

УДК: 622.016.25(470.21)

ВЛИЯНИЕ ПРИРОДНЫХ ФАКТОРОВ НА ТРАЕКТОРИЮ И ФОРМУ СТВОЛОВ КОЛЬСКОЙ СВЕРХГЛУБОКОЙ СКВАЖИНЫ (СГ-3)

Ю.Н. Яковлев¹, П.К. Скуфьин¹, О.С. Чвыков²

¹ Геологический институт КНЦ РАН

² НПЦ «Кольская сверхглубокая», г. Заполярный

Аннотация

На примере I-III стволов Кольской сверхглубокой скважины (СГ-3) рассмотрено влияние природных факторов (условий залегания и прочностных характеристик разбурывааемых пород) на изменение их траектории и формы поперечного сечения в породах протерозойского и архейского комплексов. Основное внимание уделено I и II стволам, проходившимся практически без специальных приемов стабилизации их направления. Для сравнения кратко рассмотрено состояние III и IV стволов, при проходке которых постоянно применялись различные приемы стабилизации их направления.

В протерозойской части разреза стволы I и II сохраняют северо-восточное и близкое к северному направление и только на коротких отрезках незначительно отклоняются к северо-западу. Сечение их в основном сохраняется круглым, а в нижней части комплекса – слабо эллипсоидным. В архейской части разреза стволы СГ-3 испытывают многократные отклонения от вертикали и в целом описывают спиралевидную форму, с отклонением от вертикали на 200–500 м; сечение их здесь – всюду эллипсоидное, с превышением длинной оси над короткой в 2–5 раз.

Ключевые слова:

Кольская сверхглубокая скважина, физические свойства горных пород, отклонение ствола скважины.

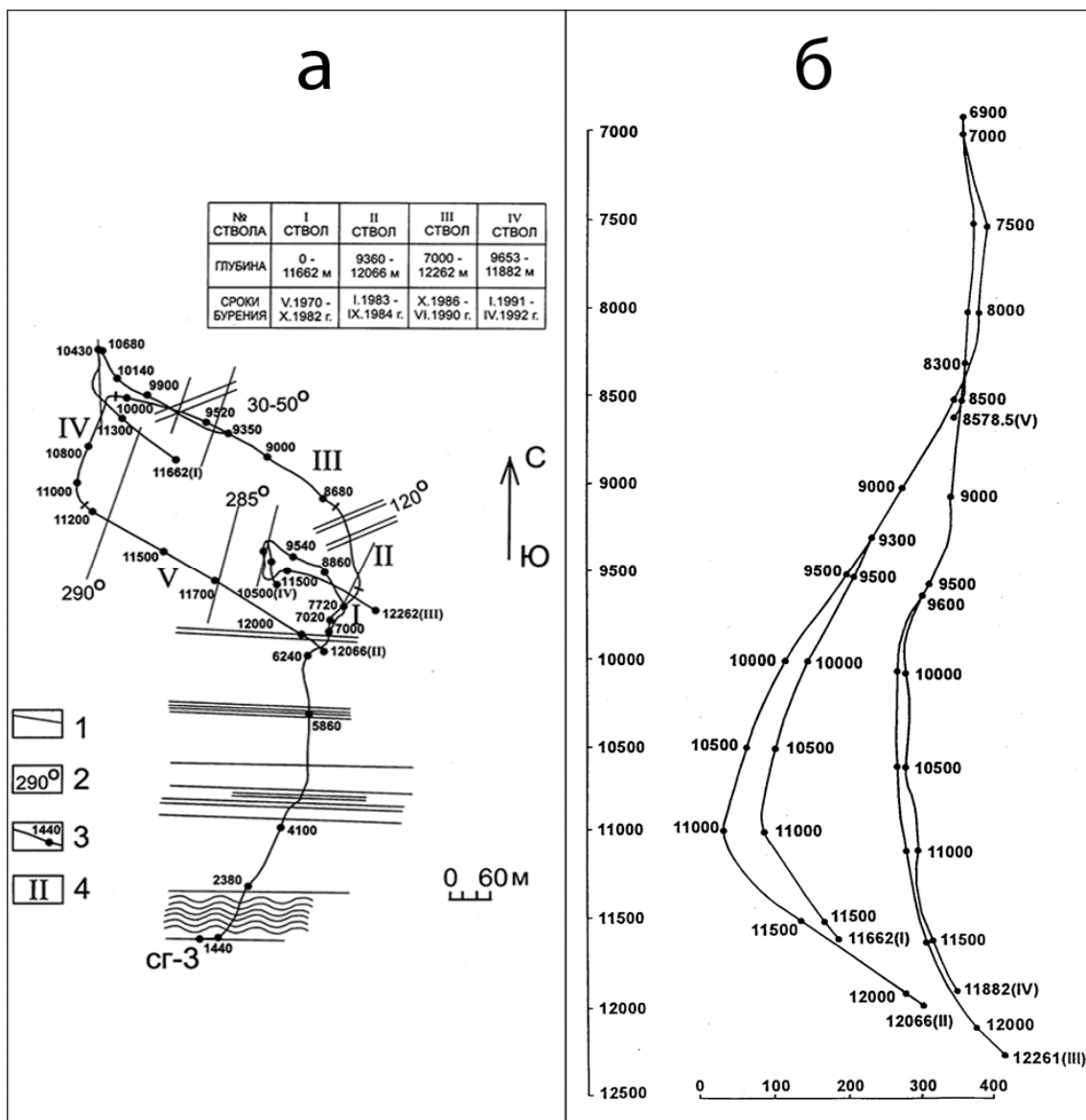
Введение

В процессе проводки Кольской сверхглубокой скважины (СГ-3) (1970–1994 гг.) в интервале вскрытого разреза от поверхности до глубины 12262 м было пройдено 5 стволов, четыре из которых имели глубину от 11662 м до 12262 м, а пятый, забуренный с отметки 8278 м в апреле 1994 г., уже в августе того же года достиг глубины 8578 м, после чего по приказу Министерства геологии России бурение было прекращено. Коллектив СГ-3 был преобразован в федеральное государственное унитарное дочернее предприятие «Кольская сверхглубокая», сокращен и переориентирован на тщательное изучение вскрытого разреза. Затем в 2007 г. по приказу Министерства геологии России коллектив «Кольской сверхглубокой» после составления заключительного отчета был уволен, а оборудование передано частному предприятию и частично ликвидировано (остались только неохраняемые здания на месте проходки СГ-3 и на базе в г. Заполярном).

В проведении исследований разреза СГ-3 в период 1994–2007 гг. принимали участие сотрудники ряда научных организаций России (Институт геологии и геохимии Уральского отделения РАН, ООО НПУ «Геомир», ОАО Научно-производственное предприятие «ВНИИГИС», ВИРГ-Рудгеофизика, ФГУ НПП «Геологоразведка», Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии (ИГЕМ) РАН, Геологический институт КНЦ РАН и др.).

В процессе проводки СГ-3, заданной вертикально, непрерывно происходили изменения ее направления (т.е. зенитного угла и азимута), а также формы поперечного сечения ствола (кавернозность). Эти изменения и их возможные причины рассматриваются в настоящем сообщении. Подавляющая часть измерений выполнена в первом стволе (до гл. 11540 м), часть –

во втором (до гл. 12020 м) и в третьем (12020–12262 м) стволах. Они производились в различное время, как в процессе проводки скважины, так и после прекращения бурения, поэтому частично могут не совпадать. Глубины, достигнутые всеми четырьмя стволами, показаны на рис.



Проекция основных стволов СГ-3:

а) на горизонтальную плоскость (по материалам НПП «Кольская сверхглубокая»): 1 – конфигурация стволов; 2 – простираение пород архейского комплекса на отдельных участках; 3 – отметки глубин; 4 – номера блоков архейской части разреза. Интервал 10500–11882 м четвертого ствола на рисунке не показан. Вверху – параметры и даты проходки стволов (Материалы НПП «Кольская сверхглубокая»); б) на вертикальную плоскость (по материалам НПП «Кольская сверхглубокая»), аз. 90–270°

Условия проходки СГ-3

Изменение траектории проходки свойственно всем скважинам глубиной более 1.0–1.5 км. Оно определяется взаимным расположением бурового снаряда и условиями залегания геологических тел (пластов, толщ и т.п.), а также физико-механическими свойствами последних (в основном их прочностными характеристиками). Общеизвестно, что при вертикальном

направлении скважины (как в случае СГ-3) и наклонном залегании геологических тел (что свойственно Печенгскому рудному полю) буровой снаряд будет стремиться занять положение нормали к плоскостным элементам разбуриваемых пород [1], а ствол скважины отклонится навстречу падению геологических тел. Если падение последних очень крутое, а угол с осью скважины составляет меньше 30° , то при наличии двух пород с различной прочностью буровой снаряд будет «скользить» вдоль контакта с более прочной породой, и ствол скважины отклонится по направлению падения более прочной породы. В разрезе, вскрытом СГ-3, как в протерозойской, так и в архейской его частях, угол между направлением падения пород и осью скважины составляет $50\text{--}80^\circ$ и лишь на отдельных участках снижается до $40\text{--}50^\circ$ (данные ФГУДП НПЦ «Кольская сверхглубокая», отчет 2006–2007 гг., гл. 2.2). Поэтому на всем протяжении СГ-3 скольжения ее стволов вдоль контактов пород не происходит, что позволяет судить о залегании последних (направлении их падения) на различных участках траектории скважины.

Исходя из этих данных, рассмотрим горизонтальную проекцию траектории стволов СГ-3, главным образом, первого и второго, которые бурились без существенной корректировки их направления. Заметим, что и третий ствол, проходившийся с интенсивной стабилизацией направления, описывает на горизонтальной проекции траекторию, в целом очень близкую к таковой первых двух стволов, но в уменьшенном виде (рис. (а)).

Стратиграфическое описание разрезов протерозойского и архейского комплексов, вскрытых СГ-3, содержится в ряде работ [2–4]. Ф.П. Митрофановым с соавторами [5] в протерозойском комплексе разреза выделен самостоятельный горизонт риодацитовых порфиров, ранее считавшихся частью лучломпольской свиты. Ранний вариант стратиграфического расчленения архейского комплекса предусматривал выделение десяти толщ различной мощности и состава [4]. Авторы настоящей статьи со своей стороны отказались от слишком дробного и неравномерного расчленения архейского комплекса СГ-3 и предложили его новую интерпретацию, включающую пять блоков [6]. Ниже приведено авторское разделение архейского комплекса СГ-3 на пять блоков (А – Д), что необходимо для дальнейших построений.

• **Блок А.** 6840–7600 м. Ствол СГ-3 проходит в северном и северо-восточном направлении. Блок сложен преобладающими гнейсами с высокоглиноземистыми минералами (ВГМ), а также подчиненными гнейсами с высококальциевыми минералами (ВКМ), и прослоями гранатовых амфиболитов.

• **Блок Б.** 7600–8600 м. Ствол отклоняется в северо-западном направлении. Блок сложен гнейсами с ВКМ и ВГМ, а также подчиненными клинопироксеновыми амфиболитами. В кровельной части располагается пласт железистых кварцитов.

• **Блок В.** 8600–10100 м. Ствол I и частично ствол II сильно отклоняются в северо-западном направлении, проекции их траекторий близки к прямолинейным. Блок сложен преобладающими гнейсами с ВГМ, отчасти гнейсами с ВКМ и подчиненными амфиболитами (15–20%). В начале интервала (8710–8740 м) находится пласт железо-титановых руд (апогаббровых амфиболитов с высоким содержанием магнетита и ильменита); в блоке присутствуют и тела сильно измененных гипербазитов.

• **Блок Г.** 10100–11100 м. Стволы I и II резко «поворачивают» в южном и юго-западном направлениях. Блок сложен переслаивающимися гнейсами с ВГМ и ВКМ, подчиненными пластами амфиболитов и железистых кварцитов.

• **Блок Д.** 11100–12262 м. Все стволы резко отклоняются к юго-востоку. Преобладающие породы – гнейсы с ВКМ, много мелких пластов железистых кварцитов и различных амфиболитов, в том числе и сильно измененных ультраосновных пород.

К данной характеристике разреза архейского комплекса необходимо сделать несколько уточняющих примечаний:

1) существенно амфиболовые породы, слагающие 30–35% мощности архейской части разреза, представлены двумя разновидностями: апогипербазитами и собственно амфиболитами.

Первые сложены флогопитом и магниевыми амфиболами, представлены небольшими телами мощностью до 10–20 м, распространены главным образом во втором и пятом блоках. Вторые, резко преобладающие и сложенные роговыми обманками и плагиоклазами, образуют «пласты» мощностью от 1–2 м до 50–60 м разреза. Последние большей частью тяготеют к нижним частям первого-четвертого блоков, а в пятом располагаются в верхней и нижней его частях;

2) четвертый блок занимает особое положение в архейском комплексе разреза: простирается пород в нем близко к таковому в Печенгском рудном поле, но падение их – обратное;

3) по распределению амфиболитов в архейском комплексе разреза границы блоков могут быть скорректированы следующим образом: первый (А) – 6840–7622 м, второй (Б) – 7622–8918 м, третий (В) – 8918–10144, четвертый (Г) – 10144–11200 м и пятый (Д) – 11200–12260 м. Примечательно, что и по распределению амфиболитов граница третьего и четвертого блоков осталась «незыблемой», что, скорее всего, свидетельствует об особом положении четвертого блока в разрезе комплекса.

4) глубина 12.0 ± 0.2 км стала «критической» для всех стволов СГ-3, в том числе для третьего и четвертого, проходившихся с технологическими приемами их стабилизации.

Отклонение стволов СГ-3 от вертикали и их кавернозность в протерозойском комплексе разреза (0.0–6.8 км)

Соответствующие данные для первого ствола показывают, что он достаточно стабилен как по направлению, так и по кавернозности (табл. 1, 2). Он почти на всем протяжении отклоняется в северо-восточном направлении; зенитный угол в основном варьирует в пределах 1–5° и лишь в отдельных интервалах отклонения от вертикали достигают 7–9°. Максимальные отклонения приходятся на глубины 4850–5380 м и соответствуют лучломпольской и пиритгарвинской свитам. В нижних горизонтах (около 120 м от начала маярвинской свиты, сложенной андезитоидами, и на всем протяжении телевинской свиты, сложенной песчаниками) зенитный угол составляет 5–6°. Направление ствола на всем протяжении комплекса сохраняется северо-восточным (от 5 до 65°) и только в верхней части маярвинской свиты немного отклоняется в северо-западном направлении (табл. 1, № 10). Интенсивность искривления ствола на всем протяжении протерозойского комплекса составляет 1–4° на 100 м проходки. Сечение ствола до пересечения с маярвинской свитой сохраняется условно-круглым, а ниже становится эллипсоидным, с размерами до 230 × 270–400 мм.

Кавернозность на всем протяжении архейского комплекса сохраняется высокой (табл. 4), поперечное сечение стволов большей частью эллипсоидное с размерами 220–240 × 430–570 мм. Коэффициент кавернозности только на отрезках А и Б ствола I (т.е. до глубины 2500–2600 м) составляет 1.21–2.90, а глубже появляются сплошные каверны, вертикальная протяженность которых достигает 60–150 м. В таких кавернах буровой снаряд занимает не строго вертикальное, а наклонное положение, что, возможно, и приводило к авариям с обрывом буровых труб.

Отклонение стволов СГ-3 и их кавернозность в архейском комплексе разреза (6.8–12.2 км)

В архейском комплексе разреза стволы I и II неоднократно отклонялись от вертикали и в целом описывали спиралевидную траекторию, проекция которой на горизонтальную плоскость имеет вид, близкий к прямоугольному четырехугольнику, вытянутому в северо-западном направлении, со сторонами 450–500 × 200–250 м соответственно (рис. (а)).

В верхней части архейского комплекса (блок А) ствол I имеет северное и северо-восточное направление, зенитный угол достигает 11°30', а интенсивность отклонения от вертикали составляет 3°38' (табл. 3, № 1). Далее ствол начинает отклоняться в северо-западном направлении (отрезок II), азимут отклонения составляет 310–345°, а интенсивность его варьирует от +2°30' до -3°20' (табл. 3, № 2–5). Затем ствол I, а с глубины 9380 м и ствол II довольно сильно отклоняются к северо-западу (отрезок III) по азимуту 295–300° с интенсивностью от -2°48'

до $+3^{\circ}20'$ (табл. 3, № 6–11). Далее (на отрезке IV) стволы I и II резко поворачивают в юго-западном и почти южном направлениях (табл. 3, № 12–14) с интенсивностью от $-2^{\circ}48'$ до $+4^{\circ}27'$. Наконец, на последнем отрезке V (11100–12066 м) ствол II резко поворачивают в юго-восточном направлении, причем интенсивность отклонения от вертикали составляет от $-4^{\circ}00'$ до $+8^{\circ}087'$ (табл. 3, № 15–18). Ствол III проходил с интенсивными поправками его направления, достиг глубины 12266 м, на которой из-за аварии был также оставлен. Последний отрезок ствола III по направлению совпадает с отрезком V.

Примечательно, что проекция ствола III, который проходил с интенсивной технологической стабилизацией его направления, оказалась очень близкой к проекциям I и II стволов, но в значительно уменьшенном виде (рис. (а)). Ствол IV, проходивший, как и ствол III, с интенсивной технологической стабилизацией его направления, достиг максимальной для СГ-3 глубины, на которой из-за аварии был также оставлен. Проекция основных стволов СГ-3 на вертикальную плоскость показана на рис. (б). Получается, что глубина 12.0 ± 0.2 км оказалась «критической» для всех стволов СГ-3; даже стволы III и IV, проходившие с интенсивной корректировкой их направления, так и не смогли преодолеть этот рубеж. В целом, изменения траекторий всех стволов скважины в какой-то мере отвечают соответствующим вариациям параметров упругой анизотропии пород отдельных толщ архейского комплекса, что показано Ф.Ф. Горбацевичем по керну СГ-3 [2: 215].

Таблица 1

Изменение зенитного угла и азимута I ствола СГ-3 в протерозойском комплексе разреза (0-6842 м)

№№ п.п.	Интервал, м	Величина интервала, м	Зенитный угол		Азимут		Интенсивность искривления
			от	до	от	до	
1	1880–2420	540	$1^{\circ}00'$	$6^{\circ}00'$	65°	25°	$+0^{\circ}56'$
2	3080–3160	80	$6^{\circ}00'$	$3^{\circ}00'$	40°	45°	$-3^{\circ}45'$
3	3420–3530	110	$3^{\circ}30'$	$5^{\circ}00'$	20°	25°	$+2^{\circ}16'$
4	3530–3590	60	$5^{\circ}00'$	$3^{\circ}30'$	25°	25°	$-1^{\circ}22'$
5	4590–4660	70	$6^{\circ}00'$	$3^{\circ}30'$	45°	45°	$-3^{\circ}34'$
6	4660–4750	90	$3^{\circ}30'$	$5^{\circ}30'$	40°	40°	$+2^{\circ}13'$
7	4850–4900	50	$5^{\circ}30'$	$7^{\circ}30'$	25°	25°	$+4^{\circ}00'$
8	4980–5090	110	$7^{\circ}30'$	$5^{\circ}30'$	5°	5°	$-1^{\circ}49'$
9	5260–5380	120	$6^{\circ}30'$	$9^{\circ}30'$	5°	5°	$+2^{\circ}30'$
10	6030–6230	200	$8^{\circ}00'$	$4^{\circ}00'$	355°	35°	$-2^{\circ}00'$
11	6320–6400	80	$4^{\circ}00'$	$2^{\circ}00'$	45°	25°	$-2^{\circ}30'$
12	6500–6620	120	$2^{\circ}30'$	$5^{\circ}00'$	65°	75°	$+2^{\circ}05'$
13	6790–6842	52	$4^{\circ}30'$	$6^{\circ}30'$	20°	10°	$+4^{\circ}00'$

Таблица 2

Кавернность I ствола СГ-3 в протерозойской части разреза (0–6842 м)

№ п.п.	Интервал разреза, м	Максимальный размер каверн	Коэффициент кавернности	Зенитный угол,	Форма каверн (условно)	Толщи разреза
1	451–2004	403–474	1.02–1.96	0°30'	Круглая	mt,gd
2	2126–2410	354–433	1.65–2.02	1°00'–6°00'	–“–	gd
3	2465–3150	304–444	1.42–2.07	6°00'–3°00'	–“–	gd,zp
4	3400–4490	220 x 290	1.12–1.65	3°00'	Эллипсо-видная	zp,lch
5	4495–4907	220 x 560	1.12–2.61	3°00'–5°30'	–“–	–“–
6	4907–5280	220 x 500	1.17–2.34	5°30'–9°30'	–“–	lch,prt
7	5280–6360	220 x 590	1.12–2.76	9°30'–4°00'	–“–	prt,ma
8	6374–6842	220 x 620	1.12–2.90	4°00'–6°30'	–“–	ma,tlv

Примечание. До гл. 451 м измерение каверн не производилось; коэффициент кавернности определялся по отношению максимального диаметра каверн к номинальному диаметру долота; свиты разреза: mt – матертская, gd – ждановская, zp – заполярнинская, lch – лучломпольская, prt – пирттиярвинская, ma – маярвинская, tlv – телевинская.

Таблица 3

Изменение зенитного угла и азимута I ствола СГ-3 в архейском комплексе разреза (0–6842 м)

№ п.п.	Интервал, м	Величина интервала, м	Зенитный угол	Азимут	Интенсивность искривления	Толщи раннего расчленения	Блоки
1	7520–7630	110	7°30'–11°30'	10°–345°	+3°38'	I	A
2	7690–7900	210	11°30'–6°00'	345°–355°	–2°37'	II	B
3	7990–8050	60	5°30'–7°00'	355°–345°	+2°30'	–“–	–“–
4	8360–8400	40	8°30'–9°30'	320°–315°	+3°45'	–“–	–“–
5	8440–8470	30	9°30'–10°30'	315°–310°	+3°20'	–“–	–“–
6	8780–9000	120	10°30'–6°30'	305°–310°	–3°20'	–“–	B
7	9000–9100	100	6°30'–10°30'	310°–305°	+4°00'	–“–	–“–
8	9360–9430	70	11°30'–13°30'	295°–295°	+2°51'	II–III	–“–
9	9600–9750	150	13°30'–8°30'	305°–305°	–3°20'	III–IV	–“–
10	9770–9820	50	8°30'–10°30'	305°–300°	+4°00'	–“–	–“–
11	9930–10000	70	10°30'–12°30'	300°–300°	+2°51'	–“–	–“–
12	10210–10530	320	13°00'–1°00'	335°–95°	–3°45'	V–VI	Г
13	10600–10780	180	1°30'–9°30'	110°–175°	+4°27'	VI–VII	–“–
14	10840–10970	130	10°00'–6°30'	190°–195°	–2°42'	VIII	–“–
15	10990–11090	100	6°30'–10°30'	190°–155°	+4°00'	–“–	Д
16	11210–11290	80	11°30'–18°00'	135°–135°	+8°08'	–“–	–“–
17	11290–11460	170	18°00'–12°00'	130°–130°	–4°00'	IX	–“–
18	11460–11500	40	12°00'–15°00'	135°–135°	+7°30'	–“–	–“–

Кавернность пород архейской части разреза СГ-3 (6842–12262 м)

№ п.п.	Интервал разреза, м	Макс. размер каверн, мм	Коэффициент кавернности	Зенитный угол	Форма каверн (условно)	Толщи разреза	Блоки разреза	Длина каверн м
1	6842–7570	220 x 700	1.17–3.27	6°30'–11°00'	Эллипсо-видная	I	A	
2	7570–7892	220 x 550	1.21–2.57	11°00'–6°00'	–“–	II	B	
3	7892–8250	220 x 570	1.21–2.60	6°00'–9°30'	–“–	–“–	–“–	
4	8250–8612	220 x 520	1.21–2.90	9°30'	–“–	–“–	–“–	
5	8612–9042	220 x 450	1.31–2.10	9°30'–6°30'	–“–	II-III	B	
6	9042–9348	270 x 450	1.21–2.30	6°30'–13°30'	–“–	–“–	–“–	
7	9348–9590	270 x 500	1.17–2.57	13°30'	Условно круглая	–“–	–“–	60
8	9590–9820	270 x 470	1.40–2.20	13°30'–10°30'	–“–	III-IV	–“–	
10	10145–10424	240 x 470	1.54–2.15	12°30'–13°30'	–“–	–“–	Г	
11	10424–10530	159 x 220	1.58–2.20	13°00'–1°00'	Условно круглая	V-VII	–“–	150
12	10530–10850	210 x 480	1.30–2.24	9°30'	Эллипсо-видная	VIII	–“–	
13	10850–11153	180 x 420	1.07–2.20	9°30'–11°30'	–“–	IX	–“–	
14	11153–11335	210 x 430	1.17–2.10	11°30'	Условно круглая	–“–	Д	60
15	11335–11540	240 x 430	1.02–2.00	11°30'–8°30'	–“–	–“–	–“–	
16	11540–11710	260 x 440	1.12–1.87	8°30'–11°00'	Эллипсо-видная	–“–	–“–	
17	11710–12020	230 x 410	1.36–1.87	11°00'	–“–	X	–“–	
18	12020–12097	220 x 470	1.27–2.20	11°00'–8°30'	–“–	–“–	–“–	
19	12097–12212	230 x 440	1.53–2.52	8°30'	–“–	–“–	–“–	
20	12212–12262	230 x 440	1.12–2.06	8°30'–10°00'	–“–	–“–	–“–	

Примечание. Оценка кавернности выполнена по 3 стволам СГ-3, а именно: в интервале разреза 6842–11540 м по I стволу, а далее по II (11540–11710 м) и III стволам (11710–12262 м).

Заключение

Анализ траекторий четырех стволов СГ-3 и их поперечных сечений на различных интервалах позволяет отметить следующие особенности ее проходки:

- в пределах протерозойского комплекса разреза (0.0–6.8 км) ствол скважины отклоняется в северном и северо-восточном направлении согласно правилу о стремлении бурового агрегата занять положение перпендикуляра к плоскости падения разбуриваемых пород. Поперечное сечение ствола скважины на всем протяжении комплекса сохраняется близким к круглому, иногда слабо эллипсоидному, с небольшой разницей между осями эллипса.

- в пределах архейского комплекса разреза (6.8–12.2 км) ствол скважины испытывает многократные отклонения от вертикали. В целом, горизонтальные проекции стволов I и II, проходившихся без тщательной стабилизации их направления, имеют вид прямоугольного четырехугольника, вытянутого в северо-западном направлении. Породы, соответствующие противоположным сторонам этого четырехугольника, имеют близкое простирание, но противоположное падение. Примечательно, что горизонтальные проекции стволов III и IV, проходившихся с тщательной стабилизацией их направления, в целом аналогичны таковым I и II

стволов, но имеют значительно меньшие размеры. Кавернозность стволов скважины в архейской части разреза значительно выше, чем в протерозойской. Сечение каверн большей частью эллипсоидное, с превышением длинной оси эллипса над короткой в 2–5 раз. Вертикальная длина отдельных каверн достигает 60–120 м, что превышает длину бурового снаряда и могло послужить причиной аварий.

● глубины всех главных стволов СГ-3 весьма близки и находятся в интервале 500–600 м, который явился каким-то «неодолимым препятствием», хотя по составу пород он не сильно отличается от вышележащих толщ.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Шафрановский И.И.* Симметрия в природе. М.: «Недра», 1998. 184 с. 2. Кольская сверхглубокая. М. «Недра», 1984. 490 с. 3. Кольская сверхглубокая. М.: МПР, РАН, 1998. 255 с. 4. Архейский комплекс в разрезе СГ-3. Апатиты: МГ СССР, АН СССР, 1991. 185 с. 5. Интрузивное тело риодацитовых порфиров в разрезе пород раннепротерозойского Печенгского комплекса Кольской сверхглубокой скважины / *Ф.П. Митрофанов, П.К. Скуфьин, Т.Б. Баянова и др.* // Доклады АН. 2001. Т. 380, № 4. С. 540–544. 6. Геолого-геохронологическое расчленение архейского комплекса в разрезе Кольской сверхглубокой скважины / *Ю.Н. Яковлев, Т.Б. Баянова, Д.М. Губерман и др.* // Материалы III Всероссийского совещания «Общие вопросы расчленения докембрия». Апатиты, 2000. С. 284–287.

Сведения об авторах

Яковлев Юрий Николаевич – к.г.-м.н., главный геолог НПЦ «Кольская сверхглубокая» (1994–2008 гг.).

Скуфьин Петр Константинович – д.г.-м.н., ведущий научный сотрудник;

e-mail: skuf@geoksc.apatity.ru

Чвыков Олег Сергеевич – старший геофизик НПЦ «Кольская сверхглубокая» (2001–2008 гг.)