей стране. Этот заряд бодрости и многие традиции остались на кафедре до сих пор, так как большинство работников кафедры и университета составляют его ученики и последователи.

Александр Кириллович Маловичко читал свои лекции своеобразно и часто использовал словосочетание «...так сказать это...». Это отличало его от других преподавателей, но не ухудшало качество и информативность лекционного материала, представленного в виде общеизвестного учебника по гравиразведочному курсу.

В жизни он был прост со всеми и не чурался общаться со студентами и преподавателями в общественных факультетских и университетских мероприятиях. Принимал активное участие в последних звонках старшекурсников, вечерах встреч выпускных курсов, играл на сцене самого себя в качестве заведующего кафедрой геофизики в самодельном спектакле студентов, посещал места учебных и производственных практик в учлесхозе «Предуралье» и других регионах. Студенты с любовью и доброжелательностью называли его «Наш АКМ».

Александр Кириллович отличался хорошей памятью. Иногда он мог забыть эпизод вчерашней давности, но хорошо помнил все, что происходило десятки лет назад. Однажды на своем очередном дне рождения он в течение нескольких часов рассказывал о том, как он приехал в Пермь с Дальнего Востока. Он называл все имена и фамилии людей, с которыми ему пришлось встречаться. Когда рассказ дошел до Уральского региона, его пришлось попросить немного прерваться, чтобы всем членам кафедры выпить и закусить. Затем он продолжил свои воспоминания. Своей памятью он удивил и восхитил всех присутствующих на его дне рождения.

Мне вспоминается случай на одной из кафедральных встреч. Александр Кириллович сидел напротив меня за столом. Я открывал бутылку с шампанским, которое сильно забурлило, и, чтобы не облить закуску на столе, я опустил бутылку под стол. Рядом оказались вытянутые ноги Александра Кирилловича, в ботинки которого я и налил шампанское. Он несколько не смутился, а с юмором отметил, что давно не купал свои ноги в шампанском. Вторая ситуация была на берегу реки Камы. Мы – преподаватели с выпускниками (курс И.Ю. Митюниной) – отмечали их окончание университета. Стакан сломался, посуды больше никакой не было, а шампанское было, поэтому всем (и Александру Кирилловичу в том числе) пришлось пить из сломанного стакана с острыми углами и зазубринами. При этом он без смущения пил из сломанного стакана. Вспоминается эпизод на одном из собраний геологического факультета. Александр Кириллович спокойно сидел за столом и вдруг упал. Все вскочили и бросились к нему, думая, что ему стало плохо. Он встал и сказал: «Не беспокойтесь, это просто “моча” мне в голову ударила». Все вздохнули с облегчением.

Александр Кириллович не состоял в партийных организациях, поэтому он не был награжден медалью «К 100-летию рождения В.И. Ленина» в 1970 году. Его включили в список для награждения орденом Трудового Красного Знамени, но не успели наградить, так как этот орден отменили. Но он был оптимистом и особо не огорчался ходом происходящих событий.

После моего окончания в 1969 г. кафедры геофизики Пермского госуниверситета Александр Кириллович оставил меня (как молодого специалиста по распределению) на кафедре старшим лаборантом, а затем ассистентом. В университете мне пришлось обучать сыновей Александра Кирилловича – Павла и Алексея. В студенческой группе геофизиков, где учился Алексей, я был куратором, или «классным папой». На свадьбе своего сына Алексея Александр Кириллович попросил меня быть тамадой, и я с благодарностью принял это предложение. Я очень рад, что мой ученик Алексей стал известным ученым, действительным членом-корреспондентом РАН.

Жизнь продолжается, а добрая память об Александре Кирилловиче остается в наших сердцах всегда, как в настоящем, так и в будущем.

**Этапы жизненного пути
А.К. Маловичко
в фотографиях**

**(из фондов кафедры геофизики ПГУ,
личных архивов А.А. и А.К. Маловичко
и А.В. Горожанцева)**



**Старший брат
Григорий Кириллович
и Антонина Тихоновна
(январь 1932 г.)**



**Средний брат
Иван Кириллович
(1930 г.)**

**Александр Кириллович
и Лидия Мартыновна
(январь 1940 г.)**





**А.К. Маловичко –
аспирант ГАИШ при МГУ
(январь 1940 г.)**

**Аспирант А.К. Маловичко
с помощниками
при выполнении
маятниковых наблюдений
в Соликамске (сентябрь 1939 г.)**





**Семья А.К. Маловичко.
Новосибирск, 1948 г.**



**Семья А.К. Маловичко: сыновья Павел и Алексей, дочь Наталья
и супруга Лидия Мартыновна (июнь 1960 г.)**



А.К. Маловичко с внуками Лилей и Димой (ноябрь 1983 г.)

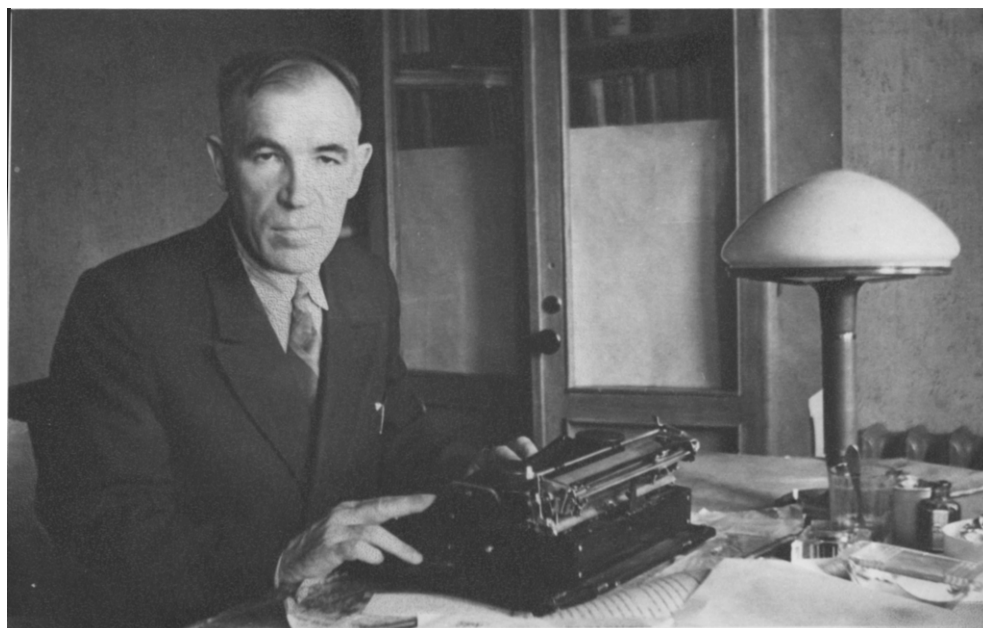


На Первомайской демонстрации 1955 г.

Слева направо: доц. А.К. Урупов, И.М. Коробков, доц. А.К. Маловичко, декан геолого-географического факультета доц. Б.А. Чазов, доц. Д.Г. Филин, студенты О.Л. Тарунина и В.Л. Тепляков



Доц. А.К. Маловичко и асс. Н.И. Дергачёв со студентами-геофизиками (апрель 1960 г.).
В первом ряду – О.Л. Горбушина, во втором ряду – А.А. Славнова, Ю. Кугнурцев, ...



**А.К. Маловичко за домашним рабочим столом
и пишущей машинкой «Москва» (октябрь 1961 г.)**



Преподавательский состав кафедры геофизики ПГУ в 1965 г.

Слева направо: асс. М.С. Чадаев, доц. Ю.А. Бяков, проф. А.К. Урупов, проф. А.К. Маловичко, асс. М.Н. Юдин, ст. препод. О.Л. Горбушина, асс. Б.А. Спасский

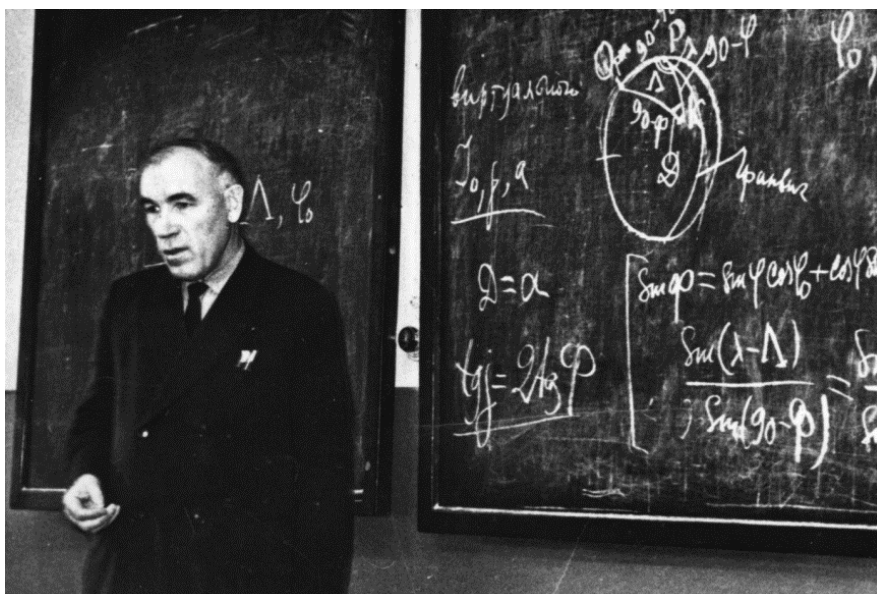


**Доц. Ю.А. Бяков, доц. Б.К. Матвеев, асс. В.А. Гершанок, проф. А.К. Урупов,
проф. А.К. Маловичко и Л.С. Кузнецова на Первомайской демонстрации (1966 г.)**



Заседание ГЭК. 19 сентября 1966 г.

В первом ряду: Н.И. Чернышев, Н.А. Игнатъев, А.И. Казубовский, А.К. Маловичко, Л.М. Ощепко-Хохрякова, В.П. Золотова, Л.А. Шимановский. Во втором ряду – студенты

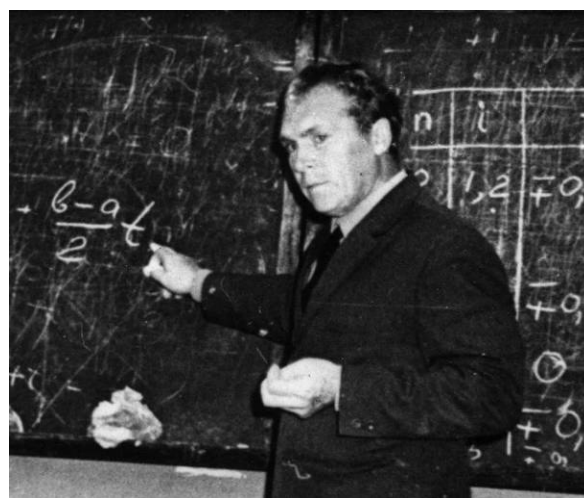


А.К. Маловичко

**Лекция
по гравирезке
(октябрь 1968 г.)**



Доц. Ю.А. Бяков (1968 г.)



Доц. Н.И. Дергачёв (1968 г.)



Научные дискуссии на берегу р. Сылвы (1972 г.).

Слева направо: к.г.-м.н. В.А. Силаев, к.г.-м.н. В.М. Новоселицкий, проф. А.К. Урупов,
к.г.-м.н. С.А. Шихов, к.г.-м.н. Ф.И. Хатъянов, проф. А.К. Маловичко



Заседание ГЭК (1972 г.)

Г.М. Фролович, проф. А.К. Маловичко, проф. Б.К. Матвеев, Н.А. Игнатьев



Ноябрь 1973 г.



Члены Ученого совета геологического факультета (июль 1977 г.).

Слева направо: первый ряд – председатель профбюро доц. В.П. Золотова, проф. А.К. Маловичко, проф. Г.А. Максимович, декан доц. Л.А. Шимановский, доц. К.А. Горбунова, доц. Е.А. Кротова; второй ряд – зам. декана доц. В.И. Костицын, проф. Б.С. Лунев, проф. Б.К. Матвеев, доц. Н.И. Чернышев, доц. Н.И. Дергачёв, секретарь парторганизации доц. А.Н. Селиверстов, доц. К.В. Тиунов



Профессора Анатолий Афанасьевич Непомнящих и Александр Кириллович Маловичко (Пермь, 1978 г.)



Участники Всесоюзного совещания заведующих кафедрами геофизики (Москва, июнь 1975 г.).

Первый ряд – Сергей Иванович Шавыкин, доц., зав. каф. Карагандинского политехнического института; Александр Павлович Булмасов, проф., зав. каф. Ивано-Франковского института нефти и газа; Вячеслав Петрович Боронин, доц., зав. каф. Казанского госуниверситета; Всеволод Владимирович Федьнский, проф., зав. каф. Московского госуниверситета; Семен Самойлович Итенберг, проф., зав. каф. Грозненского института нефтяного хозяйства.

Второй ряд – Константин Александрович Савинский, проф., зав. каф. Иркутского госуниверситета; Геннадий Иванович Барулин, проф., зав. каф. Саратовского госуниверситета; Игорь Борисович Кирзнер, доц., зав. каф. Иркутского политехнического института; Альберт Карлович Аузин, доц., зав. каф. Воронежского госуниверситета; Константин Федорович Тяпкин, проф., зав. каф. Днепропетровского горного института; Анатолий Афанасьевич Непомнящих, проф., зав. каф. Казахского политехнического института.

Третий ряд – Александр Кириллович Маловичко, проф., зав. каф. Пермского госуниверситета; Георгий Кириллович Автеньев, доц., зам. зав. каф. Томского политехнического института; Санон Хамидович Хамидов, доц., зав. каф. Ташкентского политехнического университета; Генрих Иосифович Гринкевич, доц., зав. каф. Свердловского горного института; Олег Мефодиевич Ромашко, доц., зам. зав. каф. Ташкентского госуниверситета



Участники первой школы-семинара «Теория и практика интерпретации гравитационных и магнитных полей» (Пермь, ноябрь 1976 г.).
Первый ряд (сидят) – 1-я О.М. Григорьева (Москва), 2-я О.Л. Горбушина (Пермь), 3-я М.И. Лапина (Москва), 5-я К.М. Успенская (Москва), 6-й А.К. Маловичко, 7-й Е.Г. Булах (Киев), 8-я Н.Ю. Шапошникова, 9-я ...Болдырева, 10-я К.А. Кореневич (Киев), 11-я А.А. Грознова (Ленинград), 12-я Т.Б. Калинина (Ленинград).
Второй ряд – 1-й О.В. Витвицкий (Москва), 2-й А.И. Кобрунов (Ивано-Франковск), 5-й В.Г. Козленко (Киев), 6-й С.М. Оганесян (Ленинакан), 7-й М.Г. Оганесян (Ленинакан), 8-й В.Н. Страхов (Москва), 9-й В.М. Новоселицкий (Пермь), 10-й В.И. Гольдшмидт (Алма-Ата), 11-й С.С. Красовский (Киев), 12-й А.В. Черный (Киев), 13-й В.Г. Филатов (Москва), 16-й А.В. Цырульский (Свердловск), 17-й Г.А. Гейшерик (Москва), 18-й З.Н. Слепак (Казань), 19-й В.И. Аронов (Москва).
Третий ряд – 2-й А.А. Булычев, 3-й В.М. Девицын (Москва), 4-й Т.М. Бабаева (Москва), 5-й А.В. Овчаренко (Алма-Ата), 6-й Н.И. Дергачёв (Пермь), 7-й В.М. Гордин (Москва), 8-й Ю.В. Антонов (Воронеж), 16-й М.Б. Зильберштейн (Киев), 18-й Л.И. Койфман (Киев), 19-й Г.М. Валяшко (Москва)



Преподавательский состав кафедры геофизики ПГУ в 1977 г.

Первый ряд – доц. О.Л. Горбушина, проф. А.К. Маловичко, асс. Л.А. Гершанок, проф. Б.К. Матвеев. Второй ряд – доц. С.И. Лапин, доц. Р.П. Савёлов, ..., ст. препод. И.М. Скумбин, доц. Н.И. Дергачёв. Третий ряд – доц. В.И. Костицын, инж. В.В. Замеров, лаб. Н.В. Гаева, ст. препод. В.М. Шувалов, ст. науч. сотр. В.П. Колесников, ст. препод. В.А. Поносов



Встреча по случаю 15-летия выпуска 1963 г. (ноябрь 1978 г.).

Первый ряд: доц. Н.П. Старков, проф. П.С. Софроницкий, проф. А.К. Маловичко, доц. В.П. Золотова, доц. Л.С. Кузнецова, доц. В.Ф. Мягков. Второй ряд: 3-й – доц. А.С. Сунцев, 4-й – доц. В.А. Гершанок, 5-й – к.г.-м.н. Г.С. Фласс, 10-й – проф. Б.С. Лунев



Встреча через 15 лет с выпускниками геологического факультета 1965 года (1980 г.).
 Первый ряд: А.С. Вяткин, Г.В. Лебедев, преподаватели – А.К. Маловичко, П.С. Сафронич-
 кий, В.Н. Боброва, Л.С. Кузнецова, К.А. Горбушина; второй ряд: Ю.Н. Тюмин, В. Сойфер,
 Г.В. Гурьев, В.А. Силаев, Л.Д. Шадрина, Л.И. Быстрых, Г.Н. Огулова (Дублянская), Т.А. Ру-
 денко (Луговая), Т.Ю. Тяпкина, М.П. Секлецов; третий ряд: Ю.М. Кривенков, В.А. Кокаяно-
 ва, Б.А. Неклюдов, Н. Лобов, В.В. Демидов, Ю.В. Кошков; четвертый ряд: Ю.А. Ильиных,
 Л.А. Королева, В.М. Тюрин, Ю.Ф. Волков, В.А. Поносов, В.Я. Алексеев, А.И. Ивлиев

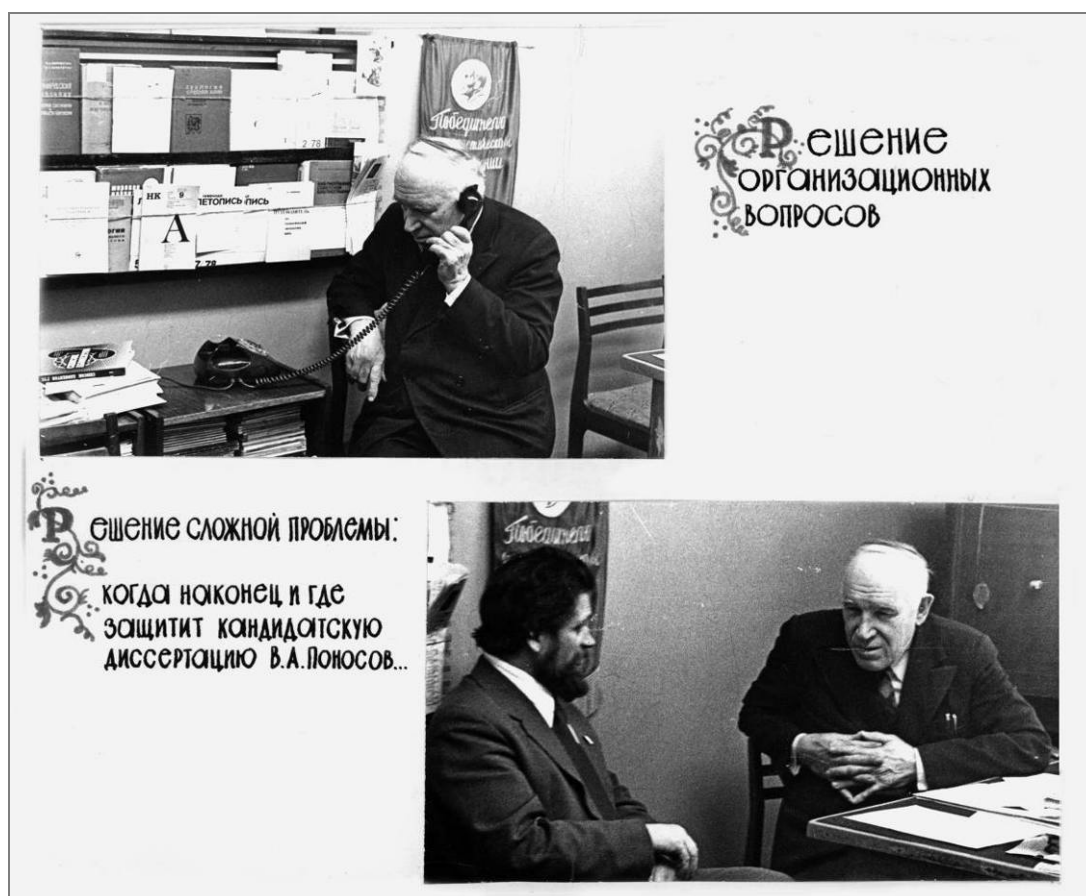


Сотрудники геологического факультета на праздничной демонстрации 1 мая 1980 г.
 Доц. Р.Г. Ибламинов, доц. Л.А. Шимановский, доц. В.П. Золотова, инж. Л.В. Поносова,
 проф. А.К. Маловичко, доц. В.А. Гершанок, доц. К.В. Тиунов, проф. Б.К. Матвеев, доц.
 Ю.В. Архидьяконских, доц. В.А. Шерстнев, доц. Б.А. Спасский, доц. В.И. Костицын



Группа 53-54. 29 декабря 1980 г.

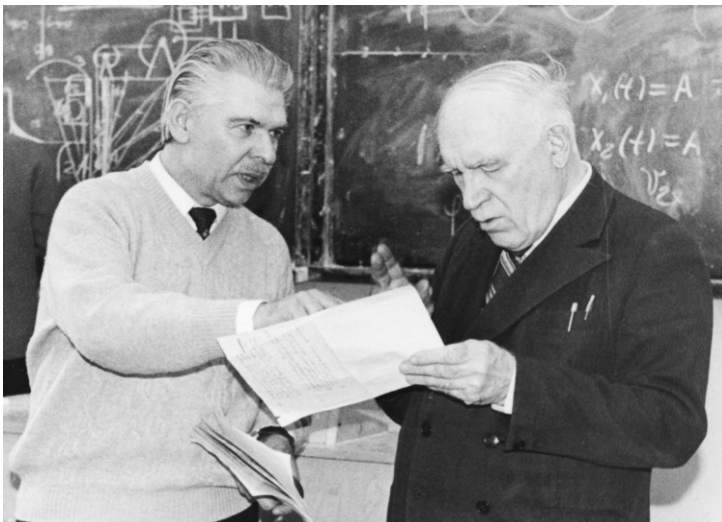
Доц. Р.П. Савёлов, профессор А.К. Маловичко и доц. В.П. Колесников со студентами



Страница из альбома к 70-летнему юбилею А.К. Маловичко (1981 г.)

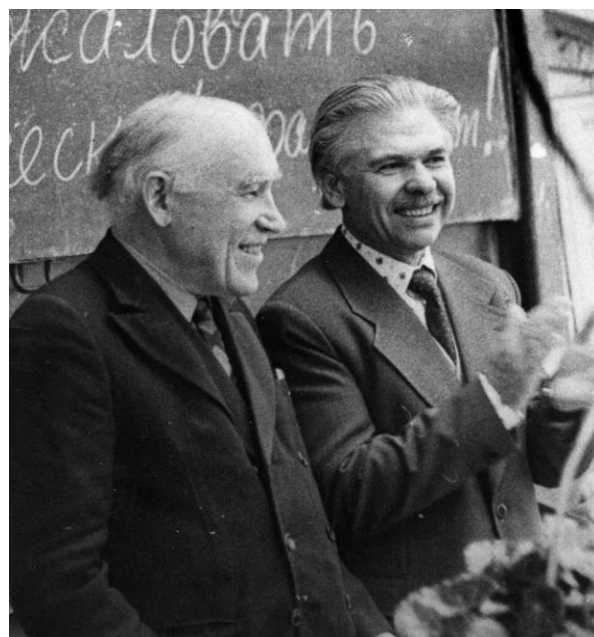


**Два «классика» гравиметрии.
Профессор А.К. Маловичко и профессор В.Н. Страхов. Пермь, ноябрь 1980 г.**

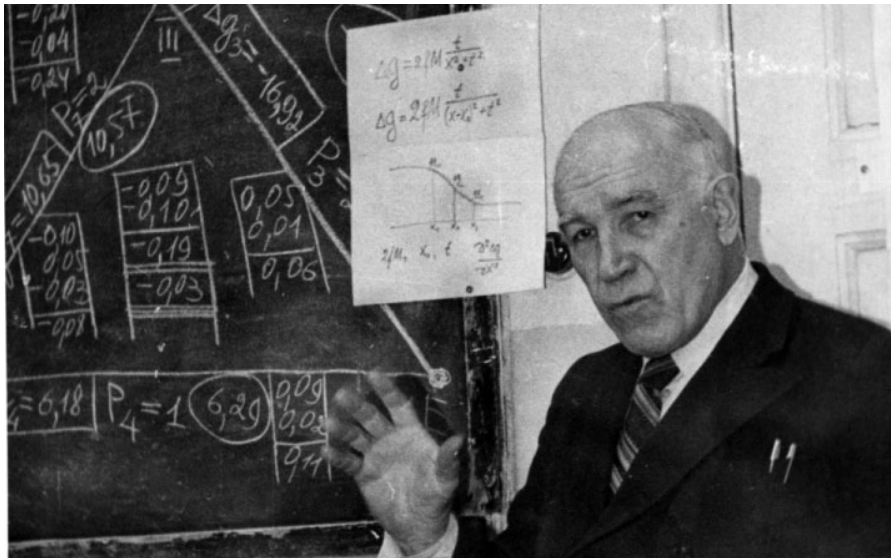


1980 г.

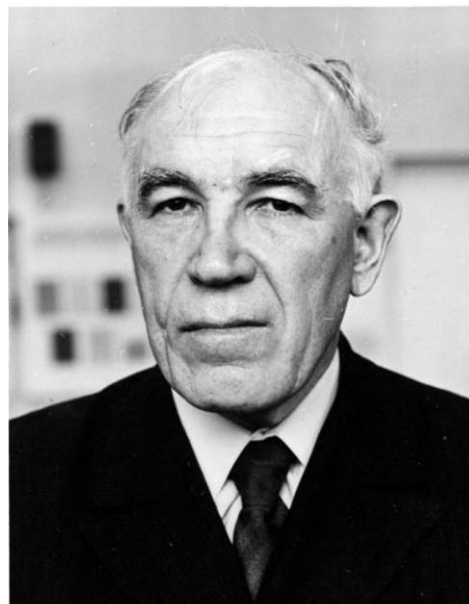
**40 лет вместе.
Профессор А.К. Маловичко
и профессор Б.К. Матвеев**



Декабрь 1981 г.



Профессор А.К. Маловичко. Лекция по гравиразведке в ауд. 606 (декабрь 1984 г.)



1985 г.



Профессор С.А. Шихов и профессор А.К. Маловичко (1986 г.)



75 лет А.К. Маловичко. Декабрь 1986 г.

Обсуждение научных проблем на кафедре геофизики ПГУ.

Слева направо: проф. С.А. Шихов, проф. В.М. Новоселицкий, проф. А.К. Маловичко, к.г.-м.н. Л.К. Орлов, доц. В.И. Костицын, доц. Р.П. Савёлов



Доц. Ю.А. Бяков, доц. Р.П. Савёлов, проф. А.К. Маловичко (август 1987 г.)



Профессорско-преподавательский состав кафедры геофизики ПГУ в 1995 г.

Первый ряд: проф. Б.А. Спасский, доц. В.А. Гершанок, доц. Н.И. Дергачёв, доц. О.Л. Горбушина, проф. А.К. Маловичко, доц. Л.А. Гершанок, проф. Б.К. Матвеев. Второй ряд: инж. Т.В. Ахременко, асс. И.Ю. Митюнина, проф. Р.П. Савёлов, проф. В.И. Костицын, к.г.-м. н. Л.П. Неволин, доц. С.И. Лапин, доц. С.В. Горожанцев. Третий ряд: инж. В.А. Лунгер, лаб. Н.В. Гаева, асп. А.Ю. Бяков, лаб. Е. Шестакова, лаб. Т. Иванова, доц. В.А. Поносов



**Участники Второй Всероссийской конференции «Геофизика и математика»,
посвященной 90-летию со дня рождения А.К. Маловичко. Декабрь 2001 г.**

Сидят: проф. О.Л. Горбушина, д.ф.-м.н. П.С. Мартышко, д.т.н. А.А. Маловичко, чл.-корр. РАН В.В. Васин, акад. В.Н. Страхов, акад. С.В. Гольдин, д.ф.-м.н. Е.Г. Булах, д.ф.-м.н. С.С. Красовский.

Стоят: к.г.-м.н. С.В. Горожанцев, к.т.н. Т.С. Блинова, к.г.-м.н. И.Ю. Митюнина, к.г.-м.н. Г.П. Щербинина, Ю.В. Чудинов, С.Ю. Назаров, д.т.н. М.С. Чадаев, проф. В.И. Костицын, к.г.-м.н. О.В. Витвицкий, к.г.-м.н. В.М. Шувалов, д.т.н. В.П. Колесников, к.т.н. И.В. Геник, проф. Б.К. Матвеев, проф. В.А. Гершанок, Б.В. Дроздов, д.ф.-м.н. А.С. Долгаль, проф. Б.А. Спасский, А.А. Дучков, проф. В.А. Силаев, к.т.н. Ю.П. Ипатов



Октябрь 2009 г.
Открытие мемориальной доски А.К. Маловичко
на геологическом факультете Пермского государственного университета



**Церемония открытия мемориальной доски А.К. Маловичко
Выступления члена-корреспондента РАН Алексея Александровича Маловичко
и профессора Степана Александровича Шихова**



СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Антипина Елена Сергеевна

инженер-геофизик 1 кат.
ООО «ПИТЦ “Геофизика”»,
г. Пермь
ant_elena@bk.ru

Балк Петр Исаакович

д-р физ.-мат. наук,
г. Берлин, Германия
tatianabalk@mail.ru

Балуева Наталья Юрьевна

соискатель каф. геофизики
Пермского государственного
национального исследовательского
университета, г. Пермь
suslik0508@mail.ru

Белевская Мария Александровна

мл. науч. сотр.
сектора СМ Уральского региона
Геофизической службы РАН,
г. Пермь
mba2@mail.ru

Березнев Виктор Акимович

канд. геол.-мин. наук, декан
Пермской государственной
сельскохозяйственной академии,
г. Пермь
viktorbereznev@yandex.ru

Блох Юрий Исаевич

д-р физ.-мат. наук, профессор
Российского государственного
геологоразведочного университета,
г. Москва
yuri_blokh@mail.ru

Богомолова Надежда Александровна

вед. геофизик
ОАО «Пермнефтегеофизика»,
г. Пермь
chudinov_j@pngf.com

Бондаренко Вячеслав Иларионович

канд. геол.-мин. наук, доцент
Костромского государственного
университета им. Н.А. Некрасова,
г. Кострома
vbond@list.ru

Булатова Ирина Владимировна

вед. геофизик
ОАО «Хантымансийскгеофизика»,
г. Ханты-Мансийск
map--@mail.ru

Бычков Сергей Габриэльевич

д-р геол.-мин. наук, зав. лаб.
Горного института УрО РАН,
г. Пермь
bsg@mi-perm.ru

Бутырин Павел Генрихович

мл. науч. сотр.
Горного института УрО РАН,
г. Пермь
pbg2000@mail.ru

Бяков Андрей Алексеевич

студент Кубанского государственного
университета, г. Краснодар
alex@gelendzhik.ws

Бяков Алексей Юрьевич

канд. техн. наук, ст. науч. сотр.
Геофизической службы РАН,
г. Геленджик
alex@gelendzhik.ws

Бяков Юрий Алексеевич

канд. геол.-мин. наук, доцент,
засл. геолог России, академик РАЕН,
гл. науч. сотр. ГИЦ «Южморгеология»,
г. Геленджик
alex@gelendzhik.ws

Варлашова Юлия Викторовна

мл. науч. сотр.
Горного института УрО РАН,
г. Пермь
ivanova@mi-perm.ru

Верхоланцев Филипп Геннадьевич

мл. науч. сотр.
сектора СМ Уральского региона
Геофизической службы РАН,
г. Пермь
sombra@mail.ru

Виноградов Владислав Борисович

канд. геол.-мин. наук, доцент
Уральского государственного
горного университета,
г. Екатеринбург
Vladislav.Vinogradov@m.ursmu.ru

Гершанок Валентин Александрович

д-р техн. наук, профессор
Пермского государственного
национального исследовательского
университета, г. Пермь
geophysic@psu.ru

Гершанок Лариса Алексеевна
канд. геол.-мин. наук, профессор
Пермского государственного
национального исследовательского
университета, г. Пермь
larager2008@yandex.ru

Глушков Денис Васильевич
инженер 1 кат., аспирант
Института нефти и газа С(А)ФУ,
г. Архангельск
nvdg@mail.ru

Голубева Инга Викторовна
науч. сотр., рук. сект.
СМ Уральского региона
Геофизической службы РАН,
г. Пермь
Gol@hotmail.ru

Горбачев Валерий Иванович
канд. геол.-мин. наук, ген. директор
ОАО «НПЦ «Недра»,
г. Ярославль
geol@nedra.ru

Горбушина Ольга Леонидовна

д-р геол.-мин. наук,
до 2009 г. профессор Пермского
государственного национального
исследовательского университета;
с 2009 г. гл. науч. сотр.
Геофизической службы РАН,
г. Пермь

Горожанцев Андрей Владимирович
канд. геол.-мин. наук, доцент
Пермского государственного
национального исследовательского
университета, г. Пермь
gav@psu.ru

Горожанцев Сергей Владимирович
канд. геол.-мин. наук, зам. директора
Геофизической службы РАН,
г. Обнинск
sgog@gsras.ru

Губайдуллин Марсель Григорьевич
д-р геол.-мин. наук, профессор,
засл. геолог России, директор
Института нефти и газа С(А)ФУ,
г. Архангельск
m.gubaidulin@agtu.ru

Дергачёв Николай Иванович
канд. геол.-мин. наук, доцент
Пермского государственного
национального исследовательского
университета, г. Пермь
geophysic@psu.ru

Долгаль Александр Сергеевич
д-р физ.-мат. наук, гл. науч. сотр.
Горного института УрО РАН,
г. Пермь
dolgal@mi-perm.ru

Дягилев Руслан Андреевич
канд. физ.-мат. наук, зав. лаб.
Горного института УрО РАН,
г. Пермь
dr@mi-perm.ru

Ибламинов Рустем Гильбрахманович
д-р геол.-мин. наук, зав. каф.
Пермского государственного
национального исследовательского
университета, г. Пермь
riaminov@psu.ru

Казанцев Владислав Алексеевич
соискатель каф. геофизики
Пермского государственного
национального исследовательского
университета, г. Пермь
geophysic@psu.ru

Каратаев Герман Иванович
д-р геол.-мин. наук, профессор,
гл. науч. сотр. Института
природопользования
НАН Беларуси, г. Минск
german@igig.org.by

Кичигин Александр Валерьевич
инженер, аспирант
Горного института УрО РАН,
г. Пермь

Коровко Лариса Николаевна
геофизик
ОАО «Пермнефтегеофизика»,
г. Пермь
chudinov_j@pngf.com

Костин Николай Георгиевич
инженер 1 кат., аспирант
Института нефти и газа С(А)ФУ,
г. Архангельск
nik-kostin@mail.ru

Костицын Владимир Ильич
д-р техн. наук, профессор,
засл. работник высшей школы РФ,
зав. каф. геофизики
Пермского государственного
национального исследовательского
университета, г. Пермь
kostitsyn@psu.ru

Кошечкина Екатерина Валерьевна

аспирант Уральского
государственного горного
университета, г. Екатеринбург
Vladislav.Vinogradov@m.ursmu.ru

Кубарев Владимир Григорьевич

аспирант, техник-интерпретатор
ООО «ПИТЦ “Геофизика”»,
г. Пермь
kubarev_vova@inbox.ru

Курганская Наталья Ивановна

вед. геофизик
ОАО «Хантымансийскгеофизика»,
г. Ханты-Мансийск
nataly.kurganska@mail.ru

Лебедев Генрих Васильевич

доцент
Пермского государственного
национального исследовательского
университета, г. Пермь
mineral@psu.ru

Малиновский Андрей Константинович

геофизик II кат.
ОАО «Пермнефтегеофизика»,
г. Пермь
malin@pngf.com

Маловичко Алексей Александрович

член-корреспондент РАН, директор
Геофизической службы РАН,
г. Обнинск
amal@gstras.ru

Маловичко Дмитрий Алексеевич

канд. физ.-мат. наук, вед. сейсмолог
Института шахтной сейсмологии,
г. Хобарт, Австралия
Dmitriy.Malovichko@IMSeismology.org

Мендецкий Александр Жерзи

PhD, научный руководитель
Института шахтной сейсмологии
г. Хобарт, Австралия
Aleksander.Mendecki@IMSeismology.org

Митюнина Ирина Юрьевна

канд. геол.-мин. наук, доцент
Пермского государственного
национального исследовательского
университета, г. Пермь
geophys@psu.ru

Мичурин Антон Владимирович

мл. науч. сотр.
Горного института УрО РАН,
г. Пермь
ami.perm@mail.ru

Наумов Сергей Борисович

ст. науч. сотр.
Геофизической службы РАН,
г. Владивосток
revtrud@yandex.ru

Некрасов Алексей Николаевич

вед. геофизик
ОАО «Пермнефтегеофизика»;
ассистент Пермского
государственного национального
исследовательского университета,
г. Пермь
nekrasov@pngf.com

Нечаева Надежда Антоновна

ст. науч. сотр. ГП ХМАО-Югры
«Научно-аналитический центр
рационального недропользования
им. В.И. Шпильмана»,
г. Ханты-Мансийск
NechaevaNA@nacrn.hmao.ru

Никифоров Вячеслав Вячеславович

инженер
Горного института УрО РАН,
г. Пермь
Nikiforss@mail.ru

Новикова Полина Николаевна

мл. науч. сотр.
Горного института УрО РАН,
г. Пермь
polina@mi-perm.ru

Паздникова Марина Аркадьевна

нач. отдела
ОАО «Хантымансийскгеофизика»,
г. Ханты-Мансийск
map--@mail.ru

Попов Виктор Михайлович

гл. геолог
ОАО «Удмуртгеофизика»,
г. Ижевск
pvm955@mail.ru

Попова Людмила Михайловна

гл. геофизик Пермского филиала
ОАО «Удмуртгеофизика»,
г. Пермь
lmp55@ugfperm.ru

Простолупов Геннадий Валерьевич

канд. техн. наук, ст. науч. сотр.
Горного института УрО РАН,
г. Пермь
gravik2@rambler.ru

Пятунин Михаил Сергеевич

инженер-исследователь
Геофизической службы РАН,
г. Пермь
mishkas30@yandex.ru

Рашидов Владимир Александрович

канд. тех. наук, ст. науч. сотр.
Института вулканологии
и сейсмологии ДВО РАН,
г. Петропавловск-Камчатский
rashidva@kscnet.ru

Сальникова Ольга Леонидовна

гл. геолог Пермского региона
Центра обработки и интерпретации
ОАО «Пермнефтегеофизика»,
г. Пермь
salnikovaol@pngf.com

Санфиоров Игорь Александрович

д-р техн. наук, зам. директора
Горного института УрО РАН,
г. Пермь
sanf@mi-perm.ru

Сенин Борис Васильевич

д-р геол.-мин. наук, ген. директор
ОАО «Союзморгео»,
г. Геленджик
smg@soyuzmorgeo.ru

Серова Милитина Ивановна

пенсионер, ветеран
ОАО «Пермнефтегеофизика»,
г. Пермь
дом. тел. 8(342) 224-54-60

Силаев Валерий Аркадьевич

д-р техн. наук, ген. директор
ЗАО «Институт РОСТЭК»,
г. Пермь
inros@perm.raid.ru

Симанов Алексей Аркадьевич

мл. науч. сотр.
Горного института УрО РАН,
г. Пермь
simanov@mi-perm.ru

Сиротенко Леонид Васильевич

канд. геол.-мин. наук, зав. отделом
ОАО КамНИИКИГС
г. Пермь
siroil@yandex.ru

Спасский Борис Алексеевич

д-р геол.-мин. наук, профессор
Пермского государственного
национального исследовательского
университета, г. Пермь
geophys@psu.ru

Степанов Юрий Иванович

канд. геол.-мин. наук, уч. секретарь
Горного института УрО РАН,
г. Пермь
stepanov@mi-perm.ru

Стомпелев Игорь Евгеньевич

инженер ОАО «НПЦ «Недра»,
г. Ярославль
geol@nedra.ru

Страхов Владимир Николаевич

академик РАН, гл. науч. сотр.
Института динамики геосфер РАН,
г. Москва

Тайницкий Александр Александрович

аспирант, инженер
Горного института УрО РАН,
г. Пермь
tainickiy@mail.ru

Тарантин Михаил Викторович

канд. техн. наук, науч. сотр.
Горного института УрО РАН,
г. Пермь
gptmv@mi-perm.ru

Тарханов Георгий Виленович

канд. геол.-мин. наук, зам. ген. директора
ОАО «НПЦ «Недра»,
г. Ярославль
geol@nedra.ru

Тимошенко Ирина Анатольевна

геолог
ОАО «Пермнефтегеофизика»,
г. Пермь
chudinov_j@pngf.com

Трусов Алексей Андреевич

канд. техн. наук, геофизик
ГНПП «Аэрогеофизика»,
г. Москва
trusov@aerogeo.ru

Улачина Эркелей Сергеевна

студентка
Национального исследовательского
Томского политехнического университета,
г. Томск
ulachina.erkelei@mail.ru

Устинова Вера Николаевна

д-р геол.-мин. наук, профессор
Национального исследовательского
Томского политехнического университета,
г. Томск
ustinovavn@tpu.ru

Устьянцев Виктор Леонидович

директор Морского филиала
НПП «Росгеолфонд»,
г. Геленджик
rfgf@marine.rfgf.ru

Фоменко Владимир Александрович

канд. техн. наук, нач. отд.
ГНЦ «Южморгеология»,
г. Геленджик
fomenko@ymg.ru

Христенко Людмила Анатольевна
канд. геол.-мин. наук, науч. сотр.
Горного института УрО РАН,
г. Пермь
igeon@psu.ru

Худякова Татьяна Павловна
инженер-исследователь
Северного (Арктического) федерального
университета им. М.В. Ломоносова,
г. Архангельск
thng@agtu.r

Цветков Геннадий Александрович
д-р техн. наук, профессор
Пермского государственного
национального исследовательского
университета,
г. Пермь
bg@pstu.ru

Чадаев Михаил Сергеевич
д-р техн. наук, вед. науч. сотр.
Горного института УрО РАН,
г. Пермь
chadayev@mi-Perm.ru

Чудинов Юрий Викторович
вед. геофизик
ОАО «Пермнефтегеофизика»,
г. Пермь
chudinov_j@pngf.com

Шархимуллин Артур Фагитович
аспирант
Пермского государственного
национального исследовательского
университета, г. Пермь
art-perm@mail.ru

Шихов Степан Александрович
д-р геол.-мин. наук, профессор
Пермского государственного
национального исследовательского
университета, г. Пермь

Шкабарня Григорий Николаевич
канд. техн. наук,
Институт горного дела ДВО РАН,
г. Хабаровск
shkabarnya@mail.ru

Шкабарня Николай Григорьевич
д-р техн. наук, зав. лаб.
Института горного дела ДВО РАН,
г. Хабаровск
shkabarnya@mail.ru

Шляпников Александр Иванович
гл. геофизик
ОАО «Пермнефтегеофизика»,
г. Пермь
chudinov_j@pngf.com

Шляховский Владимир Арнольдович
канд. геол.-мин. наук, рук. геоф. центра
ООО «НПФ ЛАНЕФ»,
г. Казань
seismo@tatais.ru

Шувалов Виктор Михайлович
канд. геол.-мин. наук, доцент
Пермского государственного
национального исследовательского
университета, г. Пермь
shvm41@yandex.ru

Шулаков Денис Юрьевич
мл. науч. сотр.
Горного института УрО РАН,
г. Пермь
shulakov@mi-perm.ru

Щербак Владимир Петрович
вед. геолог
ОАО «Удмуртгеофизика»,
г. Ижевск
vpscherbak@yandex.ru

Ярославцев Александр Геннадьевич
канд. техн. наук, зав. сект.
Горного института УрО РАН,
г. Пермь
asa_gis@mi-perm.ru

СОДЕРЖАНИЕ

А.А. Маловичко, В.И. Костицын. К 100-летию со дня рождения известного российского геофизика Александра Кирилловича Маловичко.....	3
В.И. Костицын. Кафедра геофизики Пермского государственного университета в датах и цифрах	12
Список научных трудов профессора А.К. Маловичко	20
<i>РАЗВИТИЕ НАУЧНЫХ ИДЕЙ А.К. МАЛОВИЧКО В СОВРЕМЕННОЙ ГЕОФИЗИКЕ</i>	
С.Г. Бычков. Детальная гравirazведка: от А.К. Маловичко до наших дней.....	31
А.А. Маловичко. Система сейсмологического мониторинга в России: состояние, развитие и новые возможности.....	36
В.И. Костицын. Основные принципы и результаты успешного развития пермской научной школы геофизиков	54
Е.С. Антипина. Анализ эффективности методов определения текущей насыщенности через обсадную колонну для месторождений Пермского Прикамья	63
П.И. Балк, А.С. Долгаль, А.Ф. Шархимуллин. Оптимальность результатов количественной интерпретации данных гравirazведки.....	66
П.И. Балк, Л.А. Христенко. Совместная оценка физических и геометрических параметров объектов по результатам измерений геопотенциальных полей	71
В.А. Березнев, И.А. Санфиоров, В.В. Никифоров, А.Г. Ярославцев. Инженерно-геологическое подтверждение геофизических аномалий.....	76
Ю.И. Блох, В.И. Бондаренко, А.С. Долгаль, П.Н. Новикова, В.А. Рашидов, А.А. Трусов. Интеграция вузовской, академической и отраслевой науки организаций Москвы, Костромы, Перми и Петропавловска-Камчатского при геофизическом изучении подводных вулканов Курильской островной дуги.....	78
А.Ю. Бяков, А.А. Бяков, М.С. Пятунин. Геофизические исследования дольменов Кавказа.....	84
Ю.А. Бяков, А.Ю. Бяков, Б.В. Сенин, В.Л. Устьянцев, В.А. Фоменко. О глубинной природе сейсмичности юго-восточной части Азово-Черноморского региона.....	88
Ю.В. Варлашова, П.Г. Бутырин. Изменения уровня микросейсмического шума с глубиной (на примере г. Березники, Пермский край).....	92
В.Б. Виноградов, Е.В. Кошечева. Магнитные модели рудных месторождений разных типов	95
В.А. Гершанок, Н.И. Дергачёв. К реализации идей А.К. Маловичко по математической подготовке студентов-геофизиков.....	99
Л.А. Гершанок. Изобретение А.К. Маловичко «Способ измерения приращений магнитного поля» в разработках современных отечественных и зарубежных магнитометров.....	102
И.В. Голубева, Ф.Г. Верховланцев, М.А. Белевская. Природная и техногенная сейсмичность Уральского региона в 2010 году.....	106
С.В. Горожанцев, С.Б. Наумов. Особенности высокоточных гравиметрических измерений в периоды сильных землетрясений	111
М.Г. Губайдуллин, Т.П. Худякова. Инновационная подготовка кадров для решения задач по освоению нефтегазовых ресурсов Арктической зоны России.....	116
М.Г. Губайдуллин, Н.Г. Костин, Д.В. Глушков. Использование международного каталога горных пород в целях улучшения оценки характеристик коллекторов нефти и газа.....	120

Р.А. Дягилев. Факторы сейсмической опасности в горнодобывающих регионах.....	124
Р.Г. Ибламинов. Основные правила и принципы комплексирования геофизических методов	129
А.В. Кичигин, Ю.И. Степанов, А.В. Горожанцев. Выделение зон просевших грунтов под бетонным полом методом георадиолокации	134
В.Г. Кубарев. Комплексная интерпретация данных ГИС и определение петрофизических свойств пластов-коллекторов для месторождения «Кумколь» (Казахстан).....	137
А.К. Малиновский, А.Н. Некрасов. Повышение информативности при интерпретации данных двухзондовых приборов каротажа	141
А.Ж. Мендецки, Д.А. Маловичко. Мониторинг сейсмического отклика массивов горных пород на разработку	146
А.В. Мичурин. Новый подход к решению линейных обратных задач гравиразведки и магниторазведки.....	167
М.А. Паздникова, И.В. Булатова, Н.И. Курганская, Н.А. Нечаева. Анализ эффективности методов определения инновации в переобработке и переинтерпретации большого массива архивных сейсмических данных в Западной Сибири	171
В.М. Попов, Л.М. Попова, В.П. Щербак. Эрозионные врезы	176
Г.В. Простолупов, М.В. Тарантин. Новые возможности полного градиента потенциала поля при решении обратных задач	181
О.Л. Сальникова. Решение задачи по определению источников поступления воды в горизонтальных скважинах Пермского края	185
Л.В. Сиротенко, В.И. Горбачев, Г.В. Тарханов, И.Е. Стомпелев. Ядерно-магнитные исследования разрезов глубоких параметрических и сверхглубоких скважин	191
Б.А. Спасский, И.Ю. Митюнина. Технология прогнозирования свойств пород на основе временных полей первых волн	195
А.А. Тайницкий, Ю.И. Степанов, А.В. Горожанцев. Особенности аудиомагнитотеллурического зондирования с контролируемым источником	199
В.Н. Устинова, Э.С. Улачина. Физико-геологические модели сложнопостроенных коллекторов Первомайского месторождения	203
Г.А. Цветков, Н.Ю. Балужева. Развитие системы метрологического обеспечения геофизических исследований нефтегазовых скважин	208
М.С. Чадаев, В.А. Гершанок, Р.Г. Ибламинов, Г.В. Лебедев, Г.В. Простолупов, А.А. Симанов, Л.А. Гершанок, М.В. Тарантин, А.В. Мичурин. К анализу магнитного и гравитационного полей в связи с проявлениями рудных и нерудных полезных ископаемых на западе Пермского края	212
Ю.В. Чудинов, Н.А. Богомолова, И.А. Тимошенко, Л.Н. Коровко, А.И. Шляпников. Развитие метода НВСП в ОАО «Пермнефтегеофизика».....	216
С.А. Шихов, В.А. Казанцев. Нормирование гравитационных аномалий при аналитическом продолжении значений силы тяжести	220
Н.Г. Шкабарня, Г.Н. Шкабарня. Возможности методов сопротивлений и вызванной поляризации при изучении сложнопостроенных сред	225
В.А. Шляховский. Методика гравитационного моделирования неоднородностей литосферы.....	230
Д.Ю. Шулаков. Способ расчета карт плотности выделения сейсмической энергии на рудниках Верхнекамского месторождения калийных солей	235

*НАГРАДЫ ПЕРМСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ МЕЖРЕГИОНАЛЬНОЙ ОБЩЕСТВЕННОЙ
ОРГАНИЗАЦИИ ЕВРО-АЗИАТСКОЕ ГЕОФИЗИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО*

Положение о наградах Пермского отделения Межрегиональной
общественной организации Евро-Азиатское геофизическое общество.....241

*ТОРЖЕСТВЕННОЕ ЗАСЕДАНИЕ, ПОСВЯЩЕННОЕ 100-ЛЕТИЮ
СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ АЛЕКСАНДРА КИРИЛЛОВИЧА МАЛОВИЧКО*.....249

*ВОСПОМИНАНИЯ КОЛЛЕГ И УЧЕНИКОВ
ПРОФЕССОРА А.К. МАЛОВИЧКО*

В.Н. Страхов. Жизнь, отданная науке259

Ю.А. Бяков. Незабываемое время, забываемые встречи.....262

О.Л. Горбушина. Эпизоды из жизни кафедры геофизики.....271

Г.И. Каратаев. Профессор А.К. Маловичко любил свою науку276

М.И. Серова. Воспоминания об Александре Кирилловиче Маловичко (с 1958 г.)278

В.А. Силаев. Мое геофизическое благополучие определил А.К. Маловичко280

Н.Г. Шкабарня. Памятная встреча с А.К. Маловичко283

В.М. Шувалов. К 100-летию юбилею Александра Кирилловича Маловичко284

*ЭТАПЫ ЖИЗНЕННОГО ПУТИ А.К. МАЛОВИЧКО
В ФОТОГРАФИЯХ*.....289

Сведения об авторах309

Научное издание

**ВОПРОСЫ ОБРАБОТКИ И ИНТЕРПРЕТАЦИИ
ГЕОФИЗИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ**

Материалы научно-практической конференции, посвященной
100-летию со дня рождения Александра Кирилловича Маловичко

Технический редактор, компьютерная верстка: С.Г. Пойгина

Подписано в печать 1.06.2012 г.
Формат 60×90/8. Усл. печ. л. 39,5. Тираж 250 экз.

Отпечатано ООО «Альпринт»
249030, Калужская обл., г. Обнинск, пр. Маркса, д. 14
Тел./факс 8 (48439) 4-47-77. E-mail alp@yandex.com



ISBN 978-5-903258-22-2



9 785903 258222