Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. XLI, вып. 2, 1961 г.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЕСТЕСТВЕННОГО ИСКРИВЛЕНИЯ КОЛОНКОВЫХ СКВАЖИН

Ю. Т. Морозов

Сложное геологическое строение района Бакала вызывает интенсивные зенитные и азимутальные искривления скважин колонкового бурения, что снижает качество геологической документации, ухудшает условия бурения и удорожает буровые работы.

Из анализа и обобщения данных по искривлению большого количества скважин колонкового бурения устанавливаются некоторые закономерности их естественного искривления. Используя установленные закономерности, можно осуществлять более точную и направленную проводку колонковых скважин. В геологическом строении района принимают участие породы бакальской, зигальгинской и зигазино-комаровской свит. Стратиграфо-литологическая характеристика [1] основных пород этих свит следующая (разрез сверху вниз).

Зигазино-комаровская свита

Нижнебуланская (серегинская) толща (zik_3)

Серицито-кварцевые алевролиты и углисто-серицито-глинистые филлитовидные сланцы, переслаивающиеся с кварцитовидными песчаниками и прослоями сидеритов. Мощность 250 *м*.

Верхнебуланская (амбарская) толща (zik_2).

Хлорито-серицито-кварцевые и углисто-серицито-глинистые филлитовидные сланцы с маломощными прослоями мергелистых доломитов. Мощность свыше 100 *м*.

Первухинская (туканская) толща (zik_1).

Глинисто-серицито-кварцевые филлитовидные сланцы, переслаивающиеся с кварцевыми, частью аркозовыми песчаниками. Мощность свыше 250 *м*.

Зигальгинская свита.

Верхнезигальгинский горизонт (zig_2).

Серые кварциты и кварцевые песчаники с прослоями серицито-глинистых сланцев мощностью до 10 *см*. Мощность 30—100 *м*.

Нижнезигальгинский горизонт (zig_1).

Белые кварциты и кварцевые песчаники с конгломератами в низах горизонта (до 5 *м*) и углисто-глинистыми филлитовидными и глинистыми сланцами выше конгломератов. Мощность 30—120 *м*.

Бакальская свита, верхняя толща.

Буландихинский горизонт (bak_2^6).

Песчано-глинистые и филлитовидные сланцы с редкими прослоями кварцитов и кварцевых песчаников. Мощность 25—100 *м*.

Верхнебакальский горизонт.

Перемежаемость скорлуповатых доломитов и доломитовых известняков с филлитами, песчано-глинистыми сланцами (bak_2^{5c}). Мощность 15—25 *м*.

---

[1] По данным М. И. Гараня.

Доломитовые и мергелистые известняки (bak_2^{5b}). Мощность до 60 *м*.

Филлито-карбонатные „червячковые" породы (bak_2^{5a}). Мощность 30 *м*.

Среднебакальский горизонт.

Микроочковые филлиты, глинистые и песчано-глинистые сланцы и прослои доломитов (bak_2^{4c}). Мощность 15—50 *м*.

Доломиты, доломитовые известняки, слоистые известняки с пластовой отдельностью (bak_2^{4b}). Мощность 25 *м*.

Зеленоватые аргиллиты, глинистые и песчано-глинистые сланцы и филлиты, перемежаемость доломитов и доломитовых известняков с сидеритами и бурыми железняками (bak_2^{4a}). Мощность 30—40 *м*.

Нижнебакальский горизонт (bak_2^3).

Доломиты, известняки с прослоями сидеритов и магнезитов, слоистые, с различной мощностью ритмов, с хорошо развитой тонко- и толстопластовой отдельностью. Мощность 30—120 *м*.

Иркусканский горизонт (bak_2^2).

Филлиты, глинистые, песчано-глинистые сланцы, местами с ритмичной полосчатостью и кливажем, секущим слоистость; реже плитняковые песчано-глинистые сланцы, серицитовые филлиты, аргиллиты и кварциты. Мощность 140 *м*.

Березовский горизонт (bak_2^1).

Известняки и доломиты с постоянными маломощными прослоями песчано-глинистых и глинистых сланцев. Мощность 160 *м*.

Бакальская свита. Нижняя толща (bak_1).

Тонкоритмичные песчано-глинистые и глинистые сланцы со слоистыми филлитами.

Район работ приурочен к обширной Бакальской синклинали шириной 10—15 *км* с северо-восточным простиранием шарнира и пологим погружением его на юго-запад. Основная структура усложнена складками: а) второго порядка шириной 0,5—1,5—2 *км* с падением крыльев от 30 до 50° и более, вытянутых на СВ 15—20°, и погружением шарниров складок на ЮЗ 5—10—15°; б) третьего порядка шириной 30—80 *м*; в) четвертого порядка шириной 2—3 *м*.

Складчатые структуры асимметричны, северо-западные крылья круче юго-восточных. Складчатые структуры разбиты дизъюнктивами главным образом продольного и реже перпендикулярного направления. Часть из них выполнена диабазами и габбро-диабазами. Наряду с дизъюнктивными нарушениями структуры разбиты многочисленными трещинами отдельностей в основном северо-восточного и северо-западного направлений. Дизъюнктивные нарушения привели в соприкосновение свиты и толщи различного стратиграфического положения, поэтому строение района имеет складчато-блоковую структуру.

Осадочные и магматические породы в значительной степени изменены.

Начальные искривления скважин. Значительная часть площади разведочных работ покрыта плащом элювиально-делювиальных отложений кварцитов и других пород. Это вызвало необходимость проходить указанные отложения ударно-канатным способом. Замеры зенитных искривлений показали, что большинство скважин отклоняется от вертикали, причем на интервале проходки их ударно-канатным способом отклонение изменяется от нескольких минут до 6—8° при колебании интервалов 13—54 *м*. Средневзвешенная интенсивность искривления в пределах этих интервалов по данным 30 произвольно выбранных скважин составила 10°30′ на 100 *пог. м* при колебании от 1°20′ до 29°. Наиболее высокую интенсивность искривления на 100 *пог. м* имеют скважины № 1747 — 29°, 1761 — 25°, 1709 и 2118 — 20°, 1718 — 15°, 2115 — 14° и т. д.

Бóльшая часть скважин имеет постоянную интенсивность искривления на интервалах ударно-канатного бурения, меньшая — снижающуюся

с увеличением глубины интервала (см. табл. 1). В соответствии с этим наибольшую интенсивность искривления в основном имеют интервалы ударно-канатного бурения небольшой величины, т. е. с увеличением глубины происходит частичное выпрямление скважин.

Интервалы вращательного бурения, следующие за интервалами ударно-канатного бурения, в основном характеризуются снижением интенсивности искривления.

Таблица 1

Номер скважины	Глубина бурения ударно-канатным способом, *м*	Глубина замера, *м*	Искривление на интервале бурения, *град*	Интенсивность зенитного искривления на 100 *пог. м*
1761	39,2	25	9°48′	25°00′
1761	39,2	50	6°40′	17°00′
2100	46,5	20	5°49′	11°30′
2100	46,5	40	2°54′	6°14′
2104	54,4	25	6°32′	12°00′
2104	54,4	50	3°16′	6°00′
2118	35,7	25	7°08′	20°00′
2118	35,7	50	6°04′	17°00′

Скважины, пройденные с самой поверхности вращательным способом, в начальный период имеют меньшую интенсивность искривления (в среднем 3—6° на 100 *пог. м* при колебании от 0 до 21°) по сравнению с равными интервалами ударно-канатного бурения. Скважины, пройденные с поверхности ударно-канатным способом, имеют разнообразные случайные азимутальные направления. Таким образом, последующее азимутальное и зенитное искривление скважин при вращательном бурении в значительной степени закладывается в процессе проходки элювиально-делювиальных отложений ударно-канатным способом.

Закономерности зенитного и азимутального искривления скважин. В районе Бакала скважины забуриваются с поверхности вертикальными, однако лишь незначительная часть из них сохраняет заданное направление. Преобладающее число скважин с глубиной увеличивает зенитный угол и изменяет свое направление.

Анализ и обобщение первичных материалов показывает, что направление и степень искривления скважин зависит от местоположения их на геологической структуре, физико-механических свойств проходимых горных пород и глубины бурения.

Зависимость искривления от местоположения скважины на геологической структуре выражается следующим образом. Скважины, расположенные в центральных частях синклинальных складок, углы встречи у которых колеблются в пределах 70—90°, являются прямыми или имеют незначительное зенитное и азимутальное искривление. Скважины, расположенные на крыльях синклиналей и имеющие углы встречи в пределах 70—25°, стремятся стать перпендикулярно напластованию, т. е. искривляются вверх по падению, и при углах встречи, меньших 20—25°, большей частью искривляются вниз по падению. Скважины, расположенные в центральных частях антиклиналей, чаще стремятся искривиться в сторону погружения шарнира складки (по падению пород) или стать перпендикулярно напластованию пород (по осевой плоскости складки). Вблизи вершин антиклиналей углы встречи уменьшаются с глубиной даже у прямых скважин, при достижении критической величины угла встречи (25—20°) происходит интенсивное искривление скважин, после чего они направляются по падению пород уже почти без дальнейшего набора кривизны. На широких крыльях антиклиналей при углах встречи

свыше 35° скважины идут вверх по восстанию пород, при углах 35—25° могут идти как вверх, так и вниз и при углах, меньших 25°, как правило, идут вниз по падению пород.

Таким образом, характер и степень искривления скважин в пределах синклинальных и антиклинальных складок несколько различны. В единичных случаях скважины, расположенные в пределах складок второго и третьего порядков, не следуют указанным закономерностям, так как неориентированная забурка скважин ударно-канатным способом позволяет им принимать случайные азимутальные направления. Однако искривление их оказывается закономерным по отношению к складке первого порядка. Так как северо-западные крылья складок имеют более крутые падения, чем юго-восточные, то чаще всего в этом случае скважины искривляются на северо-запад, вкрест простирания пород, что особенно хорошо видно на скважинах с большой глубиной. При этом некоторые из них изменяют свое направление на 100—180° (рис. 1). По отношению к направлению вращения снаряда из 146 скважин азимутальное искривление вправо (по ходу вращения снаряда) имеют 104 скважины (71,3%), влево (против хода вращения) — 33 скважины (22,6%) и практически остались прямыми 9 скважин (6,1%). Интенсивность азимутального искривления на 100 *пог. м* у скважин, искривившихся вправо, составила 9°43′, у искривившихся влево 9°05′. Средневзвешенная интенсивность искривлений из 100 *пог. м* по району составила: азимутального 9°15′, зенитного 4°10′.

Таким образом, в азимутальном направлении бо́льшая часть скважин искривляется на северо-запад, в сторону более крутого северо-западного крыла Бакальской синклинали, меньшая часть направляется в сторону юго-восточного крыла, некоторое количество — в сторону погружения шарнира, на юго-запад, и единичные скважины идут по восстанию шарнира (см. рис. 1).

В соответствии с ранее установленными закономерностями отдельные месторождения Бакальской группы имеют некоторые различия в характере и степени искривления скважин. Это объясняется расположением этих месторождений в пределах различных геологических структур. Так, скважины, расположенные в пределах Шиханской синклинали, имеют сравнительно невысокую интенсивность зенитного и особенно азимутального искривлений, т. е. они сохраняют направления, полученные с поверхности (рис. 2).

Степень азимутального искривления, кроме ранее перечисленных условий, зависит от величины зенитного угла. Наиболее интенсивным азимутальное искривление α бывает при зенитных углах от 0—5 до 5—10° и заметно снижается при значениях выше 10° (табл. 2).

Таблица 2

Номер скважины	Азимутальное искривление скважин в следующих интервалах зенитных углов Θ				
	0—10°	10—20°	20—30°	30—40°	40—50°
1658	29°00′	15°30′	1°30′	12°00′	5°30′
1659	36°30′	12°00′	0°30′	—	—
1687	21°30′	7°30′	7°30′	0°30′	—
1718	18°48′	14°50′	2°03′	51°25′	—
1722	96°00′	12°30′	10°30′	2°00′	—
1737	75°00′	28°30′	—	—	—
1817	14°00′	16°50′	0°30′	0°30′	—
2004	28°30′	26°30′	9°00′	0°	11°15′
2006	46°00′	17°40′	10°00′	—	—
2509	30°40′	7°50′	6°00′	1°30′	4°00′

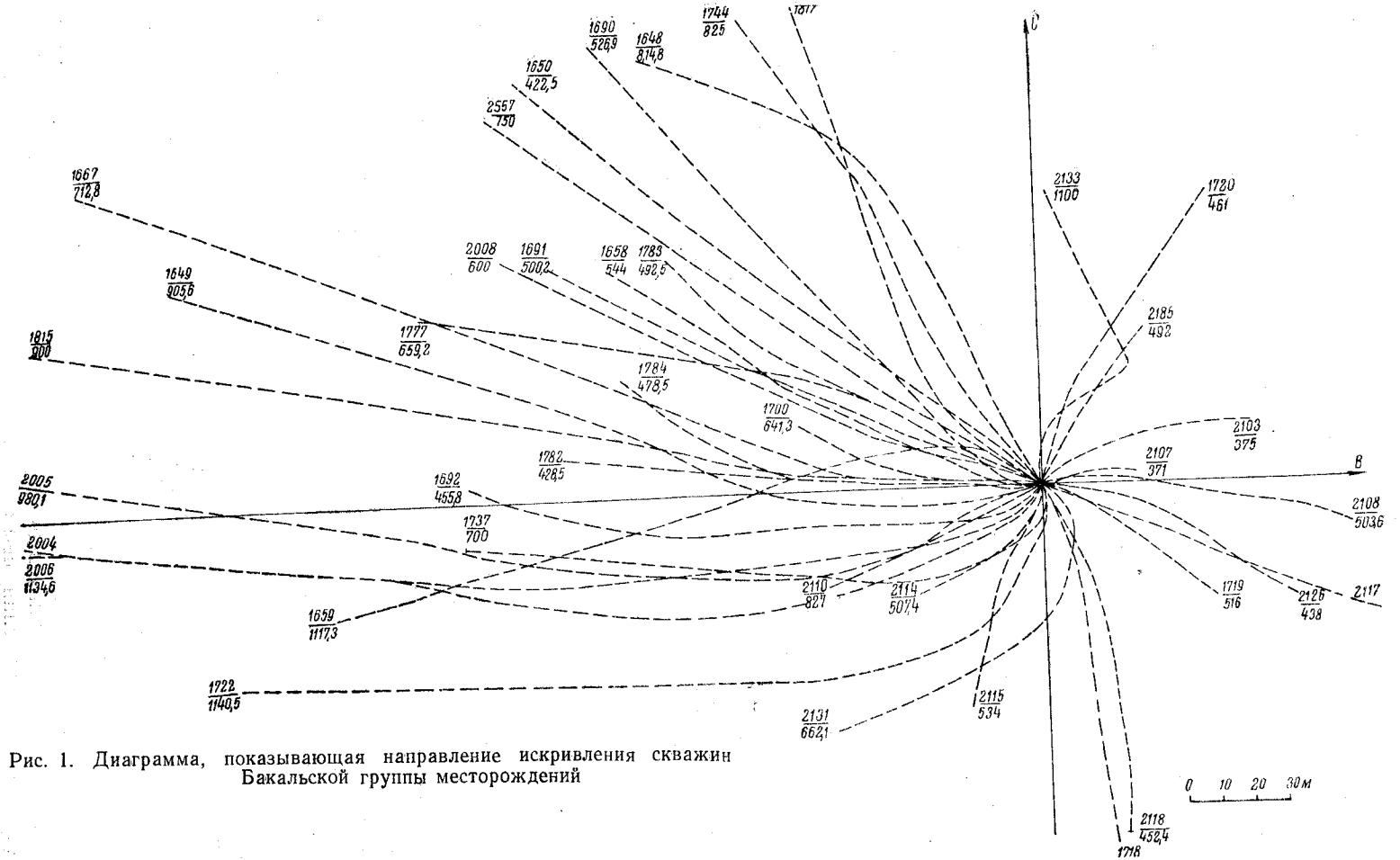


Рис. 1. Диаграмма, показывающая направление искривления скважин Бакальской группы месторождений

Эта закономерность объясняется тем, что скважины, искривившиеся до $\Theta = 10°$, приобретают какое-либо определенное направление по отношению к геологической структуре (вкрест простирания или по падению пород и пр.), угол встречи при этом становится относительно стабильным.

Изредка наблюдающиеся случаи значительных азимутальных искривлений при больших зенитных углах происходят при встрече скважинами зон тектонических нарушений или смены стратиграфических толщ резко различного литологического состава, а также при нарушении технологических условий проходки скважин.

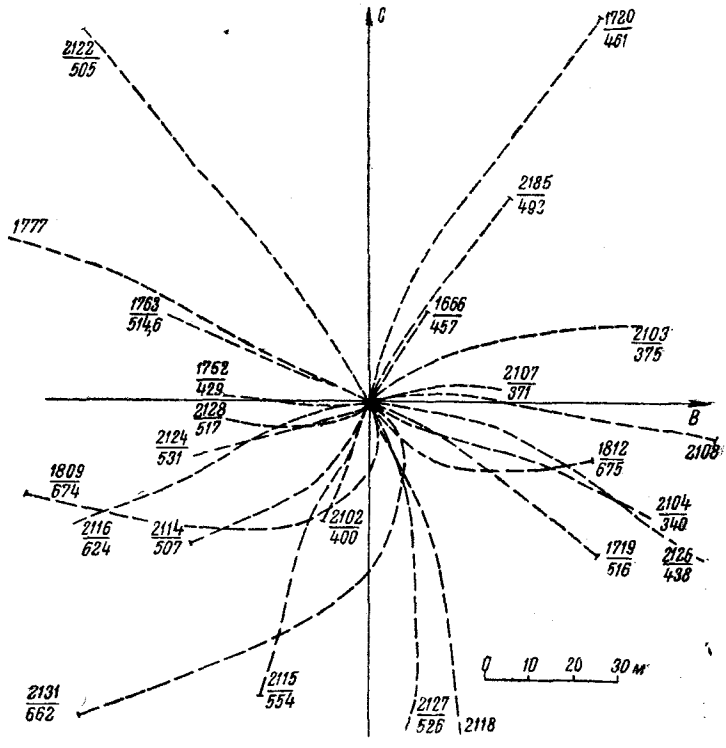


Рис. 2. Направления искривлений скважин, расположенных в пределах Шиханской синклинали

Единичные наклонные скважины, пройденные в исследуемом районе, имеют меньшую степень зенитного и азимутального искривления по сравнению с вертикально забуриваемыми. Это объясняется тем, что наклонно забуренные скважины соответствующим образом ориентируются по отношению к геологическим структурам с поверхности и поэтому с первых же метров проходки имеют более постоянные углы встречи с напластованиями пород. Скважины наклонные, но не ориентированные по отношению к геологическим структурам, могут иметь интенсивность искривления более высокую, чем вертикальные.

Физико-механические свойства горных пород при проходке колонковых скважин играют существенную роль в искривлении скважин.

Зависимость зенитного и азимутального искривления скважин от литологического состава различных стратиграфических толщ была исследована по 60 скважинам (табл. 3). Установленные закономерности свидетельствуют о том, что скважины в породах, перемежающихся по твердости, имеют значительно бóльшую интенсивность зенитного и азимутального искривления, чем скважины в однородных массивных поро-

дах. Сильно трещиноватые породы могут быть приравнены к породам перемежающейся твердости и скважины в них имеют также большую интенсивность искривления. Рассланцевание, степень метаморфизма и другие геологические факторы могут усиливать или уменьшать интенсивность искривления скважин.

Таблица 3

Индекс породы	Θ на 100 *пог. м*	α на 100 *пог. м*	$\frac{n_\Theta}{n_\alpha}$	$\frac{e_\Theta}{e_\alpha}$
zik_3	7°15′	14°30′	1	303/225
zik_2	4°15′	10°59′	3	555
zik_1	6°29′	11°04′	12/8	1651/1487
zig_2	2°23′	4°31′	24	1210,5
zig_1	2°34′	6°54′	45/42	3147/2699
zig^{baz}	5°07′	14°39′	28/20	661/411
bak_2^{4c}	4°10′	13°30′	36	2399
bak_2^{4b}	2°59′	9°00′	34	2533,9
bak_2^{4a}	3°35′	9°30′	23/21	529,5/470,5
bak_2^3	2°24′	7°49′	22/19	2468,5/1964,5
bak_2^2	4°35′	14°52′	27/20	2622,5/2232,5
bak_2^1	3°10′	10°24′	14	792
bak_1	5°02′	14°17′	10/6	1477,5/1234

Примечание. *n* и *e* — число и метраж исследованных скважин.

В общем случае причины геологического порядка можно разбить на следующие категории.

1. Положение скважин на геологической структуре.
2. Угол встречи скважины с направлением падения и простирания: а) плоскостей напластования толщ осадочного комплекса или контактов изверженных пород; б) поверхностей трещин, тектонических нарушений; в) плоскостей сланцеватости, трахитоидности.
3. Степень перемежаемости: а) пластов, зон, толщ различного литологического состава и различной твердости; б) рассланцованных и массивных пород; в) трещиноватых пород.
4. Разница в твердости перемежающихся пород.
5. Степень метаморфизма пород: а) слабая; б) сильная.
6. Наличие зон дробления, выщелачивания, окварцевания, кавернозности, твердых включений и т. д.

Установленные закономерности естественного искривления колонковых скважин в районе Бакала могут быть выражены в виде следующих простых формул:

1. Если $\frac{2}{3}\Theta + \varphi = 90°$,

где Θ — зенитный угол, *град*, $\Theta \leqslant 90°$;

φ — угол встречи оси скважины с направлением падения пород, *град*,

то скважины колонкового бурения искривляются с увеличением угла встречи.

Если $\Theta + \varphi \leqslant 90°$ при $\varphi = \frac{1}{3}\Theta$, то скважины искривляются с уменьшением угла встречи.

Выводы

1. Забуривание скважин ударно-канатным способом не избавляет их от искривления и позволяет им принимать случайные направления в пространстве.

2. Интенсивность искривления скважин в интервалах забуривания их ударно-канатным способом в основном выше, чем в равных интервалах при забуривании вращательным способом.

3. Естественное искривление скважин в районе Бакала в общем случае имеет закономерный характер.

4. Степень искривления скважин, расположенных в пределах синклинальных складок, вообще меньше, чем у скважин, расположенных в пределах антиклинальных складок.

5. Следуя установленным закономерностям естественного искривления и принимая относительно постоянные значения зенитного и азимутального искривления по различным стратиграфическим толщам района Бакала, можно задавать скважины, предопределяя их направление, т. е. осуществлять проходку по типовым кривым.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гарань М. И. Геологическое строение и полезные ископаемые Бакало-Саткинского района. Сб. «Вопросы развития Бакальской рудной базы». Изд-во АН СССР, 1957.

2. Малахов А. Е. Основные вопросы геологии Бакала. Сб. «Вопросы развития Бакальской рудной базы». Изд-во АН СССР, 1957.

3. Сергеев О. П. Геологическая изученность Бакальских месторождений и перспективы их разведки в шестой пятилетке. Сб. «Вопросы развития Бакальской рудной базы». Изд-во АН СССР, 1957.