изколозиности и отранители и отраните Посто и отранители и отр

ОСНОВАН В 1931 ГОДУ

- 2008

С Новым годом!

70-летию геологического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова посвящается!

Дорогие читатели!

Настоящий тематический сборник статей по малоглубинной геофизике подготовлен по материалам докладов III Международной научно-практической конференции "Инженерная и рудная геофизика", состоявшейся в Геленджике в апреле 2007 года. Тематика статей связана с широким спектром актуальных задач по инженерной геологии, геокриологии, археологии и рудной геофизике, успешно решаемых научной школой инженерной геофизики геологического факультета МГУ, которая также празднует свой 60-летний юбилей. Авторами статей являются преподаватели, выпускники и деловые партнеры отделения геофизики факультета.

Первое поколение учеников - пионеров инженерной геофизики, было подготовлено великими учеными геологического факультета МГУ: А.И. Заборовским, Б.Н. Достоваловым, А.А. Огильви. Созданная ими научная школа является в настоящий момент одной из ведущих в стране. Ими были разработаны теория и технология инновационного внедрения геофизических методов в десятках районов СССР по таким направлениям, как: изучение оползней и карста (с 1949 г.), обводненности шахт (с 1950 г.) и тоннелей (с 1959 г.), изучение подземных вод для водоснабжения (с 1961 г.), изучение объектов гидротехнического строительства (с 1964 г.). Начало 60-х годов ознаменовалось развитием георадиолокации, непрерывного сейсмического профилирования на акваториях с электроискровыми датчиками под руководством А.А. Калинина, инженерно-геологическими изысканиями под строительство в районах распространения мерзлых пород.

За эти годы сотрудниками и преподавателями проделана огромная работа по подготовке научных кадров по специализации "Инженерная геофизика", которая была открыта в 1977 г. Многочисленными учениками нового и системы интерпретации геофизических материалов, новая технология многоканальных и томографических съемок, новые научные направления: техническая, археологическая, почвенная и экологическая геофизика.

Признанием успехов этой научной школы МГУ является тот факт, что местом пребывания, правления Научного совета по инженерной гидрогеологической и экологической геофизике Ученого совета по Физике Земли РАН РФ (с 1993 г.) является отделение геофизики геологического факультета МГУ.

....

..... tert tert till

111

От имени Научного совета и отделения геофизики Геологического факультета горячо и сердечно поздравляю Вас с новым 2008 годом! Удачи Вам и благополучия!

Председатель Научного совета, зав. отделением

В.К. Хмелевской

От имени ОРГКОМИТЕТА и Европейской Ассоциации Геоученых и Инженеров (EAGE) приглашаем Вас стать участником международной конференции и выставки "ИНЖЕНЕРНАЯ И РУДНАЯ ГЕОФИЗИКА - 2008".

> До новых творческих встреч в Новом году ! геофизики геологического факультета МГУ Л.А. Золотая



1 ♦ январь ♦ 2008

Основан в июле 1931 года

Ежемесячный научно-технический журнал

Учредители: Министерство природных ресурсов РФ, Российское геологическое общество

Главный редактор В.Н. Бавлов

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Е.М. Аксенов, В.А. Алискеров, С.С. Вартанян, А.П. Дорогутин (зам. гл. редактора), В.А. Ерхов, А.К. Корсаков, А.А. Кременецкий, В.С. Круподеров, М.И. Логвинов, Г.А. Машковцев (зам. гл. редактора), Н.В. Межеловский, Н.В. Милетенко, И.М. Мирчинк, О.С. Монастырных, А.Ф. Морозов, И.Г. Печенкин, А.А. Рогожин, П.В. Садовник, Н.В. Соловьев, Е.Г. Фаррахов, А.Д. Федин, С.И. Федоров, Л.Е. Чесалов

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

Л.Г. Грабчак, В.В. Караганов, А.К. Климов, А.М. Коломиец, Э.А. Кравчук, О.Л. Кузнецов, В.Б. Мазур (председатель), И.Ф. Мигачев, О.В. Петров, Ю.А. Подтуркин, Б.Н. Хахаев, Т.К. Янбухтин

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

119017, Москва, Старомонетный пер., 31 тел.: (495) 950-30-25, тел./факс (495) 238-15-67

СОДЕРЖАНИЕ

Бучарский Б.В., Бессонов А.Д., Соколова И.П., Зверев Е.О., Овчинни-	
ков В.И. Георадиолокация при комплексных геофизических исследова-	
ниях ВЧР Бованенковского НГКМ	3
Волынин А.Ф. Геофизическое обследование грунтов на участках подзем-	
ных сооружений и коммуникаций водоканала «Санкт-Петербург»	4
Куликов В.А., Яковлев А.Г. Применение новой аппаратуры ООО «Севе-	
ро-Запад» при гидрогеологических и инженерных электроразведочных	
работах	8
Куликов В.А., Храпов А.В., Яковлев А.Г., Блинова М.Е. Результаты ком-	
плексных геофизических работ при поисках сульфидных руд на Север-	
ном Тимане	10
Пустозеров М.Г. Современные геофизические технологии при золото-	
поисковых работах в ЗАО «ПОЛЮС»	11
Владов М.Л., Вознесенский Е.А., Старовойтов А.В., Бершов А.В., Сама-	
рин Е.Н., Калашников А.Ю., Степанов П.Ю., Ермаков А.П., Ошкин А.Н.	
Изучение карстовой и суффозионной опасностей вдоль линейных со-	
оружений на основании комплекса геофизических и инженерно-геоло-	
гических исследований	16
Капустин В.В., Строчков Ю.А. Некоторые особенности обработки гео-	~~
радарных данных при исследованиях строительных конструкций	22
Капустин В.В., Ушаков А.Л., Бакайкин Д.В. Применение акустических	25
методов для ооследования строительных конструкции	25
Великин С.А. Вопросы применения георадиолокации в криолитозоне на	20
примере изучения состояния инженерных сооружении	28
Калинина А.В., Аммосов С.М., Волков В.А. Сейсмический шум: опыт	22
применения в инженерно-теофизических исследованиях	32
таинанов Б.1., токарев М.Ю, зверев А.С., госляков А.Д. МНОгоканаль-	
ное сенсмоакустическое профилирование на разных частотных диапа-	25
зонах, реальные возможности Лудинк A В Влидние излушаемой мощности на рлубину зонливорания в	55
дудник А.Б. Блияние излучаемой мощности на глубину зондирования в	38
Монахов В В Оринициков В И Науменко Л А Широбоков М П При-	50
менение многоволновой сейсморазвелки для изучения четвертичных	
отложений Имеретинской низменности	40
Бобачев А.А., Молин И.Н. Электротомография со стандартными элект-	
роразвелочными комплексами	43
ГЕОЛОГИЯ И МЕТОЛИКА ПОИСКОВ И РАЗВЕЛКИ МЕСТОРОЖ-	
ЛЕНИЙ	
Карпузов А.А. Особенности строения и состав расслоенных интрузий	
Ганальского хребта в связи с перспективой их рудоносности	47
УПРАВЛЕНИЕ И ЭКОНОМИКА	
Разумовский Д.О., Ширшов С.А. Организация финансирования за счет	
средств федерального бюджета расходов на выполнение работ по геоло-	
гическому изучению недр и воспроизводству МСБ	54
ХРОНИКА	
К 100-летию Екатерины Павловны Чуйкиной	58
На первой странице — Заполярье.	

© Фотограф В.В. Коротков, 2008



-	Iontentis	
	Boucharsky B.V., Bessonov A.D., Sokolova I.P., Zverev E.O., Ovchinnikov V.I. Georadar survey as	
	a part of integrated geophysical investigations of the upper part of the section of the Bovanenkovsky oil and gas condensate field	3
	Volynin A.F. Geophysical investigation of soil on the areas of buried structures and communications of	Ũ
	vodokanal «Saint Petersbourg»	4
	hydrogeological and geotechnical electical measurements	8
	Kulikov V.A., Hrapov A.V., Jkovlev A.G., Blinova M.E. Results of integrated geophysical survey during	
	Pustozerov M.G. Modern geophysical technique applied during gold-prospecting at CJSC «Polus»	10 11
	Vladov M.L., Voznesenskiy E.A., Starovoytov A.V., Bershov A.V., Samarin E.N., Kalashnikov A.U.,	
	Stepanov P.U., Ermakov A.P., Oshkin A.N. Study of karst and suffosion hazards along the linear constructions on the basis of geophysical and geotecnical research	16
	Kapustin. V.V., Strochkov Yu.A. Some particularities of georadar data processing during building	10
	constructions	22
	constructions	25
	Velikin S.A. Application of georadar in permafrost zone, a case study of engineering constructions condition	28
	Kalinina A.V., Ammosov S.M., Volkov V.A. Seismic noise: case record in geotechnical investigations Gainanov V.G., Tokarev M.U., Zverev A.S., Boslikov A.D. Multichannel seismic and acoustic profiling	32
	within different frequency ranges: operational capabilities	35
	Dudnik A.V. Imact of radiation power on penetration depth in georadar sounding	38
	seismology to the study of Quaternary deposits of the Imeretensky lowland	40
	Bobachev A.A., Modin I.N. Electrical tomography using standard geoelectric units	43
	GEOLOGY AND METHODOLOGY OF SEARCHES AND RECONNAISSANCE OF DEPOSITS	
	Karpuzov A.A. The peculiarities of structure and composition of delaminating intrusions Ganilsky ridge in	
	connection this the prospect of ore content	47
	MANAGEMENT AND ECONOMICS	
	Razumovsky D.O., Shirshov S.A. The organization of financing due to means of the federal budget of charges for performance of works on geological studying minerals and reproduction of minerals and raw	
	material base	54
	To the 100 th birthday E.P. Chuykinoy	58

LIAS P. W.

and the second second second second

Contraction of the

and an internet

Бучарский Б.В., Бессонов А.Д., Соколова И.П. (ООО «Газснабинвест»), Зверев Е.О., Овчинников В.И. (ООО «НПЦ ГЕОТЕХ»)

ГЕОРАДИОЛОКАЦИЯ ПРИ КОМПЛЕКСНЫХ ГЕОФИЗИ-ЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ ВЧР БОВАНЕНКОВСКОГО НГКМ

В задачи комплексных геофизических исследований на кустовых площадках Бованенковского НГКМ входило:

1. Изучение комплексных геофизических характеристик геокриогенных разрезов (ММП) в интервале ВЧР, определение литологического состава и геокриогенных характеристик.

2. Выделение и картирование локальных геокриогенных неоднородностей в толще ММП:

определение в плане и разрезе положения границ мерзлых и немерзлых пород;

определение глубины залегания и мощности внутригрунтовых льдов и льдов, залегающих с поверхности;

обнаружение и оконтуривание в плане и разрезе отдельных ледяных тел различной морфологии (пластовых, повторно-жильных) и зон повышенной льдистости.

Верхняя часть разреза кустовых площадок изучалась георадиолокацией, сейсморазведкой КМПВ и электроразведкой МЗСБ.

При георадиолокационных исследованиях применялся георадар серии «ОКО-2» (ООО «Логис», г. Раменское) с антенным блоком АБ-150 (центральная частота антенны 150 МГц), обеспечивающим глубину исследования до 12 м, и с антенным блоком «Тритон» (центральная частота антенны 35 МГц), обеспечивающим глубинность до 20 м.

Метод георадиолокации основан на явлении отражения электромагнитной волны от границ неоднородностей в изучаемой среде, на которых скачкообразно изменяются электрические свойства — электропроводность и диэлектрическая проницаемость.

Основной величиной, измеряемой при георадиолокационных исследованиях, является время пробега электромагнитной волны от источника до отражающей границы и обратно до приемника.

Дифракция электромагнитных волн возникает в случае, когда размеры объекта меньше либо сравнимы с длиной волны, происходит огибание фронтом волны объекта, что проявляется в виде характерных изменений в георадилокационной картине — гиперболы дифракции. По форме таких гипербол можно определить скорость распространения электромагнитной волны во вмещающей среде.

Достоинством метода является высокая производительность и разрешающая способность, как в плане, так и по разрезу. Глубинность исследований — от первых десятков сантиметров до первых десятков метров. Методика георадиолокационных исследований и соответственно выбор антенных блоков определяются диапазоном глубин и линейными размерами структурных элементов (слоев или локальных объектов), которые необходимо выявить. В соответствии с этими величинами выбираются антенные блоки с определенной глубинностью и разрешающей способностью.

Верхняя часть разреза до глубин 6–10 м изучалась георадиолокацией и сейсморазведкой КМПВ. В этом интервале, сложенном преимущественно суглинками с прослоями органического вещества, зоны развития льдистых отложений выделены по специфической форме записи на радарограммах и повышенным значениям скоростей сейсмических волн до первой преломляющей границы.

Появление гипербол дифракции может быть обусловлено как сложной формой литологических границ, так и различными объектами. По гиперболам дифракции можно судить о свойствах вышележащей толщи, но установить, является ли дифрагирующий объект льдом или, к примеру, галькой, невозможно.

В связи с тем, что отражение, отвечающее кровле георадарного комплекса, прерывистое и его достаточно сложно проследить, граница проводилась по смене волновой картины. В ГКЗ оси синфазности низкоамплитудные, сигнал в комплексе быстро затухает, что свидетельствует высокой электропроводимости толщи. Подобная волновая картина характерна для суглинистых отложений, что подтверждается данными бурения.

Результатом георадиолокационной съемки являются временные разрезы, записанные методом переменной плотности, на которых по горизонтали указано расстояние в метрах, а по вертикали — время прихода волн, отраженных от границ раздела сред, в наносекундах.

Обработка данных георадиолокации осуществлялась при помощи программы «GeoScan-32». Выделение комплексов на георадиолокационных профилях проводилось практически без априорной геологической информации. Анализировались только физические взаимоотношения между осями синфазности отраженных волн и различия в волновой картине.

При визуальном анализе волновых картин исследовались параметры:

конфигурация осей синфазности отраженных волн; интенсивность осей синфазности (амплитуда отражений);

частотный состав записи;

протяженность осей синфазности;

скорость распространения волны.

При интерпретации георадиолокационных данных, полученных по профилям наблюдений на кустовых площадках, было выделено 3 георадарных комплекса: ГК1, ГК2 и ГК3 (рис. А). Границы комплексов проводились по поверхностям несогласия (смена систем осей синфазности) или по смене типа волновой картины. В пределах георадарных комплексов были выделены георадарные фации, основанием для выделения которых служили незначительные различия в амплитудном или частном составе записи.

На заключительном этапе интерпретации проводилось сопоставление выделенных георадарных комплексов с данными сейсморазведки КМПВ, электроразведки МЗСБ, бурения, электрокаротажа КС и создание геофизической модели разреза (рис. В).

На сейсмическом разрезе (рис. Б) показаны преломляющая поверхность и графики граничных скоростей для нижней границы для ПК0-376 и ПК658-752. На пикетах 0-376 преломляющая граница залегает выдержанно на глубинах 19–25 м (что соответствует абсолютным значениям -22 ... - 16 м). В конечной части профиля преломляющая граница фиксируется на глубинах 8–10 м. Перекрывающая эту границу толща характеризуется значениями скоростей 3000 — 3200 м/с, в конечной части профиля около 2700 м/с без учета снежного покрова и приповерхностного слоя грунта.

На графиках граничных скоростей, рассчитанных по разностному годографу вдоль профиля на двух постоян-



Разрез по осевому профилю куста № 53: А — георадиолокационный, Б — сейсмический, В — сводный геолого-геофизический; отражающая поверхность от кровли: 1 — георадарного комплекса 2, 2 — георадарного комплекса 3; 3 — зоны возможного распространения льдистости; 4 — номер геофизического комплекса; 5 — засоленный грунт; 6 — отражающие поверхности в георадарном комплексе 2; 7 суглинок с прослоями песка; 8 — песок; 9 — суглинок; 10 — супесь; 11 — диаграмма электрокаротажа КС (градиент-зонд); 12 — преломляющая граница; зоны высокой степени льдистости, выявленные по значениям: 13 — граничных скоростей продольных волн, 14 — граничного коэффициента поглощения; 15 — значения скорости Vp (м/с) в верхнем слое

ных базах 24 и 48 м для нижней границы, выделено несколько участков профиля, характеризующихся различными значениями граничных скоростей:

для относительно высокоскоростных участков 3700–4000 м/с;

для низкоскоростных участков 3300-3700м/с.

На конечном участке профиля значения граничных скоростей составляют 2600–3000 м/с.

По высоким значениям граничных скоростей выделено три участка профиля, где на уровне преломляющей поверхности залегают грунты предположительно с высокой степенью льдистости. Расчет граничных коэффициентов поглощения преломленной волны также позволил выявить интервалы профиля с низкими значениями этого коэффициента, что свидетельствует о наличии в разрезе на уровне преломляющей поверхности высокольдистых отложений. Комплексное использование двух сейсмических параметров позволило более надежно выделить в разрезе границы и интервалы залегания отложений с высокой степенью льдистости.

По результатам работ построены сводные геолого-геофизические разрезы по профилям наблюдений (рис. В), а также прогнозные карты распространения грунтов высокой степени льдистости.

Глубина георадиолокационных исследований на площадках составила 10–12 м. В целом изучаемая среда малоконтрастная по диэлектрическим свойствам; $\varepsilon = 3 \div 3.3$, что характерно для ММП. Тем не менее, разрезы достаточно хорошо дифференцируются в пределах указанной глубины исследований.

Полученные результаты показали, что применение георадиолокационного метода в комплексе геофизических методов в данных условиях целесообразно для изучения строения верхней части разреза до глубин 10–15 м. Данные георадиолокации были фактически единственным источником информации по структурно-литологическому строению верхней части разреза, отвечающие высокой степени детальности исследований.

© Волынин А.Ф., 2008

Волынин А.Ф. (Филиал ГУП «Водоканал С-Петербург»)

ГЕОФИЗИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ГРУНТОВ НА УЧАСТКАХ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ И КОММУНИ-КАЦИЙ ВОДОКАНАЛА «САНКТ-ПЕТЕРБУРГ»

Приводятся результаты проведения комплексных геофизических исследований при обследовании состояния подземных коммуникаций и сооружений на объектах водоканала СПб. Геофизические исследования выполнялись с целью оценки состояния конструкций подземных насосных станций, водопроводов и канализационных трубопроводов, определения

MOXPAHAHELP

причин их аварийного состояния и прогнозирования аварийных ситуаций. Разработан оптимальный комплекс геофизических методов, позволяющий проводить исследования в условиях высоких промышленных помех. Установлены специфические зоны локальных изменений физико-механических свойств грунтов, с которыми связаны аварии на подземных сооружениях и коммуникациях.

Водоснабжение и канализация Санкт-Петербурга представляет собой систему насосных водопроводных и канализационных станций, подземных водопроводных и канализационных сетей, а также очистных сооружений. Общая протяженность сетей составляет более 10 000 км, а глубина их заложения составляет от 1,5 м для водопроводных сетей до 70 м для канализационных коллекторов и канализационных насосных станций. Геологическое строение верхней части разреза, до глубин максимального заложения коммуникаций характеризуется повсеместным развитием четвертичных отложений мощностью от первых метров на юге города до 130 м на участках древних эрозионных врезов (палеодолин). Коренные породы представлены аргиллизированными глинами с прослоями песчаников котлинской свиты венда.

Большинство коммуникаций расположено среди четвертичных отложений, разнообразных по литологии и генезису. Среди них широко развиты морские, озерно-ледниковые, ледниковые и флювиогляциальные отложения, представленные песками, супесями, суглинками и глинами. Среди них присутствуют водонасыщенные пылеватые пески и супеси (плывуны), которые по физико-механическим свойствам являются наименее устойчивыми, характеризуются высокой тиксотропностью, которая увеличивается при динамических влияниях и нагрузках. С ними связана значительная часть аварий на подземных сооружениях и коммуникациях. Гидрогеологический режим характеризуется наличием грунтовых вод на глубине 0,5-3 м от поверхности и подземных вод межморенных ледниковых горизонтов среди четвертичных отложений. Существенное понижение уровня поверхности грунтовых вод в течение года на 2-3 м в летний сухой период по сравнению с весеннее-осенним влажным периодом приводит к изменению несущих свойств грунтов и вызывает аварии на неглубоко залегающих водопроводных линиях.

Как показал опыт проведения работ, геологические факторы являются причиной аварийного состояния подземных коммуникаций не менее чем в 50 % случаев. Учитывая большую протяженность подземных коммуникаций и большое количество возникающих на них аварийных ситуаций, геофизические исследования проводятся в основном на аварийных объектах. Мониторинговые геофизические работы выполнялись также с целью оценки влияния на вмещающие канализационный коллектор грунты в процессе проходки тоннелей метрополитена на участке «Лесная — Пл. Мужества».

Комплекс геофизических методов включает электроразведку в модификации ВЭЗ с различными типами установок — симметричной, трехэлектродной и дипольной с подвижными и неподвижными питающими электродами, а также электропрофилирования в модификации срединного градиента и профилирования с трехэлектродной установкой с комплектом электроразведочной аппаратуры «ЭРА» и «ЭРА-МАХ» и сейсмоакустический метод спектрального сейсморазведочного профилирования (ССП) с аппаратурой НТФ «Геофизпрогноз»*. Обработка данных электроразведки выполняется с помощью комплекса интерпретационных программ IPI и IPI2Win кафедры геофизики МГУ. Обработка данных сейсмоакустического метода выполняется с помощью программного обеспечения, входящего в комплект аппаратуры. Рассмотрим результаты геофизических исследований по основным видам решаемых задач.

Оценка состояния наружных стен канализационных насосных станций (КНС). Такие работы проведены на 4 подземных КНС. Применялся комплекс электроразведочных методов, состоящий из электропрофилирования с симметричной и трехэлектродной установками, а также ВЭЗ с микроустановками по внутренней поверхности стен КНС и электропрофилирования в модификации ВЭЗ и срединного градиента на участке вокруг КНС. В результате работ оценивалось состояние стен КНС и влияние на них окружающих станцию водонасыщенных плывунных грунтов. В качестве примера приведем результаты, полученные по КНС «Мойка». Станция имеет вертикальный цилиндрический корпус диметром 12 м, с бетонными стенками толщиной 0,5 м, погруженный в неустойчивые плывунные грунты на глубину 22 м, и разделена вертикальной стеной на «мокрое» и «сухое» (машинное) отделения. Была обследована наружная стена КНС со стороны «сухого» отделения, где отмечались локальные протечки грунтовых вод. На рис. 1 представлены результаты электропрофилирования и ВЭЗ с микроустановками по участку наружной стены КНС. Электропрофилированием выделены участки стенки с пониженным электросопротивлением бетона. По данным микро-ВЭЗ эти участки характеризуются резко пониженными электросопротивлениями, что отражает выщелачивание бетона с наружной стороны стены под влиянием грунтовых вод. Выщелачивание бетона отмечено на 2 участках, расположенных вблизи разделительной стены КНС.

По данным электропрофилирования и ВЭЗ КНС окружена мощным плывуном, прослеженным до глубины 20 м. По геологическим данным установлен слой интенсивно водонасыщенных песков на глубине 16-18 м с фильтрацией воды в сторону Невы. Выявленные нами участки выщелачивания бетона, а также связанные с ними протечки локализованы в этом интервале. По данным ВЭЗ, выполненных по всей длине наружной стены «сухого» отделения, установлено, что наибольшее разрушающее влияние на бетон поток грунтовых вод оказал на двух противоположных участках стены, там, где при обтекании ее плотность этого потока максимальна. Разработанная при обследовании этой КНС методика обследования была успешно использована при работах на других КНС. Результатами этих работ явились рекомендации по объемам и видам капитального ремонта.

Оценка состояния стен подземных подводящих канализационных каналов на очистных сооружениях. Работы выполнялись на Северной и Центральной станциях аэрации.

^{*} Гликман А.Г. О физических принципах спектральной сейсморазведки // Геология, геофизика и разработка нефтяных месторождений. — 1998. — № 12. — С. 19–24.

Гликман А.Г. Методологические аспекты применения сейсморазведки // Там же. — 1999. — № 2. — С. 19–24.



Рис 1. Результаты электроразведочного обследования участка стены в западном секторе КНС «Мойка» с целью определения дефектов в бетоне: А — план изолиний кажущегося сопротивления по результатам электропрофилирования; Б — разрезы ВЭЗ по вертикальным профилям 1–1 и 2–2; 1 — локальные минимумы кажущегося сопротивления; 2 — участки выщелачивания бетона из стены; 3 — место фильтрации грунтовой воды с выпором бетона; 4 — разрез участка стены КНС; 5 — профили электрозондирования

Подводящие каналы представляют собой подземные, погруженные на глубину несколько метров, коммуникации квадратного сечения размером 4х4 м из железобетона. За время эксплуатации под действием корродирующего влияния канализационных вод происходило разрушение бетона с образованием каверн и коррозией и разрушением арматуры, что привело к нарушению стен канала и поступлению канализационных вод в окружающие грунты. Геофизические исследования выполнялись методами электропрофилирования в модификации срединного градиента (СГ) и ВЭЗ.

На рис. 2 в качестве примера приведены результаты работ, выполненных на Северной станции аэрации (ССА) при обследовании подземного подводящего канала шириной 4 м от песколовок к первичным отстойникам. По данным электропрофилирования сам канал выделяется линейным понижением кажущегося сопротивления (ρ_{κ}) до 5–20 Ом·м на фоне 40-50 Ом м. Место протечки канализационных вод через нарушения в стене канала зафиксировано в интервале 12-26 профилей, где оно отмечается обширным минимумом кажущегося сопротивления до 1-3 Ом м. Для локализации ме-



Рис. 2. Обследование состояния стенок подземного канализационного канала методами электроразведки: А — карта электрических сопротивлений грунта; Б — вертикальные разрезы электрических сопротивлений грунта по профилям вкрест продольной оси канала TM-1; 1 и 2 — положение канализационного канала в разрезе и плане; 3–4 — места протечки через стену канала в разрезе и плане; 5 — профили ВЭЗ

ста утечки на этом участке выполнены ВЭЗ по профилям 8–26. В результате установлены 2 места утечки канализационных вод в окружающий грунт в районе 20–22 профиля через западную стенку канала и в районе 16– 18 профиля через восточную стену канала.

Оценка состояния канализационных и водопроводных сетей. Такие работы выполняются постоянно, в связи с аварийными ситуациями на сетях, а также образованием провалов на проезжей части улиц на участках канализационных сетей. Исследования выполняются комплексом методов, включающих электроразведку в модификации электрозондирования, СГ и ВЭЗ, измерения блуждающих токов, а также спектральное



Рис. 3. Результаты геофизического обследования грунтов на участке канализационного коллектора: 1 — обводненные грунты по данным ВЭЗ; 2 — участки неустойчивых грунтов по данным ССП; 3 — плоскости смещений грунтов; 4 — зона неустойчивых грунтов; 5, 6 — участок просадки грунта: 5 — в плане, 6 — в разрезе; 7 — участок нарушения трубопровода; профили: 8 — ССП; 9 — ВЭЗ;

сейсморазведочное профилирование (ССП). В результате работ оценивались несущие свойства и устойчивость грунтов, вмещающих трубопроводы, прогнозировались места нарушений трубопроводов, места будущих провалов дорожного покрытия и давались рекомендации по телевизионному обследованию и ремонту аварийных участков, а также перекладке участков канализационных сетей. В качестве примера приведены результаты работ на участке канализационной сети по пр. Наставников. Канализационный трубопровод диаметром 100 см, проложенный в центре проспекта, рядом с трамвайной линией, находится на глубине 6 м среди водонасыщенных песчано-супесчаных грунтов.

В результате работ, выполненных комплексом перечисленных выше методов, выделена зона разлома, прослеженная до глубины 100 м, в коренных породах котлинской свиты венда, диагонально секущая проезжую часть и все расположенные на этом участке коммуникации (рис. 3). По данным ССП грунты в пределах этой зоны характеризуются очень высокой нарушенностью. Интенсивное нарушение грунтов по данным ССП выявлено в зоне трамвайных путей. По данным электроразведки к ней приурочена линейная зона обводненных грунтов в верхней части разреза с двумя локальными участками сильно обводненных грунтов, отмечающихся наиболее низкими ρ_{κ} , менее 5 Ом·м. Этот участок характеризуется очень высоким уровнем блуждающих токов, более 0,5 В, что оказывает корродирующее влияние на стальные конструкции и арматуру.

В 2004 г. на этом участке возникла обширная, до 20 м, просадка грунта с образованием понижения поверхности проезжей части в районе трамвайных путей до 30–40 см.



Рис. 4. Результаты ССП по профилям 1 (А) и 2 (Б) на Северной станции аэрации: 1 — участок неустойчивых грунтов; 2 — проекция здания ЦОО на профиль ССП-1; 3 — интервал максимального влияния вибрации центрифуг на грунты; 4 — участки сильно нарушенных неустойчивых грунтов; 5 — участок плывунных грунтов на профиле ВЭЗ; 6 — зона неустойчивых грунтов; 7 — профили ССП; 8 — профиль ВЭЗ; 9 — кровля коренных пород венда

В результате работ установлено, что причиной образования просадки является ухудшение несущих свойств неустойчивых плывунных грунтов под влиянием динамических нагрузок от проходящих трамваев. Телевизионным обследованием трубопровода на этом участке установлено разрушение трубы и ее просадка. Учитывая, что в данной ситуации процесс просадки грунтов под влиянием динамических нагрузок при движении трамваев будет происходить постоянно, было рекомендовано перенести этот участок канализационной сети в газон. К сожалению, эти рекомендации были не приняты. Неоднократные ремонты трубопровода и дорожного полотна в течение 2004–2006 гг. не дали положительных результатов, процесс просадки грунта и трубопровода остановить не удалось.

На рис. 4 приведены результаты ССП-профилирования по Северной станции аэрации. Геофизические работы выполнены с целью определения причин протечек и механических деформаций юго-восточного участка стены стакана Главной насосной станции (ГНС), погруженного на глубину около 70 м и просадок фундамента, пола и стен в здании Цеха обработки осадка (ЦОО). По данным ССП в коренных породах венда установлена линейная зона разлома шириной до 80 м северо-восточного простирания. Глинисто-аргиллито-песчаниковая толща вендских отложений в этой зоне нарушена трещиноватостью и имеет понижение в рельефе, заполненное преимущественно верхнее-среднечетвертичными водонасыщенными пылеватыми песками и супесями. Увеличение мощности водонасыщенных плывунных грунтов в этой зоне отмечено по данным ВЭЗ. В пределах этой зоны разлома отмечены несколько микроземлетрясений с интенсивными подвижками грунта, как в вертикальном, так и в горизонтальном направлении (горные удары), что привело к выпорам в мощной, толщиной до 5 м, бетонной стене стакана на глубинах 40-50 м с интенсивными протечками грунтовых вод. Эти явления вызваны динамическим влиянием вибрации мощных насосов на подвижные грунты. Интенсивные просадки грунта с нарушением конструкций фундамента, пола и стен в здании ЦОО также вызваны сильным динамическим влиянием от работающих центрифуг на неустойчивые грунты в зоне разлома. Колебания, создаваемые центрифугами, из-за особенностей их частотного спектра, оказывают максимальное динамическое воздействие на интервал глубин разреза, сложенный наиболее неустойчивыми грунтами.

Зоны разломов, аналогичные описанным выше, представляющие собой участки аномального изменения физико-механических свойств грунтов, были выявлены почти на всех аварийных участках. Как правило, они приурочены как к крупным погребенным долинам палеорек, так и мелким долинам погребенных рек и ручьев. Для них характерно широкое развитие плывунных грунтов. По геофизическим данным они характеризуются наличием обводненных нарушенных грунтов, фиксируемых ССП и электроразведкой. К ним приурочены нарушения на канализационных сетях с разрушением бетонных трубопроводов, нарушения на канализационных коллекторах с разрушением обделки стены и коррозией металлической арматуры, места утечек на водопроводных линиях и водоводах в результате механических нарушений трубопроводов.

Куликов В.А., Яковлев А.Г. (Геологический факультет МГУ)

ПРИМЕНЕНИЕ НОВОЙ АППАРАТУРЫ ООО «СЕВЕРО-ЗАПАД» ПРИ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ИНЖЕНЕР-НЫХ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТАХ

Описано применение новой электроразведочной аппаратуры для методов сопротивлений и вызванной поляризации (портативный генератор «АСТРА», измерители — «МЭРИ-24» и «ИМВП») во время проведения учебных студенческих практик на Александровском полигоне Калужской обл. в 2004—2006 г. Работы методом ВЭЗ-ВП позволяют определить, на каких разносах наиболее ярко проявляется УГВ. Измерения методом вызванной поляризации позволяют определять местоположение и оценивать состояние подземных коммуникаций.

В последние годы компанией ООО «Северо-Запад» разработана новая электроразведочная аппаратура для методов сопротивлений и вызванной поляризации — портативный генератор «АСТРА», измерители — «МЭРИ-24» и «ИМВП» (рис. 1). Данная аппаратура может успешно использоваться при проведении гидрогеологических и инженерных работ, что было продемонстрировано во время проведения учебных студенческих практик на Александровском полигоне Калужской обл. в 2004-2006 г. Измерения проводились в профильном (ВЭЗ-ВП) и площадном (ВП-СГ) вариантах. При проведении профильных ВЭЗ-ВП использовался измеритель «МЭРИ-24», при измерениях ВП-СГ 8-канальный регистратор «ИМВП». Генератор «АСТРА» обеспечивает создание в линии АВ прямоугольного разнополярного импульса величиной от 1 до 1000 мА в частотном диапазоне 0,019-2500 Гц. В генераторе обеспечена высокая стабилизация





<u>РАЗВЕЛКА</u> И ОХРАНА НЕДР



Рис. 2. Изменения амплитуды и фазы токового импульса генератора «АСТРА» в течение 5 мин.

выходного импульса, колебания амплитуды сигнала в течение 10–15 мин. составляют 0,006–0,008 %, фазовый сдвиг между гармониками токового импульса не превышает 0,003° (рис. 2).

Измерения вызванной поляризации осуществляются в частотной области. Предпочтение отдается фазово-частотному методу. Суть метода состоит в измерении фазового сдвига между гармониками прямоугольного импульса, зарегистрированного на приемной линии. Вычисляемый по фазовым сдвигам дифференциальный фазовый параметр $\Delta \phi = (\phi_1 \omega_2 - \phi_2 \omega_1)/(\omega_2 - \omega_1)$ между разными гармониками измеренного сигнала прямо пропорционален кажущейся поляризуемости $\eta_{\kappa} = -2, 5 \cdot \Delta \phi$. Преимущество фазово-частотного метода заключается в высокой помехозащищенности и подавлении фазовых сдвигов, вызванных индукционными эффектами.

Профильные измерения ВЭЗ-ВП осуществлялись симметричной четырехэлектродной установкой в диапазоне разносов от 2,6 до 300 м с шагом 25 м по опорным геофизическим профилям, пересекающим «Александровское» плато. Верхняя часть геологического разреза плато неоднородна, преимущественно она представлена моренными суглинками, но встречаются и мощные линзы песков. В пределах распространения песчаных линз, при наличии подстилающего водоупора, в основании песков располагается верхний водоносный горизонт. За пределами пес-



Рис. 4. Карта η, по результатам ВП-СГ над участком трубы

чаных линз первый водоносный горизонт располагается гораздо глубже и приурочен к карбонатным отложениям нижнего карбона.

На рис. 3 показаны типичные кривые ρ_{κ} и η_{κ} , полученные на одном из профилей ВЭЗ-ВП. Кривые ρ_{κ} имеют тип QH. Элемент Q отражает последовательное уменьшение сопротивления от сухих песков к влажным пескам и суглинкам, восходящая правая ветвь обусловлена влиянием карбонатных пород C₁. В области развития линзы песков на кривых η_{κ} на разносах AB/2=10–15 м наблюдается максимум — 1,8–2 % при фоновых значениях $\eta_{\kappa} = 0,8-$ 1,2 %. Появление этого максимума мы связываем с влиянием слоя частичного водонасыщения. Работы методом ВЭЗ-ВП позволяют определить, на каких разносах наиболее ярко проявляется УГВ. Далее, для нахождения пространственных границ распространения верхнего водоносного горизонта на этих разносах проводятся площадные работы методом ВП-СГ.

Измерения методом вызванной поляризации позволя-



ют определять местоположение и оценивать состояние подземных коммуникаций. На рис. 4 приведен пример подобных работ непосредственно на территории учебной базы. Пересечение трубы характеризуется наличием положительной аномалии на графиках η_к до 20 %. На участке изгиба трубы, где предположительно существует постоянная утечка воды, форма графиков сильно изменяется, и фиксируется интенсивная отрицательная аномалия кажущейся поляризуемости до 80 %.

Рис. 3. Типичные кривые ВЭЗ-ВП: А — в присутствии верхнего водоносного горизонта, Б — без него; 1 — кривые η_{κ} ; 2 — кривые ρ_{κ}

Куликов В.А., Храпов А.В., Яковлев А.Г. (Геологический факультет МГУ), Блинова М.Е. (ООО «Северо-Запад»)

РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСНЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ РАБОТ ПРИ ПОИСКАХ СУЛЬФИДНЫХ РУД НА СЕВЕР-НОМ ТИМАНЕ

Обосновано применение комплексных геолого-геофизических работ на предмет поиска сульфидных руд на Северном Тимане. Приведена основная цель работ — поиск крупных интрузий основного состава, несущих сульфидную минерализацию. Доказано существование локальных изометричных аномалий, связанных предположительно с апофизами рудоносных интрузий. Описан поиск крупных, материнских рудоносных интрузий основного состава на основе результатов АМТЗ и магниторазведки.

Комплексные геолого-геофизические работы на предмет поиска сульфидных руд проводятся на Северном Тимане с начала 1970-х годов. В этих работах принимали участие многие производственные и научные организации Советского Союза и России. На сегодняшний день известно несколько небольших рудопроявлений, но интерес к району не ослабевает. В последние годы ряд геофизических работ на Северном Тимане проводила фирма ООО «Северо-Запад». В комплекс входили следующие методы: наземная магниторазведка, симметричное электропрофилирование (СЭП), дипольное индукционное профилирование (ДИП), ВП-СГ, аудимагнитотеллурические зондирования (АМТЗ).

Основная цель работ — поиск крупных интрузий основного состава, несущих сульфидную минерализацию. В качестве вмещающих пород на большинстве исследуемых участков выступают сланцы рифейского возраста. Иногда над сланцами присутствуют осадочные карбонатные образования силура и девона. Мощность покровных четвертичных отложений составляет 1—25 м. Сопротивление сланцев составляет около 1000 Ом·м, силурийских и девонских известняков 200—300 Ом·м. Наиболее высокоомными являются интрузивные породы кислого и основного состава, широко развитые на исследуемом участке. При наличии рудной минерализации сопротивление интрузий существенно снижается, что создает благоприятные условия для использования электроразведочных методов.

Рифейские сланцы неоднородны по своему составу. Среди них встречаются графитизированные разновидности, обладающие повышенной поляризуемостью и магнетитсодержащие, создающие наиболее интенсивные высокочастотные аномалии в постоянном магнитном поле северо-западного простирания параллельно основным структурам Северного Тимана. Помимо магнетитсодержащих сланцев заметные аномалии в магнитном поле создают интрузии основного и ультраосновного состава. Известные рудопроявления отмечаются в магнитном поле и в вертикальном градиенте магнитного поля слабыми аномалиями за счет содержания в породе пирротина (рис. 1).

Благодаря совместному анализу карт кажущегося сопротивления, поляризуемости (по данным СЭП и ВП-СГ) и вертикального градиента магнитного поля были выделены в верхней части разреза (до 50 м) локальные изометричные аномалии, связанные предположительно с апофизами рудоносных интрузий. Полученные аномалии были рекомендованы для заверки малоглубинным бурением (рис. 2).



Рис. 1. Графики кажущегося сопротивления и поляризуемости по результатам СЭП (вверху) и аномального магнитного поля с вертикальным градиентом (внизу) по профилю





Рис. 3. Геолого-геофизическая модель по участку профиля: 1 — метагаббро, долериты; 2 — граниты, гранитоиды; 3 — субщелочные габбро; 4 — рифейские сланцы; 5 — разрывные нарушения; 6 — намагниченность и сопротивление пород по результатам обратной задачи

Поиск крупных материнских рудоносных интрузий основного состава выполнялся на основе результатов АМТЗ и магниторазведки. На первом этапе была проведена бимодальная инверсия магнитотеллурических данных и построены двумерные геоэлектрические модели по профилям до глубин 1–2 км. На основе полученных моделей был осуществлен двумерный подбор аномального магнитного поля. В качестве отправной гипотезы было принято, что крупные проводящие неоднородности, выявленные по результатам интерпретации АМТЗ, связаны с рудоносными интрузиями основного состава и обладают повышенными значениями магнитной восприимчивости (рис. 3).

© Пустозеров М.Г., 2008

Пустозеров М.Г. (ЗАО «Полюс»)

СОВРЕМЕННЫЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ЗОЛОТОПОИСКОВЫХ РАБОТАХ В ЗАО «ПОЛЮС»

Описывается прогноз на золотоносность на этапе среднемасштабного изучения территории по данным комплексной аэрогеофизической съемки масштаба 1:25 000. Иллюстрируется роль моделирования потенциальных полей с целью усмасштабном прогнозе основная роль отводится плотностному и магнитному моделированию. В ЗАО «Полюс» моделирование осуществляется по единственной в стране программе инверсии естественного электропотенциала ZondSP2D (кафедра геофизики СПбГУ). Данные электропрофилирования, включая ДЭМП, на конечном этапе обработки также подвергаются моделированию, которое производится по программе инверсии ZondRes2D. Окончательный прогноз на золотое оруденение осуществляется по совокупности данных моделирования всех геофизических методов с использованием данных ГИС. Эффективность геофизи-

тановления пространственно-

го положения золотоконтролирующих объектов. При средне-

Эффективность геофизических методов при поисках полезных ископаемых во многом зависит от представительности физико-геологической модели (ФГМ) месторождения и использования современных технологий выполнения полевых исследований и последующей обработки данных. При поисках золоторудных объектов эти факторы

становятся доминирующими из-за предельно малых содержаний полезного ископаемого и отсутствия «прямых» аномалий от поисковых тел. Используемая в последнее время в ЗАО «Полюс» ФГМ золотого оруденения в черносланцевых толщах (наиболее распространенного типа месторождений) устанавливает пространственное положение целевых объектов в ансамбле аномалиеобразующих тел и часто позволяет оценить масштабы золотоносности [1]. Обширный массив информации, полученный по данным ГИС широким комплексом на многих месторождениях, подтвердил основные принципы, приводимые в ФГМ. Один из многочисленных примеров корректности используемой модели приведен на рис. 1. Все составляющие геофизического золотопоискового процесса (выбор перспективных участков, формирование поискового комплекса, обработка материала и конечный прогноз) базируются на упомянутой ФГМ.

Собственно прогноз на золотоносность начинается на этапе среднемасштабного изучения территории по данным комплексной аэрогеофизической съемки масштаба 1:25 000. Эти съемки нового поколения осуществляются современной аппаратурой с полной компьютеризацией всего процесса — от полевых работ до интерпретации полученного материала. Работы выполняются на вертолете МИ-8 станцией КАС-3, включающей модули: аэромагнитометр Aeromaster VN-99; аэрогамма-спектрометр полного спектра ГСА-2000; инфракрасный (ИК) радиометр;



Рис. 1. Сопоставление данных КМВ и золотоносности на Михайловском месторождении: 1 — скважины и их номера; 2 золоторудное тело с содержанием свыше 1г/т

ческих данных является шагом необходимым, но далеко не достаточным, что обусловлено широким проявлением «породных» аномалий, существенно осложняющих прогностические построения. Особая значимость рассмотренной ФГМ заключается в установлении места золотого оруденения среди аномалиеобразующих объектов (не полей!), поэтому следующим этапом является моделирование потенциальных полей с целью установления пространственного положения золотоконтролирующих объектов. При среднемасштабном прогнозе основная роль отводится плотностному и магнитному моделированию. Первое — обосновывается температурными особенностями формирования золоторудного объекта (расстояние от источника рудного вещества — гранитоидов — 3-4 км), а второе — существованием пирит-пирротинового перехода, парагенетически связанного с оруденением.

Моделирование магнитно-плотностных разрезов выполняется по пакетам ADG-3D и LEVASHOV с использованием результатов ГИС и изучения петрофизики по керну скважин. В итоге количественной интерпретации обособляются перспективные геофизические участки.

На следующем этапе на этих участках осуществляются наземные комплексные геофизические исследования в масштабе 1:10 000. Комплекс включает площадные работы методами магниторазведки, естественного электрического поля (ЕП), реже дипольного электромагнитного

спутниковую навигационно-геодезическую систему «АБРИС-ГЕО». Данными съемками покрыта большая часть лицензионных площадей. На данном этапе возможно выделение рудных узлов, рудных полей и, иногда, собственно месторождений (рис. 2).

Анализ приведенной информации указывает на достаточно яркое проявление месторождения в геофизических полях. В аномальном магнитном поле оно расположено в пределах локального максимума, контролирующего подстилающий оруденение пирротиновый объект. Повышенные содержания калия, отчасти тория, указывают на березитизацию (серицитизацию), связанную с рудообразованием. Урановые аномалии обусловлены развитием графитизированных образований. В целом рудное поле характеризуется повышенной радиоактивностью. Примечательно распределение теплового поля. Наиболее выраженный максимум приурочен к области развития кор выветривания в пределах месторождения. Это может быть обусловлено окислением сульфидов и соответствующим выделением тепла.

Привлечение для прогноза золотого оруденения аэрогеофизи-



Рис. 2. Проявление месторождения Титимухта в аэрогеофизических полях: 1 — изолинии геофизических параметров; 2 — центральная часть месторождения; 3 — поисковые буровые линии и их номера; 4 — участок наземных геофизических работ профилирования (ДЭМП) и гамма-съемки (ГС), а также профильные исследования, выполняемые в пределах рудных зон: гаммаспектрометрию, газортутную съемку и вызванную поляризацию (ВП) в модификации электротомографии 2D. Каждый из методов решает определенную задачу, а в комплексе устанавливают геологическую позицию месторождения с условной промышленной оценкой.

На рис. 3 представлены результаты площадных съемок, осуществленных по стандартной методике, на одном из поисковых участков. Магниторазведка выполнялась наиболее совершенной в настоящее время аппаратурой POS-1 и POS-2, а ЕП — портативными мультиметрами. По магниторазведочным данным выделяется магнитный горизонт, ограничивающий оруденение с востока (подрудный эрозионный срез). Минимум ЕП устанавливает положение сульфидизированных и обуглероженных пород, контролирующих золоторудную зону. По аномалиям естественной радиоактивности прослеживается как участок оруденения (минимум), так и надрудная составляющая зоны (максимум).

Использование ДЭМП позволяет решить ряд задач при минимальных трудозатратах и сроках выполнения. Метод, несмотря на очевидные преимущества (мобильность и информативность), должного развития пока не получил. Суть его заключается в измерении вертикальной и горизонтальной составляющих электромагнитного поля с использованием передающего и приемного диполей. По соотношению измеренных параметров определяется эффективное электросопротивление — аналог кажущегося



Рис. 3. Отражение Киркиловской рудной зоны в геофизических полях: 1 — участки «видимого» золота; 2 — пункты геофизических наблюдений



Рис. 4. Карта эффективного электросопротивления по данным ДЭМП на месторождении Титимухта: 1 — пункты электроразведочных наблюдений; 2 — скважины; 3 — изолинии эффективного электросопротивления, оцифровка в Ом·м; 4 — рудное поле по геофизическим данным

сопротивления. Наблюдения осуществляются аппаратурой КАН-ЭММ, производимой ОАО «Алмаззолотоавтоматика» (Красноярск). Представленная иллюстрация (рис. 4) демонстрирует возможности ДЭМП при выделении кор выветривания (коричневые тона), обособлении зон окварцевания (темно-зеленые тона) и разрывных нарушений (традиционный пакет признаков).

Гаммаспектрометрия (ГСМ) осуществляется в пределах рудных зон, выделенных по результатам площадных съемок. Работы проводятся спектрометрами МКС-АТ6109Д (НТЦ «РАДЭК», Беларусь), позволяющими учитывать «фоновый» уровень естественной радиоактивности и вводить соответствующие поправки в наблюдения. На площадях отсутствия мощных кор выветривания (рис. 5) по данным ГСМ уверенно выделяются зоны графитизированных пород (максимумы интенсивности урана), участки развития березитизации и серицитизации (аномалии калия) и гидротермально альбитизированных образований (максимумы тория).

Газортутная съемка выполняется по разработанной в ЗАО «Полюс» технологии, существенно отличающейся от общепринятой. В процессе опытно-методических работ было установлено, что газообразной ртути в почвенной атмосфере не существует, и газовая составляющая возникает при проходке шпура. Содержание выделившейся (возгоняемой) ртути зависит от термодинамического воз-



Рис. 5. Карты относительных содержаний радиоактивных элементов в пределах Титимухтинского рудного поля: 1 — изолинии относительных содержаний; 2 — скважины; 3 — рудное поле

действия. Используемая методика позволяет во многом нормировать термодинамический фактор и получать объективную информацию о распределении ртути. Наблюдения производятся газоанализатором УКР-1МЦ — наиболее совершенной аппаратурой, выпускаемой в стране (НПЭФ «ЭкОН», Москва). Метод может быть использован для оценки эрозионного среза оруденения. На рис. 6 видно, что наиболее контрастно проявляются эродированные золоторудные тела.

На заключительном этапе наземных золотопоисковых работ проводятся исследования методом ВП в модификации электротомографии 2D с целью объемного картирования золотоконтролирующих объектов. Электротомография (ЭТ) — современная модификация метода ВП, состоящая из оптимизированной методики полевых наблюдений и соответствующих технологий обработки и интерпретации данных. Суть ЭТ — многократное использование в качестве приемных и питающих электродов одних и тех же фиксированных на профиле наблюдений заземлений. Это приводит к уменьшению общего числа положений электродов при существенном увеличении плотности измерений по сравнению со стандартным ВЭЗ. Такой подход позволяет использовать преимущества современной аппаратуры. Эффективность ЭТ — в повышении производительности, качества полевых наблюдений и надежной интерпретации благодаря резкому увеличению объема (плотности) наблюдений.

Наблюдения ЭТ осуществляются 10-канальной станцией SyscalPro (компания IRIS Instruments, Франция) с 72 одновременно заземляемыми электродами. При этом используется 3-электродная прямая и обратная установка Шлюмберже. Расстояние между заземлениями составляет 5 м, отсюда общая длина одновременно отрабатываемого профиля равна 355 м. С одной стоянки в совокупности производилось около 3000 измерений, распределенных до глубины 100 м. Линия «бесконечности» относится ортогонально профилю на расстояние более 1 км. Последующие расстановки располагаются на расстоянии 180 м, обеспечивая перекрытия и необходимую плотность измерений в нижнем полупространстве. Время пропускания первичного поля (зарядки) составляет 1 с. Период паузы (измерения сигнала ВП) — 920 мс. За это время осуществляется 20 фиксаций вторичного поля с интервалом от 20 до 80 мс. Величина ВП определялась как среднее арифметическое из 20 значе-



Рис. 6. Результаты газортутной съемки на участке Таловский: 1 — изолинии содержаний ртути, оцифровка в п 10⁻⁹мг/м³; 2 — рудная зона



Рис. 7. Пример интерпретации данных электротомографии ВП по профилю 7 (месторождение Титимухта): 1 — современные рыхлые отложения; 2 — коры выветривания; 3 — то же, по гранитоидам; 4 — слабо измененные отложения кординской свиты; 5 — зоны дробления; 6 — гранитоиды; 7 — зоны интенсивного окварцевания; 8 — сульфидная минерализация: а — пирротин, б — пирит; 9 — экзоконтактовая минерализация; 10 — разрывные нарушения; 11 — скважины и их номера; 12 — интервалы с содержанием золота более 0,5 г/т

ний. Весь процесс наблюдений производился автоматически по специальным протоколам, создаваемым в программе x2ipi (МГУ, Бобачев А.А.).

В прединтепретационный этап данные электротомографии обрабатываются также по упомянутой программе с целью переноса и переформатирования наблюденных значений из электроразведочной станции в компьютер, отбраковки заведомо некорректных величин, «сшивки» отдельных сегментов профилей, фильтрации данных, обусловленных Р-и С-эффектами и общего сглаживания кажущихся электросопротивлений и поляризуемостей. На следующем этапе по пакету Res2DINV, признанному мировому стандарту (компания Geotomo, Малайзия), осуществляется инверсия — 2D-распределение удельных электросопротивлений (ρ) и поляризуемостей (η) в нижнем полупространстве с точностью, соответствующей полевой погрешности измеренных величин. Двумерную модель строго нельзя назвать количественной интерпретацией это лишь трансформация наблюденного поля. Однако в условиях сложнопостроенных сред (а изученные площади этим и характеризуются) — это единственное относительно корректное отображение реального строения разреза в параметрах р и п. В итоге полученные модели «наделяются» геологическим содержанием на основе физических свойств и имеющихся геологических данных (рис. 7).

Как видно из предлагаемого рисунка по результатам электротомографии производится уверенное объемное картирование основных золотоконтролирующих объектов: зон сульфидной минерализации с разделением на пирротиновую (подрудную) и пиритовую (рудную) составляющие, участков окварцевания, зон дробления, разрывных нарушений, отложений кор выветривания, гранитоидных массивов. Анализ представленных разрезов показывает, что отобразить весь объем информации в параметрах ρ и η традиционными средствами (геолого-геофизический разрез) весьма проблематично. Отмеченное выше главное преимущество используемой ФГМ заключается в установлении пространственного положения оруденения относительно золотоконтролирующих объектов, предполагает тотальное моделирование разреза по многим физическим параметрам. Очевидно, что только массовая количественная интерпретация обеспечивает корректность прогнозных построений.

Магнитно-плотностное моделирование производится по программам ADG-3 и LEVASHOV (СНИИГИМС, институт геофизики АН Украины). Расчеты выполняются с учетом данных ГИС, поэтому степень их достоверности достаточно высока [1]. Моделирование разреза по данным ЕП в общепринятой практике распространения не имеет. Метод на Западе практически не используется, соответственно нет и программного обеспечения. В России ЕП более «популярен», однако количественная интерпретация остается «экзотикой». В ЗАО «Полюс» моделирование осуществляется по единственной в стране программе инверсии естественного электропотенциала ZondSP2D (кафедра геофизики СПбГУ). Несмотря на ряд недостатков, этот пакет может быть использован для объемного картирования химически активных объектов (сульфидных тел, обуглероженных пород), сопровождающих золотое оруденение. Данные электропрофилирования, включая ДЭМП, на конечном этапе обработки также подвергаются моделированию, которое производится по программе инверсии ZondRes2D (кафедра геофизики СПбГУ).

Окончательный прогноз на золотое оруденение осуществляется по совокупности данных моделирования всех геофизических методов с использованием данных геофизических исследований скважин (ГИС). ГИС выполняются широким комплексом методов, включающих: КС, ПС, ВП, ГК, СГМ, КМВ, скважинную магниторазведку, кавернометрию на цифровых каротажных комплексах «Алмаз-1». Процесс скважинных наблюдений полностью автоматизирован. Обработка производится с использованием современных программ: Strater, LogPlot, ArcMap.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Пустозеров М.Г. Шугаев А.Г.* Геофизические методы в комплексе золотопоисковых работ в ЗАО «Полюс» // Разведка и охрана недр. — 2006. — № 12. — С. 42–46.

© Коллектив авторов, 2008

Владов М.Л., Вознесенский Е.А., Старовойтов А.В., Бершов А.В., Самарин Е.Н., Калашников А.Ю., Степанов П.Ю., Ермаков А.П., Ошкин А.Н. (Геологический факультет МГУ)

ИЗУЧЕНИЕ КАРСТОВОЙ И СУФФОЗИОННОЙ ОПАСНО-СТЕЙ ВДОЛЬ ЛИНЕЙНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ОСНОВА-НИИ КОМПЛЕКСА ГЕОФИЗИЧЕСКИХ И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Рассмотрены различные методы изучения деформаций железнодорожной насыпи под действием карста и суффозии (георадиолокационного профилирования, сейсмический). Показано, что необходимо комплексирование инженерногеологических и геофизических методов. Приведена схема соотношения аномальных зон, выделенных по геофизическим данным, и строения инженерно-геологического массива основания железнодорожной насыпи. Рассмотрена разработка качественной карты опасности провалообразования, на которой выделены районы с различной вероятностью образования провалов и области с различной реакцией грунтов основания насыпи на воздействие проходящего подвижного состава.

Проектирование трасс линейных сооружений, в т.ч. железных дорог, в настоящее время часто производится, исходя лишь из экономических соображений. Учитывая протяженность этих объектов, территория, через которую они проходят, нередко характеризуется сложными инженерно-геологическими условиями. Наиболее опасными для сооружений, несомненно, являются геологические процессы и, в частности, карст и суффозия. Настоящее исследование проводилось с целью выявления причин образования провалов поверхности земли в пределах горного отвода на участке железнодорожного перегона и выработки рекомендаций по оптимизации безопасности движения подвижного состава с помощью комплексирования методов геофизики и инженерной геологии.

В многочисленных публикациях было показано, что весьма эффективным средством обнаружения и изучения деформаций железнодорожной насыпи является метод георадиолокации, который позволяет определять места нарушений структуры верха насыпи, делать выводы о причинах деформаций основных конструктивных слоев и проводить исследования с целью заверки результатов проведения ремонтно-восстановительных работ. Глубинность таких исследований сильно ограничена наличием в структуре насыпи слоя глин или суглинков и, как правило, не превышает несколько метров. Кроме того, следует отметить, что георадиолокационный метод в настоящее время используется в основном для выяснения структурных особенностей разреза. Напрямую он не дает никаких сведений о прочностных и деформационных свойствах техногенных и природных грунтов, что существенно ограничивает его возможности. Однако относительная легкость проведения таких исследований позволяет строить большое количество профилей и получать непрерывную объемную модель геологической среды вдоль всего изучаемого участка линейного сооружения любой протяженности.

При изучении причин деформаций насыпей в районах развития карстовых и суффозионных процессов также необходима информация о глубинном строении разреза основания линейного сооружения, тогда применяется сейсмический метод исследований. Данный метод позволяет определять морфологию кровли карстующихся отложений на глубинах до нескольких десятков метров и в некоторых случаях позволяет определять места возможного проявления карстового и сопутствующего ему суффозионного процесса, даже если их деятельность пока никак не выражена на поверхности. Так же как и в случае с методом георадиолокации, построение большого количества сейсмических профилей позволяет получить непрерывную площадную модель кровли карстующихся пород.

С другой стороны, проведение исследований методами инженерной геологии: бурения скважин с отбором образцов; гидрогеологическими наблюдениями и описанием керна; проведения штамповых испытаний; статического и динамического зондирования позволяет изучить вещественный состав, получить конкретные значения прочностных и деформационных свойств грунтов, правильно интерпретировать геофизические данные. Однако такие исследования, в отличие от геофизических, не являются непрерывными и не дают представления о свойствах грунтов и строении грунтовых толщ между точками опробования. Выходом из такой ситуации является комплексирование инженерно-геологических и геофизических методов. На наш взгляд, на протяженных участках линейных сооружений, подверженных воздействию опасных геологических и инженерно-геологических процессов, необходимы следующий комплекс работ и стадийность их проведения.

Исследования проводятся в два этапа. На первом этапе выполняются геофизические (георадиолокационные и

M OXPAHAHELP

сейсмические) наблюдения. По их результатам на втором этапе выполняются инженерно-геологические исследования. Так, например, на участке железнодорожного полотна, подверженного процессам провалообразования, закладываются несколько профилей георадиолокационных и сейсмических наблюдений и выделяются структурные особенности грунтовой толщи и аномалии в ее строении. Далее на этой основе намечаются несколько ключевых зических и инженерно-геологических работ, позволивший выявить причины провалообразования вдоль участка полотна железной дороги, протяженностью более 1 км, наглядно демонстрирующий предлагаемый подход.

Геофизические исследования. Георадиолокационные наблюдения проводились по 6 продольным профилям, расположенным вдоль насыпи, и по 14 поперечным. Целью георадиолокационных исследований была разработка

инженерно-геологических участков, соответствующих условно благоприятным территориям по геофизическим данным и крупным геофизическим аномалиям различного типа. На каждом из выделенных участков в непосредственной близости друг от друга закладываются точки статического и динамического зондирования, скважины штамповых испытаний и разведочные скважины, расположенные непосредственно в контурах аномалий, выделенных по геофизическим данным и вне них. Такое расположение точек исследования в пределах ключевых участков позволяет коррелировать геофизические и инженерно-геологические данные и устанавливать взаимоотношения между штамповыми испытаниями и разрезом, описанным по данным бурения и экспресс-методами - статическим и динамическим зондированием.

В дальнейшем подобная корреляция позволяет проанализировать полученные геофизические данные и данные по статическому зондированию по всей площади земельного отвода и выделить неблагоприятные площади вдоль всего полотна, а не только на ключевых участках. Результатом таких работ служит карта опасности провалообразования, сводный разрез вдоль сооружения с вынесенными инженерно-геологическими и геофизическими данными и рекомендации по каждому выделенному участку с различной опасностью по техническим и геотехническим мероприятиям, направленным на обеспечение безопасности функционирования сооружения. Рассмотрим ниже подробно весь комплекс геофи-



Рис. 1. Фрагменты георадиолокационных профилей: № 5 (А), № 3 (Б), № 1 (В), № 6 (Г) с интерпретацией. Красная линия — подошва техногенных грунтов насыпи (кровля коренных четвертичных отложений), синие и коричневые линии — отражающие границы в грунтах насыпи и четвертичных отложениях соответственно. Стрелками показана зона ухудшения или потери корреляции осей синфазности отраженных волн



Рис. 2. Положение аномальных зон, выделенных по данным георадиолокационного профилирования: красным и синим цветом показаны аномальные зоны 2 типов (объяснения см. в тексте). Зеленые линии ограничивают участки наибольшей концентрации аномальных зон

методики обнаружения на радарограммах зон возможного проявления карстовых и суффозионных процессов и оконтуривание их в плане. При отсутствии в разрезе слоя глин или суглинков использованный георадар «Зонд 12 с» с антенной 300 МГц в условиях песчанистого разреза имеет глубинность около 8—10 м. В тех случаях, когда проявления карстовых и сопутствующих им суффозионных процессов достигают поверхности земли с образованием провалов, георадиолокация позволяет по структурным признакам оконтурить в плане места как вновь образованных просадок, так и засыпанных, и определить амплитуду опускания.

На данном участке насыпи участки провалов также были обнаружены (рис. 1 А). Было отмечено, что на всех георадиолокационных профилях в нижних частях радарограмм иногда выделяются довольно узкие зоны шириной в несколько метров, которые на разрезах в общем имеют коническую форму. Эти зоны отличаются от соседних участков разреза либо значительным падением амплитуд осей синфазности отраженных волн, либо их полным исчезновением. Верхние части этих зон ухудшения или потери корреляции практически всегда оканчиваются у подошвы техногенных грунтов насыпи, т.е. наблюдаются только в четвертичных песчаных отложениях, залегающих на меловой толще. Эти зоны по особенностям строения разреза над ними можно разделить на два основных типа. К первому типу относятся зоны, над которыми видны просадки в отложениях верха насыпи (см. рис. 1 Б). Второй тип распространен более широко и характеризуется отсутствием каких-либо структурных изменений в приповерхностных слоях насыпи над участками потери или ухудшения корреляции (см. рис. 1 В).

По результатам предыдущих исследований было сделано предположение, что образование провальных воронок на поверхности насыпи обусловлено развитием карстово-суффозионных процессов, которые развиваются снизу вверх, вследствие чего на определенной стадии и происходит обрушение поверхностных отложений. Процессы суффозии, как предполагается, должны приводить к перемешиванию песчаного материала, т.е. границы между различными толщами должны становиться менее четкими. Исходя из этого, можно предположить, что на георадиолокационных профилях в таких зонах будет наблюдаться уменьшение амплитуды отраженных волн или их полное исчезновение. Было отмечено, что в процессе бурения скважин несколько десятков лет назад происходило образование провальных воронок, т.е. бурение провоцировало суффозионные процессы. На одном из профилей, пройденных через одну из старых скважин, выделяется аналогичная зона (см. рис. 1 Г). Таким образом, можно сделать предположение, что одним из картировочных признаков выделения зон развития суффозионных процессов на радарограммах будет ослабление или отсутствие в них осей синфазности отраженных волн.

На рис. 2 показаны выделенные по георадиолокационным данным аномальные зоны двух типов, описанные выше. Видно, что в целом они расположены довольно хаотично, однако можно выделить несколько участков, где их концентрация значительно возрастает. Сопоставление в плане этих участков с положением старых провалов показывает, что они приурочены к одной и той же части насыпи. Следует также отметить, что эти участки расположены преимущественно поперек насыпи.

Вдоль изучаемого участка насыпи были проведены также сейсмические наблюдения по двум профилям, целью которых было определение морфологии кровли отложений мелового возраста (наличие или отсутствие карстовых воронок и т.д.). Сейсмические исследования выполнялись методом отраженных волн по методике многократных перекрытий (методика общей глубинной точки — МОГТ). Профили отработаны с Y-Y установками — горизонтальные удары и горизонтальные приемники в плоскости, перпендикулярной профилю. В результате обработки и интерпретации было установлено, что оси синфазности отраженных волн, соответствующие кровле



Рис. 3. Фрагмент сейсмического профиля № 1: 1 и 2 — участки с различной степенью корреляции осей синфазности отраженных волн. Стрелка показывает участок, где кровля меловых отложений выделяется отчетливо (зеленая линия)

MOXPAHAHELP

меловых отложений, отличаются крайней изменчивостью по амплитуде вдоль профилей, а на многих участках они практически не выделяются (рис. 3). Таким образом, выделение кровли мела по сейсмическим данным на многих участках представляется весьма проблематичным.

Для решения задачи определения относительной сохранности карбонатов был применен динамический анализ сейсмических материалов. Очевидно, что различные условия возбуждения и приема сигнала и сильная изменчивость состава верхней части разреза существенно влияют на амплитуды всех регистрируемых сигналов. Также на значения амплитуд влияют небольшие изменения чувствительности сейсмоприемников. Вследствие этого и, учитывая перечисленные проблемы, относительная сохранность верхней части разреза карбонатов оценивалась не по значению собственно амплитуд, а по ее отношению к некоторому реперу, слабо меняющемуся на изучаемом участке. Таким репером послужила ось синфазности, соответствующая первой контрастной отражающей границе на временах 30-35 мс. Данная граница вполне подходит на роль репера, поскольку породы, подстилающие границу, характеризуются достаточно выдержанными значениями скоростей упругих волн. Данный анализ отражающей способности также показал, что кровля меловых отложений характеризуется сильной латеральной изменчивостью, т.е. степень их сохранности резко меняется по латерали на расстояниях в первые метры — десятки метров.

Инженерно-геологические исследования. Согласно описанной выше методике, по результатам проведенных геофизических исследований и обнаруженных аномалий в строении грунтовой толщи основания и железнодорожной насыпи было намечено 5 ключевых участков. Начало и конец исследуемого перегона, соответствующие условно благоприятным территориям по геофизическим данным; 2 крупные геофизические аномалии (нарушения осей синфазности на георадарном профиле) в центре участка; крупная воронка 1950 г., образовавшаяся в непосредственной близости от путей. В целом, на исследуемой территории выработки образовали 2 профиля. Основной, расположенный вдоль и в непосредственной близости от железнодорожных путей (рис. 4, 5) и вспомогательный, проходящий вкрест первому, через крупный провал к реке. Расстояние между точками опробования грунтов массива основания насыпи, составило 100-150 м в условно безопасных областях и 20-70 м в областях возможного провалообразования. Буровые скважины расположены через 500 м, а в пределах площадей предполагаемого провалообразования через 20-80 м. Всего была пройдена 51 горная выработка. Из них: 35 точек статического зондирования, 8 точек динамического зондирования, 3 скважины диаметром 300 мм, в которых было проведено 10 штамповых испытаний на различных грунтах, 5 разведочных инженерно-геологических скважин диаметром 127 мм, пройденных ударно-канатным методом.

Штамповые испытания грунтов проведены в 3 скважинах на различных глубинах в соответствии с ГОСТ 20276-85. Были опробованы верхнеголоценовые пески аллювиального генезиса с различной степенью сложений, палеогеновые морские пески, мел, находящийся в мягко- и текучепластичном состоянии. В дальнейшем полученные данные прокоррелированы с результатами лабораторных исследований и данными статического зондирования. Статическое зондирование проведено в соответствии с ГОСТ 20069-81, а динамическое зондирование в соответствии с ГОСТ 19912-81 (1987). Глубина динамического зондирования составляла 6–8 м, статического 3–25 м, в зависимости от степени сложения песков.

После обработки материалов инженерно-геологических исследований, выполненных на участке железнодорожной насыпи, были повторно проанализированы результаты геофизических наблюдений, проведенных в течение первого этапа работ. Построена схема соотношения аномальных зон, выделенных по геофизическим данным, и строения инженерно-геологического массива основания железнодорожной насыпи (см. рис. 4, 5). Разработана качественная карта опасности провалообразования, на которой выделены районы с различной вероятностью образования провалов и области с различной реакцией грунтов основания насыпи на воздействие проходящего подвижного состава.

Всем комплексом геофизических и инженерно-геологических методов установлено, что для исследованной территории не характерно развитие карстовых процессов, поскольку отложения карбонатной формации мела полностью обводнены и находятся вне зоны свободного газообмена с атмосферой, на что указывает более низкое, чем в верхнем водоносном горизонте, содержание бикарбонат-иона и ионов щелочноземельных элементов. Кроме этого, мел при взаимодействии с потоком движущейся воды интенсивно размокает, превращаясь в высокопластичную глиноподобную массу, которая находится в текучепластичной или текучей консистенции и характеризуется весьма малыми коэффициентами фильтрации и водоотдачи. Дополнительно установлено, что в границах провалов (достаточно крупный провал 1950 г.), отмеченных на поверхности земли, кровля меловых отложений не изменяет положения относительно соседних участков.

Отмечено, что все крупные древние (диаметр от 10 до 40 м и глубина 2–4 м) и мелкие современные (диаметр до 10 м и глубина до 2 м) провалы приурочены к переуглубленной долине р. Ипуть или сопряженным с ней палеооврагам, заполненными рыхлыми мелкими песками. Эти провалы, по нашему мнению, образовались в результате суффозионного выноса песка, происходившего в период формирования современного склона, а также за счет современного фильтрационного уплотнения рыхлого песка, залегающего в зоне колебания уровней подземных вод. Возможно, в настоящее время также протекает суффозия, хотя и в очень слабой форме, тем более что фильтрация подземных вод, видимо, имеет сосредоточенный характер, на что указывают участки заболачивания поймы р. Ипуть напротив проекций овражных палеоврезов. Современная геоморфологическая обстановка предполагает, что наблюдаемые неглубокие провалы поверхности земли обусловлены древней суффозией, поэтому в настоящее время в условиях сформировавшегося склона образование современных провалов маловероятно.

Комплексирование и взаимное дополнение геофизических и инженерно-геологических исследований позволяют сделать следующие выводы:

зоны локального переувлажнения по данным как бурения, так и георадиолокации, в верхней части насыпи (до глубины 5–7 м) отсутствуют;

зоны максимальной концентрации мест предполагаемого проявления карстовых и суффозионных процессов, выявленные по материалам георадиолокации, на участке



И ОХРАНА НЕПР



1 ♦ январь ♦ 2008

насыпи совпали с участком распространения рыхлых песков и приурочены к 2 палеодолинам, выявленным по данным бурения и статического зондирования;

аномальные участки по данным георадиолокации, предположительно обусловленные проявлением суффозионных процессов, также отчетливо выделяются по материалам статического зондирования.

выявленные по материалам бурения и статического зондирования две палеодолины, как показала повторная интерпретация сейсмических данных, практически не выделяются в сейсмическом волновом поле. Это подтверждает еще раз необходимость проведения комплексных геолого-геофизических исследований, взаимно дополняющих и уточняющих друг друга;

выбор точек бурения, статического зондирования и штамповых испытаний по материалам геофизических наблюдений позволил сократить их число без потери качества исследований. Используя корреляционные зависимости между модулем Юнга, определенном по сейсмическим данным, и модулем общей деформации, полученным в нескольких точках штамповых испытаний, были построены разрезы в изолиниях модуля деформации по всему изученному участку насыпи.

Предложенный комплекс геолого-геофизических исследований позволил получить данные, необходимые и достаточные для принятия решений о возможности дальнейшего использования данного участка насыпи.

© Капустин В.В., Строчков Ю.А., 2008

Капустин В.В., Строчков Ю.А. (ООО «ИнжСтройИзыскания»)

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ ГЕОРАДАР-НЫХ ДАННЫХ ПРИ ИССЛЕДОВАНИЯХ СТРОИТЕЛЬ-НЫХ КОНСТРУКЦИЙ

При георадарных работах для исследования строительных конструкций необходимо учитывать ряд особенностей, которые требуют применения определенных методических приемов и приемов обработки данных. Обосновано применение методов обработки изображений, реализованных в программном nakeme MATLAB Image Processing Toolbox (с имеющимися в настоящее время расширениями), что позволяет увеличить возможности обработки георадарных данных. Выявлена необходимость возможности обмена между MATLAB и используемой программой обработки, для чего были написаны М-функции, которые обеспечивают вводвывод данных в формате sgy и gpr в программный пакет MATLAB. Описано применение двумерной частотной фильтрации на основе вейвлет-преобразования для определения армирования в бетонных конструкциях и методов сегментаций изображений для анализа структуры волновых полей и выделения георадарных фаций.

В настоящее время георадарные методы стали широко применяться при исследовании строительных конструкций наряду с другими методами неразрушающей диагностики. Использование высокочастотных экранированных антенн с центральной частотой 1–2 Ггц позволяет обеспечить приемлемую для практических целей разрешающую способность и глубинность исследований. Возможность регистрации данных в непрерывном движении и наличие устройств позиционирования точек наблюдений позволяют обеспечивать высокую производительность при исследовании протяженных строительных конструкций, таких как тоннели, дорожные и аэродромные покрытия, мосты и т.п.

При проведении георадарных работ для исследования строительных конструкций необходимо учитывать ряд особенностей, которые требуют применения определенных методических приемов и приемов обработки данных. Георадарная съемка на строительных площадках и особенно внутри помещений сильно осложняется отражениями из верхнего полупространства (воздушными отражениями). При исследовании перекрытий и стен могут регистрироваться волны, прошедшие насквозь и отразившиеся от объектов, находящихся за исследуемой средой. Подобные отражения являются помехой при исследовании конструкций, причем их динамические особенности могут быть близки к динамике целевых отражений, что значительно затрудняет интерпретацию материала.

Спецификой проведения георадарных работ внутри помещений является их несколько больший объем по сравнению с работами на открытых пространствах. Это объясняется необходимостью использования дополнительных наблюдений с различной ориентацией профилей наблюдений для определения целевых границ и объектов за счет возможности проведения пространственной фильтрации. В ряде случаев наблюдения необходимо проводить по системе взаимно перпендикулярных профилей, что вызвано необходимостью обнаружения ортогональных конструктивных элементов. Наряду с традиционными методами пространственной фильтрации, реализованными в большинстве программ обработки георадарных данных таких как «RadExplorer», «GeoScan», «PRISM» и «RADAN», рассматривается возможность использования методов, применяемых при обработке изображений. Большинство необходимых для практики процедур обработки реализованы в вышеназванных программах обработки. Тем не менее, применение методов обработки изображений, реализованных в программном пакете MATLAB Image Processing Toolbox (с имеющимися в настоящее время расширениями), позволяет увеличить возможности обработки георадарных данных. Для реализации данной возможности необходимо организовать возможность обмена между МАТLАВ и используемой программой обработки. Для этого были написаны М-функции, которые обеспечивают ввод-вывод данных в формате sgy и gpr в программный пакет MATLAB.

При выводе изображения на дисплей в МАТLAB могут использоваться те же возможности, что и в вышеназванных программах обработки георадарных данных, однако имеющаяся возможность выводить изображение в виде объемной поверхности, в ряде случаев позволяет более наглядно отобразить динамические особенности волнового поля. В пакете МАТLAB используются различные функции преобразования яркости изображений — линейного и нелинейного вида. В частности преобразование яркости методом эквализации гистограмм основано на преобразовании исходного изображения в изображение, уровни яркости которого равновероятно распределены на отрезке. Результат процесса эквализации изображения состоит в увеличении динамического диапазона уровней яркости, что обычно означает большую контрастность выходного изображения. Наиболее универсальным является метод гистограммной подгонки, сущность которого состоит в формировании изображения, гистограмма которого близка заранее заданной. Таким образом, могут быть реализованы различные виды преобразования яркости изображений в зависимости от свойств исходного изображения.

В пакете MATLAB может быть реализована целочисленная арифметика изображений по типу используемого модуля Trace Math в программном пакете RadExPro, позволяющая производить, в частности, пространственную фильтрацию полевых данных (рис. 1). Из приведенного примера видно, что сложение трех изображений улучшает корреляцию второй отражающей границы. В стандартных пакетах обработки имеются процедуры линейной и нелинейной пространственной фильтрации и приемов обработки изображений. Тем не менее, возможности обработки могут быть несколько расширены с помощью пакета Image Processing. С использованием пакета обработки изображений могут быть реализованы различные процедуры фильтрации:

линейной и нелинейной пространственной и частотной;

адаптивной нелинейной;

на основе двумерного вейвлет-преобразования.

Наиболее часто встречающиеся на радарных изображениях пространственные помехи: гауссов шум, периодическая помеха («звоны») довольно эффективно могут быть подавлены одномерной частотной фильтрацией. Для подавления пространственной помехи типа salt & paper может использоваться процедура пространственной нелинейной адаптивной фильтрации, реализованная в пакете Image Processing (рис. 2). Однако следует отметить, что некоторые пространственные преобразования, выполняемые с дискретной матрицей георадарного изображения, могут быть необратимы в том смысле, что после их выполнения нельзя вернуться к волновому профилю.

Двумерная частотная фильтрация может быть построена на основе вейвлет-преобразования. Одним из основных преимуществ вейвлет-преобразования является возможность выделение малоамплитудных высокочастотных особенностей наблюда-



Рис. 1. Обработка изображения с использованием функции преобразования яркости и целочисленной арифметики: а — исходное изображение; б — метод эквализации гистограмм; в — эквализация с подъемом высоких частот; г — суммирование по трем параллельным профилям



Рис. 2. Использование процедуры пространственной нелинейной адаптивной фильтрации: а — исходное изображение с помехой salt & paper; б — после адаптивной фильтрации



Рис. 3. Двумерная частотная фильтрация на основе вейвлет-преобразования: а — исходное изображение; б — после вейвлет-фильтрации



Рис. 4. Выделение целевой границы на основе порогового преобразования: а — исходное изображение, б — после обработки



Рис. 5. Сегментация изображения детектором Канни (Canny) с различными порогами: а — исходное изображение; сегментация с порогом: б — G = 0,5, в — G = 0,3, г — G = 0,1



Рис. 6. Обнаружение субвертикальных трещин «вертикальным» детектором Собела: а — исходное изображение; б — сегментация детектором Собела

емого сигнала. Применение низкочастотной фильтрации на основании вейвлет-разложения достаточно эффективно может использоваться, например, для определения армирования в бетонных конструкциях (рис. 3). При исследовании протяженных строительных конструкций - тоннелей, дорожных и аэродромных покрытий и т.п., возникают проблемы, связанные с обработкой довольно большого объема информации. При этом многие из операций, такие как пикировка границ, выделение локальных объектов, анализ динамики отражений и т.д. выполняются с непосредственным участием обработчика, что при большом объеме наблюдений является довольно трудоемким процессом. В связи с этим рассматривается возможность частичной автоматизации подобных процедур обработки. На рис. 4 приводится пример выделения целевой границы на основе порогового преобразования, которое может быть полезно при прослеживании однотипной целевой границы, например, толщины обделки тоннеля. Выделение целевых границ может также производиться с помощью функции нахождения локальных максимумов или минимумов.

Методы сегментаций изображений могут быть использованы для анализа структуры волновых полей и выделения георадарных фаций. Визуализация изображений на основании методов сегментации в ряде случаев позволяет более детально изучить внутреннее строение исследуемого объекта. На рис. 5 приводится георадарный профиль, выполненный вдоль арочного моста и сегментация изображения с помощью детектора Канни (Canny) с различными порогами. Методы сегментации изображений могут быть использованы, в частности, для выделения субвертикальных трещин в бетонных и асфальтовых покрытиях. В качестве примера можно рассмотреть георадарный профиль, проходящий через стык между гранитными плитами, и автоматическое обнаружение его с «вертикальным» детектором Собела (рис. 6). Подобная обработка может быть полезна при георадарных исследованиях протяженных объектов (дорог, тоннелей и т.п.).

Таким образом, применение методов, используемых при обработке изображений по георадарным профилям, может оказаться полезным при:

визуализации георадарных изображений в процессе интерпретации материала;

MOXPAHAHELP

проведении двумерной пространственной, частотной и корректирующей фильтрации;

прослеживании отражающих границ и обнаружении целевых объектов;

выделении георадарных фаций с использованием методов сегментации.

Так как методы обработки и сегментации изображений лежат в основе методов распознавания образов, с их помощью могут быть построены алгоритмы автоматического обнаружения целевых объектов, например, автоматического подсчета трещин на дорожном покрытии или в обделке тоннеля, выделение участков повышенного обводнения и т.п.

© Капустин В.В., Ушаков А.Л., Бакайкин Д.В., 2008

Капустин В.В., Ушаков А.Л., Бакайкин Д.В. (ООО «ИнжСтройИзыскания»)

ПРИМЕНЕНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОБСЛЕДОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Рассмотрены методики сейсмоакустических исследований буронабивных и других видов бетонных свай, заключающиеся в механическом возбуждении оголовка сваи и оценке состояния сваи по результатам регистрации параметров эхосигнала. Описано решение задачи определения состояния контакта ж/б фундаментной плиты с грунтовым основанием с использованием свойства изменения динамики отражений от подошвы фундаментной плиты в зависимости от акустической жесткости подстилающего основания. Обосновано при обследовании ленточных фундаментов зданий и сооружений типа «стена в грунте», помимо профилирования на постоянной базе, использование расстановки метода отраженных волн, в частности метода общей глубинной точки.

Необходимость в проведении обследования состояния строительных конструкций возникает при следующих обстоятельствах:

ремонт и реконструкция зданий и сооружений;

предотвращение аварийных состояний;

оценка влияния на здания и сооружения ведущегося вблизи крупного строительства;

оценка влияния на здания и сооружения геостатических и геодинамических нагрузок.

В комплексе методов, применяющихся при обследовании зданий и сооружений, наряду с методами, требующими прямого доступа к материалу конструкций и непосредственному испытанию конструкций, используются также методы неразрушающего контроля. Среди них, в частности, применяются ультразвуковые, акустические и активно развивающиеся в настоящее время георадарные методы диагностики строительных конструкций. Каждая группа методов имеет свои особенности применения:

Ультразвуковые методы широко применяются при исследовании бетонных и ж\б конструкций. Они обладают высокой разрешающей способностью, позволяют оценивать деформационные и прочностные характеристики материалов. Однако имеют ограничения по глубине исследований (до 1–1,5 м) и ограниченные возможности по производительности работ при исследовании протяженных строительных конструкций. Георадарные методы имеют несколько большую глубинность, возможность оперативно проводить исследование протяженных строительных конструкций, но обладают меньшей разрешающей способностью и отсутствием установленных связей между электрофизическими и упругими свойствами среды. Акустические методы частично дополняют вышеупомянутые методы, но особый интерес вызывает возможность их применения к исследованию протяженных конструкций, доступ к которым часто ограничен. Это, в частности, фундаменты различных типов: ленточные, плиты и свайные.

Особенностью применения акустических методов при исследовании строительных конструкций является необходимость возбуждения импульсов, имеющих центральную частоту в достаточно широком диапазоне (от сотен Гц до десятков КГц), для чего требуется применение различных видов источников. Серьезным осложняющим моментом при применении акустических методов является чрезвычайная сложность волновых полей, обусловленная сложностью геометрического строения среды, в пределах которой они существуют. Для получения информации о строении и свойствах исследуемых конструкций могут быть использованы проходящие и отраженные волны всех типов — продольные, поперечные и поверхностные.

Наибольшие трудности при использовании акустических методов возникают при выделении целевых волновых полей, кинематические и динамические параметры которых несут искомую информацию. Остальные волновые поля относятся в разряд помех. Сюда относятся и собственно волны-помехи, образующиеся от работы транспорта и строительной техники, и волны, которые условно могут быть разделены на две группы: габаритные обусловленные отражением от границ габаритных размеров строительной конструкции, и структурные — обусловленные отражением от внутренних включений (арматура, трещины, включения материала, отличающегося по акустическим свойствам, и другие неоднородности). Для подавления нецелевых отражений при регистрации волнового поля используются геометрические расстановки и способы возбуждения, обеспечивающие возможность проведения когерентного усреднения, пространственной и пространственно-частотной фильтрации регистрируемых сигналов. Дополнительно для обнаружения целевых отражений и изучения особенностей их динамики могут использоваться результаты численного решения уравнения движения среды, заданные по параметрам модели строительной конструкции. С этой целью были построены решения задач методом конечных элементов для следующих моделей (рис. 1):

расчет волнового поля в цилиндрической свае, находящейся в слоистом грунте при возбуждении продольной волны на ее поверхности;

расчет волнового поля для двух свай, находящихся на едином жестком основании, при возбуждении продольной волны на поверхности одной сваи и регистрации сигнала на другой;

расчет волнового поля при возбуждении продольной волны на поверхности стены в грунте или ленточного фундамента;

расчет волнового поля при возбуждении продольной волны на поверхности фундаментной плиты, лежащей на грунтовом основании.



Рис. 1. Модели, для которых построено численное моделирование акустических полей: а — цилиндрическая свая в грунте (осесимметричный вариант), «стена в грунте» (плоскостной вариант); б — две сваи на едином основании; в — плита на грунтовом основании

В производственной практике американских, австралийских и европейских компаний много лет используется метод Sonic Integrity Testing (называемый в других источниках как Low Strain Dynamic Test, Sonic Echo Test, или Low Strain Integrity Test). В основу метода положено изучение распространения продольных волн в теле сваи, возбуждаемых ударным способом на ее поверхности [3]. Наблюдая отражения от конца сваи и от дефектов в теле сваи, можно сделать заключение о сплошности и однородности сваи. Применение данной методики позволяет определять отражения:

от конца сваи;

отражение от значительных включений (размером 10–20 % от радиуса сваи);

от систем горизонтальных трещин;

от каркасных соединений;

от участков резкого сужения или расширения сваи;

от контрастных слоев вмещающего грунта;

от различных по прочности слоев бетона.

Корректное применение данной методики требует соблюдения ряда условий: скорость распространения продольных волн в свае считается постоянной и примерно равной стержневой скорости

$$V_{\text{стерж}} = \sqrt{\frac{E}{\rho}},$$

где Е — модуль Юнга; р — плотность материала сваи.

Свая изначально считается имеющей постоянный диаметр, требуется представление о свойствах грунтов, в которые погружена свая, в свае изучается распространение низкочастотных мод продольных колебаний, имеющих низкую геометрическую дисперсию фазовой скорости. На основании описанного выше метода возбуждения и регистрации продольных волн в свае могут быть построены следующие методики:

1. Сравнительная акустическая спектроскопия свай. 2. Регистрация отраженных сигналов при возбуждении продольной волны в оголовке сваи.

3. Регистрация волн, проходящих между сваями, находящимися на едином основании.

Сравнительная акустическая спектроскопия свай может применяться на участках с однотипными грунтовыми условиями в пределах расположения свай и при наличии нескольких «эталонных» свай, испытанных прямыми методами (статическими или динамическими нагрузками и т.п.). Использование методов анализа спектров Фурье или вейвлет-спектрограмм позволяет разделять обследованные сваи на нормальные и дефектные. Из теории распространения продольных волн в тонких стержнях известно, что интервал

следования резонансных максимумов примерно определяется следующим выражением:

$$\mathbf{f}^{(n)} = \frac{V c m e p \varkappa n}{2 l},$$

где *n*= 1, 2, 3... – длина сваи.

Максимумы, располагающиеся вне данной последовательности, могут быть обусловлены отражениями от неоднородностей в теле сваи или вблизи нее (рис. 2). Решение задачи исследования сваи может быть успешным, если на записи акустического сигнала удается установить наличие сигнала, отраженного от конца сваи или участка излома сваи (рис 3). В случае надежного определения сигнала, отраженного от конца сваи, все сигналы, наблюдаемые во временном интервале между сигналом прямого прохождения и отраженным от конца сваи (донный импульс), могут рассматриваться, как



Рис. 2. Трасса и ее спектр на свае с дефектами: 1 — отражение от конца сваи; 2 — отражение от дефекта



Рис. 3. Пример полевой записи на нормальной свае (а) и свае с дефектами (б): цифры в кружках: 1 — прямой сигнал, 2 — отражение от конца сваи, 3 — отражение от дефекта

сигналы, отраженные от различных дефектов в свае. Для определения донного импульса и сигналов, отраженных от дефектов, могут быть использованы следующие приемы обработки:

анализ спектров Фурье, вейвлет-спектрограмм и функций автокорреляции;

частотная фильтрация на основе Фурье или вейвлет-преобразований;

временное сжатие сигнала на основе предсказывающей деконволюции или вейвлетпреобразования.

Использование акустических методов позволяет приближенно определять стержневую скорость распространения в свае при известной длине сваи, которая может быть пересчитана в скорость продольной волны в бетоне при известной плотности:

$$V_{np} = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}} =$$

$$= V_{cmepse} \sqrt{\frac{(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)}} ,$$

где *v* — коэффициент Пуассона, что позволяет провести оценку предела прочности бетона на одноосное сжатие с помощью существующих корреляционных зависимостей [1].

В случае, когда известна скорость в бетоне, полученная, например, в результате ультразвуковых измерений, можно оценить глубину сваи. Наличие явлений геометрической дисперсии и отражений на участках пересечении сваей контрастных слоев в





ряде случаев могут привести к ошибкам в определении скорости распространения продольных волн в свае. Избежать ошибок в ряде случаев может помочь моделирование этой ситуации методом конечных элементов [2]. В тех случаях, когда сваи опираются на скальное основание, имеется возможность качественно оценить несущую способность свай. Прочностные характеристики материала сваи могут быть оценены по изложенной ранее методике, прочностные характеристики основания (скального грунта) могут быть получены по результатам прозвучивания между сваями (рис. 4)

Таким образом, рассмотренные выше методики сейсмоакустических исследований буронабивных и других видов бетонных свай, заключающиеся в механическом возбуждении оголовка сваи и оценке состояния сваи по результатам регистрации параметров эхо-сигнала может применяться для:

оценки прочностных характеристик и сплошности свай при их известной длине;

проведения сравнительного анализа свай между собой для выявления дефектных свай и оценки контакта свай с вмещающим грунтом;

определения длины свай при известной скорости распространения продольной волны в свае;

оценки несущей способности свай, опирающихся на скальное основание, при акустическом прозвучивании между сваями.



Рис. 4. Результаты математического моделирования сквозного прозвучивания между сваями: 1 — продольная волна, идущая по сваям и скальному основанию; 2 — продольная волна, идущая между сваями по грунту; 3 — волна Рэлея



Рис. 5. Примеры определения пространственного положения участков нарушения контакта плиты с грунтовым основанием



Рис. 6. Пример определения глубины фундамента

метода общей глубинной точки (рис. 6). Применение акустических методов при исследовании ленточных фундаментов зданий значительно осложняется отражениями от конструктивных элементов здания, что требует определенного выбора точек наблюдения, желательно на участках с отсутствием оконных проемов, дверей и т.п.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Использование акустических методов позволяет проводить инструментальное обследование монолитных фундаментов (свайных, плитных и ленточных) с целью определения геометрических, деформационных и прочностных характеристик.

2. Для определения кинематических параметров волновых полей в конструкциях хорошие результаты дает использование методов вейвлет-анализа. Вейвлет-спектрограммы могут быть использованы для качественной классификации наблюдений.

3. Для изучения динамических особенностей волновых полей можно использовать математическое моделирование на основе решения уравнения движения методом конечных элементов.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 17624-87. Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности. — М.: Изд-во стандартов, 1987.

2. *Hughes TH.J.R.* The finite element method. Linear static and dynamic analysis. — Prentice Hall Int., 1987.

3. *Smith, E.A.L.* Pile-Driving Analysis by the Wave Equation // Journal of the Engineering Mechanics Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers. — 1960. — Vol. 86, No. EM 4, August.

© Великин С.А., 2008

Великин С.А.(ВНИМС ИМЗ СО РАН, Якутия)

ВОПРОСЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ В КРИОЛИТОЗОНЕ НА ПРИМЕРЕ ИЗУЧЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Использование георадиолокации как наиболее мобильного и детального геофизического метода весьма перспективно для изучения и мониторинга состояния оснований инженерных сооружений. С помощью георадиолокации решаются задачи картирования мерзлых и талых отложений, выявления литологических контактов, тектонических нарушений, зон трещиноватости, участков сквозных и несквозных таликов, подземных льдов, обводненных зон. Георадиолокация может использоваться для изучения мерзлотных процессов и явлений, в том числе динамики сезонного промерзания и оттаивания, процессов наледеобразования, пучения, термокарста, морозобойного растрескивания и др., возникающих в процессе эксплуатации сооружений. Но применение метода во многом осложнено разнообразием условий на поверхности, в том числе микрорельефом и электрическими свойствами покровных отложений, а также влияниями сезонных факторов. В работе приводятся материалы использования приемов подготовки и учета рельефа исследуемых объектов, а также использования сезонно-климатических и погодных условий при решении инженерно-геологических задач методом георадиолокации в криолитозоне.

H OXPAHA

Следующей задачей, решаемой с помощью акустических методов, является задача определения состояния контакта ж\б фундаментной плиты с грунтовым основанием. Состояние контакта сказывается на прочности фундаментной плиты и несущей способности фундамента. Для оценки состояния контакта используется свойство изменения динамики отражений от подошвы фундаментной плиты в зависимости от акустической жесткости подстилающего основания. В случае нахождения воздушной прослойки под плитой при возбуждении колебаний на ее поверхности может наблюдаться явление толщинного (полуволнового) резонанса на частоте: $f = V \ 2d$, где V — скорость продольных волн в плите; d — толщина плиты.

Для определения зон дефектного контакта плиты с грунтовым основанием может использоваться акустическое профилирование на постоянной базе. Для анализа данных профилирования удобно использовать методы атрибутного анализа. Традиционно в качестве атрибута использовалась величина добротности колебаний, определенная в спектральной полосе близкой к значению толщинного резонанса. Использование добротности в качестве атрибута не всегда удобно, поэтому могут быть использованы и другие атрибуты, в частности, спектральные характеристики сигнала (рис. 5).

При обследовании ленточных фундаментов зданий и сооружений типа «стена в грунте», помимо профилирования на постоянной базе, могут использоваться также расстановки метода отраженных волн, в частности Изучение с помощью геофизических методов состояния оснований инженерных сооружений в криолитозоне является весьма сложной задачей. Это связано с одной стороны с геокриологическими, литолого-петрологическими, структурно-тектоническими, гидрогеологическими и другими особенностями, с другой — разнообразием температурно-влажностных условий, наличием таликов, а зачастую и фильтрационных потоков в различных частях сооружений, что определяет большую невыдержанность изучаемых разрезов по физическим свойствам. Совокупность этих условий осложняется и сезонными факторами, которые, в свою очередь, влияют на состояние объекта, что требует их учета при интерпретации результатов георадиолокационных работ.

Применение георадиолокации для контроля состояния инженерных сооружений является очень перспективным в связи с потенциальной возможностью проведения «непрерывных наблюдений» с большой детальностью установками малых размеров. Приемо-генераторные установки в этом случае не только во много раз меньше, чем изучаемые элементы строения, но и значительно меньше установок других применяющихся наземных геофизических методов — питающих линий кондуктивных методов электроразведки, генераторных и измерительных петель импульсных методов, сейсмических кос и т.п. Большие размеры установок, типичные для этих методов, приводят к тому, что на получаемые сигналы накладывается целый ряд помех, связанных не с исследуемым участком гидросооружения, а с расположенными на нем различными конструкциями и элементами рельефа самого сооружения (например, дамбы).

Но, тем не менее, поверхностная георадиолокация, как и другие геофизические методы, имеет ряд существенных ограничений по применимости. Это, в первую очередь, глубинность и разрешающая способность, которые зависят не только от электрических свойств изучаемых разрезов*, в основном электропроводности и диэлектрической проницаемости, а также магнитной восприимчивости, но и от поверхностных условий, в т.ч. состояния рельефа поверхностного слоя и его электрических свойств.

Пути улучшения результативности исследований

Несмотря на указанные выше сложности, применение георадиолокации для изучения и диагностики состояния оснований инженерных сооружений весьма эффективно. Результативность метода может быть существенно повы-

шена за счет рационального использования сезонно-климатических условий и специальной подготовки зондирующей поверхности (зачистка, выравнивание, смачивание и т.д.). Весьма информативным является использование различий структуры и характера георадиолокационных разрезов оснований и дорожных покрытий инженерных сооружений, наблюдаемых зимой и летом, до и после осадков, т.е. в различном геокриологическом и температурно-влажностном состоянии. Использование для оценки и анализа результатов георадиолокационных работ различной априорной информации о литологическом составе изучаемых разрезов, динамике температурного состояния грунтов оснований и температурах начала оттаивания-промерзания дают ключ к эффективному использованию георадарных технологий для изучения и контроля оснований инженерных сооружений, зданий и дорожных покрытий.

Авторы настоящей работы занимались вопросами разработки методики и техники геофизического контроля состояния инженерных сооружений в Западной Якутии и получили ряд оригинальных материалов по применению георадиолокации с применением различных способов подготовки поверхности исследуемых профилей и учетом сезонно климатических и температурно-влажностных условий при решении различных инженерно-геологических задач в криолитозоне.

Несмотря на кажущуюся легкость и высокую производительность проведения георадиолокационных исследований, получение качественной информации требует во многих случаях отдельных работ по подготовке зондирующей поверхности для съемки (зачистка от снега и льда, выравнивание неровностей микрорельефа с помощью зачистки и подсыпки, смачивание поверхности). Кроме того, для многих объектов существуют сезонные ограничения применимости метода, а задача может решаться лишь способом сравнения результатов, полученных в различных сезонных и температурно-влажностных условиях (зима-лето), до и после дождя, в период максимальной либо минимальной мощности сезонно-талого слоя и др.

Результаты работ

Иллюстрацией целесообразности подготовки зондируемой поверхности могут служить результаты изучения георадиолокационного разреза участка дороги с бетонным покрытием (рис.1). Измерения проводились одной и той же аппаратурой при наличии незначительного просвета (4 см) между дном антенны и дорогой (съемка на подставке с колесами) и без него (съемка без подставки). Как следует из рис. 1, георадарограмма в случае получения с приподнятой над дорогой антенной значительно зашумлена по сравнению с результатами съемки без подставки, что осложняет изучение разреза.



Рис. 1. Пример влияния небольшой воздушной прослойки (4 см) между дном антенны (аппаратура SIR2000 антенна FGMOD5106 f=200 МГц) и зондирующей поверхностью (бетонной дорогой на мерзлом грунтовом основании): а — георадарограмма с антенной, не имеющей зазора (без подставки); б — георадарограмма с приподнятой антенной (зазор 4см за счет подставки на колесах)

^{*} Финкельштейн М.И. Мендельсон В.Л., Кутев В.А. Радиолокация слоистых земных покровов. — М.:Сов. радио. 1977.



Рис. 2. Контроль с помощью георадиолокации состояния дамбы Сытыканского водохранилища в Западной Якутии (мониторинг положения отражающих границ)

На рис. 2 представлена радарограмма по гребню дамбы водохранилища р. Сытыкан, полученная после очистки поверхности от дорожной грязи. Эта простая мера позволила выявлять весьма детальные элементы строения дамбы, положение которых в ее разрезе позволяет контролировать состояние дамбы в процессе ведущихся строительных мероприятий (укрепление дорожного полотна, цементация участков, ослабленных в процессе эксплуатации объекта).

Возможности изучения с помощью георадиолокации по льду водохранилища строения дна и донных отложений участка водохранилища, где проводилась отсыпка берегового примыкания для уменьшения обходной фильтрации, представлены на рис. 3. Результаты были получены после очистки поверхности льда, что позволило значительно уменьшить уровень помех и решить поставленную задачу, связанную с оценкой мощности подводной части отсыпки. Вообще следует отметить, что зачистка и выравнивание зондируемых поверхностей резко улучшает качество радарограмм за счет уменьшения влияния микрорельефа и неоднородного покрытия исследуемых участков грязью, мокрым снегом, которые могут значительно искажать и ослаблять зондируемые импульсы.

На рис. 4 представлен вариант картирования с помощью георадиолокации подошвы продуктивного амплитудного горизонта и выявления особенностей его строения. Эта возможность появилась только после снятия почвенно-растительного слоя, который являлся сильным экраном из-за большой влажности и наличия глинистой прослойки.

Среди других мер по подготовке зондирующих поверхностей следует отметить подсыпку тонкозернистым материалом и сглаживание поверхности исследуемых профилей. В частности, на одной из плотин Западной Якутии это позволило с большой детальностью выявить ослабленную зону и фильтрационное окно в теле плотины (рис. 5).

Помимо использования способов подготовки зондирующих поверхностей для проведения георадиолокации, хороший эффект дает использование сезонных и погодных факторов, т.е. съемки в условиях промо-







граница кровли кореных пород

Рис. 4. Данные георадиолокации алмазных россыпей одного из приисков в Западной Якутии: а — радарограмма после предварительной обработки; б — радарограмма с выделенными геоэлектрическими горизонтами, соответствующими различным по составу грунтам террасовых отложений; 1, 2, 3 — различные по составу грунты террасовых отложений

PASBERIKA HELP



Рис. 5. Радарограмма по гребню плотины пруда отстойника. Выявление места фильтрации в теле плотины: 1 — контур суффозионного разуплотнения, 2 — зона фильтрации

розки и оттаивания изучаемых разрезов, до и после смачивания дождевыми осадками поверхности горизонтов, и др.

На рис. 6 приводится пример режимных исследований на одном из полигонов алмазных россыпей, где впоследствии планировались дражные работы. Исследования проводились в зимний период, т.е. в цикле промерзания грунтов. В процессе исследований оказалось, что режимные георадиолокационные исследования позволяют оценить геокриологические особенности разреза. На рис. 6 даны результаты исследований в декабре 2005 г. и феврале 2006 г. Оказалось, что в декабре довольно четко отбивается граница промерзших пород и граница максимального летнего протаивания, что подтвердилось температурными наблюдениями (см. рис. ба). В дальнейшем в январе-феврале, в процессе дальнейшего промерзания разреза, на георадарограммах начинают отчетливо выделяться литологические границы, в том числе границы кровли и подошвы продуктивного горизонта, что подтверждается геологическими данными по керну скважин и описанием шурфов (см. рис. 6б). Кроме того, в процессе обработки был учтен рельеф дневной поверхности, и это дало возможность уверенно выявить подошву продуктивного горизонта, определить глубину его залегания и мощность на момент начала дражных работ, а также впоследствии спрогнозировать состояние грунтов разрабатываемого разреза (время оттаивания продуктивного горизонта после заполнения дражного котлована).

Выводы

Приведенные в работе результаты исследований показывают, что применение в процессе георадиолокационных работ различных способов подготовки исследуемых поверхностей (зачистка, подсыпка, сглаживание, смачивание и т.д.), а также использование и учет сезонно-климатических и погодных факторов позволяет во многих случаях повысить результативность георадиолокационных работ. Кроме того, проведенные исследования позволили сделать вывод, что несмотря на то обстоятельство, что в основе метода георадиолокации лежит отличие пород и грунтов по диэлектрической проницаемости и электропроводности, основной характер георадиолокационных разрезов, как правило, отражает в первую очередь положение литологических границ. Границы, связанные с геокриологическим состоянием, зачастую имеют вторичный характер и выявляются на георадарограммах менее четко. Причем во многих случаях основные элементы геокриологического строения более ярко выявляются в периоды, несоответствующие сезонному геокриологическому состоянию. В частности это касается границы максимального сезонного протаивания в период интенсивного промерзания и т.п.



Рис. 6. Георадиолокационные разрезы по профилю 1: а — декабрь 2005 г.; б — февраль 2006 г., в — февраль 2006 г. с учетом поверхности; 1 — галечно-гравийная песчаная смесь; 2 — супесь с галькой и гравием; 3 — песок тонкозернистый без гальки; 4 — мергель разрушенный; 5 — известняк песчанистый; продуктивный горизонт: 6 — кровля, 7 — подошва; 8 — граница промерзания пород; 9 — граница максимального протаивания; 10 — графики температуры

© Калинина А.В., Аммосов С.М., Волков В.А., 2008

Калинина А.В., Аммосов С.М., Волков В.А. (Институт физики Земли РАН)

СЕЙСМИЧЕСКИЙ ШУМ: ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ В ИНЖЕНЕРНО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

В настоящей работе рассмотрены результаты исследования пространственного распределения спектральных характеристик микросейсм, проведенные на активном оползневом объекте в условиях крупного мегаполиса.

В последние годы при изучении строения среды активно применяются методы, основанные на использовании микросейсм (сейсмических шумов) в качестве зондирующего сигнала. Исследования в этой области можно разделить на несколько направлений. Это, во-первых, изучение дисперсионных зависимостей между скоростями микросейсмических колебаний и соответствующими частотами в спектре. Измерения в данном случае проводятся с помощью малоапертурной сейсмической группы. Во-вторых, это методы, основанные на изучении поведения статистически устойчивых параметров микросейм. В данном случае делается ряд допущений об источнике микросеймических сигналов, их волновом составе, что приводит к неоднозначной интерпретации получаемых результатов. Однако эту группу отличает простота реализации методов и несмотря на начальные допущения хорошая согласованность результатов микросейсмических исследований с другими геолого-геофизическими методами.

Ранее было показано [1, 2], что методика, основанная на изучении пространственного распределения амплитуд микросейсм, дает хорошие результаты при изучении глубинных геологических объектов, резко отличающихся по своим механическим и скоростным параметрам от вмещающих пород. Например, данный подход с успехом применялся для картирования интрузивных тел, соляных куполов, локализации зоны глубинных разломов. Авторами данный подход развивается в приложении к задачам инженерной геофизики и в комплексе с другими инженерно-геофизическими методами успешно применяется для выделения геологических неоднородностей приповерхностного залегания.

Методика измерений

Основной идеей методики микросейсмического картирования является предположение о преобладании в составе микросейсм (вертикальной составляющей) волн поверхностного типа, а именно волн Рэлея, и при обработке и интерпретации данных используются их физические свойства. Вследствие влияния свободной границы изменение амплитуды колебаний определенной частоты на поверхности в релеевской волне будет контролироваться состоянием среды на глубине, соответствующей, примерно, половине длины волны, Η~0.5хλ (зона максимальных напряжений). Построив карты распределения амплитуд микросейсм для различных частот (или длин волн), можно проследить за динамикой неоднородностей геологической среды, формирующих распределение поля амплитуд микросейсм по простиранию и глубине. При пересчете частоты в длину волны авторы учитывают дисперсионные свойства волны Рэлея — увеличение скорости с длиной волны.

Кроме того, известно, что микросейсмический сигнал имеет двойственную природу. С одной стороны, он представлен интерференцией сейсмических волн различных типов, которые распространяются в виде волновых пакетов и являются детерминированными сигналами. С другой стороны — это случайный процесс, поскольку неизвестны заранее ни вклад каждого типа волн, ни начальные фазы, ни амплитуды, ни длительность этих цугов. Так как авторы используют пространственные свойства спектральных характеристик микросейсмического сигнала для выделения геологических неоднородностей и оценки их параметров, нам необходимо быть уверенными в том, что получаемые величины являются стационарными, т. е. не зависят от погоды, времени суток, года и т.п. Исследования периода стационарности микросейсм показали, что спектры микросейсм в диапазоне 0.5-12 Гц стабилизируются в интервале накопления сигнала порядка 15-20 мин. Кроме того, микросейсмические измерения проводятся двумя (или более) регистрирующими станциями, одна из которых (базовая) устанавливается на постоянную регистрацию в пределах исследуемой площади. Именно с помощью последней при дальнейшей обработке снимаются как глобальные источники микросейсм, так и локальные.

Объект исследования и аппаратура

Работы проводились в северо-западном районе Москвы (речная долина) на оползневой структуре, где сильные движения (образование трещины отрыва с амплитудой смещения около 2.5 м) произошли за 2—3 месяца до начала проведения работ. Геологический разрез района исследований формируют песчаные четвертичные отложения, глинистая толща нижнемелового и юрского (волжский, оксфордский и келовейский ярусы) возраста и отложения карбона. Регистрация микросейсм проводилась по семи профилям, равномерно секущим оползневой склон с последующим выходом на плато. Расстояние между профилями составляло 50— 60 м, расстояние между пунктами наблюдения — около 20 м.

Для измерений использовались сейсмические станции на базе переносных персональных компьютеров. Комплект аппаратуры состоял из блока АЦП (14 бит) и сейсмических датчиков — СМЗ-ОС (*Z* компонента) и КМV (*X*, *Y*, *Z* компоненты) для базовой и рабочей станции соответственно. Питание рабочей станции осуществлялось от переносного аккумулятора (12 В), базовой — от стационарной сети. Общее время регистрации на каждой точке наблюдения составляло около 35 мин. Частота дискретизации 200 Гц. Базовая станция работала непрерывно во время всего этапа проведения работ. Рабочая полоса частот датчика СМ-3 — 0.033 — 12 Гц, чувствительность — 4050 Вс/м, КМV — 0.5 — 70 Гц, Х, Y, Z — 3771, 3838, 3748 Вс/м.

Обработка и представление результатов

Обработка и представление результатов заключались в построении карт пространственного распределения амплитуд микросейсм для выбранных частот спектра с привязкой полученных изображений по глубине. Поскольку объект наших исследований приповерхностный и рабочая полоса частот лежит в области промышленных помех, и вклад объемных волн в состав микросейсмического поля достаточно велик, проводилась предварительная обработка записей с целью удаления высокоамплитудных помех (в основном транспорта). Статистическая устойчивость каждой записи контролировалась с помощью вычисления дисперсии в различных временных окнах. Для изучения волнового состава микросейсм проводился поляризационный анализ движения частиц. Как уже говорилось выше, авторы старались учесть дисперсионные свойства волны Рэлея, для чего



необходимо знать скоростной разрез района исследований. Мы имели возможность использовать данные сейсмического каротажа и прямых измерений скорости поперечных волн. Эти работы (высокоразрешающая сейсморазведка на поперечных волнах для малых глубин, сейсмокаротаж скважин) проводились на данном объекте сотрудниками ГСПИ. Кроме того, авторы провели расчет пространственных характеристик спектральных соотношений горизонтальной и вертикальной компонент сигнала (так называемый метод Накамуры) [5]. Результаты двух независимых исследований хорошо согласуются: значения средней скорости поперечной волны для верхней части разреза (10—40 м) составляют приблизительно180—220 м/с.

Ввиду достаточно сложного рельефа поверхности района работ, при построении карт распределения амплитуд микросейсм вводились поправки за высоту.

В работах [3, 4] было показано, что неоднородности с повышенными сейсмическими скоростями проявляются в микросейсмическом поле как зоны с пониженными амплитудами, а неоднородности с пониженными скоростями — как зоны с повышенными амплитудами. Принимая во внимание тот факт, что мы рассматриваем нормиро-



Рис. 1. Карты распределения амплитуд микросейсм по глубине (в абсолютных значениях)

Рис. 2. Трехмерный вариант изображения распределения спектральной амплитуды микросейсм района исследования. Поверхность оконтуривает зону низких скоростей (высокой амплитуды)

ванный на базовую станцию спектр микросейсм, получаемые в результате обработки карты распределения спектральных амплитуд свидетельствуют о наличие (в пределах изучаемого объекта) участков с различными значениями упругих параметров.

Для лучшей визуализации все карты сгруппированы в единый глубинный разрез, составленный из отдельных сечений исследуемого объема среды (рис. 1). Видно, что на картах распределения амплитуд микросейсм для диапазона глубин 5-8 м выделяется зона повышения интенсивности колебаний широтного простирания (красный цвет). Она охватывает нижнюю часть склона и с глубиной вырождается в «яркое» пятно в районе 4 и 5 профиля. Далее, для глубин 14–15 м, поле микросейсм стабилизируется, что соответствует более консолидированной толще осадков, по которой, возможно, и происходит движение верхней разуплотненной толщи. Из данного представления хорошо видно, что в верхней части массива до зоны стабилизации (глубина ~ 14 м) аномалия повышенных значений амплитуд микросейсм напоминает воронкообразную структуру с уменьшающимся радиусом, а на поверхности совпадает с пространственной ориентацией трещины отрыва в нижней части оползневого склона, где может идти накопление разуплотненных пород, подвергшихся заметному смещению.

Ниже по разрезу, особенно на глубинах 22–25 м, снова проявляется аномальная зона широтного простирания. На сколько она влияет на оползневой процесс или связана с локальными неоднородностями геологической среды, пока уверенно сказать сложно. Нижние слои толщи (глубина 40–60 м) не обнаруживают столь заметных зон разуплотнения и соответствующих аномалий поля микросейсм, хотя в центральной части прослеживается зона, являющаяся, возможно, структурным продолжением вышележащих аномалий.

Трехмерный вариант изображения распределения спектральной амплитуды микросейсм района исследования представлен на рис. 2. Поверхность оконтуривает зону низких скоростей (высокой амплитуды). Построен объем среды от 5 до 50 м от уровня речной террасы с интервалом 0.5 м.

Представленные результаты получают дополнительное подтверждение при сопоставлении с данными инженер-



Рис. 3. Сопоставление данных микросейсм с геологическим разрезом и данными долговременных инклинометрических наблюдений

ных сейсморазведочных работ и инклинометрии. На рис. 3 показано совмещение поля микросейсм по профилю 5 с геологическим разрезом этого участка и данными долговременных инклинометрических наблюдений. Видно, что зона максимального смещения оползневого тела по данным инклинометрии (смещение за время наблюдений составило около 60 мм) совпадает с зоной повышенных амплитуд микросейсм. Ниже наблюдается зона стабилизации уровня микросейсмического сигнала, по-видимому, связанная с зоной консолидированных пород, по которым и происходит смещение вышележащего массива.

Заключение

Проведенные исследования показали, что изучение параметров микросейм является эффективным средством изучения среды не только на больших глубинах, но и для приповерхностных объектов в рамках решения задач инженерного комплекса. Зоны с различными значениями скоростей отражаются в спектральных характеристиках микросейсмического поля, и их можно уверенно разделять. Геологические неоднородности с пониженными значениями скоростей проявляются как зоны с повышенными амплитудами и наоборот. При этом алгоритм выполнения полевых измерений достаточно прост. Контроль источников микросейсм базовой станцией дает возможность делать съемку последовательно с помощью одной трехкомпонентной станции. Расчет отношения спектральных характеристик вертикальных и горизонтальных компонент позволяет оценить скоростной разрез верхней части изучаемой толщи среды.

В статье приводится пример изучения активного оползня в районе реки Москвы. В пределах исследуемой площади выявлены локальные участки повышенных амплитуд микросейсм, которые можно интерпретировать как зоны разуплотненных пород. В нижней части оползневого склона ослабленная зона по пространственной ориентации совпадает с простиранием нижней трещины отрыва, выходящей на дневную поверхность и являющейся, возможно, зоной сочленения двух оползневых ступеней. Зона разуплотнения прослеживается до глубины 10–12 м. На глубине 12–14 м наблюдается стабилизация уровня микросейсмического сигнала, что может свидетельствовать о наличии более консолидированной толщи осадков, по которой и происходит движение оползня.

Интересным дополнительным результатом является выделение в известняках (глубина 40–60 м) зоны повышенных амплитуд, которая является, возможно, структурным продолжением вышележащих аномалий. Представленные результаты хорошо согласуются с данными других геофизических методов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горбатиков А.В., Калинина А.В., Моисеенко С.А. и др. Мониторинг объектов нефтегазового комплекса методом микросейсмического зондирования // Технологии ТЭК. — 2004. — №1(14). — С.20–25. 2. Горбатиков А.В., Калинина А.В. Метод микросейсмического зондирования (ММЗ), экспериментальное обоснование / Тез. докл. / Седьмые геофизические чтения им. В.В. Федынского. — М., 2005. 3. Gorbatikov A.V., Kalinina A.V., Volkov V.A. et. al. Results of analysis of the data of microseismic survey at Lanzarote Island, Canary, Spain // Pure and Applied Geophysics. — 2004. — № 161. — Р.1561–1578. 4. Gorbatikov A.V., Kalinina A.V., Arnoso J. et. al. Microseismic sounding method; experimental background, case of application // 4th Congress of the Balcan Geophysical Society, 9–12 October 2005. — Bucharest, Romania, 04-03.

5. *Nakamura Y*. A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface // Quarterly Report Railway, Tech.Res.

Гайнанов В.Г., Токарев М.Ю (ДЕКО проект), Зверев А.С. (географический ф-т МГУ), Росляков А.Д. (геологический ф-т МГУ)

МНОГОКАНАЛЬНОЕ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКОЕ ПРОФИЛИРОВАНИЕ НА РАЗНЫХ ЧАСТОТНЫХ ДИАПАЗОНАХ: РЕАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ

При инженерно-геологических исследованиях на акваториях перед сейсмоакустическим профилированием ставится задача исследовать геологический разрез на глубину 30-100 м с разрешающей способностью 2—3 м, а для самых верхних частей разреза — до 0.5 м и лучше. Просветить разрез на всю глубину с высокой разрешающей способностью не удается, поэтому часто используют две системы профилирования, работающие на разных частотных диапазонах [1]. Для достижения больших глубин обычно используют электроискровой источник — спаркер, а для высокой разрешающей способности — бумер или акустический профилограф с пьезоэлектрической приемно-передающей антенной. В компании «ДЕКО проект» имеется опыт использования таких двухчастотных комплексов при изысканиях под строительство трубопроводов, мостов, портовых сооружений, однако в последнее время мы начали использовать еще и многоканальную систему регистрации данных. Здесь представлены некоторые примеры таких исследований.

Аппаратура и методика работ

Для возбуждения упругих колебаний и приема одноканальных сигналов использовалась аппаратура «Геонт-Шельф», имеющая в составе бумер с энергией 100 Дж с частотным составом возбуждаемых колебаний 500–4000 Гц,

и спаркер с энергией 600 Дж, частотным составом колебаний 100–1000 Гц. Сигналы бумера и спаркера принимались отдельными косичками и регистрировались двухканальной регистрирующей системой с соответствующей настройкой усилителей и фильтров. Прием и регистрация многоканальных данных осуществлялись сейсмоакустическим комплексом «Нильма», состоящим из 16-канальной косы и цифрового регистратора. В некоторых случаях работы со спаркером комбинировались с акустическим профилографом, в котором для возбуждения и приема колебаний используются пъезоэлектрические антенны.

Обработка данных и результаты

Обработка данных осуществлялась программами «Геонт-Шельф» и «RadExPro». Одноканальные данные бумера и спаркера подвергались частотной фильтрации, мьютингу, коррекции статических поправок, выравниванию амплитуд, деконволюции. На представленном примере (рис. 1) сейсмоакустические работы были проведены в штормовых условиях Арктики, что делало первичные записи, полученные с применением высокочастотного бумера (500—4000 Гц) практически не читаемыми (а). Соответствующая обработка позволило получить окончательные записи неплохого качества (b).

Каждый канал многоканальной записи подвергался сначала такой же обработке, затем осуществлялась сортировка трасс по ОГТ, проводился скоростной анализ (рис. 2), вводились кинематические поправки и в результате суммирования получались временные разрезы ОГТ (рис. 3). Проведенные нами теоретические и экспериментальные исследования [2, 3, 4] показали, что несмотря на ограниченную длину используюмой косы (30м) скоростной анализ по многоканальным данным позволяет достаточно уверенно определять скорости в осадках до глубин 50-60 м. Это позволяет строить глубинные разрезы и при отсутствии скважин на исследуемых площадках. Суммарные разрезы ОГТ характеризуются более высоким соотношением сигнал/помеха, на них меньше шумов буксировки и ослаблен фон многократных волн. Поэтому на суммарных трассах более успешными оказываются такие процедуры обработки, как деконволюция и вычисление динамических атрибутов записи.

На рис. 3 представлены временные разрезы ОГТ (Арктика, источник — спаркер) до (а) и после (b) деконволюции, сравнение которых показывает, что после деконволюции не только существенно улучшилась вертикальная разрешенность записи, но также практически исчезли многократные волны в водном слое, которые при сумирование не были полностью подавлены.

В центральной части этого профиля на времени около 60 мс наблюдается яркое пятно, которое еще четче выделяется на разрезе мгновенных амплитуд (см. рис. 3с). Отрицательная полярность отражений, образующих это пятно (красный цвет на разрезе полярности отражений, см. рис. 3d), указывает, что, скорее всего, оно образовано отражениями от скоплений газа. На это же указывет и незначительная отрицательная скоростная аномалия на кривых скоростного анализа непосредственно под этим пятном.



Рис. 1. Пример обработки данных, полученных с бумером в неблагоприятных погодных условиях: а) фрагмент необработанного временного разреза; b) тот же фрагмент после мьютинга, частотной фильтрации, коррекции статических поправок (исключение влияния волнения) и предсказывающей деконволюции

Следует заметить, что хотя временные разрезы, полученные с использованием спаркера, позволили достаточно детально изучить разрез до глубины 100 м, все же для самой верхней части разреза разрешение недостаточно, так что комплексное применение систем со спаркером и бумером одновременно оказалось эффективным. Например, на записи бумера (см. рис. 1b) в центральной части профиля на временах 10-20 мс четко выделяется одна большая погребенная долина и множество мелких неоднородностей, в то же время на записи спаркера (см.

 Velocity (m/s)
 Offset (m)
 CVS (m/s)
 2000

 1ime (m)
 1250
 1500
 1750
 2000

 10
 1
 1250
 1500
 1750
 2000

 10
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1
 1

Рис. 2. Пример скоростного анализа по многоканальным сейсмоакустическим данным. Эффективные скорости достаточно уверенно определяются до времен 80–100 мс



Рис. 3. Результаты 16-канального профилирования со спаркером по тому же профилю, что и на рис. 1: а) временной разрез ОГТ; b) временной разрез после деконволюции; c) разрез мгновенных амплитуд; d) разрез полярности отражений (синий цвет — положительная полярность, красный — отрицательная). Выделяется яркое пятно с отрицательной полярностью отражений (скопления газа?)

рис. 3b) эта же долина хотя и видна, но без деталей.

Другой пример удачного комбинирования разночастотных систем профилирования представлен на рис. 4 (Финский залив). Здесь работы были проведены с применением акустического профилографа (АП) с основной частотой излучаемых колебаний 6 кГц и спаркера с полосой частот 100-1000 Гц. На разрезах АП детально отображается тонкая структура современных рыхлых отложений, однако нижележащие моренные отложения оказываются полностью непроницаемыми для него. В то же время, на разрезах спаркера легко определяется строение и мощность моренных отложений, залегающих здесь непосредственно на фундаменте, а рыхлая толща на них отображается как практически однородная и акустически прозрачная.

Пример удачного применения комбинации кинематических и динамических характеристик волн представлен на рис. 5 (Охотское море — 16-канальное сейсмоакустическое профилирование с использованием спаркера). На представленном фрагменте временного разреза (см. рис. 5а) наблюдается сложное строение осадочной толщи, возможно, со скоплениями газа (яркие пятна), или выступами коренных отложений (яркие пятна и антиклинальные структуры). Так как скважины на этом участке работ отсутствовали, то интерпретация проводилась, полностью основываясь только на результатах сейсмоакустических исследований.

Разрез мгновенных амплитуд (с) позволяет четче выделить яркие пятна, изучить закономерности их распределения на разрезе. В то же время разрез полярности отражений (d) показывет, что не все яркие пятна характеризуются одинаковой полярностью отражений. Яркие пятна с отрицательной полярностью отражений в основном расположены в толще осадочных отложений, во многом повторяют форму слоистости окружающих отложений, иногда распределены кулисообразно на разных глубинах. По всей видимости,

M OXPAHA



Рис. 4. Временные разрезы по одному и тому же профилю, полученные с акустическим профилографом 6 кГц (вверху) и со спаркером 100–1000 Гц (внизу)

это отражения от скоплений газа. Яркие пятна с положительной полярностью отражений в основном расположены у основания слоистой осадочной толщи, не всегда повторяют конфигурацию слоистости в вышележащей толще. По нашей интерпретации, это отражения от кровли коренных пород, акустически гораздо более плотных, чем молодые осадочные образования, так как коренные от-

ложения здесь представлены магматическими и вулканогенными породами.

Значения пластовых скоростей, полученные в результате скоростного анализа многоканальных данных (показаны в кружочках на рис. 5с), также помогают правильной идетефикации типа отложений: современные рыхлые морские отложения характеризуются низкими скоростями — 1550-1650 м/с, для несколько более древних отложений скорости оказываются выше — 1700-1800 м/с. Выступ в осадочной толще в районе пикетов 1300-1400, получивший некоторое отражение даже в рельефе дна, образован более древними и более плотными породами — скорость продольных волн в ее толще 1800 м/с. Причем эти более плотные отложения на этом участке непосредственно выходят на дно. Интенсивность отражения от дна на этом участке существенно выше, чем на соседних участках (см. рис. 5b). Для интервала предполагаемых коренных отложений (70-90 мс на временном разрезе) значения скорости определились как 2100-2200 м/с. Это существенно ниже, чем для магматических или вулканогенных пород. Но можно

полагать, что в верхней части разреза залегают трещиноватые, частично разрушенные породы.

Залегающие непосредственно у дна современные отложения также неоднородны по акустическим свойствам. Это хорошо видно на разрезе мгновенных амплитуд (см. рис. 5с) и графике интенсивности отражения от дна (см. рис. 5b) в центральной части представленного фрагмента разреза (пикеты 680-1300), где наблюдается небольшая ложбинка на дне. Интенсивность отражений от дна становится заметно ниже, что говорит о меньшей акустической жесткости этих отложений, т. е. о меньших значениях плотности и скорости сейсмических волн. Кстати, значения скорости в придонных отложениях для этого интервала разреза (1550 м/с) также ниже, чем для соседних участков этого же профиля (1650 м/с). Наконец, на временном разрезе (см. рис. 5а) можно заметить, что характер слоистости в придонных отложениях на рассматриваемом участке профиля отличается от характера слоистости на примыкающих участках левее и правее от него. На рассматриваемом участке слои залегают практически горизонтально, как и дно, а на примыкающих участках наблюдается косая слоистость, и линия дна не полностью горизонтальная. Наш вывод — на рассматриваемом участке залегают не консолидированные, «полужидкие» осадочные образования.



Рис. 5. Временные разрезы ОГТ: а) суммарный разрез после деконволюции и полосовой фильтрации; b) график интенсивности отражений от дна; c) разрез мгновенных амплитуд (в кружочках указаны значения пластовых скоростей по скоростному анализу); d) разрез полярности отражений

Выводы

1. Комплексное двухчастотное сейсмоакустическое профилирование обеспечивает значительно более полное решение инженерно-геологических задач на акваториях, так как два метода удачно дополняют друг друга.

2. Многоканальный прием существенно повышает качество получаемой информации, позволяет строить достаточно точные глубинные разрезы даже при отсутствии скважинных данных благодаря возможности определения скоростей в отложениях.

3. Обработка сейсмоакустических данных на современных программных комплексах позволяет не только существенно повысить качество временных разрезов и тем самым улучшить прослеживаемость границ, но при умелом использовании кинематических и динамических характеристик записи позволяет достаточно достоверно определять и типы отложений.

4. Возможность существенно повысить качество записи при последующей обработке в определенных случаях позволяет проводить сейсмоакустические исследования при явно непригодных погодных условиях и получить в последующем вполне удовлетворительные результаты.

Авторы благодарят компанию «ДЕКО проект» за предоставленную возможность использовать материалы полевых исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев А.Г., Безродных Ю.П., Зеленцов В.В. Анализ результатов инженерно-геологических изысканий, выполненных при поисках и освоении нефтегазовых ресурсов Северного Каспия и рекомендации по оптимизации работ / Тез. докл. Второй междунар. научно-практ. конф. «Инженерная геофизика» — Геленджик, 2006. — С. 121–123.

2. Гайнанов В.Г., Кузуб Н.А., Токарев М.Ю. Особенности обработки данных многоканального сейсмоакустического профилирования на акваториях / Сб. трудов кафедры общей и прикладной геофизики. Международный университет природы, общества и человека «Дубна». — 2007 — С. 42–54.

3. *Гайнанов В.Г.* Расчет многоканальных систем сейсмоакустического профилирования на моделях / Там же. — С. 55–68.

4. Гайнанов В.Г., Кузуб Н.А., Токарев М.Ю., Клещин С.М. Опыт сейсмоакустического профилирования с многократным перекрытием возможности и ограничения // Разведка и охрана недр. — 2006. — № 12. — С. 21–24.

© Дудник А.В., 2008

Дудник А.В. (ООО «Логические Системы», г. Раменское)

ВЛИЯНИЕ ИЗЛУЧАЕМОЙ МОЩНОСТИ НА ГЛУБИНУ ЗОНДИРОВАНИЯ В ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ

В статье проанализировано уравнение дальности в средах с затуханием. Найдена зависимость глубины зондирования от затухания в среде. Проанализирован прирост глубин при увеличении мощности излучения и показано, что даже при увеличении мощности излучения в сотни раз прирост глубины составит 30...50 %.

Радиотехнический прибор подповерхностного зондирования (в общепринятой терминологии — георадар) представляет собой портативный радиолокатор, который в отличие от классического направляет зондирующие электромагнитные импульсы в исследуемую среду, а не в свободное пространство. С практической точки зрения одним из самых важных параметров георадара является глубина зондирования (глубинность). Глубина зондирования зависит как от технических характеристик георадара (излучаемой мощности, чувствительности и т.д.), так и от удельного затухания в исследуемой среде.

Зондируемые среды имеют значительный разброс по удельному затуханию, которое зависит от частоты зондирующей электромагнитной волны, типа исследуемой среды, ее минерализации и влагонасыщенности. Особенностью практически всех природных и искусственных сред является значительное увеличение удельного затухания с ростом частоты [5, 6]. Поэтому при проектировании георадаров с целью увеличения глубины зондирования стремятся использовать как можно более низкие частоты, а для сохранения разрешающей способности уменьшают длительность импульса, приходя в итоге к сигналам, имеющим практически один период несущего колебания. Для таких сигналов ширина спектра сопоставима с его центральной частотой, и они называются сверхширокополосными (СШП).

В качестве антенн для георадаров наиболее часто используются резистивно-нагруженные дипольные антенны. Кпд резистивно-нагруженных антенн крайне мал и обычно составляет $\eta \approx 0,1$ [3]. С учетом того, что коэффициент направленного действия таких антенн $D \approx 1$, то коэффициент усиления антенны

$$G = \eta D \approx 0,1$$

Уравнение дальности для сред с затуханием

Одним из предположений при выводе уравнения дальности в классической теории радиолокации является то, что распространение электромагнитной волны происходит в свободном пространстве, т.е. в среде, не имеющей затухания. Тогда минимальной мощности принимаемого сигнала $P_{np,Mun}$, при которой сигнал от цели может быть выделен с заданной степенью достоверности на фоне флуктуационных шумов, соответствует максимальная дальность радиолокационного наблюдения R_{maxc}

$$P_{np,Mult} = \frac{P_{n\delta}G^2\lambda^2\sigma_{ll}}{(4\pi)^3 R_{Make}^4}$$
(1)

где P_{nd} — мощность, подводимая к передающей антенне, G — коэффициент усиления приемной и передающей антенн, σ_u — эффективная площадь рассеяния цели, λ длина волны.

При георадиолокации электромагнитная волна распространяется не в свободном пространстве, а в среде с затуханием, при этом убывание плотности потока мощности электромагнитной волны с расстоянием вследствие поглощения происходит по экспоненциальному закону [3, 5]. Поэтому в формулу, выражающую зависимость плотности потока мощности или мощности на входе приемника от расстояния *R*, должен вводиться экспоненциальный множитель ослабления, учитывающий затухание электромагнитной волны.

Если среда, в которой распространяется электромагнитная волна, однородна, и затухание в ней постоянно, то как и для классической радиолокации, минимальной мощности принимаемого сигнала *P*_{пр.мин} соответствует максимальная глубина зондирования *H*_{макс} [3]:



$$P_{np.Mull} = \frac{P_{n\partial}G^2\lambda^2\sigma_{u}}{(4\pi)^3 H_{uarc}^4} e^{-0.46TH_{Marc}},$$
 (2)

где Г — удельное затухание в дБ/м.

Если принять соотношение сигнал / шум на входе приемника равным 1, тогда $P_{np,muh} = P_{u}$, и формулу (2) можно записать в следующем виде:

$$P_{uu} = \frac{P_{n0}G^2 \lambda^2 \sigma_{u}}{(4\pi)^3 H_{Marc}^4} e^{-0.46THuarc}.$$
 (3)

Отсюда максимальная глубина зондирования

$$H_{\scriptscriptstyle MAKC} = \sqrt[4]{\frac{P_{\scriptscriptstyle n\partial}G^2\lambda^2\sigma_{\scriptscriptstyle H}}{(4\pi)^3P_{\scriptscriptstyle uu}}}e^{-0.115\,\Gamma H_{\scriptscriptstyle MAKC}}.$$
(4)

Это уравнение является трансцендентным, но его можно решить методом итерационного подбора с любой требуемой точностью с помощью современных вычислительных средств.

Зависимость глубины зондирования от затухания в среде

Рассчитаем максимальную глубину зондирования для георадара по формуле (4) в зависимости от затухания в среде. При этом будем исходить из следующих данных: центральная частота спектра георадара — 300 МГц ($\lambda = 1$ м), амплитуда импульса возбуждения передающей антенны $U_{n\partial J} = 300$ В, чувствительность, приведенная ко входу приемника $U_{uu} = 100$ мкВ, коэффициент усиления приемной и передающей антенн G = 0,1, сопротивление приемной и передающей антенн $R_a = 50$ Ом, ЭПР цели $\sigma_u = 1$ м².

Импульсная мощность, подводимая к передающей антенне

$$P_{n\partial l} = (U_{n\partial l})^2 / R_a = 1800 \text{ Bt},$$

мощность шумов на входе приемника

$$P_{\mu\nu} = (U_{\mu\nu})^2 / R_a = 2 \cdot 10^{-10} \text{ Bt.}$$

Данные расчетов по формуле (4) приведены в табл. 1 и на рис. 1.

Как видно из рис. 1 и табл. 1, при увеличения удельного затухания Γ от 0 до 0,5 дБ/м происходит резкое (лавинообразное) уменьшение максимальной глубины зондирования. В дальнейшем при $\Gamma > 0,5\,$ дБ/м этот процесс носит гораздо более плавный характер.

При этом даже при отсутствии затухания в среде (в свободном пространстве) дальность действия такого радара не превышает нескольких десятков метров, что объясняется крайне низким коэффициентом усиления антенн.

Анализ данных об удельном затухании различных сред (например [3, 5]) позволяет сделать вывод, что в диапазоне

рабочих частот современных георадаров (50...2000 МГц) достаточно редко встречаются среды, у которых $\Gamma < 0.5 дБ/м$. Поэтому в дальнейшем на графиках для удобства отображения будут представлены данные при $\Gamma > 0.5 дБ/м$.

Рассмотрим теперь, насколько увеличивается дальность радиолокационного



Рис. 1. Зависимость глубины зондирования от затухания в среде

наблюдения при увеличении мощности излучения. Как следует из формулы (1), для увеличения дальности радиолокационного наблюдения в свободном пространстве в два раза необходимо увеличить мощность излучения в 16 раз. Поэтому предположим, что амплитуды импульса возбуждения передающей антенны U_{nd2} =1200 В. Тогда импульсная мощность, подводимая к передающей антенне

$$P_{nd2} = 28,8 \text{ KBT.}$$

Предельное напряжение возбуждения передающей антенны, которое на сегодняшний день используется в георадарах, составляет U_{nd3} =5000 В (при использовании водородного разрядника высокого давления). При этом напряжении импульсная мощность

$$P_{nd3} = 500 \text{ kBt.}$$

Данные расчетов по формуле (4) для всех трех случаев приведены в табл. 2 и изображены на рис. 2.

Как видно из табл. 2, при $\Gamma > 0.5 \, \text{дБ/м}$ увеличение излучаемой мощности не приводит к значительному увеличению дальности. Так, увеличение излучаемой мощности в 16 раз при $\Gamma = 1 \, \text{дБ/м}$ дает увеличение дальности в 1,27 раза, а при $\Gamma < 10 \, \text{дБ/м} - \text{в}$ 1,17 раза. Увеличение излучаемой мощности в 277 раз при $\Gamma = 1$ дает увеличение дальности в 1,56 раза, а при $\Gamma = 10 - \text{в}$ 1,34 раза.

К такому же результату приведет соответствующее изменение других величин в формуле (4) — повышение чувствительности приемника (уменьшение $P_{np,mun}$), в том числе за счет когерентного накопления, увеличение коэффициента усиления антенн, увеличение ЭПР цели и т.д.

<i>Г</i> , дБ/м	0	0,1	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Н_{макс},</i> м	82	47,5	22,5	14,9	9,4	7,1	5,8	4,9	4,3	3,8	3,5	3,2	2,9

Таблица 2

Таблица 1

<i>Г</i> , дБ/м	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R _{макс1} , м	82	14,9	9,4	7,1	5,8	4,9	4,3	3,8	3,5	3,2	2,9
R _{макс2} , м	164	18,9	11,6	8,6	6,9	5,8	5,1	4,5	4,0	3,7	3,4
R _{макс3} , м	335	23,2	13,9	10,2	8,1	6,8	5,9	5,2	4,7	4,2	3,9



Рис. 2. Зависимость глубины зондирования от затухания в среде и амплитуды импульса возбуждения передающей антенны

Следует сказать, что на практике для георадиолокации увеличение глубины зондирования на 20...30 % считается достаточно хорошим результатом.

Таким образом, глубина зондирования в диапазоне рабочих частот современных георадаров (50 МГц...2 ГГц) зависит в основном от величины удельного затухания в среде и слабо зависит от других факторов (мощности передатчика, чувствительности приемника и т.д.).

Однако, хотя увеличение мощности не приводит к существенному увеличению глубины зондирования, но, как следует из формулы (2), на одной и той же глубине при увеличении в N раз излучаемой мощности соответственно в N раз увеличивается мощность принимаемого сигнала. А так как мощность шумов на входе приемника остается прежней, то в N раз увеличивается отношение сигнал/шум, что повышает достоверность выделения сигнала от цели на фоне шумов и помех.

Рассчитаем теперь, насколько нужно увеличить мощность передатчика по сравнению с исходной, чтобы увеличить глубину зондирования в два раза. Для этого формулу (3) запишем в следующем виде

$$P_{n\partial} = \frac{(4\pi)^3 P_{u} H^4}{G^2 \lambda^2 \sigma_u} e^{0.46TH}$$
(5)

Для первого случая ($P_{n\partial I}$ =1800 Вт) при Γ = 1 дБ/м максимальная глубина зондирования составляет примерно 15 м. Рассчитаем мощность передатчика, при которой достигается глубина 30 м. По формуле (5) получим

$$P_{n\partial 4} = 31,6 \text{ MBT},$$

при этом напряжение возбуждения передающей антенны должно составлять

$$U_{n\partial 4} = \sqrt{(P_{n\partial 4}/R_a)} \approx 800 \text{ kB}.$$

Полученные результаты хорошо коррелируются с ранее опубликованными данными [1, 2, 4].

Таким образом, для удвоения глубины зондирования по сравнению с достигнутыми на сегодняшний день глубинами требуется применение колоссальной мощности. Сегодняшний уровень развития передающей техники для георадаров не позволяет достигнуть таких величин. Кроме того, при мощности излучения в десятки мегаватт в широкой полосе частот встает вопрос о безопасности обслуживающего персонала и электромагнитной совместимости с другим оборудованием.

Выводы

1. Глубина зондирования в диапазоне рабочих частот современных георадаров (50 МГц...2 ГГц) зависит в основном от величины удельного затухания в среде и слабо зависит от других факторов (мощности передатчика, чувствительности приемника и т.д.).

2. Основным методом увеличения глубинности является уменьшение центральной частоты, при этом уменьшается затухание в среде.

3. С учетом противоречия между глубиной зондирования и разрешающей способностью задание одного из этих параметров практически однозначно определяет центральную частоту спектра зондирующего сигнала.

4. Достигнутые на сегодняшний день глубины зондирования по существу являются предельными, на практике возможно только их незначительное увеличение (до 20...30%). Существенное увеличение глубины зондирования требует применения мощности излучения в десятки мегаватт и практически невозможно.

5. Хотя увеличение мощности не приводит к существенному увеличению глубины зондирования, но при этом увеличивается отношение сигнал/шум, что повышает достоверность выделения сигнала от цели на фоне шумов и помех.

Автор выражает благодарность к.т.н. А.Н. Титову и к.т.н. Н.П. Семейкину за помощь и полезные советы при составлении и обсуждении статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Владов М.Л., Старовойтов А.В. Введение в георадиолокацию. / Уч. пособие — М.: МГУ, 2004.

2. Калинин А.В., Владов М.Л., Шалаева Н.В. Оценка глубинности георададиолокационных исследований на основе классической теории // Вестн. Моск. Ун-та. Сер. 4. Геология. — 2003. — №3.

 Теоретические основы радиолокации / Под ред. В.Е. Дулевича. — М.: Сов. радио, 1964.

4. Титов А.Н. Георадары: некоторые особенности проектирования. // Тр. Всероссийск. научн. конф. «Сверхширокополосные сигналы в радиолокации, связи и акустике». Муром, 2003. — С. 525–527.

5. Финкельштейн М.И., Карпухин В.И., Кутев В.А., Метелкин В.Н. Подповерхностная радиолокация / Под ред. М.И. Финкельштейна. — М: Радио и связь. 1994.

6. Daniels D.J. Surface-Penetration Radar. — London: The Institution of Electrical Engineers, 1996.

© Коллектив авторов, 2008

Монахов В.В., Овчинников В.И., Науменко Д.А., Широбоков М.П. (ООО «НПЦ ГЕОТЕХ», info@geotech.ru)

ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОВОЛНОВОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ИМЕРЕТИНСКОЙ НИЗМЕННОСТИ

Настоящая публикация посвящена особенностям применения сейсморазведки при изучении строения разреза Имеретинской низменности. Сейсмические работы выполнялись в составе геофизических методов исследования (сейсморазведка, электроразведка, георадиолокация), включенных в комплекс инженерно-геологических изысканий, проводимых с

M OXPAHA

целью разработки предпроектной документации на объектах ФЦП «Развитие г. Сочи как горноклиматического курорта (2006—2014 гг.)» с созданием комплекта специализированных карт и картографической базы территории г. Б. Сочи и прилегающей территории Туапсинского района Краснодарского края, а также оценки современных инженерно-геологических и гидрогеологических условий участков размещения олимпийских объектов в Имеретинской низменности.

Изучаемая территория Имеретинской низменности приурочена к равнинной прибрежной полосе Черного моря, расположенной между реками Мзымта и Псоу.

В геолого-литологическом отношении разрез Имеретинской низменности представлен четвертичными морскими песчано-галечниковыми осадками, сформировавшимися в результате трансгрессивного подпора и ингрессии морских вод, которые перемежаются с регрессивными фазами формирования морских алевритов и глин и аккумуляции иловатых глин и торфяников в древних притыловых лагунах. Мощность комплекса морских и лагунных отложений достигает 70–80 м. Четвертичные отложения залегают на слабо литифицированных породах палеогеновой и неогеновой систем, которые из-за своей пониженной прочности определяются как полускальные грунты.

Вся территория низменности является подтопленной и по глубине залегания уровня грунтовых вод (СНиП 2.06.15-85) подразделяется на подзоны сильного (до 0,3 м) и умеренного (до 2 м) подтопления. При этом сильное подтопление развивается практически целиком в контурах распространения водоупорных лиманных глин. Причинами подтопления являются природные факторы: геоморфологические, геолого-литологические и гидрогеологические. Из последних следует указать на наличие открытых, достаточно протяженных (до 1,5 км) и мощных (более 40-50 м) зон разгрузки (перетекания) в морские четвертичные отложения подземных вод аллювиальных средне-верхненеоплейстоценовых и плейстоценовых водоносных горизонтов, формирующихся в крупной речной долине Мзымты, а также разгрузки подземных вод голоценовых горизонтов р. Псоу, определяющих подпор и затрудненный водообмен подземных вод в Имеретинской низменности.

Перед геофизическими методами, сейсморазведкой в частности, стояли задачи уточнения и детализации инженерно-геологических и гидрогеологических условий на отдельных участках изысканий. Достаточно сложное в сейсмогеологическом плане строение разреза вызвало необходимость опробования и дальнейшего применения таких методов и методик, которые обеспечивали бы эффективное решение поставленных задач.

На этапе опытно-методических сейсморазведочных работ проведена регистрация волнового поля упругих колебаний по схемам Z-Z и Y-Y, анализ которого позволил выработать оптимальную методику и параметры полевых систем наблюдений. Полевые сейсмограммы зарегистрированы по схемам Z-Z (рис. 1А) и Y-Y (рис. 1Б), на которых отображено волновое поле сейсмических колебаний.

На сейсмограмме Z-компоненты на небольших удалениях (6–8 м) от источника в первых вступлениях фиксируется высокочастотная (80–120 Гц) преломленная продольная волна с кажущейся скоростью 1400–1600 м/с, связанная с кровлей водонасыщенных отложений. В последующей части сейсмической записи наблюдаются высокоинтенсивные низкочастотные волны различных типов.

На сейсмограмме Y-компоненты в первых вступлениях наблюдаются прямые и преломленные поперечные SH-волны, преобладающая частота которых составляет 15–20 Гц. Значение скорости прямой поперечной волны составляет 80–120 м/с, преломленной — 150–200 м/с. В последующей части записи практически на всю ее длину регистрируются динамически выраженные, хорошо разрешенные отраженные поперечные волны, связанные с литологическими границами в толще четвертичных морских и лиманных осадков, глубина залегания которых достигает 80 м.

Таким образом, анализ структуры волнового поля упругих колебаний показывает, что для детального изучения строения разреза четвертичных отложений до глубин 60 — 80 м целесообразным является комплексное использование продольных и поперечных волн в модификациях как метода отраженных волн (MOB), так и преломленных волн (MПВ). Выработанная с определенными параметрами полевая система наблюдений ориентирована на реализацию метода общей глубинной точки (МОГТ) на продольных и поперечных волнах, которая позволяет при последующей обработке проводить построения по отраженным и преломленным волнам.

Возбуждение продольных волн производилось вертикальным ударом 5-килограмовой кувалды по металлической подложке. Возбуждение поперечных SH-волн осуществлялось горизонтальными разнонаправленными вкрест профиля ударами кувалды по специальной бороне. Количество накоплений составляло 4—32 в зависимости от уровня микросейсм. В качестве регистрирующей аппаратуры использовались две сертифицированные 24-х канальные сейсмостанции «Лакколит-24М» (производитель ООО «Логис», г. Раменское).



Рис. 1. Полевые сейсмограммы с возбуждением и регистрацией: А — продольных волн (схема Z-Z), Б — поперечных SH-волн (схема Y-Y)

Длина сейсмической записи составила 512 мс при регистрации продольных волн и 1000 мс — поперечных. Шаг дискретизации был выбран 0, 5 мс, что обеспечивало прием частотного спектра сигнала в диапазоне 5–500 Гц.

Анализ волнового сейсмического поля, зарегистрированного на полевых сейсмограммах МОГТ, показал, что для извлечения наиболее полной информации необходима обработка как по отраженным, так и по преломленным волнам. Обработка сейсмических данных по методу отраженных волн проводилась в обрабатывающей системе «FOCUS» компании «Paradigm», по методу преломленных волн — в пакете обрабатывающих программ «Radex Pro+» компании «Декогеофизика».

Основная цель обработки сейсмических материалов состоит в преобразовании полученных в поле данных в когерентный разрез, отражающий картину залегания основных геологических горизонтов. Следует отметить, что, используя разные типы сейсмических волн, мы получаем разнородную информацию о разрезе. Так, с помощью продольных волн при изучении верхней части разреза уверенно прослеживается уровень грунтовых вод, который является сильной преломляющей и отражающей границей для продольных волн, не являясь таковой для поперечных волн. С другой стороны, обводненность изучаемой толщи существенно снижает возможности использования продольных волн для литологического расчленения разреза ввиду незначительной скоростной дифференциации водонасыщенных отложений. В этом случае высокоэффективным является использование поперечных отраженных и преломленных волн, скорость которых не зависит от степени водонасыщенности пород.

Граф обработки сейсмической информации по методу отраженных волн в системе Focus представляется следующим: создание проекта;

описание геометрии системы наблюдения профиля, ввод ее в базу данных;

ввод сейсмических данных с занесением геометрии наблюдения в заголовки трасс;

анализ волнового поля с целью определения амплитудно-частотного спектра записи, выявление волн-помех и т.д.;

подбор параметров деконволюции и фильтрации, применяемых к исходным записям с целью подавления волнпомех, выравнивания частотного спектра и повышения их разрешенности;

подбор параметров амплитудной коррекции;

редактирование сейсмических записей с занесением в базу данных файлов редакции;

- выбор скоростного закона и ввод его в базу данных; подбор параметров мьютинга;
- суммирование по ОГТ.

На заключительном этапе проводится коррекция кинематических и статических поправок, подавление волнпомех по кажущимся скоростям, коррекция параметров деконволюции и фильтрации, уточнение параметров мьютинга, получение окончательного временного разреза с применением различных косметических процедур, улучшающих соотношение сигнал/помеха, миграция временного разреза в глубинный.

На рис. 2 в качестве примера показана работа обрабатывающей программы деконволюции, которая применяется к исходным записям поперечных волн с целью выравнивания частотного спектра и повышения разрешенности. Необходимость применения указанной процедуры вызвана изменчивостью поверхностных условий приема и возбуждения упругих колебаний, что существенно влияет на качество суммирования по ОГТ.

На рис. 3 представлен фрагмент одного из наиболее важных этапов обработки — определение скоростного закона по вертикальным спектрам скоростей отраженных поперечных волн. Отмечается достаточно низкий уровень значений Vorт для этого типа волн, характерный для толщи четвертичных отложений.

На рис. 4 отображен суммарный временной разрез ОГТ по поперечным волнам, который получен в результате обработки данных по одному из профилей протяженностью 700 м, расположенному ортогонально береговой линии.

Следует подчеркнуть, что характерной особенностью представленного разреза является его динамическая выразительность, высокая разрешенность как по вертикали, так и по горизонтали, что позволяет выделить основные структурные элементы, а также проследить отдельные горизонты до глубины 50 — 60 м, что по геологическим данным на рассматриваемом участке соответствует мощности четвертичных морских и лиманных отложений.

По структуре волнового поля разрез разделяется на три блока:

центральный протяженный блок, характеризующийся наличием серии достаточно выдержанных отражающих горизонтов моноклинального залегания с падением в сторону моря;



Рис. 2. Пример применения процедуры деконволюции: А — исходные сейсмограммы, Б -после применения деконволюции





Рис. 3. Определение скоростного закона по программе расчета вертикальных спектров скоростей



Рис. 4. Временной разрез ОГТ, полученный в результате обработки отраженных поперечных SH-волн

блок на правом фланге, где выделяется интервал разреза с «задирами» осей синфазности отраженных волн с последующей полной потерей их корреляции и появлением осей синфазности дифрагированных волн. Такое изменение волнового поля связано, по-видимому, с зоной примыкания морских четвертичных отложений к породам другого генезиса;

блок на левом фланге, где также наблюдается существенное изменение волновой картины, что может быть объяснено сменой условий осадконакопления.

Обработка данных по продольным волнам в основном направлена на прослеживание преломляющей границы, связанной с уровнем водонасыщенных отложений, глубина залегания которого на исследуемой территории составляет 1–4 м.

Таким образом, представленные материалы достаточно убедительно, на наш взгляд, показывают, что при изучении подобного рода инженерно-геологических условий целесообразно применение сейсмических методов с совместным использованием отраженных и преломленных волн различного типа. Такой подход позволяет с высокой эффективностью решить широкий круг задач, связанных как с выделением структурных элементов разреза, прослеживанием отдельных горизонтов и границ раздела различного состояния отложений, так и определением физико-механических свойств грунтов. © Бобачев А.А. , Модин И.Н., 2008

Бобачев А.А., Модин И.Н. (Геологический факультет МГУ, boba@geophys.geol.msu.ru)

ЭЛЕКТРОТОМОГРАФИЯ СО СТАНДАРТНЫМИ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНЫМИ КОМПЛЕКСАМИ

Основным способом повышения результативности работ методами сопротивлений и вызванной поляризации является использование методики электротомографии [1]. Эта технология позволяет перейти от одномерной интерпретации в рамках горизонтально-слоистой среды к двумерной и трехмерной интерпретации и таким образом расширяет круг решаемых геологических задач. Методика электротомографии применяется на Западе уже более 15 лет [3, 6] и давно стала стандартным геофизическим инструментом. У нас в стране применение этой методики узаконено в «Своде Правил» Госстроя России [4]. Однако она до сих пор не получила широкого применения, прежде всего, из-за отсутствия отечественной аппаратуры и достаточно высокой стоимости импортной техники. С другой стороны, отсутствие практического опыта и аппаратуры приводит к недостатку информации о возможностях внедрения электротомографической технологии и неясности относительно результатов при решении разнообразных практических задач. В связи с этим для практического освоения и апробации методики электротомографии на геологическом факультете МГУ разработали технологию проведения полевых работ с использованием существующих электроразведочных комплексов для метода сопротивлений и вызванной поляризации. В данном случае под стандартным электроразведочным комплексом понимается обычная одноканальная аппаратура, которую используют совместно с электроразведочными косами, электродами и коммутатором для выполнения электротомографических наблюдений.

Электротомография — это технологический комплекс, включающий в себя как методику полевых электроразведочных наблюдений, так и технологию обработки и интерпретации полевых данных. Ее основной особенностью является многократное использование в качестве питающих и измерительных электродов одних и тех же заземлений, установленных на профиле через одни и те же пространственные промежутки. Это приводит к уменьшению общего числа рабочих положений электродов при существенном увеличении плотности измерений по сравнению с обычным методом вертикальных электрических зондирований. Такой подход позволяет, с одной стороны, работать с современной высокопроизводительной аппаратурой, а, с другой стороны, применять эффективные алгоритмы моделирования и инверсии.

Многоэлектродная аппаратура

Разрешающая способность (т.е. количество деталей геоэлектрического разреза, устойчиво проявляющихся в электрическом поле) и соответственно качество интерпретации данных электротомографии тесно связано с числом и плотностью измерений на одном профиле. Их число обычно достигает первых тысяч, поэтому вопрос о производительности полевых измерений имеет принципиальное значение и во многом определяет возможность практического использования этого метода. Для достижения максимальной эффективности при проведении полевых работ применяется специальная аппаратура с программируемой автоматической коммутацией электродов [3, 5, 6]. Далее для краткости мы будем использовать термин многоэлектродная аппаратура.

В *многоэлектродной* аппаратуре используется большой набор электродов (обычно от 48 до 128 шт.), соединенных

в виде электроразведочной косы. В отличие от обычных многоканальных систем каждый электрод может использоваться не только как приемный, но и как питающий (рис. 1). Таким образом, один раз установив и подключив электроды, можно провести весь комплекс профильных измерений.

Электротомография с одноканальной аппаратурой

Очевидно, что именно многоэлектродная аппаратура обеспечивает максимальную производительность при полевых работах методом электротомографии. Но сегодня она редко используется в практике отечественной геофизики. С одной стороны, это связано с высокой стоимостью аппаратуры (40–100 тыс. долл.), с другой стороны, изза отсутствия аппаратуры пока довольно мало успешных примеров применения. Чтобы разорвать этот замкнутый круг, можно и нужно проводить работы со стандартной одноканальной электроразведочной аппаратурой.

Опыт проведения подобных работ имеется. Например, методика сплошных электрических зондирований, разработанная и активно используемая на кафедре геофизики МГУ [2]. Однако надо отметить, что эта технология имеет низкую производительность при высокой трудоемкости и в свое время не получила широкого внедрения из-за отсутствия аппаратуры, программного обеспечения и сложного процесса обработки и интерпретации данных. Поэтому в настоящий момент нами сделана попытка частично ликвидировать эти недостатки и разработана методика, позволяющая при использовании одноканальной аппаратуры добиться высокой производительности. Эта технология была воплощена в коммутаторе «COMx64».

Идея предлагаемого подхода в том, что в процессе съемки коммутируются только приемные электроды, соединенные косой (рис. 2). Выбор рабочей пары приемных электродов обеспечивается программой, записанной в памяти интеллектуального коммутатора. Питающий электрод переносится вручную. Для возбуждения и измере-





Рис. 1. Многоэлектродная аппаратура

Рис. 2. Установка для электротомографии на базе одноканальной установки



Рис. 3. Внешний вид коммутатор «СОМх64»

И ОХРАНА НЕПР



Рис. 4. Псевдо-разрезрезы кажущегося сопротивления и поляризуемости для прямой и встречной установок

ния электрического поля используется обычная электроразведочная аппаратура, применяемая в методе ВЭЗ или ВЭЗ-ВП (ЭРА-МАКС, ЭРП-1, МЭРИ, АСТРА).

Это позволило создать простое и сравнительно дешевое дополнение к стандартной аппаратуре, позволяющее эффективно производить детальные работы по методике электротомографии. Использование коммутатора приемных диполей «COMх64» предусматривает применение установок с неподвижными питающими электродами (например, трехэлектродная установка Шлюмберже или дипольная осевая). Для таких установок можно так организовать коммутацию, что при одном положении питающих электродов проводятся измерения для всех требуемых приемных диполей.

Коммутатор «COMx64» (рис. 3) обеспечивает измерения по 64 каналам. При расстоянии между электродами 3 м это позволяет работать по сетке разносов от 4.5 до 120 м. При разносе АО равном 120 м глубина исследования достигает 50 м. Для повышения производительности используется несколько разреженная по профилю сеть наблюдений, когда расстояние меж-

ду центрами MN равно 6 м. При длине профиля 200 м число измерений для одной расстановки косы составляет от 500 до 1000 в зависимости от интервала разносов. Плотность наблюдений уменьшается в два раза по сравнению с обычной многоэлектродной аппаратурой. Сеть наблюдений можно разредить, если использовать косы с шагом 6 м. Но в этом случае потеряется информация о малых глубинах, так как первый разнос станет равным 9 м.

Предлагаемая методика полевых измерений имеет некоторые преимущества по сравнению с обычными многоэлектродными зондированиями.

1. Питающий электрод может располагаться за пределами измерительной косы, что позволяет выполнять так называемые выносы. Это повышает глубинность на краях установки и позволяют переносить установку вдоль профиля без разрыва.

2. Разделение приемных и питающих электродов позволяет использовать для заземления токовых электродов сразу несколько электродов, уменьшая переходное сопротивление питающей линии и увеличивая ток.

3. Разделение приемных и питающих линий резко снижает амплитуду индукционной помехи.

4. Резко снижаются требования к качеству коммутирующих устройств, поскольку переключаются только линии, в которых практически отсутствует электрический ток.

5. Значительно уменьшается проникновение высокоамплитудных сигналов из токовых линий в измерительные каналы.

6. Неподвижность измерителя во время измерений и разделение приемных и генераторных линий допускает успешное проведение полевых работ во время дождя.



Рис. 5. Результаты инверсии данных электрической томографии на карьере «Марганцевый»



Рис. 6. Проведение геофизических и археологических исследований в крепости Пор-Бажын

Результат автоматической двумерной инверсии показан на рис. 5. Высокоомный блок с отсутствием поляризации соответствует карбонатным породам Анчешевской свиты. Проводящий блок — это вулканиты Печеркинской свиты. На рис. 5 видны две зоны повышенной проводимости и поляризуемости, но разной вертикальной мощности. Эти яркие аномалии по поляризуемости соответствуют рудным пластам в составе вулканогенной толщи. Это обстоятельство позволяет сделать вывод, что высокая поляризуемость (более 4.5 %) может быть основным геофизическим поисковым признаком рудопроявления. Дополнительным признаком является относительно высокая электропроводность рудных тел (удельное сопротивление менее 100 Ом м).

Другой полевой пример — это изучение мерзлотных процессов на археологическом памятнике крепость Пор-Бажын (Республика Тыва) (рис. 6). В этом случае, чтобы обеспечить необходимую детальность работ, использовались косы с шагом между

Необходимо отметить, что при значительном объеме измерений, когда приемные электроды физически не переносятся вдоль профиля измерений и коммутирующее устройство позволяет практически мгновенно переключать приемные линии, скорость обработки сигналов на измерителе решающим образом влияет на производительность труда. К сожалению, разработчики современной цифровой аппаратуры мало внимания уделяют повышению скорости

измерений, предпочитая повышать точность измерений. Однако при одной тысяче измерений в день уменьшение времени обработки каждого сигнала всего на 3 сек приводит к экономии одного рабочего часа в поле.

Рассмотрим пример использования электротомографии. Исследования выполнены в Кемеровской области для уточнения положения продуктивных марганцевых пластов. Полевые данные представлены в виде псевдо-разрезов кажущегося сопротивления, которые построены с учетом рельефа (рис. 4). Эффективная глубина рассчитана по следующей формуле [7]:

$$H_{eff} = \frac{AO}{2.63}.$$

Большая разница в кажущемся сопротивлении для прямой и встречной установок явно указывает на то, что изучаемый разрез существенно отличается от одномерного. электродами 0.5 м.

На рис. 7 показаны результаты интерпретации по профилю, начинающемуся на западной оборонительной стене крепости Пор-Бажын. В нижней части разреза на глубине 1.5–2 м отмечается верхняя кромка многолетнемерзлых пород, которые имеют сопротивление свыше 2000 Ом·м. При этом выделяются четыре блока с очень высокими сопротивлениями свыше 6000 Ом·м,



Рис. 7. Результаты геофизической и геолого-геофизической интерпретации



которые формально могут быть отнесены к льдистым грунтам. Горизонтальные размеры блоков составляют порядка 3-5 м. Кровля мерзлых пород неровная и на расстоянии 8 м между пк 32 и 40 меняется от 0.8 до 2 м. Талые материнские породы по своим электрическим свойствам практически ничем не отличаются от культурного слоя и их сопротивление составляет порядка 500 Ом.м. Подошва культурного слоя фиксируется нижней кромкой внутренних стен на глубине 70-80 см. Собственно культурный слой фиксируется на разрезах в виде облекающего стены слоя природного разрушения за счет выветривания и размыва. Крепостные стены и стены дворов были сделаны из утрамбованной глины (пахсы), которая обладает сравнительно высокой проводимостью около 50 Ом м. Сопротивление глин в абсолютных значениях является сравнительно большим, что объясняется низкой минерализацией поверхностной влаги, которая имеет исключительно атмосферное происхождение. Крепостные стены в верхней части имеют высокую проводимость, соответствующую глинам. Центральное ядро крепостной стены на глубине порядка 3.5 м, вероятно, имеет мерзлое состояние. Западная часть профиля опущена вместе со всеми археологическими объектами и геологическими структурами примерно на 1.5-2 м, в то время как на острове наблюдается общий наклон поверхности земли с северо-запада на юго-восток. По нашему мнению, такая ситуация связана с просадочными явлениями угловых частей крепости, которые наиболее сильно выступают к талику озера. В данном случае методика электротомографии позволила также успешно работать в условиях достаточно резкого рельефа.

Заключение

На геологическом факультете МГУ разработан и апробирован подход, позволяющий практически работать по методике электротомографии на базе стандартных электроразведочных комплексов. Мы надеемся, что такая технология поможет сделать промежуточный шаг и внедрить электротомографию в практику отечественной геофизики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бобачев А. А., Горбунов А.А., Модин И.Н., Шевнин В.А. Электротомография методом сопротивлений и вызванной поляризации. // Приборы и системы разведочной геофизики. — 2006. — № 2. — С. 14–17.

2. Бобачев А.А., Марченко М.Н., Модин И.Н. и др. Новые подходы к электрическим зондированиям горизонтально-неоднородных сред. // Физика Земли. — 1995. — № 12. — С. 79–90.

3. Бобачев А.А., Модин И.Н., Перваго Е.В., Шевнин В.А. Многоэлектродные электрические зондирования в условиях горизонтальнонеоднородных сред. / Разведочная геофизика. / Обзор. АОЗТ «Геоинформмарк». Вып. 2. — М., 1996.

4. СП 11-105-97. «Инженерно-геологические изыскания для строительства. Ч. VI. Правила производства геофизических исследований» / Госстрой России. — М.: ПНИИИС Госстроя России, 2004.

5. Dahlin T. The development of DC resistivity imaging techniques. Computers & Geosciences 27, 2001. — P. 1019–1029.

6. Griffiths D.H., Barker R.D. Two-dimensional resistivity imaging and modelling in areas of complex geology. J. Appl. Geophysics 29. – 1993. – P. 211–226.

7. Edwards L.S. A modified pseudosection for resistivity and IP. Geophysics, 42, 1977. — P. 1020–1036.

ГЕОЛОГИЯ И МЕТОДИКА ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

© Карпузов А.А., 2008

Карпузов А.А. (ИГЕМ)

ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ И СОСТАВ РАССЛОЕННЫХ ИНТРУЗИЙ ГАНАЛЬСКОГО ХРЕБТА В СВЯЗИ С ПЕР-СПЕКТИВОЙ ИХ РУДОНОСНОСТИ

Рассмотрены геолого-геохимические особенности строения и состава расслоенных интрузий Ганальского хребта Камчатки, дано описание их вещественного состава. Проанализированы минералого-геохимические особенности рудной минерализации Юрчикского типоморфного массива, дан их сравнительный анализ с особенностями медно-никелевой минерализации месторождения Шануч. Показана необходимость проведения систематических исследований мафитультрамафитовых массивов Камчатки эоценового возраста в связи с перспективой их рудоносности.

Как известно, расслоенные ультрамафит-мафитовые интрузии во всем мире являются важными источниками меди, кобальта, никеля, МПГ и других видов минерального сырья. На Камчатке расслоенные ультрамафит-мафитовые интрузии известны в Центральной части п-ова, где они приурочены к выступам метаморфического фундамента Срединного и Ганальского хребтов (рис. 1). Наиболее широко они распространены в Срединном хребте, где с ними связаны многочисленные проявления кобальтмедно-никелевых с платиноидами руд, в том числе медно-никелевое месторождение Шануч. Эти интрузии Срединного хребта в настоящее время достаточно хорошо изучены в процессе разномасштабных геолого-съемочных работ и специальных исследований Старкова, Щеки, Полетаева, Селянгина, Конникова и др.[2, 4–7, 12–14]. Менее изученными остаются расслоенные интрузии Ганальского хребта. В настоящей работе использованы материалы предшественников, а также собранные автором в процессе полевых работ на Шанучском и Юрчикском массивах в 2004–2006 гг.

Перидотит-пироксенит-норитовые интрузии, распространенные в южной части Срединно-Камчатского хребта в пределах массива метаморфических пород и обрамляющих их углеродистых черносланцевых толщ, объединяются в единый габбро-норит-кортландитовый дукукский позднемеловой плутонический комплекс [2]. В составе комплекса различаются массивы двух типов [12].

К первому относятся небольшого размера штоки, дайки и пластовые тела мощностью в первые десятки метров и протяженностью до 1200 м (Шанучский и Квинумский массивы). Они контролируются разрывными нарушениями северо-западного и субширотного простирания и рас-



Рис. 1. Схема размещения никеленосных мафит-ультрамафитовых интрузивных массивов в структурах Срединнокамчатского (СККМ) и Ганальского (ГКМ) кристаллических выступов (по Полетаеву В.А., 2004 с дополнениями).

1 — четвертичные аллювиальные отложения; 2 — андезит-базальтовая формация кайнозойских вулканических поясов; 3 — диоритгранодиорит миоценовая формация; 4 — группа стратифицированных нижне-верхнемеловых формаций; эоценовые-позднемеловые интрузивные формации: 5 — тоналит-плагиогранит-гранодиоритовая, 6 — дунит-клинопироксенит-габбровая, 7 — перидотит-пироксенит-норитовая эоценовая (массив Юрчик) и позднемеловая (массивы Дукук, Шануч, Квинум, Кувалорог, Пеницкий): 8 — метапикритовая нижнемеловая формация; 9 — углеродистая верхнеюрская — раннемеловая формация; 10 — зеленосланцевая формация верхнего палеозоя; 11 — черносланцевая формация среднего-верхнего палеозоя; 12 — метатраппобазальтовая формация среднего-верхнего палеозоя; 13 — трондьемит-тоналитовая позднепалеозойская интрузивная формация; формации кристаллического фундамента: 14 — углисто-кристаллосланцевая, 15 — кристаллогнейсовая, 16 — мигматит-плагиогранитовая; 17 — никеленосные рудные поля: І — Шанучское, ІІ — Квинумское, ІІІ — Кувалорогское, IV — Пеницкое; 18 — никеленосные и потенциально никеленосные мафит-ультарамафитовые массивы: 1 — Кувалорог, 2 — Дукук (прототип дукукского позднемелового габбронорит-кортландитового плутонического комплекса), 3 — Пеницкий, 4 — Шануч, 5 — Юрчик (прототип юрчикского эоценового габбро-норитового плутонического комплекса)

пространены в периферических частях метаморфического блока. Петротипическим массивом данного типа считается наиболее хорошо изученный Шанучский, в пределах которого находится одноименное месторождение медноникелевых руд [13]. Интрузии первого типа представлены амфиболовыми габбро, пироксенитами, горнблендитами, кортландитами.

Второй тип интрузий представлен пластинообразными телами и лополитами овальной формы площадью до 30 км² с максимальной мощностью по центру до 3 км (Кувалорогский, Дукукский, Пеницкий, Кагнисинский массивы). Петротипическим массивом данного типа и комплекса в целом является Дукукский. В его строении принимают участие кортландиты, нориты, габбро-нориты, габбро, диориты и кварцевые диориты с преобладанием габброидов. Общей особенностью массивов данного типа является их сложное строение, хорошо проявленная расслоенность, постоянное присутствие в породах амфибола и биотита, в ультрамафических разностях и флогопита, наложенная амфиболизация и постоянное присутствие кортландитов. Наличие интрузивных контактов с ранне-позднемеловыми отложениями и прорывание габброидов гранодиоритами позднемелового возраста дают основание для отнесения массива к позднемеловому возрасту. Это же подтверждают данные K-Ar датирования (54-98 млн. лет) и изохроны Sm-Nd и Rb-Sr (68-70 млн. лет) [10]. Вместе с тем, использование современных методов U-Pb датирования по цирконам и Ar/Ar позволило установить, что расслоенные одноформационные интрузии Срединного хребта, считавшиеся ранее только как позднемеловые, относятся к двум возрастным группам — позднемеловой и эоценовой, включая и эоценовый возраст промышленного медно-никелевого оруденения месторождения Шануч [3]. Поэтому в данной работе возраст плутонических образований, относимых к дукукскому комплексу, определен как условно позлнемеловой.

В Ганальском хребте расслоенные интрузии менее распространены и значительно хуже изучены. Наиболее крупным расслоенным массивом является Юрчикский, который ранее объединялся вместе с интрузиями Срединного хребта в дукукский комплекс [2]. Проведенное изотопно-геохронологическое датирование Юрчикского массива с использованием наиболее информативных Sm-Nd, Re-Os и U-Pb изотопных систем в Центре изотопных исследований ВСЕГЕИ с использованием SHRIMP II позволил установить его эоценовый возраст, выделив в самостоятельный габброноритовый юрчикский плутонический комплекс [3, 10]. Большинством исследователей возраст медно-никелевого оруденения принимался как верхнемеловой [12-14], в связи с чем более молодые массивы, такие как Юрчикский, относились к пострудным и не рассматривались в прогнозных построениях. Полученные новые данные по возрастным датировкам Юрчикского, Шанучского и Дукукского массивов [3, 8, 10] заставляют пересмотреть данный прогноз и обратить особое внимание на перспективы рудоносности массивов эоценового возраста Ганальского хребта до этого считавшихся абсолютно бесперспективными. В качестве объекта исследований автором был выбран наиболее крупный расслоенный плутон эоценового возраста Ганальского хребта — Юрчикский массив, являющийся одновременно петротипом одноименного комплекса.



Юрчикский массив расположен на юго-западном фланге Ганальского кристаллического выступа, сложенного метаморфическими образованиями раннего-среднего палеозоя. Массив площадью около 65 км² приурочен к ядру купольной структуры, имеет овальную форму и вытянут в северо-западном направлении. Контакты, как правило, резкие, крутые (до 70–80°); падение их обычно центроклинальное.

В магнитном поле массиву отвечает интенсивная положительная аномалия с контурами, соответствующими границам массива. В гравитационном поле интрузив выражается обширным локальным максимумом. На аэрофотоснимках он хорошо дешифрируется, характеризуясь четким фотоизображением рельефа, светлым фототоном.

Юрчикский массив образован двумя фазами: первой – габброноритовой, и второй – пироксенит-горнблендитовой. В составе массива резко преобладают габбро и габбронориты первой фазы, которыми сложена вся его центральная часть, а на периферии массива габброиды иногда сменяются диоритами. Габброиды прорываются образованиями второй фазы: единичными небольшими (площадью 0,1-0,5 км²) овальными или неправильной формы удлиненными телами кортландитов, лерцолитов, горнблендитов и пироксенитов (вебстеритов), а также дайками горнблендитов. Пироксениты и кортландиты содержат ксенолиты габброидов первой фазы. Дайки плагиогранитов отмечаются в центре массива, а дайки габбро-пегматитов приурочены к экзо- и эндоконтактовым зонам массива, иногда встречаясь и в его центральных частях.

Полученные геохронологические датировки по Юрчикскому массиву дают достаточно широкий разброс значений от 93 до 24 млн. лет [1, 9]. В последнее время для габброноритов получена Sm-Nd изохрона, соответствующая возрасту 27–24 млн. лет [7], имеются Ar-Ar датировки для габбро — 35,4 млн. лет по роговой обманке [11]. Учитывая близость датировок, полученных Ar-Ar и Sm-Nd методами возраст Юрчикского петротипического массива, как и одноименного комплекса, принимается как эоценовый [3].

Специфической особенностью Юрчикского массива является широкое развитие в его породах катакластических структур и повсеместно проявленной амфиболизации.

Массивные габбро, габбронориты и нориты первой фазы внедрения средне-, крупнозернистые, чаще равномернозернистые, реже — порфировидные, с габбровой и пойкилоофитовой структурами. Состоят из плагиоклаза (60–70%), клинопироксена (5–40%), ортопироксена (5–40%), апатита, сфена и магнетита. Вторичные минералы (до 25%) представлены зеленой роговой обманкой, серицитом и биотитом. В зонах катаклаза появляется кварц.

Широко распространены катаклазированные (гнейсовидные) габброиды — порфировидные, гнейсовидные, полосчатые, линзовато-очковые породы. По пироксенам развивается роговая обманка, по плагиоклазу — кварц, эпидот, гидрослюда. Бластопорфировые выделения представлены плагиоклазом и пироксеном в мелкозернистой основной массе, образованной кварцевыми и полевошпатоввыми необластами. Габброамфиболиты сложены основным плагиоклазом (~70%) и гастингситом с небольшим количеством магнетита в амфиболе. Вторая, пироксенит-горнблендитовая, фаза массива представлена амфиболизированными пироксенитами и горнблендитами с резко подчиненным присутствием лерцолитов и кортландитов. Пироксениты имеют панидиоморфнозернистую структуру и состоят из клинопироксена (до 50–60%), ортопироксена (30–40%) и плагиоклаза (до 10%). Клинопироксен иногда полностью замещен амфиболом. Горнблендиты состоят из коричневой роговой обманки (около 90%) и плагиоклаза (до 10%); иногда встречаются пироксенсодержащие горнблендиты.

Роговообманковые кортландиты — неравномернозернистые оливин-роговообманковые породы. Содержание оливина достигает 60%, роговой обманки — 40–50%, рудного минерала — до 3%. В наиболее оливиновых разностях кортландитов среди рудных минералов кроме магнетита впервые выявлены пирротин и пентландит, диагностированные методами электронной микроскопии.

Лерцолиты — пятнистые неравномернозернистые породы, состоящие из оливина (40–60%), гиперстена (20–25%), клинопироксена (10–40%), роговой обманки (5–7%), рудный минерал составляет (3–4%). Структура пойкилитовая, в мономинеральных агрегатах — идиоморфнозернистая. Характерно наличие крупных (до 5–7 см) порфировидных выделений гиперстена с пойкилитовыми включениями оливина и клинопироксена. Рудные минералы представлены хромитом, магнетитом, ильменитом и редкими зернами пирротина.

По составу породы Юрчикского массива относятся к нормальному петрохимическому ряду, натриевому типу щелочности (табл. 1).

Из геохимических особенностей главных разновидностей пород (рис. 2) следует отметить обогащение пород массива U, Th, La, Ce, а габбро и габброноритов — Sr. Умеренные титанистость и железистость, низкие содержания рубидия, циркония, стронция, бария и высокие содержания никеля, железа, кобальта, скандия и сульфидной серы, свидетельствующие о большом своеобразии состава пород Юрчикского массива и повышенном присутствии летучих компонентов в ультрамафическом расплаве.

Химический состав пирротина и пентландита из пород Юрчикского массива показал, что по сравнению со стандартными образцами они обогащены железом и кобальтом при нормальных содержаниях серы и пониженных никеля (табл. 2).

В качестве объекта сравнительного анализа Юрчикского массива с расслоенными интрузиями Срединной Камчатки был выбран Шанучский массив, расположенный в пределах гранито-гнейсового купола на северном окончании Срединнокамчатского хребта. Металлогеническая специализация массива определяется известными в его пределах медно-никелевыми, золото-медными, медно-полиметаллическими рудопроявлениями и месторождениями, рудоконтролирующей структурой для которых является глубинный субширотный Ичинский разлом [12, 13].

Шанучский массив представляет собой серию вытянутых в субширотном направлении дайкоподобных, реже штокообразных интрузивных тел; сложен породами основного, среднего и ультраосновного состава. Интрузивные тела прорывают кристаллические сланцы

Таблица 1

Содержание петрогенных окислов (мас.%) в породах Шанучского (дукукский позднемеловой габбро-норит-кортландитовый комплекс) и Юрчикского (юрчикский зоценовый габброноритовый комплекс) массивов.

Оксиды		Ма	ссив Ша	нуч			Ма	ссив Юр	чик	
Номера проб	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO2	49,62	48,54	54,52	46,36	48,98	38,0	36,4	39,3	51,3	79,3
TiO2	1,62	1,6	1,16	1,9	1,09	0,046	0,01	0,101	0,662	0,0811
AI2O3	22,07	17,92	19,02	19,68	16,05	0,851	1,43	4,78	20,3	12,0
Fe2O3	1,2	1,68	1,01	1,87	1,23	4,8	8,4	5,1	4,53	0,039
FeO	6,01	7,36	6,21	7,93	7.2	13,0	6,4	11,0	4,3	0,74
MnO	0,13	0,16	0,13	0,06	0,17	0,234	0,19	0,213	0,154	0,0243
MgO	3,2	5,22	4,36	5,74	12,05	41,9	39,3	35,2	4,56	0.045
CaO	8,9	9,01	7,66	10,11	9,43	1,07	0,388	4,0	9,56	2,18
Na2O	3,09	2,7	2,75	2,95	2,23	0,05	0,05	0,0556	3,54	4,04
K2O	1,5	1,34	1,56	1,27	1,2	0,11	0,109	0,149	0,352	0,711
P2O5	0,62	0,52	0,1	0,28	0,05	0,05	0,05	0,05	0,239	0,045
ppp%	1,9	4,02	1.52	1,87	0,32	0,05	6,77	0,05	0,1	0,297
Сумма%	99,86	100,07	100	100,02	100	99,6	99,4	99,7	99,5	99,5
Число определений	5	8	5	3	12	3	5	7	5	5

Содержание петрогенных окислов (мас.%): 1–5 в породах массива Шануч, в т.ч. 1 — амфиболовое габбро, рудное тело №1; 2 — амфиболовое габбро, рудное тело «Геофизическое»; 3 — амфиболовый диорит, 4 — амфиболовый пироксенит, 5 — роговообманковое габбро; 6–10 — в породах массива Юрчик, в т.ч. 6–8 — амфиболизированные лерцолиты; 9 — габбро-норит; 10 — плагиогранит.

камчатской серии и гнейсограниты крутогоровского комплекса, и, вероятно, фиксируют зону разрывных нарушений, сопровождающих Ичинский глубинный разлом широтного простирания. Мощность отдельных интрузивных тел изменяется от первых метров до 70 м.

Формирование массива проходило в две фазы. Первая фаза, рудовмещающая, представлена небольшими (40x120 м) штокообразными неправильной формы телами амфиболовых пироксенитов и габбро, к которым приурочены известные в настоящее время залежи сульфидных медно-никелевых руд. Породы сильно изменены и связаны друг с другом постепенными переходами, содержат в себе реликты (обломки) перидотитов, размеры которых варьируются от первых сантиметров до десятков метров. Габбро сложены плагиоклазом, амфиболом, кварцем, биотитом, хлоритом. Акцессорные минералы: рутил, апатит, ильменит, сфен. Амфибол в габбро, как минимум, трех генераций и представлен: бурой роговой обманкой, актинолит-тремолитом и куммингтонитом. Плагиоклаз сильно изменен, альбитизирован, но встречаются реликты, по составу соответствующие лабрадору и битовниту. Пироксениты — тонкокристаллические породы сланцеватой текстуры, превращенные в амфибол-хлоритовые, хлорит-амфиболовые сланцы, характеризуются порфиробластовой структурой, обусловленной призматическими скелетносетчатыми выделениями роговой обманки, окруженные основной массой, состоящей из чешуек хлорита, игольчатого тремолита, редко флогопита. Несмотря на то, что эти породы подверглись метаморфизму, в них сохранились многочисленные реликтовые парагенезисы, позволяющие реконструировать первичный состав.

Вторая фаза формирования массива — пострудная, представлена дайкообразными сложно ветвящимися телами среднего-основного состава, слабо затронутыми вторичными преобразованиями слагающих их минералов, практически не несущих сульфидной минерализации. По своей распространенности и размерам дайкообразные тела второй интрузивной фазы значительно превосходят образования первой. При мощности от первых метров до 60 м протяженность их достигает 250 м. Простирание отдельных тел изменяется от субширотного до северо-восточного.

По петрографическому составу среди пород второй фазы преобладают роговообманковые габбро и диориты, реже отмечаются кварцевые диориты, образующие как самостоятельные тела, так и сложнопостроенные, связанные постепенными переходами от габбро до кварцевых диоритов. Роговообманковое габбро представлено крупно-неравнозернистыми разностями с

массивной, иногда такситовой текстурой, характеризующейся ориентировкой слагающих ее мелких иголочек роговой обманки. Породы характеризуются гипидиоморфнозернистой, редко габбровой структурой. Длиннопризматические кристаллы бурой роговой обманки обладают большим идиоморфизмом по отношению к короткопризматическим или таблитчатым кристаллам плагиоклаза. Сложены породы в основном обыкновенной роговой обманкой и зональным плагиоклазом (андезинлабрадором, лабрадором) в примерно равных соотношениях. Среди диоритов выделяются две разновидно-



Рис. 2. Нормированные к примитивной мантии (по McDonough and Sun, 1995) содержания редких и редкоземельных элементов в породах Юрчикского массива: 1 — габбронорит; 2 габбро; 3 — габбронорит; 4 — лерцолит; 5 — лерцолит.



сти, отличающиеся по количественному соотношению темноцветных минералов.

По петрохимической специализации интрузивные образования Шанучского массива относятся к типу пород нормального петрохимического ряда, натро-калиевому типу щелочности (табл. 1). Отличительной чертой пород первой фазы является ясно выраженная известково-щелочная специализация. Для пород второй интрузивной фазы, наоборот, довольно четко видна толеитовая направленность, что обусловлено накоплением железа в более насыщенных кремнеземом разностях.

Ранее большинство исследователей по совокупности общегеологических признаков и данных геохронологического датирования считали возраст Шанучского массива как позднемеловой [2, 12–14]. Однако в последнее время U-Pb определение возраста по цирконам подтвердило присутствие в составе массива двух разновозрастных одноформационных групп пород: позднемелового (78 + 2 млн. лет) и эоценового (48 + 3 млн. лет), включая и эоценовый возраст медно-никелевой минерализации месторождения Шануч [3, 8, 10]. Эти данные пока носят

Таблица 2

Химический состав рудных минералов в породах Юрчикс
кого и Шанучского массивов

	К	Орчик						
Минералы	Компоненты (мас. %)							
минералы	Fe	Ni	S	Со				
Пентландит	44.92	19.59	33.55	1.95				
-«»-	34.07	28.08	34.54	3.31				
-«»-	36.25	20.36	32.81	10.58				
-«»-	41.88	22.85	32.92	2.34				
Пирротин	63.17	0.96	35.84	0.02*				
-«»-	63.87	0.13*	35.91	0.09*				
-«»-	57.38	6.42	34.81	1.38				
-«»-	63.60	0.08*	36.24	0.08*				
	Шануч							
Минералы	Ср. содержание (%)							
Минералы	Fe	Ni	S	Co				
Пентландит	26.59	36.65	33.08	1.16				
-«»-	28.11	38	33.4	0.7				
-«»-	27.05	37.37	34.48	0.98				
-«»-	28.07	37.47	32.58	0.87				
-«»-	27.05	37.37	34.48	0.98				
-«»-	26.2	28.3	42.2	1.07				
-«»-	25.6	28.4	42.1	1.1				
-«»-	25.9	27.7	41.8	1.07				
-«»-	30.7	36	33.33	1				
-«»-	31.5	25	40	0.35				
-«»-	32.5	24	40.5	0.5				
-«»-	31.38	26.2	40.65	1.52				
-«»-	23.15	39.1	36.2	1.25				
-«»-	29.7	35.55	33.45	1.15				
-«»-	26.47	39.2	32.62	1.15				
Пирротин	53.3	1.44	40.52	0.02				
-«»-	55.81	1.39	40.55	0.01				
-«»-	57.05	2.1	40.33	0.32				
-«»-	58.5	0.84	40.35	0.1				

отрывочный характер, требуют дополнительного подтверждения и новых определений, но ясно одно, что даже косвенные свидетельства двухвозрастного формирования расслоенных интрузий дают основание говорить о двух этапах тектономагматической активизации в регионе. В дальнейшем это может привести к пересмотру истории геологического развития Срединного и Ганальского хребтов в связи с процессами основного магматизма и рудогенеза.

Состав сульфидов в породах Шанучского массива и в рудных телах месторождения в целом совпадает. Сульфидное медно-никелевое оруденение приурочено, главным образом, к их меланократовым фациям базитов (пироксениты, габбро); более лейкократовые и менее измененные разности (роговообманковые габбро, диориты) обычно безрудные и лишь изредка несут рассеянную халькопирит-пирротин-пиритовую минерализацию.

Пирротин — главный и наиболее ранний минерал медно-никелевых руд месторождения Шануч и рудовмещающих пород массива. По данным рентгеноструктурного анализа, пирротин представлен двумя кристаллографическими формами: в основном моноклинной и в меньшей степени гексагональной. Моноклинный пирротин — ферромагнитный, обладает сильными магнитными свойствами. Гексагональный пирротин парамагнитен.

Пирротин образует сплошные агрегаты ксеноморфных зерен до 0,5, реже до 1–1,5 мм в поперечнике, или скопления агрегатов размером до 1–3 см в рудах, или отдельные зерна в породе. Структура сплошных агрегатов — аллотриоморфнозернистая. Минерал практически не катаклазирован. Как правило, эти выделения переполнены включениями других минералов и, в первую очередь — пентландитом, который и определяет петельчатый, сетчатый текстурный рисунок пирротиновых руд. Кроме того, отмечены мелкие включения хромшпинели и амфибола. Средние составы пирротинов приведены в табл. 2.

Пентландит — главный минерал никеля в рудах. Выделяется две генерации пентландита. Первая генерация пентландита слагает порфировые (до 1-3 мм в поперечнике) выделения (порфировая структура и текстура) или агрегаты зерен, образующих цепочки (грубопетельчатая структура распада твердого раствора пирротин-пентландит) среди пирротина. Эта генерация обычно замещается виоларитом. Структура таких участков — реликтовая. Следует отметить, что часть порфировых выделений пентландита, вероятно, образовалась метасоматическим путем, о чем свидетельствуют наблюдаемые в нем микровключения (0,01-0,05 мм) пирротина. Вторая генерации пентландита встречается в тесной ассоциации с пирротином, халькопиритом. Образует в пирротине изометричные округлые зерна диаметром 0,3-1,5 мм. Обычно наблюдается хорошо выраженная спайность, парллельная плоскости октаэдра, в некоторых зернах она затушевана грубой трещиноватостью. Сохраняется спайность и при замещении пентландита бравоитом, виоларитом, которые, в свою очередь, замещаются пиритом и марказитом. Химический состав пентландита руд месторождения приведен в табл. 2. Практически во всех зернах пентландита наблюдается изоморфная примесь: золота — до 0,04%, серебра (0,01-0,02%) и висмута (0,01-0,02%).



Рис. 3. Диаграмма соотношения Ni-Fe-S в рудных минералах Шанучского и Юрчикского массивов: а — пентландит; б — пирротин

Халькопирит — по сравнению с пирротином и пентландитом гораздо менее распространенный минерал; содержание его в руде не более 2-3%, в рудоносных породах не отмечается. Количественно распределен неравномерно. Размеры выделений халькопирита от эмульсионных до зерен размером 1-3 мм. Он наблюдается в тесном срастании с пирротином (ксеноморфные выделения до 2-3 мм в поперечнике), часто пространственно располагаясь в его краевых частях или тяготея к скоплениям нерудных минералов, выполняя промежутки между зернами. Халькопирит, как правило, коррозирует зерна пентландита или залечивает трещины в нем, образует эмульсионную вкрапленность в пирротине и в жильном цементе. Выделяются две генерации халькопирита. Ранний халькопирит (первой генерации — магматический) образует агрегаты аллотриоморфнозернистого облика размером от 0,02-0,05 мм (в виде выделений в нерудных минералах) до скоплений минеральных зерен размером 1-2 мм. Ассоциирует с пентландитом, пирротином и замещается поздним пиритом. Содержит идиоморфные зерна магнетита, хромшпинелидов, теллуридов, висмута, арсениды, самородное золото. Поздний халькопирит (второй генерации) приурочен обычно к периферийным частям пентландит-пирротиновых выделений. В каймах и прожилках видны замещения халькопиритом пирротина и пентландита. Отмечается коррозия халькопиритом чешуек биотита.

Сравнительный анализ геолого-геохимических особенностей Юрчикского и Шанучского массивов показал, что несмотря на разный возраст формирования они имеют много общего. Оба относятся к расслоенным массивам, сложенным породами перидотит-пироксенит-норитовой формацией с резким преобладанием габбровой составляющей, обогащенными амфиболом и флогопитом. В структурно-тектоническом плане массивы расположены в поле развития глубоко метаморфизованных пород палеозоя, а их положение контролируется глубинными разломами. Формирование массивов носило двухфазный характер. При этом медно-никелевое оруденение связано с амфибол-флогопитовыми разностями ультрамафитов, формирование которых происходило как в придонных частях крупных интрузий, так и в виде самостоятельных тел. Анализируя особенности химизма рудных минералов, удалось установить определенные черты сходства. Пирротины из Юрчикского и Шанучского массивов близки по составу друг к другу (рис. 3б). Пентландит образует три самостоятельных тренда (рис. 3а), при этом два тренда пентландитов из Шанучского массива характеризуют различные генерации. Пентландит поздней генераций имеет более высокое содержание никеля, чем ранний. Третий тренд характеризует пентландит из пород Юрчикского массива с пониженным содержанием никеля и повышенным железа. Повышенное содержание железа в сульфидах согласуются с высоким содержанием магнетита в норитах

Юрчикского массива при его полном отсутствии в породах Шанучского.

Гораздо больше различий наблюдается при сравнительном анализе химизма петрографических разностей. По-



Рис.4. Вариационные диаграммы состава базитов Шанучского и Юрчикского массивов

И ОХРАНАНЕПР

роды Шанучского массива представлены более высокощелочными и высокоглиноземистыми разностями при крайне низких содержаниях окислов магния и железа (рис. 4) нормального петрохимического ряда с калий-натриевым типом щелочности. Более сложную картину мы наблюдаем на Юрчикском массиве. Габбро и габбро-нориты массива по щелочности относятся к натриевому типу, а по магнезиальности и глиноземистости близки к аналогичным породам Шануча. Лерцолиты относятся к убогощелочным и низкоглиноземистым разностям при высоких содержаниях окислов магния и железа. Полученные петрогеохимические характеристики мафитультрамафитовых пород Шанучского и Юрчикского массивов свидетельствуют о их генетическом единстве и дают основание рассматривать их как типичные магматические образования. Отнесение никеленосных базитов к известково-щелочной петрохимической серии в целом соответствует данным по другим сульфидным медно-никелевым объектам Камчатки. Данные интрузивные образования [4, 6, 8-12] относятся к перидотит-пироксенит-норитовой формации, характерной для древних щитов и складчатых областей, где она связана с постконсолидационной активизацией.

В заключение необходимо остановиться на основных выводах, полученных при изучении геолого-петрографических и геохимических особенностей никеленосных мафит-ультрамафитовых массивов Шануч и Юрчик.

1. Мафит-ультарамафиты Юрчикского и Шанучского массивов представляют серию генетически родственных пород перидотит-пироксенит-норитовой формации собственно магматического происхождения, производных пикритовых магм, с ультраосновными разностями которых связана пирротин-пентландитовая минерализация. Вместе с тем геолого-структурные, петро-геохимические особенности и возраст пород дают полное основание для отнесения их к двум самостоятельным плутоническим комплексам: позднемеловому дукукскому габбро-норит-кортландитовому (массив Шануч) и к эоценовому юрчикскому габброноритовому (массив Юрчик).

2. Полученные в последнее время U-Pb определения возраста по цирконам свидетельствуют о том, что формирование расслоенных интрузий в регионе проходило в два возрастных этапа: позднемеловой (78 ± 2 млн. лет) и эоценовый (48 ± 3 млн. лет), а медно-никелевое оруденение месторождения Шануч имеет эоценовый возраст. Дальнейшее подтверждение этих фактов может привести к существенному пересмотру истории геологического развития Срединного и Ганальского хребтов в связи с процессами основного магматизма и рудогенеза и переоценке металлогенического потенциала медно-никелевой минерализации региона.

3. Сравнительный анализ содержаний главных рудных элементов в пирротине и пентландите из рудовмещающих пород Шанучского и Юрчикского базитовых массивов свидетельствует об их сходстве и близком химизме формирования. Данное сходство может служить косвенным подтверждением эоценового возраста медно-никелевого оруденения месторождения Шануч. 4. Проведенный детальный минералого-геохимический анализ с использованием электронной микроскопии и масс-спектрометрии позволил впервые установить в породах Юрчикского массива тонко рассеянную медно-никелевую минерализацию. По особенностям состава типовых рудных минералов пирротина и пентландита рудовмещающие породы Юрчикского массива близки к аналогичным породам Шанучского массива, что дает основание говорить об эоценовом этапе формирования сульфидного оруденения на Камчатке и пересмотре существующих оценок продуктивности базит-ультрабазитовых комплексов.

Автор благодарен руководству ЗАО «Геотехнология», В.К. Кузьмину, Б.А.Марковскому, С.С. Шевченко за предоставленные материалы и всестороннюю помощь в подготовке статьи. Особая благодарность моему научному руководителю д. г.-м. н. Е.В. Шаркову за постоянные консультации.

Исследования проведены при финансовой поддержке гранта, присужденного Благотворительным фондом содействия отечественной науке в 2007 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Герман Л.Л. Древнейшие кристаллические комплексы Камчатки. — М.: Недра, 1978.

2. Государственная геологическая карта РФ. М 1:1000000 (второе поколение). Серия Корякско-Камчатская. Лист N-57-Петропавловск-Камчатский. Объяснительная записка. Коллектив авторов. — СПб.: ВСЕГЕИ, 1989.

3. Государственная геологическая карта РФ. М 1:1000000 (третье поколение). — То же, 2006.

4. *Корякско-Камчатский* регион — новая платиноносная провинция России. Коллектив авторов. — СПб.: ВСЕГЕИ, 2002.

5. *Конников Э.Г., Чубаров В.М., Травин А.В. и др.* Время проявления никеленосной норит-кортландитовой формации на востоке Азиатского континента. // Геохимия. — 2006. — № 3. — С. 1–7.

6. Конников Э.Г., Симашин С.Г., Орсоев Д.А. и др. Геохимические особенности и условия формирования никеленосного габбро-кортландитового комплекса Камчатки. // Геология и геофизика. — 2006. — Т. 47. — № 12. — С. 1286-1295.

7. *Кузьмин В.К., Балтыбаев Ш.К., Кузьмина Е.В.* Петрологические исследования метаморфических пород ганальской серии, гранулитов Ганальского выступа с целью установления генезиса пород гранулитовой фации метаморфизма. — СПб.: ВСЕГЕИ, 2000.

8. Кузьмин В.К., Карпузов А.А., Марковский Б.А. и др. Геохронологические датировки и изотопно-геохимические параметры разноформационных мафит-ультрамафитовых комплексов Камчатско-Корякского региона в связи с их металлогенической специализацией и рудоносностью. / 12 Quadrennial IAGOD Symposium Understanding the Genesis of ore deposits to meet the demands of the 21 century. — М., 2006. С. 35-36.

9. Львов А.Б., Богомолов Е.С., Левченков О.А. и др. Геолого-геохронологическое изучение Ганальского хребта Камчатки / Проблемы эволюции докембрийской литосферы. — Л.: Наука, 1990. — С. 103–118.

10. Ланда Э.А., Марковский Б.А., Беляцкий Б.В. и др. Возраст и изотопные особенности альпинотипных зональных и расслоенных мафит-ультрамафитовых комплексов Камчатки // Докл. РАН, — 2002. — Т. 385,3. — С. 812–815.

11. *Рихтер А.В.* Строение метаморфических образований Восточной Камчатки. — М.: Наука, 1993. — С. 28 — 58.

12. *Полетаев В.А.* Камчатская платиноидно-никеленосная зона — геология и рудоносность./ Авт. дисс. на соискание ст. к. г.-м. н. — М., 2004.

13. *Селянгин О.Б.* Петрология никеленосных базитов Шанучского рудного поля.// Вестник Краунц/Науки о земле. — 2003. — № 2. — С. 3355.

14. *Щека С.А., Чубаров В.М.* Никеленосные кортландиты Камчатки. // Изв. АН СССР, серия геол. — 1987. — № 12. — С. 50–61. © Разумовский Д.О. (Роснедра), Ширшов С.А., 2008

Разумовский Д.О. (Роснедра), Ширшов С.А. (ФГУНПП «Аэрогеология»)

ОРГАНИЗАЦИЯ ФИНАНСИРОВАНИЯ ЗА СЧЕТ СРЕДСТВ ФЕДЕРАЛЬНОГО БЮДЖЕТА РАСХОДОВ НА ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТ ПО ГЕОЛОГИЧЕСКОМУ ИЗУЧЕНИЮ НЕДР И ВОСПРОИЗВОДСТВУ МСБ

Анализ нормативных и методических документов, регламентирующих финансирование за счет средств федерального бюджета работ по геологическому изучению недр и воспроизводству минерально-сырьевой базы, позволил сформировать схему движения документальных и финансовых потоков, необходимых для финансового обеспечения геологоразведочных работ.

Эффективность функционирования отраслей экономики РФ, в которых регулирующая роль принадлежит государству, напрямую зависит от схемы организации бюджетного финансирования. Реформирование бюджетного процесса, начатое в 1998 г. с принятия Бюджетного кодекса РФ, позволило сформировать действенную систему планирования и исполнения бюджетов разных уровней.

В настоящее время организация финансирования расходов федерального бюджета является формализованной и унифицированной процедурой для всех органов государственной власти РФ, имеющих право распределять средства федерального бюджета по подведомственным распорядителям и получателям бюджетных средств (главных распорядителей средств бюджета). Этот процесс регламентируется рядом нормативных и методических документов [1–10], главнейшим из которых является Бюджетный кодекс РФ. Отраслевые особенности финансирования, безусловно, существуют, но они возникают, преимущественно, на этапах приемки и оплаты выполненных работ.

В статье систематизирована информация, содержащаяся в документах, регламентирующих организацию финансирования за счет средств федерального бюджета работ по геологическому изучению недр и воспроизводству минерально-сырьевой базы. Проведенный анализ позволил выстроить достаточно четкую схему движения документальных и финансовых потоков, необходимых для финансового обеспечения геологоразведочных работ (рисунок)*.

В статье используются следующие основные термины и определения.

Расходы федерального бюджета — денежные средства, направляемые на финансовое обеспечение задач и функций государства.

Бюджетная роспись — документ о поквартальном распределении доходов и расходов бюджета, устанавливающий распределение бюджетных ассигнований между получателями бюджетных средств и составляемый в соответствии с бюджетной классификацией РФ [1].

Бюджетные ассигнования — бюджетные средства, предусмотренные бюджетной росписью получателю или распорядителю бюджетных средств [1].

Лимит бюджетных обязательств — объем прав получателя средств на принятие и оплату им в финансовом году денежных обязательств за счет средств федерального бюджета [5].

Объем финансирования расходов — объем прав получателя средств на оплату принятых в установленном порядке денежных обязательств за счет средств федерального бюджета, в пределах которых органы Федерального казначейства осуществляют кассовые расходы по поручению получателя средств [5].

Принятие денежных обязательств за счет средств федерального бюджета — заключение получателем средств контрактов на поставку товаров, выполнение работ и услуг (далее — договор) с поставщиками, исполнителями работ и услуг [5].

Кассовый расход федерального бюджета — отражение на лицевом счете получателя средств операции по оплате денежного обязательства получателя средств [5].

Лицевой счет распорядителя средств — счет, предназначенный для учета доведенных главному распорядителю средств лимитов бюджетных обязательств и объемов финансирования расходов федерального бюджета и распределению их по распорядителям и получателям, находящимся в его ведении [6].

Лицевой счет получателя средств — лицевой счет, предназначенный для учета операций по отражению доведенных лимитов бюджетных обязательств, объемов финансирования расходов федерального бюджета, принятых денежных обязательств, кассовых расходов получателя средств в процессе исполнения расходов федерального бюджета [6].

Организация процесса финансирования за счет средств федерального бюджета расходов на выполнение работ по геологическому изучению недр и воспроизводству минерально-сырьевой базы начинается практически сразу после вступления в силу закона о федеральном бюджете. В течение 15 дней со дня его вступления в силу Минфином России составляется сводная бюджетная роспись федерального бюджета. После ее составления министром финансов РФ утверждаются лимиты бюджетных обязательств федерального бюджета в размере ассигнований, установленных сводной бюджетной росписью в целом на год в разрезе ведомственной, функциональной и экономической классификаций расходов бюджеттов РФ [1, 8].

Утвержденная сводная бюджетная роспись и лимиты бюджетных обязательств передаются Минфином России Федеральному казначейству в течение двух рабочих дней после утверждения министром финансов РФ сводной бюджетной росписи и лимитов бюджетных обязательств [1, 8]. Кроме того, Минфин РФ с сопроводительным письмом доводит до Роснедр утвержденную сводную бюджетную роспись Роснедр [8].

^{*} Порядок финансирования, изложенный в данной статье, применялся в 2007 г.



Федеральное казначейство исходя из сводной бюджетной росписи и лимитов бюджетных обязательств направляет Роснедрам казначейские уведомления, в которых содержится информация об объемах бюджетных ассигнований, лимитах бюджетных обязательств и объемах финансирования расходов [6].

На основании доведенных показателей сводной бюджетной росписи Роснедра формирует и утверждает распределение лимита бюджетных обязательств по разделу 04, подразделу 04, целевой статье 2500000, виду расходов 326, подстатье экономической классификации 226; уточняет и утверждает сметы расходов получателей средств федерального бюджета и доводит последние до территориальных органов Роснедр вместе с уведомлениями о бюджетных ассигнованиях из федерального бюджета [1, 8].

Доведение лимитов бюджетных обязательств и объемов финансирования расходов Роснедрами до территориальных органов осуществляется через органы Федерального казначейства расходными расписаниями [8].

Расходные расписания оформляются Роснедрами по каждому территориальному органу, которому делегирована функция государственного заказчика работ по геологическому изучению недр и воспроизводству минерально-сырьевой базы [6].

Расходные расписания представляются Федеральным агентством по недропользованию в Федеральное казначейство для отражения на лицевом счете распорядителя средств, открытом Роснедрам в Федеральном казначействе [6].

Показатели, отраженные в сформированных Роснедрами расходных расписаниях, не противоречащих установленным требованиям, учитываются на его лицевом счете распорядителя средств, открытом в Федеральном казначействе, с начала финансового года по каждому распорядителю и получателю, находящемуся в ведении Роснедр [6].

Первый экземпляр принятого на учет расходного расписания, сформированного Роснедрами, остается в Федеральном казначействе, второй экземпляр с отметкой Федерального казначейства о принятии на учет возвращается Роснедрам одновременно с выпиской из его лицевого счета распорядителя средств [6].

После осуществления контроля расходных расписаний и их отражения на открытом Роснедрам лицевом счете распорядителя средств Федеральное казначейство направляет в электронном виде расходные расписания Федерального агентства по недропользованию по принадлежности в территориальные органы Федерального казначейства по месту открытия соответствующих лицевых счетов территориальным органам Роснедр [6].

Территориальный орган Федерального казначейства учитывает лимиты бюджетных обязательств и объемы финансирования расходов, указанные в поступившем от Роснедр расходном расписании, на соответствующем лицевом счете территориального органа Роснедр. Копия расходного расписания Федерального агентства по недропользованию, заверенная территориальным органом Федерального казначейства, прилагается к выписке из соответствующего лицевого счета, выдаваемой территориальному органу Роснедр, не позднее рабочего дня, следующего за днем поступления расходного расписания в территориальный орган Федерального казначейства [6].

Роснедра и их территориальные органы в пределах доведенных лимитов бюджетных обязательств имеют право принимать денежные обязательства, подлежащие исполнению за счет средств федерального бюджета [1].

Принятие денежных обязательств осуществляется путем заключения государственных контрактов на выполнение работ по геологическому изучению недр и воспроизводству минерально-сырьевой базы [1, 5].

Объем принятых денежных обязательств, подлежащих оплате за счет средств федерального бюджета в текущем финансовом году, не должен превышать лимиты бюджетных обязательств Роснедр [1].

В целях финансирования расходов на воспроизводство минерально-сырьевой базы за счет средств федерального бюджета на планируемый год Роснедрами формируется План финансирования объектов государственного заказа Федерального агентства по недропользованию по воспроизводству минерально-сырьевой базы за счет средств федерального бюджета (далее — План финансирования) [10].

План финансирования составляется по разделам и объектам, предусмотренным Перечнем объектов государственного заказа по воспроизводству минерально-сырьевой базы за счет средств федерального бюджета в пределах доведенной Минфином России росписи расходов федерального бюджета.

Управление финансово-экономического обеспечения Роснедр после получения утвержденного Перечня объектов государственного заказа готовит к утверждению План финансирования:

по переходящим объектам — до 25 января текущего года;

по новым (конкурсным) объектам — в двухнедельный срок после получения от структурных подразделений Роснедр и территориальных органов копий протоколов оценки и сопоставления конкурсных заявок по итогам проведенных конкурсов.

План финансирования утверждается приказом Роснедр.

Управление финансово-экономического обеспечения Роснедр в недельный срок после утверждения Плана финансирования доводит до структурных подразделений Роснедр и территориальных органов выписки из Плана финансирования, являющиеся основанием для открытия финансирования работ по государственным контрактам на геологическое изучение недр и воспроизводство минерально-сырьевой базы.

Оплата работ по воспроизводству минерально-сырьевой базы осуществляется в пределах расходов федерального бюджета в разрезе функциональной и экономической классификации, установленных Роснедрам на текущий год.

Приемка работ, выполненных организациями-поставщиками в соответствии с условиями подписанных ими государственных контрактов, осуществляется Роснедрами и его территориальными органами, выступающими государственными заказчиками на выполнение работ по воспроизводству минерально-сырьевой базы (далее — Заказчики).

Основными документами, подтверждающими выполнение работ по государственным контрактам, являются акты выполненных работ, акты сдачи-приемки, информационные геологические отчеты за соответствующий период и окончательные геологические отчеты, а также другие отчетные материалы, виды и сроки представления которых определены государственным контрактом и техническим (геологическим) заданием [10].

При составлении условий государственных контрактов Заказчики могут предусматривать авансовые платежи по государственному контракту, при этом сумма аванса не должна превышать 30 % от годовой стоимости работ.

При составлении условий Государственных контрактов предусматриваются следующие сроки оплаты актов выполненных работ: ежемесячные, квартальные или поэтапные.

Оплата производится в течение 5 банковских дней с момента подписания акта выполненных работ. При оплате выполненных работ учитывается ранее выданный аванс в соответствии с условиями государственного контракта. Сумма погашаемого аванса определяется в процентах от стоимости работ, включенных в акт выполненных работ. Размер погашаемого аванса не должен быть меньше процентного значения аванса, указанного в государственном контракте. Полностью аванс должен быть погашен до 1 декабря текущего года.

По завершении годового задания или выполнении работ в целом по государственному контракту оплата производится в установленном порядке, при наличии подписанных акта выполненных работ, годового акта сдачи-приемки работ, окончательного акта сдачи-приемки работ и протокола приемки годового информационного или окончательного геологического отчета.

Акт выполненных работ, годовой акт сдачи-приемки, окончательный акт сдачи-приемки визируется структурными подразделениями Роснедр, ответственными за приемку геологических результатов, Управлением финансово-экономического обеспечения и заместителями Руководителя Роснедр, курирующими соответствующие структурные подразделения.

Информационный геологический отчет за отчетный период по государственному контракту принимается структурными подразделениями Роснедр, ответственными за приемку геологических результатов работ.

Порядок визирования и утверждения документов, предъявляемых к оплате Заказчикам — территориальным органам Роснедр, устанавливается Руководителем территориального органа.

Структурные подразделения Роснедр (территориальных органов Роснедр), ответственные за соответствующее направление деятельности, проверяют соответствие объемов и результатов выполненных работ техническому (геологическому) заданию, календарному плану работ и производственной части проекта. Управление финансово-экономического обеспечения (финансово-экономическое подразделение территориального органа Роснедр) проверяет соответствие расценок и стоимости выполненных работ и затрат, указанных в акте, утвержденной смете.

Согласованные и подписанные акты с приложением информационных геологических отчетов передаются в Управление финансово-экономического обеспечения (финансово-экономическое подразделение территориального органа Роснедр) для оформления платежных документов и представления их в управление Федерального казначейства по г. Москве (территориальный орган Федерального казначейства).

При оплате денежных обязательств Роснедра (территориальный орган) представляют в управление Федерального казначейства по г. Москве (территориальный орган Федерального казначейства) оформленные в надлежащем порядке платежные документы (платежные поручения) и документы, подтверждающие факт выполнения работ по геологическому изучению недр и воспроизводству минерально-сырьевой базы (государственные контракты на выполнение работ по воспроизводству минерально-сырьевой базы и акты выполненных работ) [5].

Управление Федерального казначейства по г. Москве (территориальный орган Федерального казначейства) совершает расходование средств федерального бюджета после проверки соответствия платежных документов и документов, подтверждающих факт выполнения работ, требованиям Бюджетного кодекса РФ, утвержденным сметам расходов Роснедр и доведенным лимитам бюджетных обязательств [1, 5].

Процедура осуществления кассового расхода за счет средств федерального бюджета состоит в передаче органом Федерального казначейства в учреждение банка, в котором органу Федерального казначейства открыт счет для учета операций со средствами федерального бюджета, расчетных и кассовых документов, оформленных органом Федерального казначейства на основании представленных в надлежащем порядке Федеральным агентством по недропользованию (территориальными органами Роснедр) платежных документов, и списании учреждением банка сумм платежей со счета органа Федерального казначейства с отражением операций на лицевом счете Роснедр (территориальных органов Роснедр) [1, 5].

Учреждения банка, обслуживающие счета органов Федерального казначейства, осуществляют платеж со счета органа Федерального казначейства на банковские счета исполнителей работ по геологическому изучению недр и воспроизводству минерально-сырьевой базы [1, 5]. Указанный платеж осуществляется в соответствии с требованиями Положения о безналичных расчетах в РФ [3].

Выдача наличных денег исполнителям работ по геологическому изучению недр и воспроизводству минерально-сырьевой базы с их банковских счетов производится по денежным чекам [4].

Территориальные органы Роснедр — Заказчики работ, а также структурные подразделения Роснедр ежеквартально представляют в Управление финансово-экономического обеспечения отчет об использовании средств федерального бюджета на воспроизводство минерально-сырьевой базы [10].

Роснедра представляет в Федеральное казначейство отчетность об исполнении федерального бюджета и материалы, необходимые для составления отчета об исполнении федерального бюджета [1].

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Бюджетный кодекс Российской Федерации (гл. 18, 19, 24, 25).
- 2. Гражданский кодекс Российской Федерации (гл. 46).
- 3. *Положение* о безналичных расчетах в Российской Федерации (указания Центрального банка РФ от 03.10.2002 № 2-П).

^{4.} *Положение* о порядке ведения кассовых операций в кредитных организациях на территории Российской Федерации (указания Центрального банка РФ от 09.10.2002 № 199-П).

5. *Приказ* Минфина России от 31.12.2002 № 142н «Об утверждении Инструкции о порядке открытия и ведения органами Федерального казначейства Минфина РФ лицевых счетов для учета операций по исполнению расходов федерального бюджета»

6. *Приказ* Минфина России от 10.06.2003 № 50н «Об утверждении порядка организации работы по доведению через территориальные органы Федерального казначейства объемов бюджетных ассигнований, лимитов бюджетных обязательств и объемов финансирования расходов федерального бюджета».

7. *Письмо* Федерального казначейства от 06.02.2006 № 42-7.1-15/ 5.1-50 «О полномочиях органов Федерального казначейства по проведению предварительного контроля за соблюдением федеральными учреждениями правил размещения заказов для государствен-

ных нужд».

8. Приказ Минфина России от 08.12.2006 № 163н «Об утверждении порядка исполнения сводной бюджетной росписи федерального бюджета на 2007 г. и внесения изменений в нее».

9. Положение об особенностях расчетно-кассового обслуживания территориальных органов Федерального казначейства (утверждено Центральным банком РФ № 298-П и Министерством финансов РФ № 173н 13.12.2006)

10. Приказ Роснедра от 17.01.2007 № 44 «Об утверждении документов, регламентирующих проведение работ Федеральным агентством по недропользованию по воспроизводству минерально-сырьевой базы за счет средств федерального бюджета в 2007 г.».

ХРОНИКА

К 100-ЛЕТИЮ ЕКАТЕРИНЫ ПАВЛОВНЫ ЧУЙКИНОЙ

7 декабря 2007 г. исполнилось 100 лет со дня рождения одного из известных и ярких геологов России — Екатерины Павловны Чуйкиной. Ее жизнь — это человеческий, гражданский и профессиональный подвиг.

Еще будучи студенткой, Екатерина Павловна потеряла мужа в результате сталинских репрессий, после чего в экспедиции погиб ее единственный сын — начинающий геолог. Эти трагические события не сломили ее удивительно сильный характер.

Вся жизнь Е.П. Чуйкиной была посвящена геологическому исследованию двух ос-

новных мусковитоносных провинций России — Мамско-Чуйской и Беломорской. В Мамско-Чуйской провинции под руководством пионеров расчленения глубокометаморфизованных комплексов М.А. Завалишина и Н.А. Львовой она приобрела опыт нетрадиционного картирования этих образований и затем сама возглавила коллектив энтузиастов. При ее непосредственном участии была закартирована карельская часть Беломорского комплекса.

Редкая работоспособность, природная наблюдательность и творческий подход к делу позволили Екатерине Павловне последовательно составить разномасштабные карты беломорид и получить четкое представление о геологической структуре, магматизме и основных закономерностях размещения мусковитовых и керамических пегматитов. Объективное отражение геологичес-



кой реальности обеспечило уникальность составленных геологических карт и непреходящую с течением времени их прикладную ценность.

По мере распространения новых петрологических идей и схем развития древнейших метаморфических комплексов Екатерина Павловна творчески разрабатывала свои представления об истории формирования и структуре беломорид. Начиная с нового по тем временам литолого-стратиграфического подхода к расчленению глубоко переработанных первично осадочных толщ,

она пришла к аргументированному заключению о том, что закартированная ею стратификация беломорид явилась результатом многократной тектонометаморфической и ультраметаморфической переработки базитового субстрата палеокоры.

Профессиональная увлеченность, требовательность к себе и строгое отношение к геологическому факту помогли Екатерине Павловне сформировать творческий коллектив, который сумел создать геологические карты Беломорского комплекса, выдержавшие многолетнюю проверку временем и способствовавшие развитию минерально-сырьвой базы региона. Вся жизнь Екатерины Павловны — высокий пример беззаветного служения российской геологии. Светлая память о Екатерине Павловне Чуйкиной навсегда сохранится в наших сердцах.

Геологи Северо-Запада

Редакторы С.Б. Маркова, Е.Н. Толстая; Компьютерная верстка Н.В. Полищук

Подписано в печать с репродуцированного оригинал-макета 09.01.2008. Формат издания 70×100 1/8. Бумага мелованная. Печать офсетная. Адрес редакции: 119017, Москва, Старомонетный пер., 31. Тел.: (495) 950-30-25, факс (495) 238-15-67 E-mail:rion60@mail.ru

Отпечатано ООО "Типография Момент". 141406, Московская обл., г. Химки, ул. Библиотечная, 11.





Портативная каротажная станция для исследования гидрогеологических, инженерно-геологических, рудных и угольных скважин



Размещение станции в малотоннажном автомобиле



Лебедка с кабелем 150 м, 300 м, 500 м, 1000 м, 1500 м



Цифровой регистратор с комплектом скважинных снарядов

В состав станции входят спускоподъемное оборудование (лебедка) с приводом от электродвигателя и возможностью ручного привода, вмещающее 200 м, 300 м, 500 м, 1000 м, 1500 м одножильного бронированного кабеля диаметром 5,9 мм, комплект малогабаритных скважинных приборов диаметром 42-48 мм, цифровой компьютеризированный регистратор с блоком питания скважинных приборов, устройством сопряжения с объектом, технологическим программным обеспечением, система измерения глубины, скорости и натяжения кабеля, система обустройства устья, плоттер. Питание осуществляется переменным напряжением 220В. В зависимости от решаемых геологических задач в состав комплекса ГИС включаются: электрический каротаж, методы радиоактивного каротажа ГК, ГГК-П, ГГК-С, НГК, ННК, высокоточный каротаж магнитной восприимчивости, кавернометрия, термометрия, резистивиметрия, акустический каротаж, видеокаротаж и другие методы.

Выполняются также работы по модернизации существующих каротажных станций: замена аналоговых регистраторов на цифровые, компьютеризированные, ремонт и замена каротажных лебедок.

ООО "Велко" РФ, 109147, г. Москва, ул. Воронцовская, д. 35Б, корпус 2, офис 626, 628 тел. /факс +7-495-912-09-57, 232-33-06 www.velco.ru, velco@com2com.ru

Европейская ассоциация геоученых и инженеров (EAGE) приглашает Вас принять участие в мероприятиях 2008 г.





KIELXKEHEPHAAI KI PYZHAAI MEODKISKIKA - 2008

международная научно-практическая конференция и выставка

Приглашаем Вас принять участие в 4-й международной научнопрактической конференции по инженерной и рудной геофизике

В РАМКАХ КОНФЕРЕНЦИИ СОСТОЯТСЯ:

- ✓ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ (устные и стендовые доклады)
- КУРСЫ и СЕМИНАРЫ по актуальным проблемам инженерной геофизики.
- ✓ КОММЕРЧЕСКИЕ ПРЕЗЕНТАЦИИ аппаратных и программных средств для сбора, обработки и интерпретации геолого-геофизических данных.

ОСНОВНЫЕ ДАТЫ ПРИ ПОДГОТОВКЕ КОНФЕРЕНЦИИ:

декабрь 2007г.	Официальное объявление о Конференции, программа учебных курсов
1 марта 2008г.	Окончание приема тезисов докладов, окончание регистрации участников по
	льготному тарифу.
апрель 2008г.	Объявление Программы Конференции и Выставки, рассылка приглашений.

25 - 30 апреля 2008 г., Г. Геленджик, ГНЦ ФГУГП "Южморгеология"







70-я ежегодная конференция и выставка EAGE, проводимая совместно с SPE EUROPEC 2008 9 - 12 июня 2008г.

Nuova Fiera di Roma (Рим, Италия) <u>Важные даты:</u>

1 декабря 2007 г. - окончание резервирования выставочной площади по льготным ценам

20 января 2008 г. - окончание приема тезисов докладов **15 марта 2008 г.** - окончание регистрации по льготному тарифу

EAGE EUROPEAN ASSOCIATION OF GEOGENEMENTS

Приглашаем Вас принять участие В 14-й Европейской конференции по Малоглубинной и Инженерной геофизике

Near Surface

Важные даты:

1 апреля 2008 г. - окончание резервирования выставочной площади по льготным ценам
18 апреля 2008 г. - окончание приема тезисов докладов

15 июля 2008 г. - окончание регистрации по льготному тарифу

15-17 сентября 2008 г. Польша, Краков



Оформить участие во всех мероприятиях Вы можете в Региональном офисе EAGE в России и странах СНГ www.eage.ru, E-mail: eage@eage.ru, Тел./факс: +7(495) 930-84-52, 930-84-53



АППАРАТУРА ПРОИЗВОДСТВА ООО "СЕВЕРО-ЗАПАД"



МЭРИ-24

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ

Область применения: измеритель МЭРИ предназначен для измерения параметров постоянного и переменного напряжения в полевых условиях при электроразведочных работах. Прибор позволяет проводить работы методами сопротивлений, методом вызванной поляризации и частотного зондирования (диапазон частот: 0,015 - 625 Гц).

Особенности: в процессе наблюдений прибор измеряет входной сигнал, выполняет его обработку, выдает значения определяемых параметров на индикатор и записывает их в память, для последующего переноса на ПК.



ИМВП

8-КАНАЛЬНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ДЛЯ МЕТОДА ВЫЗВАННОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ

Назначение: Измеритель "ИМВП" предназначен для проведения работ методом вызванной поляризации в частотной и/или временной области. Также он может применяться при проведении работ методами постоянного тока, частотного зондирования и дифференциальнонормированным методом электроразведки. Особенности: Измеритель "ИМВП" одновременно регистрирует сигнал с 8 приемными линиями МN. Измеритель всегда работает в паре с ПК (ноутбуком): через компьютер осуществляется управление прибором и запись сигнала.



АСТРА-100 электроразведочный генератор

Область применения: электроразведочный генератор «АСТРА-100» может применяться при геофизических исследованиях методами постоянного тока, вызванной поляризации (ВП), частотного зондирования (ЧЗ), импедансного частотного зондирования (ИЧЗ или CSMT), зондирования становлением поля (ЗС) и другими методами.

Особенности: портативность, малые габариты и вес; высокая надежность; простота в использовании. Мощность - 100 Вт, максимальный ток - 1 А, максимальное напряжение - 400 В, диапазон частот - от 0,015 до 2500 Гц.

АППАРАТУРА ДЛЯ ЭЛЕКТРОТОМОГРАФИИ IRIS INSTRUMENTS (ФРАНЦИЯ)

Компания Северо-Запад представляет комплекс для электротомографии методом сопротивлений и ВП - SYSCAL Pro Switch. Сегодня это самый производительный комплекс для многоэлектродных зондирований.

Производительность полевых работ методом ВП примерно 700 метров в день при следующей методике работ: зондирование каждые 5 метров, разнос до 250 метров, время зарядки ВП – 2 с. Число измерений 1-4 тысячи (в зависимости от выбора установки). Глубинность - до 100 м. Работы без измерений ВП — 1-1.5 км в день.

Такая высокая производительность достигается за счет одновременного измерения на 10 приемных диполях плюс автоматическая коммутация всех приемных и питающих электродов (от 48 до 128 в зависимости от комплектации).



Особенности: 10 приемных диполей, 1000(800) V – 250 W – 2.5 A, кривая спада ВП по 20 временам с построением на дисплее, внутренний коммутатор для многоэлектродных зондирований на 48, 72, 96 или 128 электродов.

Пример результатов (Красноярский край)

"Syscal Pro Swich 72",
 4 полевых дня, профиль 2.4 км, шаг по профилю 5 м,
 число измерений 16400.
 Работы и интерпретация
 выполнены в ЗАО «Полюс».
 Сертифицированные
 специалисты ООО «Северозапад» обеспечили поставку
 и обучение персонала



mail@nw-geo.ru www.nw-geo.ru тел./факс +7(495)518-94-94