

УДК: 550.8

DOI: 10.31343/1029–7812–2026–20–1–4–16

**К.В. Лобанов, М.В. Чичеров**

ИГЕМ РАН, г. Москва

E-mail: lobanov@igem.ru

**КОЛЬСКАЯ СВЕРХГЛУБОКАЯ  
СКВАЖИНА – ВЫДАЮЩЕЕСЯ  
ДОСТИЖЕНИЕ РОССИИ  
В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ  
К 95-летию со дня рождения академика  
Николая Павловича Лаверова**

**АННОТАЦИЯ**

Кольская сверхглубокая скважина (СГ–3) была пробурена в древних кристаллических породах Кольского полуострова в рамках программы «Изучение недр Земли и сверхглубокое бурение». Скважина была пройдена с полным отбором керна и достигла рекордной глубины 12262 м, что дало уникальный материал для изучения глубинного строения земной коры и заставило пересмотреть интерпретацию данных глубинных сейсмических исследований. Получены новые сведения по температурному градиенту, составу и физическим свойствам пород на глубоких горизонтах. В разрезе скважины выявлены зоны тектонических нарушений и несколько типов рудной минерализации.

*Ключевые слова: Кольская сверхглубокая скважина, новые технологии бурения, глубинная структура земной коры, граница Конрада, рудная минерализация.*

**ABSTRACT**

The Kola Superdeep borehole (SG–3) was drilled into ancient crystalline rocks of the Kola Peninsula as part of the program "Exploration of the Earth's Interior and Superdeep Drilling". The borehole was completed with full core sampling and reached a record depth of 12262 m, which provided unique material for studying the deep structure of the Earth's crust and forced to reconsider the interpretation of data from deep seismic surveys. New information has been obtained on the temperature gradient, composition, and physical properties of rocks at deep horizons. Zones of tectonic disturbances and several types of ore mineralization have been identified in the section of the well.

*Keywords: Kola superdeep borehole, new drilling technologies, deep structure of the Earth's crust, Conrad boundary, ore mineralization.*

**ВВЕДЕНИЕ**

24 мая 2025 года российская и мировая геологическая наука отметила знаменательную дату – 55 лет с начала бурения Кольской сверхглубокой скважины (СГ–3) в Печенгском районе Мурманской области. Начало проходки самой глубокой в мире научной скважины, достигшей рекордной глубины 12262 м – это выдающееся событие в истории мировой геологии. Бурение СГ–3 в недра планеты Земля советскими буровиками и геологами сопоставимо только с космическим полетом. Оно было признано 27–й сессией Международного геологического конгресса, проходившей в 1984 г. в Москве, величайшим достижением мировой геологической науки в XX веке.

Проблема изучения континентальной земной коры с помощью сверхглубокого бурения возникла и обсуждалась в СССР в конце 1950–х – начале 1960–х годов. Главной его задачей считалась «возможность получить непосредственно с больших глубин фактический материал, крайне необходимый для познания эндогенных процессов и связанных с ними месторождений полезных ископаемых» (Кольская сверхглубокая. Исследования..., 1984; Хитаров, 1961).

Научные основы программы сверхглубокого континентального бурения были определены на совместном заседании Президиума АН СССР и коллегии Министерства геологии и охраны недр СССР, проходившем под председательством президента АН СССР академика М.В. Келдыша (рис. 1а). Программа была утверждена Председателем Совета министров СССР Н.С. Хрущевым на основе решения по докладу академика–секретаря Отделения геолого–географических наук АН СССР Д.И. Щербакова в 1962 г. (рис. 1б).

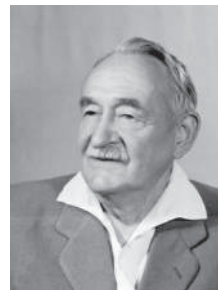
**а****б**

Рис. 1. Президент АН СССР академик М.В. Келдыш (а), академик–секретарь Отделения геолого–географических наук АН СССР академик Д.И. Щербаков (б).

## ПРОГРАММА СВЕРХГЛУБОКОГО БУРЕНИЯ СССР

СССР создал программу «Изучение недр Земли и сверхглубокое бурение» на континенте. Несмотря на многовековую историю бурения скважин, континентальное сверхглубокое бурение являлось совершенно новым делом, так как работы планировались на недостижимых ранее глубинах – более 7 километров. Эта программа отражала соревнование двух государств: СССР и США, как в космосе, так и в изучении недр планеты Земля.

Для организации, координации и руководства работами по глубинному изучению земных недр в 1963 г. был образован Межведомственный научный совет по проблеме «Изучение недр Земли и сверхглубокое бурение», который объединил около 200 ученых и специалистов из научных и производственных организаций различных министерств и ведомств (рис. 2). Первым председателем этого Совета был министр геологии СССР, академик АН СССР А.В. Сидоренко. Затем его возглавил доктор технических наук Н.С. Тимофеев, а в 1974 г. министр геологии СССР Е.А. Козловский. Куратором этой программы был назначен Н.П. Лаверов.

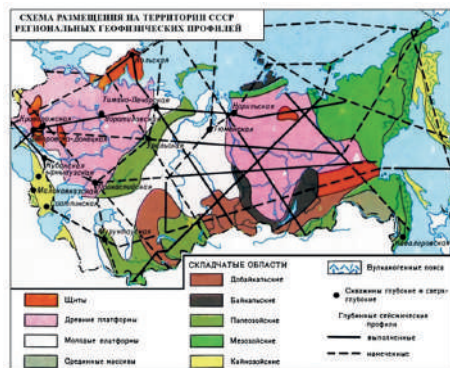


Рис. 2. Председатели научного совета: А.В. Сидоренко (а), Н.С. Тимофеев (б), Е.А. Козловский (в). Н.П. Лаверов (г).

Программой работ на 1970–е годы намечались: разработка модели строения земной коры и верхней мантии, а также новых методов прогноза месторождений полезных ископаемых, составление прогнозных карт с количественной оценкой природных ресурсов и запасов и определение направления поисковых и разведочных работ на основные виды полезных ископаемых в перспективных районах страны.

Был разработан новый технический и методический подход к решению регионального глубинного строения земной коры и верхней мантии, основанный на комплексировании данных глубокого (3000–6000 м) и сверхглубокого (более 6000 м) бурения, а также сейсмического глубинного зондирования. Была разработана система взаимной увязки данных геофизических профилей, опирающихся на опорные сверхглубокие скважины (рис. 3). По программе к бурению были намечены, в первую очередь, Кольская (СГ–3) и Саатлинская (СГ–1) сверхглубокие скважины (Кольская сверхглубокая. Исследование..., 1984; Кольская сверхглубокая: научные..., 1998; Повалихин, 2020).

а



б

№	Скважина	Район бурения	Сроки работ	Глубина, м	Прост., м
1.	Аралсорская СГ-1	Прикаспийская низменность	1962-1971	6800	
2.	Бийская СГ-2	Прикаспийская низменность	1962-1971	6700	
3.	Кольская СГ-3	Мурманская обл.	1970-1994	12262	15 000
4.	Саатлинская СГ-1	Азербайджан	1977-1990	8324	11000
5.	Днепро-Донецкая СГ-9	Украина	1961	5691	8000
6.	Мурунтауская СГ-10	Узбекистан	1984	3000	7000
7.	Тимано-Печорская СГ-5	Республика Коми	1984-1993	6904	7900
8.	Тюменская СГ-6	Тюменская обл.	1987-1996	7502	8000
9.	Ново-Елховская	Татарстан	1988	5891	
10.	Воротилковская	Нижегородская обл.	1989-1992	5374	6000
11.	Криворожская СГ-8	Украина	1984-1994	5432	12000
12.	Уральская СГ-4	Свердловская обл.	1985-2004	6015	15000
13.	Ен-Яктинская СГ-7	Тюменская обл.	2000-2006	8250	8250

Рис. 3. Схема размещения сверхглубоких скважин и геофизических профилей СССР (а) и сверхглубокие скважины на территории страны (б).

Программа сверхглубокого бурения СССР развивалась одновременно с программой освоения космоса и была как бы космическим полетом в недра планеты Земля, что сопоставимо по объему научных исследований, разработке нового оборудования и финансированию. Программа «Изучение недр Земли и сверхглубокое бурение» на континенте представлялась совершенно новым делом. Результаты научного бурения во многом оказались неожиданными и заставили пересмотреть теоретические представления, которые до этого казались очевидными и незыблемыми. В программе была поставлена цель получения представления о разрезе земной коры, начиная от осадочного чехла и кончая «базальтовым» слоем и границей Мохоровичича (Казанский, Кузнецов О.Л., Кузнецов А.В. и др., 1994; Кольская сверхглубокая. Исследование..., 1984; Литвиненко, Ленина, 1968). Глубина планируемых скважин оценивалась в 15 км. Места расположения скважин были выбраны так, чтобы каждая скважина полностью вскрывала какой-либо сейсмический слой, наиболее развитый в месте бурения.

Скважина на Кольском полуострове планировалась для вскрытия континентального «базальтового» слоя на большой глубине. Важным шагом на пути к изучению глубинного строения недр было создание в 1964 г. во Всесоюзном научно-исследовательском институте буровой техники лаборатории по бурению на мантию, которую возглавил Н.С. Тимофеев. В течение 1964–1966 гг. был проведен научный анализ технических проблем строительства сверхглубоких скважин и намечены пути решения задач (Повалихин, 2020). Было решено начать бурение Кольской скважины (СГ–3) в кристаллических породах Балтийского щита.

Был разработан технический проект первого этапа бурения (до 7000 м) СГ–3. Для бурения до глубины 15000 м специалисты завода «Уралмаш» разработали буровую установку «Уралмаш–15000». Обоснована перспективность технологии бурения гидравлическими забойными двигателями с применением, впервые в мире в области техники и технологии бурения сверхглубоких скважин, бурильных труб из легких алюминиевых сплавов, которые изготавливались на оборонных предприятиях авиационной промышленности. Разработан принципиально новый технологический подход, при котором конструкция скважины формировалась непосредственно в ходе ее строительства (Кольская сверхглубокая. Исследование..., 1984; Кольская сверхглубокая: научные..., 1998).

Головной организацией в осуществлении намеченных задач было определено Министерство геологии СССР, а для реализации программы привлечено более 150 научных и производственных организаций этого министерства, АН СССР, академий наук союзных республик, Минвуза СССР и Минвуза РСФСР, отраслевых ведомств.

## КОЛЬСКАЯ СВЕРХГЛУБОКАЯ СКВАЖИНА

Кольская сверхглубокая скважина задумывалась в качестве научно-исследовательского проекта, целью которого было изучение недр Земли. Одна из основных задач ее бурения заключалась в достижении «базальтового» слоя земной коры. Континентальная кора состоит из верхнего «гранитного» и нижнего «базальтового» слоев на основе сейсмических данных об увеличении плотности горных пород с глубиной.

Место заложения СГ–3 в 1968 г. было выбрано Межведомственной комиссией под руководством академика В.И. Смирнова (рис. 4). Вначале ее предполагалось пробурить в архейских гнейсах вблизи п. Лиинахамари на побережье Баренцева моря, но затем был принят другой вариант, решающий практическую задачу по определению перспектив нижних горизонтов Печенгского рудного поля в отношении сульфидных медно-никелевых руд. СГ–3 была заложена в северо-западной части Кольского полуострова, в 10 км к западу от г. Заполярного (69°25 с.ш., 30°44 в.д.), где развиты древнейшие на Земле рудоносные тектонические структуры раннего протерозоя и архея. Проектная глубина скважины 15 км, а к 1990 г. она должна была достигнуть глубины 13 км (Кольская сверхглубокая: научные..., 1998).



Рис. 4. Межведомственная государственная комиссия по выбору места заложения СГ–3.

Слева направо: начальник Кольской ГРЭ Д.М. Губерман на месте заложения СГ–3, академик В.И. Смирнов, начальник Управления научно-исследовательских организаций Министерства геологии СССР Г.И. Горбунов, его заместитель Н.П. Лавров.

Выбор места заложения скважины СГ–3 определили результаты глубинного сейсмического зондирования по профилю Баренцево море–Печенга–Ловно, выполненного в 1958–1962 гг. (Повалихин, 2020). Определено, что под центральной и северо–восточной частями Печенгской структуры верхняя граница «базальтового» или «гранулит–базальтового» слоя находится на наименьшей глубине.

Под Печенгским синклиналием была сейсмическая граница со скачкообразным ростом скорости продольных сейсмических волн от 6,1 до 6,5 км/с на глубине около 7–7,5 км. Этот скачок «маркирует» границу Конрада между «гранитным» и «базальтовым» слоями континентальной коры (Кольская сверхглубокая: научные..., 1998; Литвиненко, Ленина, 1968). Считалось, что по данным сейсмологии граница Конрада на континентах фиксируется на глубинах 20–25 км, а в Печенгском районе глубина этой границы была оценена всего лишь в 7,5 км, что давало шанс достичь ее и получить образцы пород из недр при помощи сверхглубокого бурения с подъемом керна.

Бурение СГ–3 было поручено Кольской геолого–разведочной экспедиции (ГРЭ) объединения «Волгокамскгеология» (с 1986 г. – НПО «Недра») Министерства геологии СССР. На скважине работали до 3000 специалистов и 16 научно–исследовательских лабораторий. Начальником Кольской ГРЭ стал Д.М. Губерман, в команду геологов вошли В.С. Ланев, Ю.П. Смирнов и другие. Бурение было начато 24 мая 1970 г. не только с чисто научной целью – изучить древнейшие породы Земли и идущие в них процессы, но и обнаружить новые залежи медно–никелевых руд Печенгского рудного поля (Казанский, Кузнецов О.Л., Кузнецов А.В., 1994; Казанский, Лобанов, 2004).

Целью бурения СГ–3 являлось изучение глубинного строения докембрийских структур Балтийского щита, типичных для фундамента древних платформ, и оценка их рудоносности. Основные задачи работ были следующие:

1. Изучить глубинное строение никеленосного Печенгского комплекса и архейского кристаллического основания Балтийского щита, выяснить особенности проявления на больших глубинах геологических процессов, включая процессы рудообразования.
2. Выяснить геологическую природу сейсмических границ в континентальной земной коре и получить новые данные о тепловом режиме недр, глубинных водных растворах и газах.
3. Получить максимально полную информацию о вещественном составе горных пород и их физическом состоянии, вскрыть и изучить пограничную зону между «гранитным» и «базальтовым» слоями земной коры.
4. Усовершенствовать имеющиеся и создать новые технологии и технические средства для бурения и комплексных геофизических исследований сверхглубоких скважин (Лобанов, Чичеров, Горностаева и др., 2025).

На основании результатов глубинного сейсмического зондирования по профилю Баренцево море–Печенга–Ловно предполагалось, что под центральной и северо–восточной частями Печенгской структуры верхняя граница «базальтового» слоя находится на наименьшей глубине (Кольская сверхглубокая. Исследование..., 1984; Литвиненко, Ленина, 1968) (рис. 5).

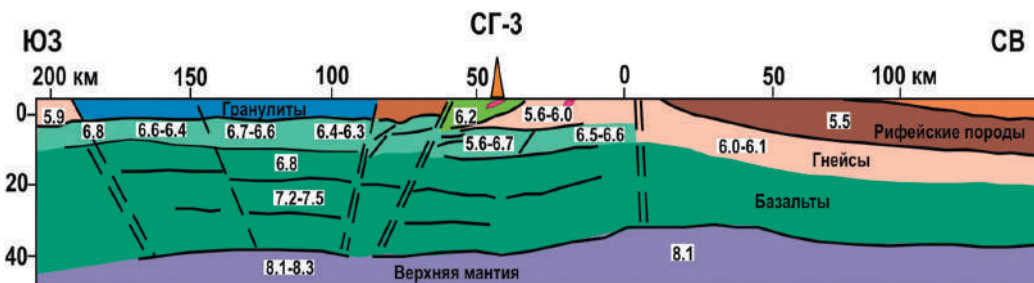


Рис. 5. Сейсмический разрез континентальной земной коры по профилю Ловно–Печенга–Баренцево море, от бурения СГ–3 (Литвиненко, Ленина, 1968; Повалихин, 2020).

Основой решения этих вопросов должны быть результаты изучения керна геологическими, петрографическими, минералогическими, геохимическими методами с применением оптических, рентгеновских, микрондальных, термических, химико-аналитических, спектроскопических и других способов анализа.

Вначале бурение велось серийной буровой установкой «Уралмаш–4Э», которую применяли для разведки и добычи нефти и газа. Проходка заняла 4 года (рис. 6).



Рис. 6. Буровые установки СГ–3 – «Уралмаш–4Э» 1970 г. (а), «Уралмаш–15000» 1984 г. (б).

Первый этап бурения завершен в мае 1975 г., когда скважина достигла глубины 7263 м. К этому времени был пересечен разрез раннепротерозойской северопеченгской вулканогенно-осадочной серии пород и скважина вошла в подстилающие их архейские гнейсы. Успешное осуществление первого этапа бурения оказало решающее влияние на разработку оптимального пути развития сверхглубокого бурения. Одним из важнейших технических достижений этого этапа бурения была отработка технологии проводки скважин в кристаллических породах до 7 км при помощи бурового оборудования и инструмента отечественного производства (Кольская сверхглубокая. Исследование..., 1984; Кольская сверхглубокая: научные..., 1998). Буровая установка «Уралмаш–4Э» была разобрана, а на её месте смонтирован специально созданный комплект бурового оборудования «Уралмаш – 15000» грузоподъемностью 400 т с максимальной автоматизацией и регулированием основных технических процессов (рис. 6б).

В 1976 г. после окончания монтажа бурового комплекса начался второй этап бурения. На СГ–3 приехали председатель Президиума Кольского филиала АН СССР Г.И. Горбунов и руководитель Управления научно-исследовательских организаций Министерства геологии СССР Н.П. Лаверов для оценки готовности к продолжению бурения (рис. 7). Именно с помощью этой установки велось дальнейшее бурение, и она позволила проникнуть вглубь земной коры на 12262 метра. В июне 1979 г. скважина побила рекорд в 9583 метра, принадлежащий скважине США. В 1983 г. скважина достигла глубины 12066 м. По состоянию на 01.05.1991 г. глубина СГ–3 составляла 12262 м (Поваляхин, 2020).



Рис. 7. Г.И. Горбунов, председатель Президиума Кольского филиала АН СССР и Н.П. Лаверов, руководитель Управления научно-исследовательских организаций Мингео СССР на скважине СГ–3 в 1976 г.

В процессе бурения СГ–3 был решён ряд сложных технических проблем. На глубинах более 8 км контролировать работу долота по наземным датчикам и приборам оказалось практически невозможным. Исследования выявили перспективность гидравлического канала связи для передачи информации от забойных датчиков на поверхность методом частотной модуляции импульсов давления в жидкости (Кольская сверхглубокая. Исследования..., 1984; Кольская сверхглубокая: научные..., 1998). Наиболее важными были требования обеспечения максимального отбора керна и сохранения вертикальности ствола. 27 декабря 1983 г. глубина скважины достигла 12000 м, буровики готовились к бурению до проектной глубины (рис. 8).



Рис. 8. Этапы бурения СГ–3, 10000 м (а), прием и укладка керна (б), 12000 м (в).

После достижения рекордной глубины 12066 метров бурение было приостановлено, так как шла подготовка к 27–й сессии Международного геологического конгресса, которая проходила в 1984 году в Москве. Выдающиеся достижения СССР в области глубинного исследования недр Земли привлекли широкое внимание геологов и других специалистов во всем мире. На специальной сессии Конгресса были доложены основные результаты изучения, а также организована специальная экскурсия министров геологии многих стран мира. Кольская сверхглубокая скважина была признана самым выдающимся достижением мировой науки XX века (Кольская сверхглубокая: научные..., 1998) и внесена в книгу рекордов Гиннеса как мировое достижение (Повалихин, 2020) (рис. 9).



Рис. 9. Кольская сверхглубокая скважина (а), экскурсия участников 27–й сессии МГК в 1984 г. на СГ–3 (б).

В 1990 г. была достигнута максимальная глубина – 12262 м, не превзойденная до сих пор. Однако резкое сокращение финансирования не позволило продолжить работы. Бурение прекратили в 1992 году. Предполагалось, что СГ–3 после завершения бурения будет превращена в уникальную лабораторию для исследования с помощью специальных приборов глубинных процессов, протекающих в земной коре. Однако в 1995 г. все научные работы были прекращены, сама скважина законсервирована, а оборудование демонтировано (рис.10).



Рис. 10. Законсервированное устье Кольской сверхглубокой скважины после уборки мусора. 2022 г. Фото:

<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/30/Kolskaya-sverhglubokaya-025.jpg/960px-Kolskaya-sverhglubokaya-025.jpg>

### ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ БУРЕНИЯ СГ-3

Бурение Кольской скважины было осуществлено с применением только отечественной техники и технологии. Все оборудование для бурения было сделано на предприятиях оборонной промышленности СССР, так же как при работе по проектам создания атомного оружия и космических кораблей. Была создана уникальная буровая установка «Урал-маш – 15000» грузоподъемностью 400 т, при давлении нагнетания бурового раствора 40 МПа, с максимальной автоматизацией процессов бурения. Установка была рассчитана для проходки скважин до глубины 15 км (Кольская сверхглубокая: научные..., 1998).

Промышленность освоила производство более 30 новых видов буровой техники. Впервые в мире в буровой установке было применено автоматизированное оборудование, с использованием турбинного бурения, когда вращается не вся колонна, а только буровая головка. Через колонну под давлением подавался буровой раствор, вращающий

стоящую внизу многоступенчатую турбину длиной 46 м, с буровой коронкой диаметром 214 мм. Через все секции турбины проходила труба – керноприемник, где собирался керн выбуренной породы. Для того чтобы создать буровую колонну большой длины, были разработаны несколько типов буровых труб из легких сплавов на основе алюминия, в том числе допускающие эксплуатацию на больших глубинах, в условиях высоких температур. Буровая колонна такой длины, собранная целиком из стальных труб просто оборвалась бы под собственным весом (рис. 11). Всего в процессе бурения было использовано более 50 км труб, изготовленных из легких сплавов.

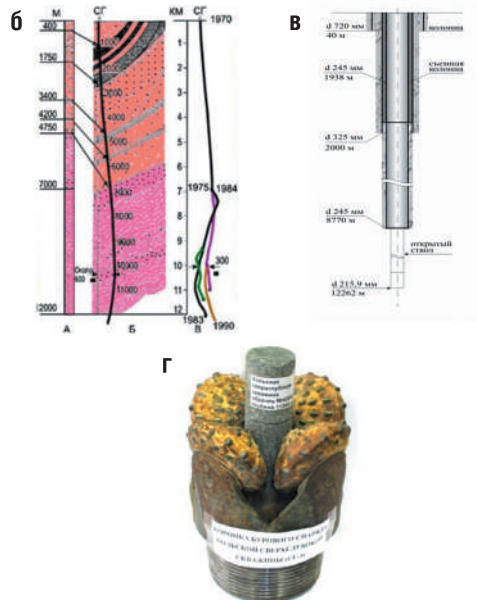


Рис. 11. Буровая СГ–3, спуск турбобура (а), ее схематический разрез (б), фактическая конструкция скважины (в), буровая коронка с керном (г).

Для бурения скважины были сконструированы породоразрушающие инструменты и забойные двигатели для глубинных условий, с буровыми твердосплавными коронками. Одна коронка служила около 4 часов с проходкой 7–10 метров. При глубине скважины более 8000 м на спуск и подъём колонны уходило до 18 часов с автоматической разборкой ее на секции. На СГ–3 впервые в мире использовалась система контроля и управления процессом буровых работ. Информационно–измерительная система, включающая в себя три основных программно–аппаратные подсистемы: подготовка к рейсу, контроль бурения, итоги рейса. С учётом особенностей бурения в породах основной задачей системы являлось распознавание критических технологических ситуаций (Кольская сверхглубокая: научные..., 1998; Литвиненко, Ленина, 1968).

27 сентября 1984 года бурение СГ–3 было продолжено. Пробурили очередной 9–метровый интервал, однако на глубине более 12 км произошла авария – оборвалась буровая колонна. При подъёме произошёл прихват бурильной колонны. В скважине остались турбобур и 5 км бурильных труб. Лишь спустя 7 месяцев бурение возобновили заново с глубины 7000 м (рис. 12).



*Рис. 12. Такой режим работы выдерживают люди, а металл – нет, случалось и такое.*

Подобных сложностей, совершенно неожиданных, в процессе бурения Кольской скважины и с отбором керна возникло немало. До глубины примерно 7 км скважина пересекала прочные, сравнительно однородные протерозойские вулканогенно–осадочные породы, и поэтому ствол скважины был ровный, почти соответствующий диаметру буровой коронки. Однако глубже 7 км пошли менее прочные трещиноватые, переслаивающиеся архейские породы – гнейсы, амфиболиты.

Бурение осложнилось, а ствол принял овальную форму, появилось множество каверн, участились аварии. После крупнейшей аварии 1984 года снова подошли к глубине 12 км только через 6 лет.

Всего в скважине было пробурено 12 обходных стволов. Четыре из них имели протяженность от 2200 м до 5000 м. Разветвлённость скважины огорчила буровиков, но обрадовала геологов, которые неожиданно получили объёмную картину внушительного массива древних архейских пород, сформировавшихся более 2,5 млрд лет назад. Ниже 7 км скважина представляет собой многоствольную горную выработку, первый ствол которой закончен на глубине 11662 м, второй, пройденный из первого с глубины 9378 м, достиг 12066 м, третий, начатый на глубине 7010 м из первого, завершился на 12262 м и, наконец, четвертый, забуренный в третьем на глубине 9649 м, достиг 11882 м (рис. 116) (Козловский, Губерман, Казанский, 1988). Это было причиной длительности последней фазы бурения, за месяц проходило до 60 м.

Керноотборный снаряд МАГ 195/60 (магазинный) представляет собой устройство, которое присоединяется к валу турбобура и снабжено системой гидротранспорта керна по приёмной трубе в керносорник. Эти снаряды с системой гидротранспорта, способные вместить до 20 м керна диаметром 60 мм. Более 70% интервала бурения пройдено с отбором керна при среднем его выносе 40,1% в целом по скважине. Продолжительность одного спуско–подъёма инструмента при глубине 12000 м – 21 час (Лобанов, Чичеров, Шаров, 2021).

Ствол СГ–3 имеет диаметр и круглую форму сечения только в верхних интервалах – до 6000 м. Кавернозные зоны в стволе были только в зонах тектонических нарушений, где он имел сложную изометричную форму. На глубинах более 7000 м ствол скважины имел эллипсоидную форму сечения. Кавернозные зоны были приурочены к тектоническим нарушениям. В верхних интервалах ствол скважины в основном устойчив к гидродинамическим и механическим воздействиям, а в породах архея внешние воздействия привели к обрушениям стенок скважины и значительным изменениям её радиальных размеров. В 1992 г. была проведена уникальная операция по монтажу в стволе СГ–3 обсадной колонны до 8 км, для продолжения бурения скважины до глубины 13 км. К сожалению, несмотря на это, дальнейшее бурение было прекращено.

## ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ БУРЕНИЯ

Главной задачей бурения Кольской сверхглубокой скважины являлось изучение глубинного строения и рудоносности древней континентальной коры: получение глубинного геологического разреза; всестороннее исследование вещественного состава горных пород и характера их изменения с глубиной; выяснение особенностей проявления эндогенных геологических процессов в глубоких частях земной коры и связи с ними процессов рудообразования; выяснение геологической природы глубинных геофизических границ и геофизических параметров геологических толщ (Литвиненко, Ленина, 1968). Основой решения этих вопросов являлись данные, полученные при изучении керна, который отбирался по разрезу скважины непрерывно и изучался комплексно: различными методами. В результате была получена уникальная информация, зачастую существенно

менявшая представления о глубинном строении недр.

Проходка СГ–3 опровергла существовавшие ранее представления о строении земной коры в районе Печенгской структуры. Проектный разрез скважины, составленный по данным сейсмических исследований, прогнозировал, что на глубине 4 км скважина выйдет из вулканогенно–осадочных пород Печенгской структуры и войдет в гранитогнейсы архейского фундамента. Затем, разбуриив трехкилометровый слой гранитогнейсов, скважина должна была погрузиться в «базальтовый» слой. Однако породы Печенгской структуры простирались до глубины 6842 м и лишь затем сменились архейскими гранитогнейсами. А «базальтовый» слой вообще не был обнаружен – до самой рекордной глубины бур пробивался через архейские гранитоидные породы (рис. 13).

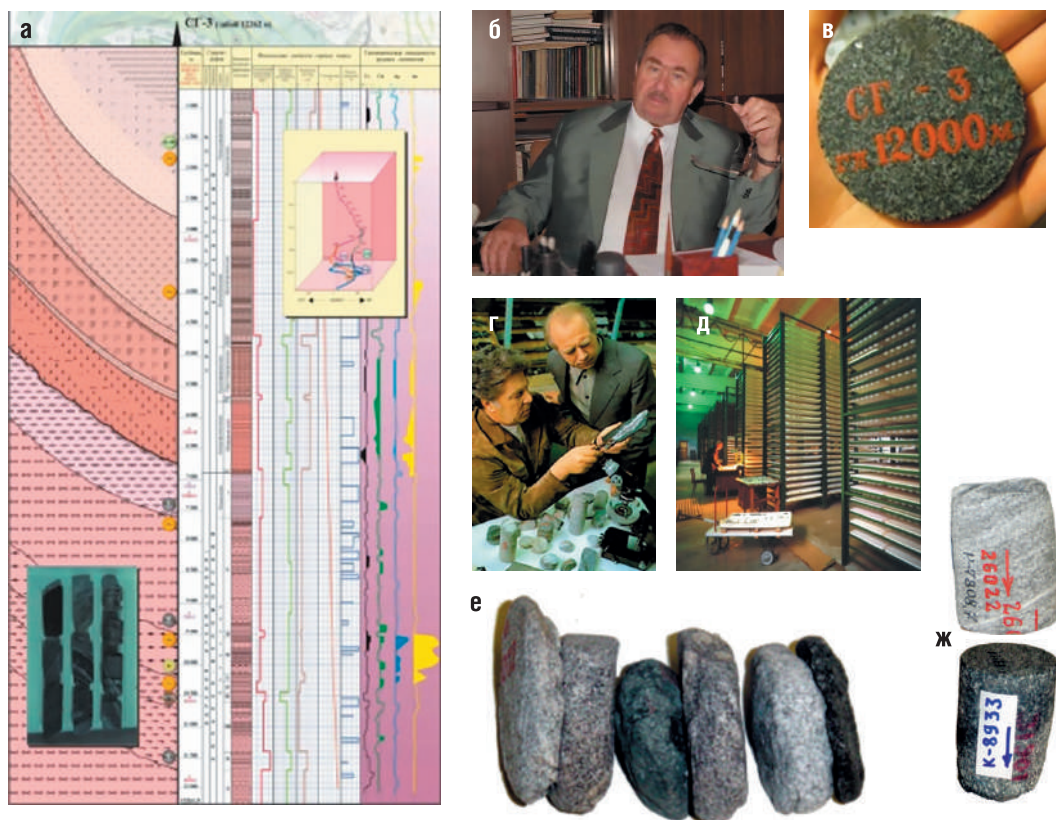


Рис. 13. Сводный разрез СГ–3 (а); начальник Кольской ГРЭ Д.М. Губерман (б); керн с глубины 12000 м (в); главный геолог В.С. Ланев и геолог Ю.П. Смирнов (г); кернохранилище (д); дискование керна (е); образцы керна пород архея (ж).

При исследовании образцов керна было установлено, что уплотненные гранитоиды при сейсмологических исследованиях воспринимались геофизиками в качестве более плотных, по сравнению со стандартными породами. Это новая геологическая информация, которая позволяет по-другому интерпретировать данные глубинных геофизических исследований.

Скважина расположена на Северном крыле Печенгской структуры с таким расчетом, чтобы оценить перспективы глубоких горизонтов в отношении медно-никелевого оруденения, пересечь на отметке 4,7 км контакт раннепротерозойских вулканитов с архейскими гнейсами кольской серии, а в интервале 7,5–8,5 км вскрыть поверхность Конрада и проникнуть внутрь «базальтового» слоя. Что касается первой задачи, то она была успешно решена. На глубине 1,5–1,7 км в средней части продуктивной толщи скважина обнаружила ранее неизвестное тело никеленосных гипербазитов. Но предположение о наличии на глубине 7,5–8,5 км поверхности Конрада не подтвердилось. Подошва северопеченгской серии была пересечена на отметке 6,8 км и до рекордной глубины в 12 км скважина прошла по гнейсам и амфиболитам кольской серии, т.е. по «гранитному» слою земной коры. Установлено, что гранитоиды на больших глубинах при сейсмологических исследованиях воспринимались геофизиками в качестве более плотных, по сравнению со стандартными породами (Кольская сверхглубокая: научные..., 1998).

Важную роль в структуре Печенгского рудного поля занимают межпластовые тектонические зоны синметаморфического расланцевания, которые привели к формированию чешуйчато-блоковых структур (Казанский, Кузнецов О.Л., Кузнецов А.В., 1994; Казанский В.И, Лобанов, 2004; Козловский, Губерман, Казанский, 2004; Кольская сверхглубокая. Исследование..., 1984; Лобанов, Чичеров, Горностаева и др., 2022). В разрезе СГ-3 и на поверхности выделены четыре тектонических зоны (рис. 14). Значения петрофизических параметров пород в межпластовых тектонических зонах характеризуются наиболее высокой плотностью, пористостью и коэффициентом анизотропии продольных волн (KAVp).

Петрологические исследования керна СГ-3 доказали синхронность среднепротерозойского метаморфизма и чешуйчато-надвиговых перемещений пород. Определение температур метаморфизма по составам сосуществующих минералов и

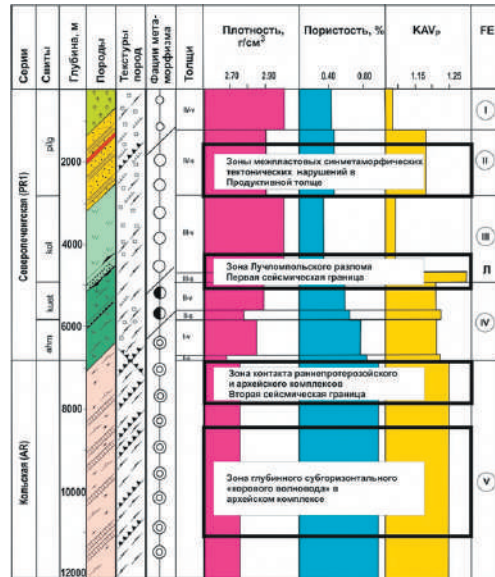


Рис. 14. Формализованный разрез Кольской сверхглубокой скважины с зонами тектонических нарушений (Лобанов, Чичеров, Горностаева и др., 2025).

минеральным ассоциациям подтверждает общее повышение интенсивности процесса с глубиной. Средняя температура метаморфизма вулканитов в верхней части разреза СГ-3 – 300°C (пренит-пумпеллитовая фация), а конец зеленосланцевой фации (4900 м) – 450°C. В интервале эпидот-амфиболитовой фации (4900–6000 м) она составляет 550°C, а в пределах амфиболитовой фации (низи северопеченгской серии и архейская кольская серия) температуры метаморфизма от 550 до 650°C (6000–12000 м). В разрезе не установлено метаморфического перерыва между низами северопеченгской и кольской серий: по минеральным ассоциациям и те, и другие породы отвечают амфиболитовой фации и обладают кристаллически-сланцеватыми текстурами. Это позволяет предполагать, что гранитизация происходила в температурных границах амфиболитовой фации (Козловский, Губерман, Казанский, 2004; Кольская сверхглубокая. Исследование..., 1984; Лобанов, Чичеров, Горностаева и др., 2022).

Не менее интересными и неожиданными оказались непосредственные измерения температуры на больших глубинах. Предполагалось, что в тектонически спокойных районах, к которым относится Балтийский щит, температура с глубиной растет незначительно (примерно 8–10°C на 1 км). Однако реальная температура в скважине на глубине 10 км

достигла 180°C, а на глубине около 12 км значения температур достигли 212°C, вместо предполагавшихся 120°C (Хитаров, 1961). Была выяснена роль мантийного и радиогенного источников в общем глубинном потоке тепла.

Установлено наличие рудной минерализации в древней континентальной земной коре на всем интервале в 12 км. В зависимости от сочетаний рудных элементов, форм их нахождения и минеральных парагенезисов в разрезе выделены восемь основных типов рудной минерализации: 1) сульфидная медно–никелевая и платинометаллическая, 2) сульфидная железная, 3) оксидная железная, 4) оксидная железо–титановая, 5) сульфидная медно–

цинковая, 6) золото–серебряная, 7) палладиевая, 8) кобальтовая (рис. 15) (Козловский, Губерман, Казанский, 2004; Лобанов, Чичеров, Горностаева и др., 2022; Лобанов, Чичеров, Горностаева и др., 2025; Лобанов, Чичеров, Шаров, 2021). Первые четыре типа сопоставимы с оруденением в протерозойской Печенгской структуре и ее архейском обрамлении по минеральному составу, характеру вмещающих пород и генезису. Это связано с повышенной тектонической активностью в глубинных горизонтах земной коры. В зонах циркуляции подземных вод, зафиксированных на больших глубинах, происходило отложение низкотемпературной гидротермальной минерализации (медной, медно–цинковой, никелевой).



Рис. 15. Вертикальная рудная зональность в разрезе СГ–3. (Лобанов, Чичеров, Горностаева и др., 2025).

Медно–никелевое оруденение приурочено к измененным перидотитам и филлитам и представляет ранее неизвестную зону в средней части продуктивной толщи. Это оруденение сходно с главными промышленными типами сульфидных медно–никелевых руд Печенги, что свидетельствует об их одинаковом генезисе и большой выдержанности по падению. Источником оруденения явились интрузивы ультраосновных пород. Метаморфизм вызвал перекристаллизацию и перетотложение рудных минералов, проявившиеся во вкрапленных рудах в перидотитах и брекчиевидных и прожилково–вкрапленных рудах (Лобанов, Чичеров, Горностаева и др., 2025).

Неожиданным результатом изучения стало открытие повышенных содержаний золота в интервале 9500–11000 м, сложенном амфиболитами и гнейсами, метаморфизованными в условиях амфиболитовой фации при температуре 500–650 °С и давлении 3,5–6 кбар. Оно было обнаружено с помощью нейтронно–активационного анализа и подтверждено результатами минераграфических исследований. Впервые обнаружены природные флюиды с экстремально высокими концентрациями золота. Оценки концентрации золота в минералообразующих флюидах орогенных месторождений составляют 0,5–5 ppm (Козловский, Губерман, Казанский, 2004; Лобанов, Чичеров, Горностаева и др., 2025).

Новыми оказались данные о процессах рудообразования в глубинных слоях земной коры. На глубинах 9–12 км встретились высокопористые трещиноватые породы, насыщенные подземными сильно минерализованными водами. Обнаруженные низкотемпературные ассоциации рудных минералов свидетельствуют о возможности появления на этих глубинах их промышленных скоплений (Лобанов, Чичеров, Шаров, 2021). Минерализация установлена в зонах регрессивного дислокационного метаморфизма в интервале 6,2–12 км. Наряду с рассеянной вкрапленностью сульфидов – пирротина, пирита и халькопирита, она представлена хлорит–карбонат–кварцевыми прожилками, в которых наблюдаются более редкие и более разнообразные по составу сульфиды – сфалерит, галенит, борнит, молибденит, аргентопентландит. Температуры образования гидротермальной сульфидной минерализации оценивались по распределению кобальта в сростаниях пирротина и пирита. Значения температур, вычисленные по коэффициенту распределения кобальта в этих сульфидах, в основном, находятся в интервале 184–323°C, т.е. они существенно более низкие, чем температуры, характерные для амфиболитовой фации метаморфизма вмещающих пород (Казанский, Кузнецов О.Л., Кузнецов А.В. и др., 1994).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Кольская сверхглубокая скважина – выдающееся достижение мировой и российской геологической науки в развитии континентального бурения. Она была пробурена в рамках программы «Изучение недр Земли и сверхглубокое бурение». Все работы по этой программе были осуществлены с применением только отечественной техники и технологии. Все оборудование для бурения было сделано на предприятиях оборонной промышленности СССР, так же как при работе по проектам создания атомного оружия и космических кораблей. Была создана уникальная буровая установка «Уралмаш – 15000».

Большую роль в подготовке к бурению этой скважины сыграл академик Николай Павлович Лаверов, который участвовал в выборе места расположения СГ–3, подготовке методики бурения. Он осуществлял постоянный контроль результатов проходки скважины до рекордной глубины 12262 м.

Впервые в мире СГ–3 была пробурена с применением новейших отечественных технических средств, научного изучения глубинного строения земных недр. Были использованы новые матери-

лы и технологии бурения, также создано уникальное буровое оборудование, позволяющее добраться до прежде недосягаемых глубин. Вот уже 55 лет этот результат остается непревзойденным. СГ–3 является прорывом в недра планеты Земля и может быть сопоставима только с полетом в космос.

Совместная работа около 200 ученых и специалистов из научных и производственных организаций различных министерств и ведомств позволила получить прямой вещественный материал с таких глубин и провести измерения различных параметров непосредственно в толще земной коры до глубины 12262 м с использованием нового научного оборудования, способного работать в условиях высоких температур и давлений. Полученные образцы горных пород с больших глубин по своему значению сопоставимы с образцами с Луны.

Геолого–геофизическая информация о глубинном строении Балтийского щита существенно скорректировала теоретические представления, господствовавшие до бурения скважины. На основании изучения минерально–геохимического состава пород керна и проведения комплекса исследований в стволе СГ–3 были получены данные о вещественном составе и физическом состоянии глубинных пород.

Геофизическая граница, дающая наибольшее отражение при сейсмическом зондировании, где породы «гранитного» слоя переходят в более прочный «базальтовый слой», в разрезе СГ–3, свидетельствует, что там расположены менее прочные и менее плотные трещиноватые породы – архейские гнейсы. Вместо «поверхности Конрада» (кровля базальтового слоя) был выявлен субгоризонтальный «коровый волновод», своеобразная зона разуплотнения, перемещение тектонических блоков по этим зонам обеспечило чешуйчато–надвиговое строение всего Лапландско–Печенгского блока.

Изучение СГ–3 показало присутствие рудной минерализации в древней континентальной земной коре на всем интервале в 12 км, хотя первоначально предполагалось, что глубже 5 км ее быть не может. В процессе изучения минерализации в разрезе СГ–3 количество ее типов достигло восьми. Принципиально новыми оказались и данные о процессе рудообразования в глубинных слоях земной коры. Так, на глубинах 9–12 км встретились высокопористые трещиноватые породы, насыщенные подземными сильно минерализованными водами. Эти воды – один из источников рудообра-

зования. Раньше считали, что такое возможно лишь на значительно меньших глубинах.

Главными достижениями изучения Кольской сверхглубокой скважины являются:

- Кольская сверхглубокая скважина – выдающееся достижение мировой и российской геологической науки в развитии континентального бурения. Разработана отечественная буровая установка «Уралмаш – 15000». СГ–3 сопоставима только с полетом в космос.
- Получен вещественный материал и проведены измерения различных параметров непосредственно в толще земной коры до глубины 12262 м с использованием нового научного оборудования, способного работать в условиях высоких температур и давлений.
- Геофизическая граница, где породы «гранитного» слоя переходят в более прочный «базальтовый» слой, в разрезе СГ–3 свидетельствует, что там расположены менее прочные и менее плотные трещиноватые породы – архейские гнейсы. Вместо «поверхности Конрада» (кровля «базальтового» слоя) выявлен субгоризонтальный «коровый волновод».
- Установлена зональность протерозойского метаморфизма с глубиной: от пренит–пумпеллитовой к зеленосланцевой (4900 м), эпидот–амфиболитовой (6000 м), амфиболитовой фациям (низы северопеченгской и архейской кольской серий (12000 м).
- Получены новые данные по оценке температур на больших глубинах. Предполагалось, что в гранитогнейсовом фундаменте Балтийского щита температура с глубиной растет незначительно (8–10°C на 1 км). Реальная температура в СГ–3 на глубине 10 км достигла 180°C, а на глубине около 12 км – 212°C, вместо ожидаемых 120°C.
- В разрезе СГ–3 рудная минерализация выявлена в докембрийской континентальной земной коре на всем интервале в 12 км. Выделены восемь основных типов рудной минерализации: 1) сульфидная медно–никелевая и платинометалльная, 2) сульфидная железная, 3) оксидная железная, 4) оксидная железо–титановая, 5) сульфидная медно–цинковая, 6) золото–серебряная, 7) палладиевая, 8) кобальтовая.
- Рудообразующие системы Печенгского рудного района включают известные медно–никелевые месторождения и рудопоявления металлов платиновой группы (МПГ), урана, золота, свинца и цинка. Они составляют 4 разнотипные системы: PGE – плутоногенную; Cu–Ni–вулканоплутоногенную; U и Au – флюидно–метасоматическую, сформировавшуюся в различных геотектонических условиях карельского и свекофеннского циклов и гидротермальную Pb–Zn рифейского цикла.

## ЛИТЕРАТУРА

- Казанский В.И., Кузнецов О.Л., Кузнецов А.В., Лобанов К.В., Черемисина Е.Н. Глубинное строение и геодинамика Печенгского рудного района: опыт исследования Кольской сверхглубокой скважины // *Геология рудных месторождений*. 1994. Т. 36. № 6. С. 500–519.
- Казанский В.И., Лобанов К.В. Глубинное строение и рудоносность древней континентальной земной коры (по результатам исследований Кольской сверхглубокой скважины) // *Проблемы рудной геологии, петрологии, минералогии и геохимии*. М.: ИГЕМ РАН, 2004. С. 24–43.
- Козловский Е.А., Губерман Д.М., Казанский В.И. Рудоносность глубинных зон древней континентальной земной коры (по материалам Кольской сверхглубокой скважины) // *Советская геология*. 1988. № 9. С. 3–11.
- Кольская сверхглубокая. Исследование глубинной структуры континентальной коры бурением Кольской сверхглубокой скважины / Гл. ред. Е.А. Козловский. М.: Недра, 1984, 490 с.
- Кольская сверхглубокая: научные результаты и опыт исследований / Под ред. Орлова В.П., Лаверова Н.П. М.: МФ «ТЕХНО-НЕФТЕГАЗ», 1998. 260 с.
- Литвиненко И.В., Ленина И.С. Некоторые результаты изучения сейсморазведкой глубинного строения Печенгской структуры // *Геология и глубинное строение восточной части Балтийского щита*. Л.: Недра, 1968. С. 139–147.
- Лобанов К.В., Чичеров М.В., Горностаева Т.А., Прокофьев В.Ю., Шаров Н.В. Кольская сверхглубокая скважина: космический полет в недра Арктической зоны России // *Neftegaz.RU*. 2022. № 1 (121). С. 78–93.
- Лобанов К.В., Чичеров М.В., Горностаева Т.А., Жиров Д.В., Мохов А.В., Карташов П.М., Прокофьев В.Ю. Рудоносность глубинных зон древней континентальной земной коры по данным СГ-3 // *Смирновский сборник 2025. Проблемы минерагении, экономической геологии и минеральных ресурсов*. М.: Изд-во ООО «МАКС Пресс», 2025. С. 11–32.
- Лобанов К.В., Чичеров М.В., Шаров Н.В. Пятидесятилетняя годовщина годовщина начала бурения Кольской сверхглубокой скважины // *Арктика и Север, САФУ. Архангельск*, 2021, № 44. С. 267–284.
- Повалихин А.С. 50 лет научному прорыву в исследовании Земли. Кольская сверхглубокая скважина: путь к энергетическому и сырьевому обеспечению человечества // *Инженер-нефтяник*. 2020. №1. С. 5–16.
- Хитаров Н.И. К вопросу проведения сверхглубокого бурения на территории Советского Союза // *Советская геология*. 1961. № 6. С. 134–138.