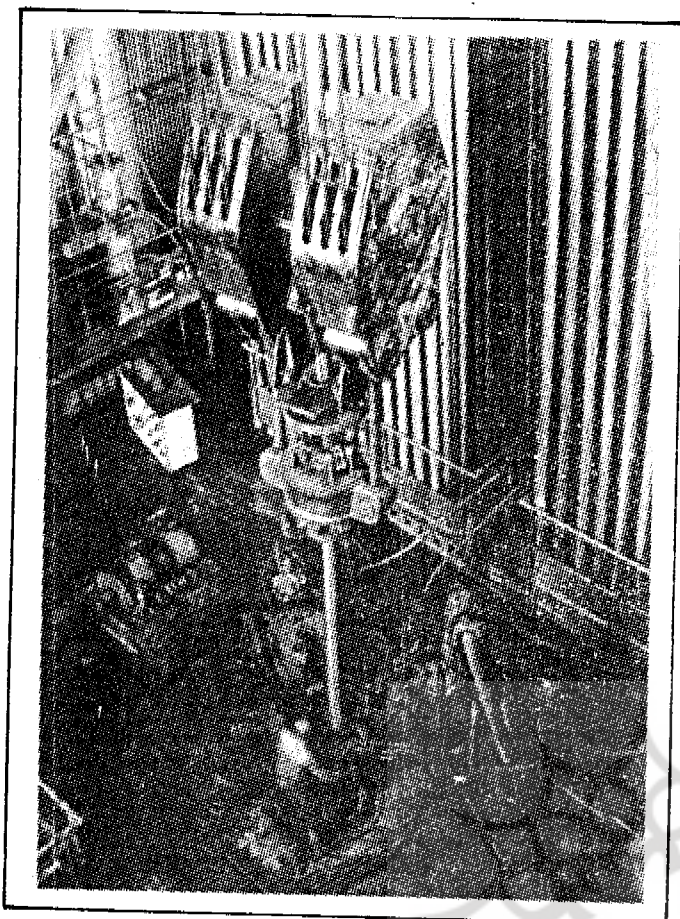


تر فترین چاه جهان *

ترجمه: جمشید حسن زاده

ناصر مظفری



چاه پژوهشی کولا، واقع در بخش قطبی شوروی که اینک به ژرفای ۱۲۰۰۰ متری رسیده، علت وجود یکی از نابیوستگیهای لرزه‌ای را آشکار کرده و راهگسائی تکامل تکنیکهای حفاری لازم برای کاوش در ژرفای بوسته زمین بوده است.

تصویر ۱ - منظره‌ای از سر چاه کولا. لوله‌های حفاری که آلیاژ آلومینیم هستند، در کنار چاه دیده می‌شوند. این تصویر از روی دکل حفاری که بر فراز چاه سر برافراشته و رسیمان حفاری را نگاه می‌دارد، گرفته شده است. بلندی این بنا ۸۶ متر و گنجایش آن ۴۰۰ تن است. واحد تولید نیرویی حفاری واقع در ته چاه، توربینی است که به واسطه جریان پرفشار گل حفاری که از بالا پمپ می‌شود، به کار می‌افتد.

الکترومغناطیسی زمین انجام می‌دهند. همه اینها، اطلاعات بیشتری درباره آنچه که در زیر زمین پنهان است بازگو می‌کنند. با این حال، هیچ جانشینی برای مشاهده مستقیم آنچه که در ژرفای زمین قرار دارد و آنچه که در آن پایین می‌گذرد، وجود ندارد.

ساز کولا با گذشتن از سیان سنگهای پروتروزوییک، ۱/۴ بیلیون سال از تاریخ زمین را پشت سر گذاشته و وارد سنگهای آرکئن شده که ۷/۵ تا ۷/۷ بیلیون سال از سرشان می‌گذرد. این چاه، شماری از چرخه‌های پوسته‌سازی را نمایان کرده که طی آنها سنگهای آذرین پدید می‌آید. به عبارتی زمین به پوسته افزوده شده‌اند. این سنگها سپس در اثر شرازه‌کن و فعالیت بخارها جدا شده‌اند و مواد آواری حاصل، پس از عبور شدن در لایه‌های رسوبی، برآکنده می‌شوند و نوینی یافته‌اند و بعد طی بازگویی تالی از مواد مذاب و شیار نفوذ نموده‌های آذرین جوانتر، دوباره در اعماق زمین به پوسته‌های متبلور درآمده‌اند. نمونه سنگهای آذرین در اعماق زمین در اعماق زمین آنها دشوارتر می‌شود، امکان

از سال ۱۹۷۰، یک دکل حفاری به بلندی بنایی ۲۷ طبقه، روی سنگهای بی‌شمار شبه جزیره کولا^۱ در ۲۵۰ کیلومتری شمال دایره شمالگان^۲ واقع در ناحیه مورمانسک^۳ شوروی، مشغول کندن چاهی در دل سپر قاره‌ای بالتیک^۴ بوده است. سرمته حفاری که اینک از ژرفای ۱۲۰۰۰ متری گذشته، نیسی از این راه را با خرد کردن سنگهای بلورین پیوده است. چاه «سیار ژرف»^۵ کولا، ژرفترین چاه جهان است و از چاههای ۱۵۰۰ تا ۷۰۰۰ متری که برای اکتشاف یا استخراج نفت، زغال، آهن، فلزات غیر آهن، الماس و دیگر گنجهای زمین کننده می‌شوند، بسیار ژرفتر است.

نخستین گنجی که چاه کولا جویای آن است، شناخت ساختار ژرف پوسته تاره‌ای و نیروهایی است که طی ۴ بیلیون سال تاریخ زمین شناختی، آن را شکل داده‌اند. شناخت کنونی، بیش از هر چیز، از نمونه سنگهای پوسته زمین به دست آمده است. نزدیک به ۱۵۰۰۰ متر از ضخامت متوسط ۳۰۰۰ متری پوسته تاره‌ای در جاهای مختلف سطح زمین پدیدار شده است. سرعت موج لرزه‌ای به ازای زیاد شدن ژرفا فزونی می‌یابد و در سبب ترکیب سنگها نیز تغییر می‌کند. از سوی دیگر، مواد سنگها و مایه‌های زمینی به کسک آواری که بنا خود به پر از در اعماق زمین است، باز می‌ماند و در اعماق زمین تراشیده می‌شود.

ساختن مدل گوناگون از سنگها و کانیهای مختلف و از طرف دیگر با
 اصلی می‌های فرایند و در نهایت با استفاده از روش‌های مختلف و با
 اطلاعاتی که در دسترس است، می‌تواند به دست آوردیم. در این
 دست که در کولاً از سنگ‌ها و کانیهای مختلف و از طرف دیگر با
 سنگی است که سیستمی از سنگ‌ها و کانیهای مختلف و از طرف دیگر با
 یکی از دلایل این امر می‌تواند به دست آوردیم. در این
 گرایش بوده و از این جهت می‌تواند به دست آوردیم. در این
 بازالتی بوده است. از این جهت می‌تواند به دست آوردیم. در این
 پی‌سنگ بازالتی در صورتی که سیستمی از سنگ‌ها و کانیهای مختلف و از طرف دیگر با
 ناکور چین پنداست. در این جهت می‌تواند به دست آوردیم. در این
 لرزه‌ای که در جاذبه می‌تواند به دست آوردیم. در این
 مشاهده می‌شود. مشخص می‌شود که سیستمی از سنگ‌ها و کانیهای مختلف و از طرف دیگر با
 در شبه جزیره کولاً در زرفای جنوبی و از این جهت می‌تواند به دست آوردیم. در این
 نخستین جاهی بود که از این جهت می‌تواند به دست آوردیم. در این
 مرز لرزه‌ای، بازالت بافت تشکیل می‌دهد.



نظر بر ۲ - جایگاه دال بنایی به بلندی ساختمانی ۳۰ طبقه است. به در تندر ای
 کولاً ۲۵۰ کیلومتری شمال دایره شمالگان واقع است. این ساختمان، تاسیسات
 روی جاه را از یخ زدن حفظ می‌کند و شرایط را برای حفاری در طول تمام سال
 فراهم می‌آورد.

کانیها کرده، تنها سطح زمین را با ناخن کاویده است. منابع عظیمی در
 ژرفای زمین نهفته‌اند و در انتظار پیشرفت تکنولوژی هستند که آنها را
 در دسترس بشر بگذارد.

پایین رفتن چاه همچنین منجر به آزاد شدن جریانهایی از گاز
 در تمام اقصیا شد. در این گازها، هلیوم، هیدروژن، نیتروژن، متان،
 هیدروکربنهای دیگر و دی‌اکسید کربن شناخته شده‌اند. عناصر سبک
 این گازها، البته در اثر همان فرایندهای دگرگونی که به آزاد شدن آب
 می‌انجامد، از ساختار بلورین سنگها سرچشمه می‌گیرند. با این همه،
 براساس ترکیب ایزوتوبی کربن، دو منبع برای دی‌اکسید کربن پیشنهاد
 شده است. وجود میکروارگانیسمهای سنگواره شده در سنگهای
 پروتروزوییک، که صدها میلیون سال از عمرشان می‌گذرد، نشان
 می‌دهد که منبع دوم دی‌اکسید کربن، بیوژنیک بوده است.

حضر چاه کولاً آغازگر برنامه درازمدتی از حفاری
 سیستماتیک برای شناخت ساختار ژرف یوسته زمین در سرزمین
 شوروی بود که در قرن آینده خواهد داشت. زمین‌شناسان و
 مهندسان معدن در سال ۱۹۶۲ تحت سرپرستی شورای بین‌گروهی
 برای مطالعه درون زمین و حفاری فوق ژرف، مستعد شدند که
 تکنولوژی حفاری و مطالعه چاههای ژرف را توسعه دهند. در سال

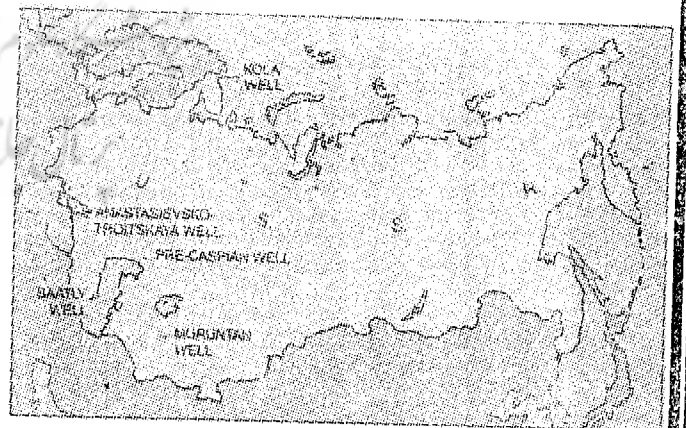
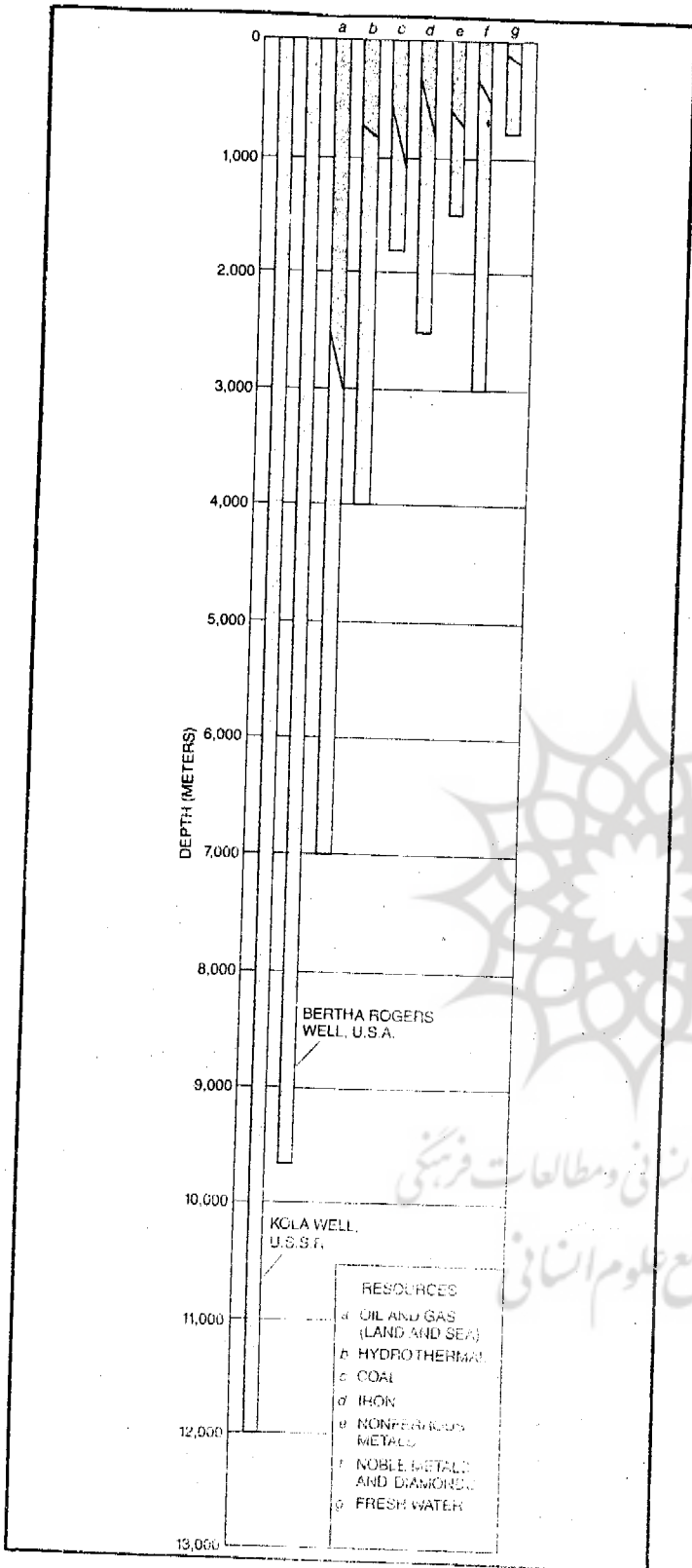
در عوض، چاه کولاً در این قسمت منطقه ای غیر عادی از
 سنگهای دگرگونی از هم گسیخته‌اند و با پیشنهادی گسسته است که
 نخست در ژرفای ۴۵۰۰ متری وارد آن شده بود. هنگام حفاری در این
 منطقه، با جریانهای فراوان و شگفت‌آوری از آبهای گرم و بسیار کانی
 شده برخورد شد. این آبها که «آب تبلور» نامیده می‌شوند، از کانیهای
 سازنده سنگهای بلورین سرچشمه می‌گیرند. به این شکل که وقتی
 کانیها تحت مالش و گرمایش فرایند دگرگونی تجزیه می‌شوند یا ترکیب
 نونی باهم می‌یابند، آب تبلور آنها آزاد می‌شود. آب دگرگونی نقش
 مهمی در ایجاد کانسنگها برعهده دارد. این آبها معمولاً از سازند
 دگرگونی به خارج راه می‌یابند و بار کانی خود را در سطوح بالاتر
 پوسته، برجای می‌گذارند. آب در کولاً در محلی که آزاد شد، به واسطه
 لایه‌هایی از سنگهای آذرین غیر قابل نفوذ به ضخامت ۲ کیلومتر که در
 بالای این منطقه قرار داشت، به تله افتاده بود. برای برگرداندن آب
 به درون شبکه بلورین مواد سنگ‌ساز، فشاری لازم است که تنها در
 ژرفای پوسته یا در گوشته فوقانی فراهم است. از آنجا که مقاومت
 کششی سنگ، کسری از این فشار هیدرولیک است، آب‌زدایی آنها با
 ایجاد شکستگیهای ریز همراه بوده است. این پدیده از هم گسیختگی
 سنگهای دگرگونی که پیش از این هرگز مشاهده نشده بود، ممکن است
 نقش مهمی در ساختار پوسته داشته باشد.

در برابر عظمت جریان آبهای کانی شده‌ای که در منطقه
 از هم گسیخته با آنها برخورد شد و سازند نازک و کاملاً معین زیرین آن
 و با توجه به نشانه‌های کانسارهایی که در افقهای دیگر آشکار شده‌اند،
 چاه کولاً به خوبی نشان داد که انسان در پی جستجویی که از برای

۱۹۷۰ حفاری در کولا و ساعتی^۱ آغاز شد. ساعتی در ناحیه نفت و گاز خیز باکو در دریای خزر واقع است و چاه در آنجا تا ژرفای ۸۵۰۰ متری پایین رفته است. در ضمن، کاوش لرزه‌ای ژرف^۲ در سرزمین شوروی، به تعیین محل سایر چاههای ژرف و فوق ژرفی که بایستی اکنون حفر شوند، یاری داده است.

شناخت بهتری که از این راه از ساختار ژرف پوسته به دست می‌آید، به پیدایش روشهایی برای پیش‌بینی محل پیدایش و اکتشاف کانسارها و میدانهای نفت و گاز در ژرفاهای پایینتر از حدی که امروزه استخراج می‌شوند، خواهد انجامید. همان‌گونه که چاه کولا نشان داده، منابع معدنی ممکن است در ژرفاهای بیشتر یافت شوند. از این رو، یکی از اهداف اساسی این کار پژوهشی سترگ، پیشبرد تکنولوژی راه‌یابی به ژرفاهای ۱۰۰۰۰ تا ۱۵۰۰۰ متری است.

پوسته زمین ۳۵ کیلومتر ضخامت دارد و در مقایسه با کره زمین که شعاعی بیش از ۶۰۰۰ کیلومتر دارد، خیلی نازک است. به نظر می‌رسد که شواهد لرزه‌ای و دیگر شواهد غیرسستقیم، فرضیه پوسته قاره‌ای سه لایه‌ای مرکب از لایه‌های رسوبی، گرانیتی و بازالتی را که هارولد جفریز^۳ ژئوفیزیکدان انگلیسی در سال ۱۹۲۶ مطرح کرد، تأیید می‌کنند. همبستگی یابی^۴ بسین وزن مخصوص نمونه سنگهای اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه و سرعت موجهای لرزه‌ای مشاهده شده در صحرا، حاکی از آن است که وزن مخصوص سنگهای رسوبی بین ۱/۸ تا ۲/۵ گرم بر سانتیمتر مکعب و سرعت در آنها حدود ۵ کیلومتر بر ثانیه است. وزن مخصوص و سرعت در سنگهای گرانیتی به ۲/۵ تا ۲/۷۵ گرم بر سانتیمتر مکعب و ۵ تا ۶ کیلومتر بر ثانیه فزونی



تصویر ۳. محل حفاریهای انتخاب شده برای مطالعه همه جانبه پوسته زمین با نقطه در روی نقشه شوروی نشان داده شده است. با پیشرفت تکنولوژی حفاری که با حفر چاه ۱۰۰۰۰ متری کولا از بانه ساعتی در دریای خزر که به ژرفای ۸۵۰۰ متری رسید، حاصل می‌شود، به چاه دیگر یا ژرفای بیش از ۷۰۰۰ متر در مناطقی که نام آنها هنوز معلوم نشده است، سر خواهد شد. حفاریهای کم ژرفتر در محلهای دیگر که به نقاط بسین نام نشان داده شده‌اند، حفر خواهند شد. همه چاهها در محل منابع طبیعی معدنی جدید قرار دارند و به شناخت ما درباره پیدایش کانسارها و تعیین محدوده آنها یاری خواهند داد.

تصور می‌شود که در این چاههایی که تا کنون در زمین حفر شده‌اند، بسته به این که در جستجوی چه نوع منابعی هستند، شناخت است. در این نمودار، رنگ تیره ژرفای میانگین و رنگ روشن بیشتر ژرفای مورد توجه به هر نوع از چاهها را در مقایسه با ژرفای چاههای تویزا و BERTHA ROGERS واقع در اکلاهما (ایالات متحده آمریکا) نشان می‌دهد. شاه راه برای زمین‌شناسان و زمین‌شناسان و یک چاه گاز است. حفاری این چاه در ژرفای ۸۷۷۰ متری صورت شده زیرا سرشته در این ژرفا وارد

می‌یابد. در جایی که ناپیوستگی قرار داده می‌شود، در سطح زمین جبهای لرزه‌ای به ۶ تا ۷ کیلومتر بر ثانیه افزایش به عنوان نشانه گذر از لایه گرانیتی به لایه بازالتی با وزن مخصوص ۲/۸۵ تا ۳ گرم بر سانتیمتر مکعب منظور شده است. لایه گرانیتی که دارای عنصرهای سبکتر اکسیژن، سیلیسیم و آلومینیم است در دوران آرکئین نهاده شده و به طور گسترده در سطح قاره‌ها تشکیل شده است. با این که ضخامت پوسته قاره‌ای در رشته کوه‌ها به ۷۰ تا ۷۵ کیلومتر هم می‌رسد. ضخامت پوسته اقیانوسی ۱۰ تا ۱۵ کیلومتر است. معمولاً چنین پنداشته می‌شود که این نوع پوسته، از لایه بازالتی پوشیده از رسوب تشکیل شده باشد.

در زیر پوسته قاره‌ای و اقیانوسی، ناپیوستگی لرزه‌ای موهروویچیک^۲ قرار دارد که فرض می‌شود مرز بالایی جبهه باشد. سرعت موج P پس از گذشتن از این مرز به طور ناگهانی به ۷/۸ کیلومتر بر ثانیه افزایش می‌یابد و باینتر از آن، جبهه بالایی (۳۵ تا ۳۰۰ کیلومتر)، جبهه میانی (۳۰۰ تا ۹۵۰ کیلومتر) و جبهه پایینی (۹۵۰ تا ۲۹۰۰ کیلومتر) به ۱۳/۶ کیلومتر بر ثانیه جهش پیدا می‌کنند. وزن مخصوص سنگهای پوسته به همان نسبت از ۳/۳ تا ۵/۹ گرم بر سانتیمتر مکعب تغییر می‌کند. بر اساس شواهد مستقیم حاصل از مطالعه سنگهای آتشفشانی و همچنین بر پایه شواهد غیرمستقیم به دست آمده از مطالعه شهابسنگها و با تکیه بر داده‌های ژئوفیزیکی و اخترشناسی، چنین پنداشته می‌شود که جبهه تا ژرفای ۱۱۰۰ کیلومتری، از سیلیکاتهای منیزیم و آهن تشکیل شده باشد. باینتر از آن، سولفیدها و اکسیدهای آهن، مس، روی، سرب، جیوه، انستیموان و بیسموت و همچنین سلنیم و تلوریم، طلا، نقره و دیگر فلزهای سنگینتر غلبه دارند. دما در جبهه بالایی ظاهراً از ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ درجه سلسیوس تغییر می‌کند و فشار در ژرفای مربوط به آن به ۱۰۰۰۰۰ اتمسفر می‌رسد. زمین شناسان به منظور ارزیابی تصویر پوسته زمین که بر پایه شواهد غیرمستقیم ترسیم شده و برای بسط دادن آن، آرزو داشته‌اند که جاهایی تا فراسوی ناپیوستگیهای کنراد و موهروویچیک حفر کنند. شبه جزیره کولا از این رو برای چنین اقدام متهورانه‌ای برگزیده شد که سبر بالتیک نمونه صفحه‌های قاره‌ای هند، امریکای شمالی، آفریقای جنوبی، استرالیا، غربی، جنوبگان^۱ و گرینلند است. از سوی دیگر، محل چاه کولا در ناحیه معدنی مس و نیکل پچنگا^۲ قرار دارد و امید آن بود که حفر این چاه نحوه پیدایش کانسنگهای آنرا روشن کند. این ناحیه صدها میلیون سال در معرض فعالیتهای یخچالی و هوازدگی و ۵۰۰۰ تا ۱۵۰۰۰ متر از بخش بالایی لایه گرانیتی پوسته قاره‌ای آن در اثر فرسایش از بین رفته است. بنابراین مقطع زمین شناسی ۱۲۰۰۰ متری چاه کولا با یک لایه قاره‌ای «میانگین» واقع در ژرفهای بین

۵۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ متر زیر سطح زمین تعیین می‌شود.

حفر چاه کولا نورآذربای می‌باشد. در تکنولوژی حفاری سبب شده است. در حفاری دورانی، که سرشته در ته چاه اثر چرخش تمامی میله حفاری گردش می‌کند، باینتر از ژرفای ۱۰۰۰۰ متر معمولاً دشواریهای عاجزکننده‌ای پیش می‌آید. وزن میله فولادی حفاری که به ۸۰۰ تا ۹۰۰ تن می‌رسد، تنشهای عظیمی را در سطح پدید می‌آورد و به نیروهایی که در برابر چرخش میله مفاصلت می‌کند، می‌افزاید. توربینی که در ته چاه کولا قرار دارد و با جریان کل حفاری کار می‌کند، سرشته را می‌چرخاند. به این ترتیب، با این که میله از چرخش باز می‌ماند یا چرخش آن به چند دور در دقیقه کاهش می‌یابد، توربین به گردش سر مته یاری می‌دهد.

در چاههای نفت، گل حفاری از درون میله حفاری از بالا به ته چاه پمپ می‌شود تا سر مته را که در حال خرد کردن سنگهاست، خنک کند و سنگهای خرد شده را در خود بگیرد. گل از راه فضای حلقوی بین میله حفاری و دیواره چاه به بالا بازمی‌گردد. این فرایند، ایمنی دیواره چاه را تأمین می‌کند. در چاه کولا، گل حفاری با فشار ۲۵۰ اتمسفر به داخل توربین پمپ می‌شود. در زیر توربین، دنده کاهنده‌ای در میله حفاری، چرخش سر مته را به یک سوم تا یک چهارم سرعت چرخش مته در چاههای معمولی کاهش می‌دهد و به حد مطلوب ۸۰ تا ۱۵۰ دور در دقیقه می‌رساند و به همان نسبت گشتاور^۱ چرخشی آنرا افزایش می‌دهد. در سیستم پمپ کننده، مدار فیدبک هیدرولیکی هست که با رساندن سرعت موجهای گل حفاری به ۱۵۰۰ متر بر ثانیه، چرخش توربین و میله و در نتیجه، سرعت گشتاور سر مته حفاری را کنترل می‌کند. فیلترهای منظور شده در طرح اصلی، قابل اعتماد بودن کنترل در ژرفای ۱۲ کیلومتری را تأمین می‌کند.

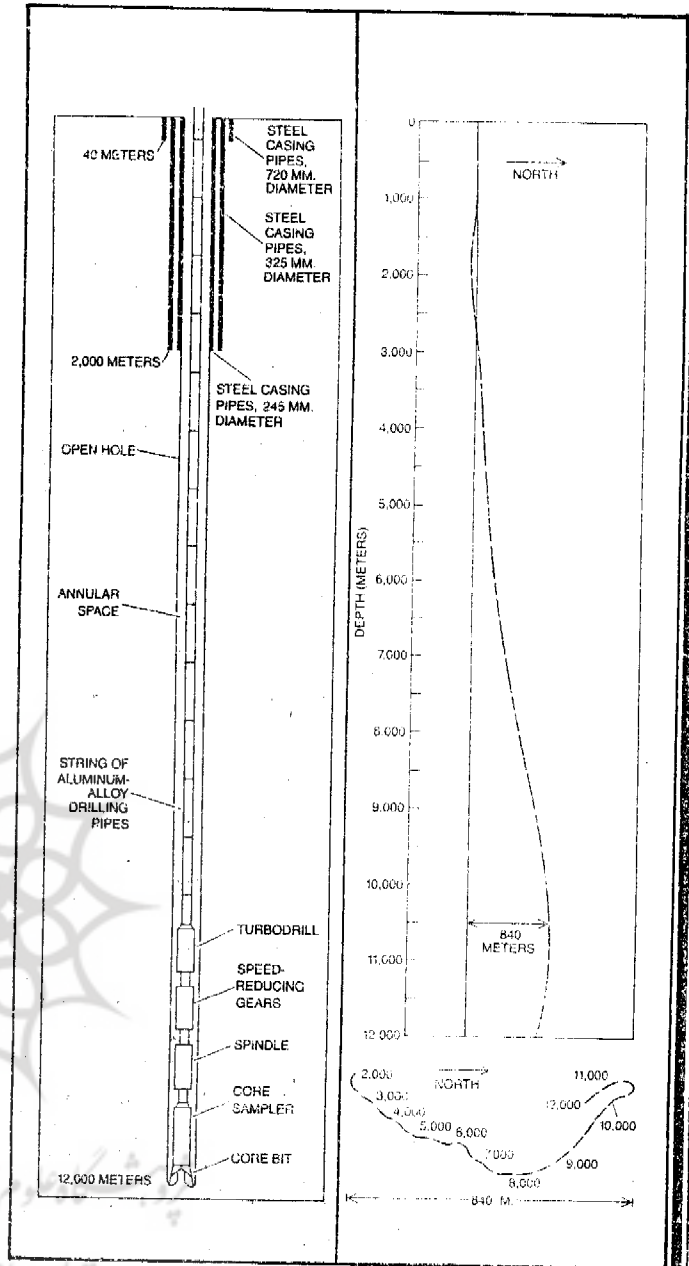
وزن میله حفاری که از نوعی آلیاژ بسیار مقاوم آلومینیم ساخته شده، فقط ۴۰۰ تا ۵۰۰ تن است. از آن جا که تعویض سر مته‌های فرسوده یا بیرون آوردن نمونه‌های مغزه مستلزم آن است که تمامی میله صدها بار به سطح زمین آورده شده و به ته چاه پایین فرستاده شود، سبک بودن میله حفاری برتری بزرگی است. سبکی میله، صرفنظر از کاهش بار روی دکل، از فرسودگی میله، پوشش و دیواره چاه که در اثر مالش ناشی از پایین و بالا آمدن میله در طول حفاری پدید می‌آید، می‌کاهد. در مورد چنین حفاری‌ای که هیچ‌گاه کاملاً عمودی پیش نمی‌رود، فرسودگی خیلی زیاد است. میانگین انحراف چاه کولا از حالت عمودی ۵ درجه بوده و در ژرفای ۱۰۰۰۰ تا ۱۵۰۰۰ متر تا حداکثر ۱۷ درجه رسیده است. در این ژرفا، سر مته حفاری ۸۴۰ متر از راستای شاغولی دهانه چاه به سوی منحرف شده است (تصویر ۶) طرح چاه کولا خود باید به تغییرهای غیر قابل پیش‌بینی در

شرایطی که سر مته حفاری ضمن پایین رفتن با آن روبرو است، پاسخ می‌داد. با این که دو کیلومتر بالای چاه پوشش‌گذاری شده است (تصویر ۵)، معلوم شد که هر چه چاه پایینتر می‌رود، آزادی بیشتری در حرکت و تصمیم‌گیری لازم است. نتیجه این طرز فکر، پدیدار شدن استراتژی «حفاری پیشرفته چاه آزاد» بود. پایینتر از ژرفای ۲۰۰۰ متر، سراسر چاه بدون پوشش‌گذاری حفاری شده است.

هر تکه سنگی که از ژرفای زمین بیرون کشیده می‌شود، ارزش ویژه خود را داراست. هر چه چاه کولا ژرفتر می‌شود، دشواری بیرون کشیدن مغزه‌ها بیشتر می‌شود. مغزه‌های استوانه‌ای عادی که ۶۰ تا ۸۰ میلیمتر قطر دارند، همین طور که سر مته سنگ را در ته چاه می‌تراشد، وارد لوله حفاری می‌شود. اما در ژرفای زیاد، وقتی سر مته حفاری فشاری را که لایه‌های سنگی رویی وارد می‌آورند، رفع می‌کند، سنگ بر اثر آزاد شدن نیروهای داخلی، می‌ترکد. چنانچه در این ژرفاها ابزار عادی نمونه‌گیری مورد استفاده باشند، تکه‌های مغزه دهانه مغزه‌گیر را می‌بندند و ۹۰ تا ۹۵ درصد مغزه خرد و در گل حفاری وارد می‌شود. ابزار مغزه‌گیری جدیدی که مقداری از جریان گل حفاری را در درون مغزه‌گیر منحرف می‌کند، تکه مغزه‌های ترکیده را گرفته و به جایگاه ویژه‌ای منتقل می‌کند و به این ترتیب، دهانه را برای نمونه‌های جدید باز می‌کند.

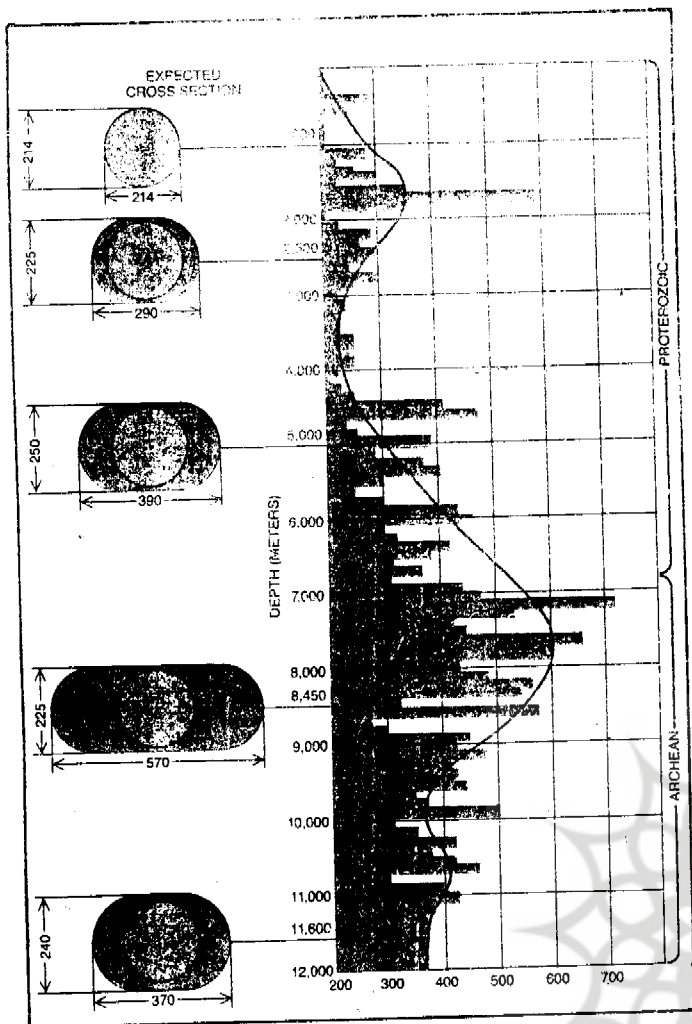
تکنولوژی‌ای که اینک در چاه کولا عرضه شده است، امکان حفاری در ژرفاهای ۱۵ تا ۱۷ کیلومتر را فراهم می‌کند. ولی باید در انتظار مسایل جدید بود. ما موفق شده‌ایم آلیاژهایی بسازیم که دماهای ۲۳۰ تا ۲۵۰ درجه را تحمل می‌کنند. متالورژی بودری، ساخته شدن آلیاژهایی از آلومینیم را نوید می‌دهد که در دماهای ۲۷۰ تا ۳۰۰ درجه، که با پایینتر رفتن چاه کولا انتظار آن می‌رود، پایدار باشند. از آلیاژ تیتانیوم، لوله‌های حفاری مقاوم در دمای ۴۰۰ درجه ساخته می‌شود که در ژرفای بیشتر از آن حکمفرماست.

تلاش بر دماهای بالا، تکنولوژی حفاری ژرف باید برای دشواریهای دیگری هم چاره‌اندیشی کند، از جمله: فشارهای زیادی که به ۳۰۰۰ متر می‌رسد. عوامل طبیعی خورنده ناشی از آبهای بسیار شیرین و غلیظ شده، فشارهای زیادی توده سنگ در اطراف چاه و انحنا چاه از امتداد عمودی. آوردن نمونه مغزه‌ها به سطح زمین رفته رفته دشوارتر می‌شود. برای حل این مسئله لازم است وسیله‌ای برای مغزه‌گیری و حمل نمونه‌های سنگ طراحی شود. حمل نمونه باید در قطرهای نامندوبسته‌ای صورت گیرد که شرایط حاکم بر ته چاه از تسلط فشار سنگ بر قطر و آب را حفظ کند. برای تقلید شرایط حاکم بر ژرفای ۱۵ تا ۲۰ کیلومتر، دمای ۳۰۰ تا ۴۰۰ درجه سانتیگراد، فشار ۳۰۰ تا ۴۰۰ مگاپاسکال، و چگالی ۳۰۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مکعب را باید در نظر گرفت.



تصویر ۵ - سایز از چاه که بازنگار شدن تدریجی سوراخ را نشان می‌دهد. چاه کولا ژرفای ۲۰ متری با سر مته‌ای به قطر حدود ۱ متر حفاری شد و لوله‌ای به قطر ۷۷۰ میلیمتر در آن جای داده شد. حفاری با سر مته‌ای به قطر ۲۱۲ میلیمتر ادامه یافت. قطر دو متر از چاه به‌سرا بیشتر شد و برای جلوگیری از ریزش دیواره چاه، لوله‌ای به قطر ۳۲۵ میلیمتر در آن کار گذاشته شد. چاه در ژرفای بیشتر از ۲۰۰۰ متر فاقد برش است ولی در عوض، فشار گل حفاری از ریزش دیواره آن جلوگیری می‌کند. گل حفاری از درون لوله ساری پایین می‌آید و از فضای دور لوله به سطح زمین باز می‌گردد.

تصویر ۶ - سراسر چاه به‌سرا به‌سرا و در پایین سر کولای آن نسبت به دهانه چاه نشان داده شده است. بیشتر این انحنا چاه از سوراخ عمودی دهانه چاه، ۸۷۰ متر پس از ورود به ژرفای ۱۰۰۰ متر بوده است. انحنا چاه تا حدی است که نباید تأثیر آن را در حفاری به داخل چاه در نظر گرفت. چاه کولا به‌سرا در آوردن نمونه‌های مغزه‌گیری سر مته‌های فرسوده بیرون کشیده می‌شود، سبب افزایش آن می‌شود.



تصویر ۷ - با این که قطر سرمرته ثابت بوده، اما مقطع عرضی چاه با عمق تغییر می‌کند. نمودار ستونی سمت راست، اندازه‌گیریهای پیرگاری چاه را در عرض بیشترین قطر آن در عمق نشان می‌دهد. روند چاه با منحنی نشان داده شده است. شکل کلی بیضی‌گونه چاه بیانگر تجزیه نامساوی نیروهای تراکمی افقی در توده سنگ است. قطر کوچک چاه با راستای بزرگترین نیرو همخوان است. سنگها در طول نیروی کوچکتر خرد شده و ترکیده‌اند و چاه در این جهت بهتر شده و خرده سنگهایی که حاصل شده با گل حفاری به سطح زمین آورده شده است. بزرگی این اثر با تغییر فشار، سنگ و ماهیت آن، تغییر کرده است.

سنگهایی را پدید آورد که سرشار از عنصرهای فلزی بودند. این توده‌های نفوذی بارور، نهشته‌هایی از سولفید مس - نیکل را بر جای نهاد که در ناحیه معدنی پچنگا نمایان هستند. چاه کولا در ژرفاهای ۱۵۰۰ تا ۱۸۰۰ متر به چنین نهشته‌هایی رسید. چهارمین مرحله از دوران پروتروزویک برهه بی‌هنجاری از دگرگونی «بسته» بود که به از هم گسیختگی هیدرولیک سنگهای دگرگونی انجامید. این پدیده نخستین بار در چاه کولا مشاهده شده است و در این چاه منطقه‌ای به ضخامت ۴۵۰۰ متر را شامل است که بخشی از پی سنگ آرکن در نیز در بر می‌گیرد.

نمونه‌های مغزه نشان می‌دهد مقدار آبی که با مواد سازنده سنگ پیوند شیمیایی دارد، در فاصله سطح زمین تا ژرفای ۴۵۰۰ متری

بخشی از تاریخ زمین که با چاه کولا در آن نفوذ شده، البته باید از ته چاه به بالا خوانده شد. بخش حفاری شده کولاکس آرکن، از ته چاه (ژرفای ۱۲۰۰۰ متر) تا ژرفای ۶۸۴۲ متر را تشکیل می‌دهد و دو مرحله زایشی در آن مشخص است. مرحله اول، پدید آمدن انبوه ضخیم لایه‌های رسوبی حاصل از دگرگونی گرانیت‌های نه‌خسین است. جریان‌هایی از گرانت پلوتونیک در این لایه‌ها نفوذ کرده است. این گرانیتها سرشار از آهن و تیتانیوم هستند و نشانه آن ترک‌های کانسنگهای منیتیت و ایلمنیت است که در ژرفای ۸۷۱۱ متری ۴۰ تا ۵۰ درصد سنگ را تشکیل می‌دهند. در مرحله دوم، سنگها متحمل چین خودگی، دگرگونی و دگرگونی بسیار شدید در دمای ۷۵۰ تا ۱۰۰۰ سانتیگراد و فشار ۵۰۰۰ تا ۱۱۰۰۰ اتمسفر شده‌اند.

از آنجا که سنگها ثبت‌کننده‌های بسیار حساسی برای دما و فشار هستند، زمین‌شناسان می‌توانند از این راه تاریخ زمین را بازسازی کنند. در شرایط متفاوت فشار و دما، از مواد اولیه یکسان ناشی از جبهه، سنگهای دگرگونی دارای ویژگیهای متمایز «رخساره‌ها» پدید می‌آیند که ممکن است با گوناگونی در ترکیب عنصری نیز همراه باشند. فرایند دگرگونی معمولاً به تشکیل سنگهای متراکمتر که آب ترکیبی کمتری از سنگهای آبدارتر دارند، منجر می‌شود. عناصری که در مراحل بلورین جدید شرکت نمی‌کنند، به صورت محلول در آبهای که به تازگی آزاد شده‌اند، وارد می‌شوند.

اوج دگرگونی آرکن در شبه جزیره کولا، از راه سن‌بایی رادیومتریکی ۲/۷ تا ۲/۸ بیلیون سال تعیین شده است. در پی این فرایند، آب فرسایش ژرفی را سبب شده و رسوبهای حاصل از هوازدگی پوسته در فرونشستگیهای جدا از هم انباشته شده است. در بعضی از جاهای جهان و مهمتر از همه در افریقای جنوبی، نهشته‌های عظیم کنگلومراهای فلزدار با چنین نهشته‌های رسوبی همراه است. کمپلکس پروتروزویک از ژرفای ۶۸۴۲ متر تا سطح زمین گسترش دارد و تشکیل آن بر روی پی سنگ آرکن از ۱/۱ بیلیون سال پیش شروع شده است. این سنگها چهار مرحله اصلی ایجاد پوسته قاره‌ای در این دوره (پروتروزویک) را در خود ثبت کرده‌اند. طی نخستین مرحله، مواد رسوبی - آتشفشانی روی بستری از سنگهای آرکن گذاشته شده است. لایه‌های قلوه سنگی که تغییرهای ناگهانی در ضخامت آنها مشاهده می‌شود، حاکی از آن است که این نهشته‌ها توسط رودها در دره‌های دیرین نهاده شده‌اند. نخستین چرخه از دو چرخه پلوتونیسمی که سبب نفوذ سنگهای گرانیتی شد، تهی از عنصرهای فلزی بود و روی سنگهای کهنسالتر را فرا گرفت و بر اثر دگرگونی دمای پایین، آنها را تغییر داد. در چرخه دوم، جبهه زمین

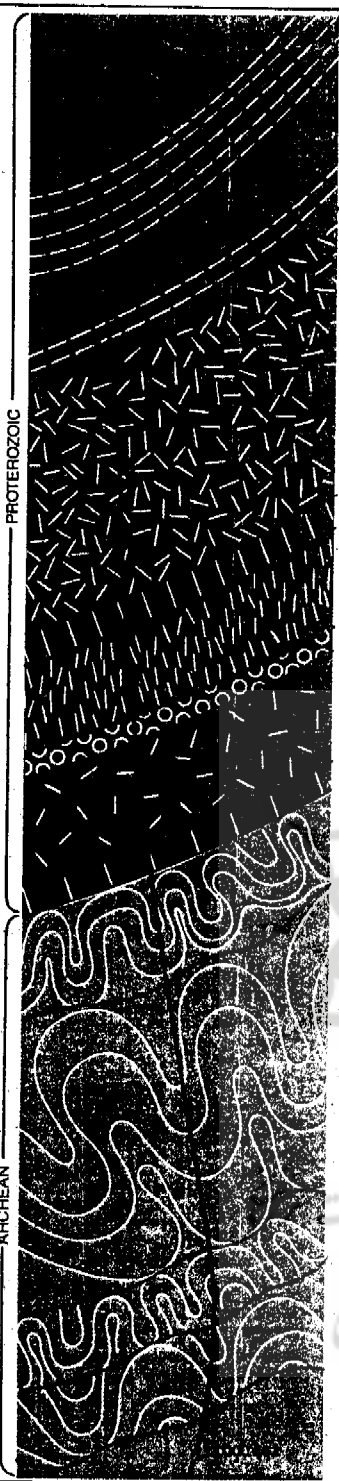
از سطح زمین در حد ۴ درصد ثابت می‌ماند. در این ژرفا یکباره مقدار آب سنگ به ۲/۱ درصد کاهش می‌یابد. منطقه از هم گسیختگی توده سنگ با ترک خوردگی ریز از این جا آغاز می‌شود. تخلخل تسوده سنگ بر اثر این پدیده تا سه یا چهار برابر آنچه که در سنگهای بالایی مشاهده می‌شود، افزایش می‌یابد و وزن مخصوص توده سنگ به همان نسبت از ۳/۱ گرم بر سانتیمتر مکعب به ۲/۹ کاهش پیدا می‌کند. طبق محاسبه، آب آزادی که در ترکهای سنگ خرد شده حبس شده است، چنان فشاری وارد می‌آورد که حجم اصلی مجموعه سنگ و آب تا ۱۷ درصد افزایش می‌یابد. فشار هیدرولیکی عظیمی که به این ترتیب اعمال شده، خرد شدگی ریزی را پدید آورده که باید در اصل تخلخل سنگ را تا ۱۰ برابر تخلخل لایه‌های بالایی افزایش داده باشد.

مرز پایینی این منطقه که در ژرفای ۹۰۰۰ متری است، با افزایش سرعت موجهای لرزه‌ای مشخص است. این تغییر البته وجود ناپیوستگی فرضی کتراد را که پنداشته می‌شد بین سنگهای گرانیته و بازالتی باشد، ثابت نمی‌کند. افزایش سرعت موجهای الاستیک، همین قدر مرز پایینی منطقه از هم گسیختگی سنگها، هر دو دوباره در سنگهایی با وزن مخصوص عادی و با ایستادن جریان آبهای گرم به درون چاه را مشخص می‌کند.

در ارزش این نگرش دست اول به درون زمین، همین بس که این کشف بیان شود. از هم گسیختگی هیدرولیکی سنگهای دگرگونی، ماهیت زمین شناسی مرزی رانجین می‌کند که با تغییر سرعت موجهای الاستیک و انعکاس آنها در سراسر جهان در بخش بالای پوسته (در ژرفاهای ۱۵ تا ۲۰ کیلومتری) مشخص می‌شود. به علاوه، این پدیده باید سبب تغییر اساسی در اندیشه‌های موجود در باره گردش آب در پوسته قاره‌ای و ماهیت آبکره زیر زمینی شود.

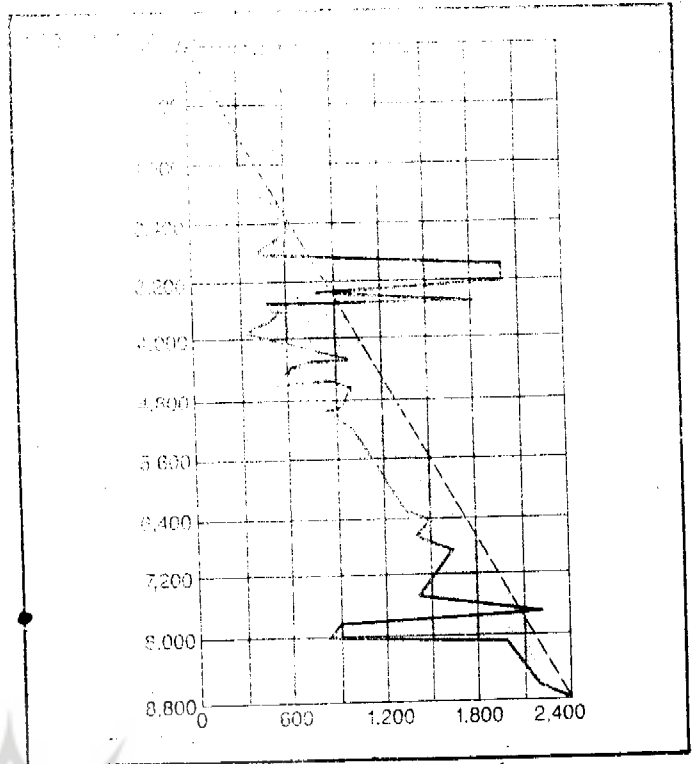
مواد معدنی فراوان موجود در آب شکافها و جریان گازها در چاه نشان می‌دهد که فرایندهای فعال گاز-آب در ژرفاهای زیاد در سنگهای بلورین در جریان است. بر این پایه، فکر جستجو برای یافتن کانسارهای جدید در این ژرفاها برانگیخته می‌شود. در چاه کولوا، در منطقه نامتراکم، تپعه سنگها با خیره‌ای از سولفیدهای مس، نیکل، آهن، روی و کبالت به هم چسبیده‌اند. دمای نسبتاً پایین تشکیل این سولفیدها و ترکیب امیزوتوپی گوگرد آنها که همانند این ترکیب در شهابسنگهاست، حکایت از آن دارد که این سولفیدها از جبهه زمین نشأت گرفته‌اند. به این ترتیب، شرایط مساعد برای تشکیل کانسارهای گرمایی (هیدروترمال) در قلمرو عمودی بسیار وسیعی از پوسته قاره‌ای حکمفرماست.

اندازه گیری مستقیم دما در این چاه، ما را تا گزیر از تجدید نظر در ایده‌های مربوط به نحوه توزیع دما و جریان آن در درون زمین



تندیس ۸۰۰۰ متری لایه‌های زمین شناختی که چاه از میان آنها عبور کرده است، ۷/۲ بیلیون سال از تاریخ زمین را در بر می‌گیرد. سن سنگهای رسوبی و آتشفشانی یافت شده در ژرفاهای تا ۶۸۰۰ متر (خاکستری) مربوط به دوران پروتروزویک است که از ۲/۲ بیلیون سال پیش آغاز می‌شود. لایه‌های گرانیته زرفتر (صورتی)، در ۲/۷ بیلیون سال پیش در دوران آرکئن به نخستین دوران از زمان زمین شناختی، نهاده شده‌اند. چنین انتظار می‌رود که پناه در ژرفای ۹۰۰۰ متری سنگهای گرانیته را پشت سر گذاشته و وارد پی سنگ بازالتی شود، چرا که در این ژرفا تغییر ناگهانی در سرعت موجهای لرزه‌ای رخ می‌دهد، اما در عوض ملاحظه شد که تغییر سرعت، قاره‌ای است. این از سنگهای خرد شده به نامت است. ۲۵۰۰ متر را نشان می‌دهد که در این ژرفا آبهای گرمایی بلورین در این دگرگونی ناشی می‌شوند، ترکیده‌اند.

کند و آهسته در جهت شمال غربی حرکت می‌کند. در این حین، جبهه‌های لرزه‌ای شکل می‌گیرند و با تغییرات مداوم در عمق و جهت، به سمت شرق و جنوب شرقی می‌تکانند. این تغییرات، نتیجه تغییرات در تنش‌های زمین است. در این مناطق، زمین‌شناسان با استفاده از ابزارهای مختلف، سعی می‌کنند تا بتوانند تغییرات در تنش‌های زمین را به درستی اندازه‌گیری کنند. یکی از روش‌های رایج، استفاده از دستگاه‌های سنجش تنش است. این دستگاه‌ها، با استفاده از سنسورهای خاص، قادرند تا تغییرات در تنش‌های زمین را به درستی اندازه‌گیری کنند. در این مناطق، زمین‌شناسان با استفاده از ابزارهای مختلف، سعی می‌کنند تا بتوانند تغییرات در تنش‌های زمین را به درستی اندازه‌گیری کنند.



تصویر ۹ - فشار سنگ که بر اساس اندازه‌گیری سرعت موج صوتی در سنگهای اطراف دیوارهٔ چاه به دست آمده است، به فراوانی از افزایش خطی به ازاء عمق (خط چین) که در ماده همگن انتظار می‌رود، انحراف نشان می‌دهد. در ژرفای ۳۲۰۰ متری منطقه‌ای با فشار زیاد و غیر عادی وجود دارد که نشان دهندهٔ وزن مخصوص زیاد لایه‌های نفوذناپذیر در آن ژرفاست. فشار پایین و ناسمتناسب در ژرفاهای بین حدود ۴۰۰۰ تا ۹۰۰۰ متر وجود منطقه‌ای از سنگهای خرد شده را مشخص می‌کند.

حفاری در چاههای کولا و ساعتی ادامه خواهد یافت و این چاهها همچون آزمایشگاههایی برای مطالعه جدی فیزیولوژی و تشریح پوسته در این محلها سودمند واقع خواهد شد. سه چاه فوق ژرف بعدی (با ژرفای بیش از ۷۰۰۰ متر)، تراس است در موروتان، آناتازیفسکو ترویتکایا و نزدیکی دریای خزر حفر شوند. حفاری شش چاه ژرف (ژرفتر از ۴۰۰۰ متر) نیز به طور هم زمان انجام خواهد شد که سه‌تای آنها در نواحی گاز و نفت خیز و سه‌تای دیگر در نواحی معدنی صورت خواهد گرفت. به این ترتیب، علاوه بر پاسخ پرسشهای اساسی دربارهٔ ساختار پوستهٔ قاره‌ای، نیمرخهای لرزه‌ای ژرف در تلفیق با مشاهده‌های مستقیم در چاههای ژرف و فوق ژرف، عناصر ژئوتکتونیکی اصلی اتحاد شوروی را که پنداشته می‌شود در بردارندهٔ منابع مهمی باشند، ارزیابی خواهد کرد.

دربارهٔ مؤلف Ye. A. Kozlovsky
 کوزلوفسکی، وزیر زمین‌شناسی شوروی است. او در ضمن القاب استاد و دکتر در علوم فنی را یدک می‌کشد. زمین‌شناسی اقتصادی را تدریس کرده و در اکتشاف کانسارهای بزرگ شوروی و جاهای دیگر شرکت داشته است. در سال ۱۹۶۵ رئیس بخش فنی وزارت زمین‌شناسی شوروی شده و از سال ۱۹۷۵ به مقام کنونی ارتقاء یافته است. از او مقاله‌های دیگری دربارهٔ چاه فوق ژرف کسولا به روسی و انگلیسی چاپ شده است.

می‌کند. بیشتر فرض شده است که در ناحیه‌ای مانند سیر بالینک که از نظر تکتونیکی پایدار است، دما به ازای ژرفای خیلی کند افزایش می‌یابد و در ژرفای ۷۰۰۰ متری به ۵۰ درجه سانتیگراد می‌رسد و در ژرفای ۱۰۰۰۰ متر شاید به ۱۰۰ درجه برسد. اما گرادیان دمایی اندازه‌گیری شده، در عمل فقط تا ژرفای ۳۰۰۰ متری با نسبت پیش‌بینی شدهٔ ۱ درجه افزایش به ازای هر ۱۰۰ متر، مطابقت نشان داد. از این ژرفا به ازاء هر ۱۰۰ متر، دما ۲/۵ درجه افزایش می‌یابد و در ژرفای ۱۰۰۰۰ متر به ۱۸۰ درجه می‌رسد. صدها متر مکعب گل حفاری سردی که به درون چاه پمپ می‌شد، با دمای ۴۵ درجه به سطح زمین باز می‌گشت. از آن جا که رادیو اکتیویته سنگهایی که چاه از میان آنها گذشته است، نمی‌تواند سهم زیادی در این جریان گرما داشته باشد، این گرما باید به طور مستقیم از جبهه زیرین ناشی شده باشد.

موفقیت چاه کولا کم‌کم جساتی را در طرحهای حفاریهای ژرف و فوق ژرف پوستهٔ زمین که پیرامون اتحاد شوروی حلقه زده (تصویر ۳)، پدید آورده است. محلهایی که برای چاهها انتخاب شده، در نقاط تقاطع شبکه‌ای از نیمرخهای لرزه‌ای به هم پیوسته قرار دارند که کمکهایی از برنامه گستردهٔ مطالعه لرزه‌ای ژرف را که در طی دههٔ

* اصل مقاله به زبان انگلیسی و در شماره دسامبر ۱۹۸۴ Scientific American چاپ شده است.

- 1 - Kola Peninsula
- 2 - Arctic Circle
- 3 - Murmansk

در مسابقه عکاسی، شرکت کنید

نشریه رشد زمین‌شناسی در آغاز دومین سال انتشار خود یک مسابقه عکاسی برگزار می‌کند و می‌نماید که در این مسابقه شرکت کنند. سومی خواهد شد از عکس‌ها در مجله با نام شما استفاده شود.

منحصرات عکسهای ارسالی؛
 ۱- موضوع عکس نباید در بساطه یکی از پدیده‌های مختلف زمین‌شناسی باشد.
 ۲- نام محل و تاریخ عکسبرداری و همراه عکس بفرستید.
 ۳- عکس‌ها را مسی‌توانید رنگی، سیاه و سفید یا به صورت اسلاید تهیه کنید.

۴- عکس‌های ارسالی نباید در هیچ نشریه‌ای چاپ و منتشر شده باشند.
 ۵- عکسها تاخورد و لوله شده نباشند و اندازه آنها از کارت پستال کوچکتر نباشد.
 ۶- فیلم عکسها را باید در اختیار داشته باشید تا در صورت لزوم ارائه دهید.
 ۷- سعی کنید عکسها دارای مقیاس و اطلاعات تکنیکی (سرعت، دیافراگم، نوع دوربین، نوع لنز، نوع فیلم و....) باشند.
 ۸- در پشت هر عکس نام و نام خانوادگی می‌رنده آن، آدرس و تلفن نوشته شده باشد.
 ۹- نشانی سا: تهران، خیابان ایرانشهر شمالی، ساختمان شهید موسوی. (ساختمان شماره ۴ وزارت آموزش و پرورش)، منطقه ۱۵ پستی - دفتر مجله رشد آموزش زمین‌شناسی

بقیه ژرفترین جاه جهان

بقیه بانوشتها

- 4 - Baltic
- 5 - Superdeep
- 6 - gravitational fields
- 7 - cycles of crust building
- 8 - disaggregated
- 9 - Saalty
- 10 - deep seismic survey.
- 11 - Harold Jeffreys.
- 12 - Correlation.
- 13 - Conrad discontinuity
- 14 - Mohorovicic discontinuity
- 15 - Antarctica
- 16 - Pechenga.
- 17 - Momentura.

- منابع مقاله:
- 1 - THE KOLA SUPER - DEEP WELL. INTERIM RESULTS AND PROSPECTS, EPISODES. Yevgeny A. Kozlovsky in Geological Newsletters (International Union of Geological Sciences). Vol. 1982, No. 4, pages 4 - 11; December, 1982.
 - 2 - KOMPLEKSNAYA PROGRAMMA GLUBINNOVO IZUCHENIYA ZEMNYX NEDR (THE COMPLEX PROGRAM OF DEPTH STUDIES OF THE EARTH). Ye. A. Kozlovsky in Sovetskaya Geologiya, No. 9, pages 3 - 12; Izdatel'stvo Nedra (Natural Resources Publishing House), 1982. English translation in Petroleum Geology, Vol. 19, No. 6, pages 300 - 302; 1983.