

РАЗВЕДОЧНОЕ БУРЕНИЕ С ОТБОРОМ ОРИЕНТИРОВАННОГО КЕРНА НА УЧАСТКЕ «ЕНИСЕЙСКИЙ»: ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

О. А. Морозов

Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, Москва

Статья поступила в редакцию 27 февраля 2024 г.

Рассмотрена методическая основа и проанализированы первые результаты разведочного бурения с отбором ориентированного керна на участке размещения подземной исследовательской лаборатории (ПИЛ). Приведены данные об элементах залегания метаморфической полосчатости в гнейсах и разрывных нарушениях, анализ которых позволил сделать выводы об основных чертах складчатой и разрывной структур участка. Полученная информация имеет существенное значение для разработки его геологической модели, а также определения возможных путей миграции загрязнения.

Ключевые слова: ориентированный керн, элементы залегания, методика обработки, метаморфическая полосчатость, разрывные нарушения, радиоактивные отходы.

Введение

На участке «Енисейский», где планируется размещение ПИЛ, продолжаются геологоразведочные работы, направленные на изучение его структурно-геологических условий. Ранее было выполнено поисковое и оценочное бурение [1], а в 2023 г. на участке проведена проходка 10 наклонных разведочных скважин (С-1—С-10) глубиной по 165 м [2]. Работы выполнены Ивановской геологоразведочной экспедицией (ГРЭ) (геологи — В. В. Семеняко, С. А. Арефьев, В. Г. Голубев). Бурение произведено на площади 1,0 × 1,4 км (рис. 1).

В 2023 г. эти работы впервые производились с отбором ориентированного керна с применением системы ориентации DeviCore BBT и использованием верхней маркирующей линии. Геологами Ивановской ГРЭ выполнено более 4 100 измерений ориентировки структурных элементов

массива — метаморфической полосчатости в гнейсах, контактов геологических тел, разрывных нарушений, трещин, прожилков [2]. Это позволяет определить их реальное пространственное положение, выражаемое значениями азимута и угла падения, и существенно дополняет представления о геологическом строении участка.

Цель настоящей статьи — рассмотрение методической основы определения элементов залегания пород, трещин и разрывов по данным замеров в ориентированном керне, а также выполнение анализа пространственной ориентировки в пределах участка некоторых структурных элементов, имеющих важное значение при разработке его геологической модели: метаморфической полосчатости и разрывных нарушений.

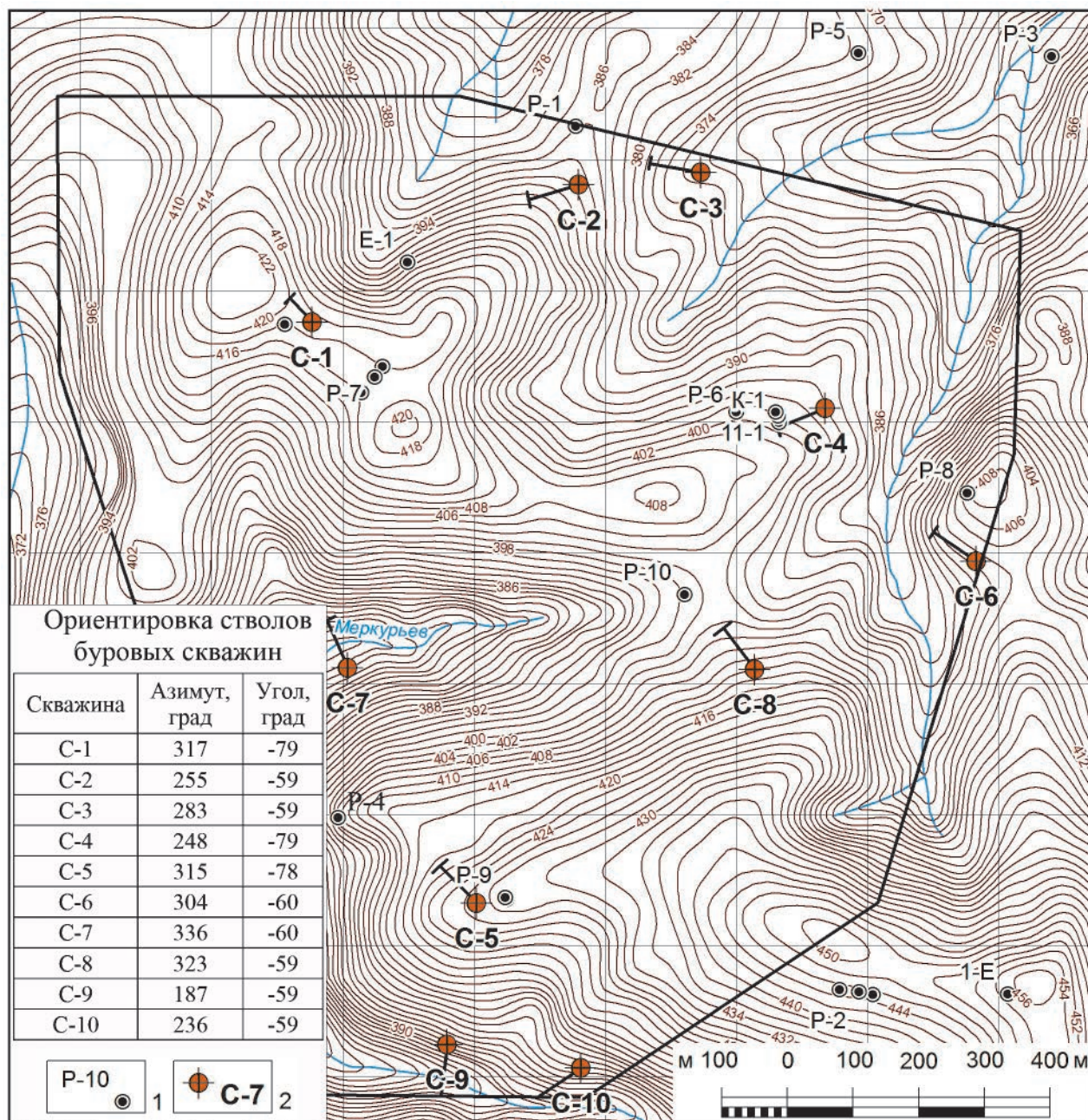


Рис. 1. Схема размещения буровых скважин на участке «Енисейский» и их номера: 1 – скважины поисковой и оценочной стадий (2003–2015 гг.), 2 – скважины разведочной стадии (2023 г.)

Обзор способов определения пространственного положения структурных элементов пород по ориентированному керну

Впервые ориентированный керн был получен в середине XIX в. при бурении скважин на угольных месторождениях. Первые устройства для его анализа появились в 1923 г. [3]. В настоящее время для определения залегания структурных элементов пород применяются несколько способов. К ним относятся натурные измерения (использование керномера), построения на стереографической сетке, аналитические и программно-аналитические вычисления.

Элементы залегания пород в скважинах могут быть оценены и с использованием геофизических методов исследования (акустического и видеокаротажа), которые не рассматриваются в этой статье.

Использование керномера основано на фиксации керна в том положении, в котором он находился в скважине. Известны различные конструкции этих приборов (КР, ПТ и др.). Фиксация керна может быть осуществлена также с помощью рамки или подручных средств. Элементы залегания структурных и текстурных элементов пород определяются с применением горного компаса [3].

Построения на стереографической сетке основаны на данных инклинометрии и полевых измерений углов α и β в керне скважин (рис. 2).

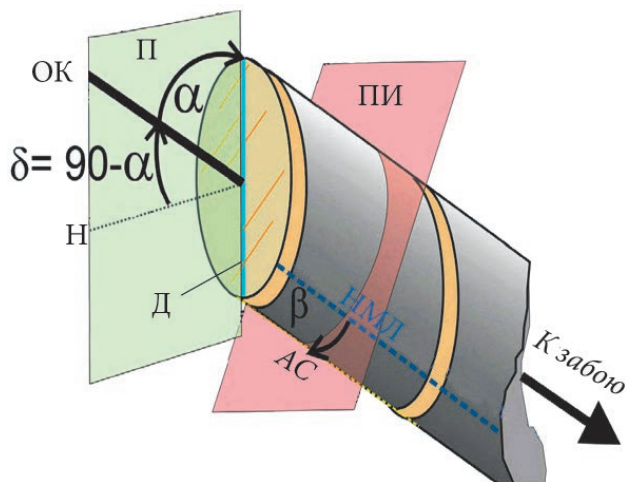


Рис. 2. Элементы керна (по [4], с изменениями): α – острый угол между плоскостью с неизвестной ориентировкой и осью керна (ОК); β – угол между маркирующей линией (НМЛ) и апикальным следом оси эллипса (АС); Д – длинная ось эллипса; Н – нормаль к искомой плоскости; П – расчетная плоскость, содержащая ОК, Д и Н; ПИ – плоскость измерения угла β

Сущность определения элементов залегания заключается в установлении ориентировки нормали к неизвестной (искомой) плоскости, что позволяет однозначно восстановить азимут и угол падения структурного элемента, используя равноугольную стереографическую проекцию (сетку) Вульфа. Наиболее известные способы предложены Р. Холкомбе [4], [5] и А. И. Родыгиным [6]. На участках с относительно простым геологическим строением, которые характеризуются устойчивыми элементами залегания слоистости, уверенно фиксируемой в керне (например, на угольных месторождениях), может применяться способ, рекомендуемый Инструкцией Минтопэнерго РФ [7]. Недостатком сеточных способов является их трудоемкость, но они с успехом применяются для контроля отдельных вычислений, произведенных другими методами.

Аналитические и программно-аналитические вычисления для определения ориентировки структурных элементов пород основаны на методах аналитической геометрии, использующих громоздкие тригонометрические формулы. Как правило, подобные расчеты лежат в основе узкоспециализированных программных продуктов или модулей компьютерных горно-геологических систем. В составе первых находятся геокалькулятор Холкомбе [5] и электронная таблица Excel®POND [8], в которой отчетливо отражена сложность проводимых вычислений и

содержится около сотни расчетных и логических полей. Наиболее эффективно определение элементов залегания по ориентированному керну осуществляется средствами горно-геологических систем Micromine или Leapfrog Geo, позволяющими обрабатывать большие массивы данных.

Анализ условий залегания некоторых структурных элементов пород на участке «Енисейский»

На исследуемом участке под чехлом рыхлых отложений разведочными скважинами вскрыты архейские гнейсы и прорывающие их образования дайковых комплексов. Последние представлены рифейскими массивными метадолеритами токминского (по [9]), позднерифейскими порфировыми долеритами шишинского (по [10]) комплексов, а также наиболее молодыми лампрофирами [2]. Развитые на участке разновидности долеритов ранее выделялись в качестве даек первого и второго этапов [1]. Возраст лампрофиров в районе работ не установлен. Различные авторы рассматривают эти породы в регионе как позднепалеозойские или мезозойские (триас – ранний мел) образования [11], [12]. Стволовая мощность даек, вскрытых скважинами С-1–С-10, составляет 0,1–27,6 м, местами (скв. С-8) развиты их пакеты стволовой мощностью до 60 м, сложенные разновозрастными дайковыми телами.

Определение ориентировки структурных элементов пород на участке «Енисейский» выполнено средствами Micromine. Дальнейшая обработка и анализ элементов залегания метаморфической полосчатости и разрывных нарушений произведены путем построения структурных диаграмм с использованием стереографической проекции Вульфа.

Метаморфическая полосчатость в гнейсах образована неявно выраженным распределением минералов, скоплениями ориентированных чешуек биотита и местами подчеркивается согласными мигматитовыми инъекциями [1], [2]. Направление полосчатости отражает синметаморфические складчатые деформации пород, о характере которых в настоящее время имеются только скудные сведения.

Построение структурной диаграммы сводится к нанесению на стереографическую проекцию точек полюсов полосчатости (п-полюсов), отражающих пространственное положение (т. е. азимут и угол падения) этого элемента в каждой точке измерения. Полученная диаграмма характеризуется поясным расположением полюсов, маркируемым дугой большого круга (черная

пунктирная линия), проходящей через точки максимальной плотности M1 и M2 (рис. 3). В данном случае пояс является неполным, широким и асимметричным, т. е. не прослеживается вдоль всей дуги большого круга, имеет существенный разброс точек в стороны от осевой части и смещен относительно центра сетки в северо-западном направлении.

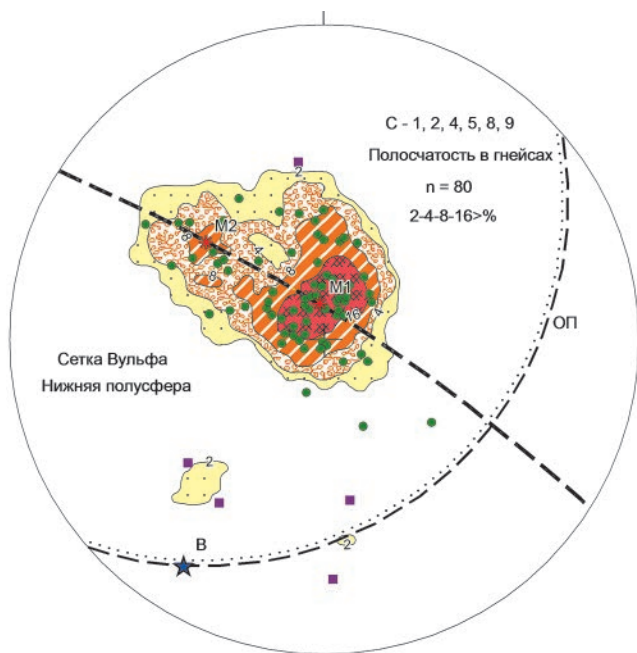


Рис. 3. Структурная диаграмма π -полюсов полосчатости в гнейсах участка «Енисейский»: сетка Вульфа – нижняя полусфера; точки зеленого цвета – полюса полосчатости, фиолетового цвета – то же, не входящие в состав пояса точек; M1, M2 – максимумы плотности точек; В – шарнир, ОП – осевая плоскость складки

Информативность подобных диаграмм подробно рассмотрена в ряде работ [13]–[16]. В частности, поясное распределение π -полюсов указывает на развитие в породах цилиндрических складок, а длина пояса, симметричность или асимметричность его строения, наличие максимумов, характер разброса точек позволяют судить о морфологии складчатой структуры – ориентировке крыльев, осевой плоскости и шарнира складки, степени ее сжатия, вариациях положения шарнира. Согласно этим представлениям, диаграмма π -полюсов метаморфической полосчатости в гнейсах участка «Енисейский» свидетельствует о том, что в породах развиты закрытые опрокинутые складки, крылья которых статистически отвечают положению максимумов M1 и M2 и падают соответственно в юго-юго-восточном (ЮЮВ) и юго-восточном (ЮВ) направлениях. Осевая плоскость складок наклонена к юго-востоку (ЮВ) под углом около 30°. Угол между их крыльями составляет около 65°.

Шарнир складки (точка В на рис. 3) располагается перпендикулярно к поясу, полого погружается на юго-запад (ЮЗ) и испытывает местами продольное изгибание (ундуляцию) (табл. 2).

Отдельные измерения показывают крутое, (55–75)°, падение метаморфической полосчатости (скв. С-9, единичные точки – в скв. С-2, С-8). Соответствующие им отметки фиолетового цвета на диаграмме располагаются вне пояса. Их положение обусловлено, по-видимому, прирывными деформациями гнейсов или ошибками в полевых измерениях.

Таблица 2. Ориентировка элементов складок в гнейсах

Структурный элемент	Азимут простирания, град.	Азимут падения, град.	Угол падения, град.	
Крылья	Максимум M1	В 82	Ю 172	13
	Максимум M2	СВ 40	ЮВ 130	52
Шарнир	Точка В	Азимут погружения ЮЗ 210	10	

Поясное расположение π -полюсов формируется независимо от того, развита ли на площади одна крупная складка или множество мелких [14], поэтому положение точки В на диаграмме может отвечать как шарниру первой, так и представлять усредненную ориентировку последних. Учитывая, что в пределах участка точки измерения распределены в скважинах не только по площади, но и по глубине, а наблюдения произведены по редкой и неравномерной сети, в настоящее время можно говорить лишь об общем характере складчатой структуры гнейсов, но не провести ее картирование. Развитие в породах мелких складок подтверждается наблюдениями на дневной поверхности в 6 км к ЮЗ от участка (рис. 4).



Рис. 4. Мелкая ныряющая складка в гнейсах. Обнажение на правом борту руч. Байкал. Фото автора. ОП – осевая плоскость складки

Разрывные нарушения охарактеризованы элементами их залегания в скважинах С-2, С-4, С-5, С-8. В керне они представлены маломощными тектоническими швами и более протяженными по стволам скважин тектоническими зонами.

Тектонические швы имеют стволую мощность 0,1–0,9 м, элементы их залегания фиксируются уверенно. По данным геологической и фотодокументации, они выражены зонами милонитизации, расланцевания, катаклаза, дробления, брекчирования, в которых обломки связаны перетертыми боковыми породами. В зонах брекчирования нередко фиксируется повторное дробление, отмечаются трещины с глиной трения. Тектонические швы пересекают гнейсы и все дайковые образования участка. В отдельную категорию выделены тектонические швы, приуроченные к контактам геологических тел.

Тектонические зоны, в которых измерены элементы залегания, характеризуются стволую мощностью до 6,0 м и представлены теми же типами тектонитов, что и тектонические швы. В составе обломков присутствуют как гнейсы, так и дайковые образования, которые цементируются теми же неравномерно перетертыми (катаклазированными) породами, а позднее — дробятся с последующей цементацией светлым карбонатом, пересекаются тонкими разноориентированными карбонатными и кварцево-карбонатными прожилками, сопровождаются проявлениями позднего калиевого метасоматоза.

Это показывает, что по крайней мере некоторые тектонические зоны представляют собой подновленные дизъюнктивные структуры, которые часто сопровождаются повышенной трещиноватостью пород. Иногда на поверхности трещин проявлены зеркала скольжения сдвиговой кинематики [2]. В связи с увеличенными значениями стволую мощности и количеством трещин, элементы залегания тектонических зон определяются менее уверенно и могут быть скорректированы в процессе увязки геологических разрезов между различными скважинами. Тектонические зоны зафиксированы среди всех видов пород.

Структурная диаграмма полюсов разрывных нарушений позволяет выделить в их составе несколько статистических максимумов концентрации, группирующихся в самостоятельные пояса П-1, П-2 и П-3, которым соответствуют бета-оси (нормали к поясам) В1, В2 и В3 (рис. 5, табл. 3).

Существование поясов указывает на то, что в пределах каждого из них поверхности разрывных нарушений имеют различную ориентировку, но объединяются общим направлением соответствующей бета-оси. Структурный смысл этих элементов заключается в определении направления движения масс при формировании структурного пояса [17]. В частности, ось пояса В параллельна поверхности сместителя и перпендикулярна к создаваемой трещиноватости направлению движения по нему. Это означает, что

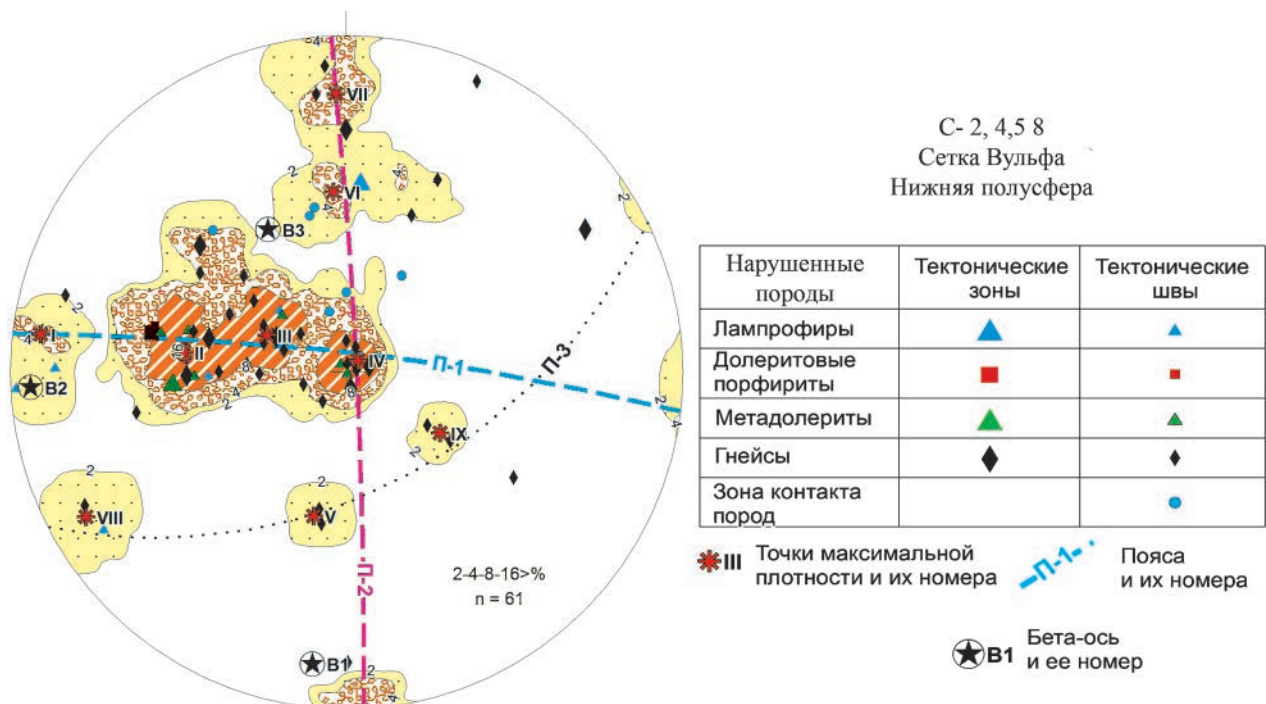


Рис. 5. Структурная диаграмма полюсов разрывных нарушений

Таблица 3. Элементы залегания разрывных нарушений по данным ориентированного керна

Скважина	От, м	До, м	Длина, м	Глубина точки измерения, м	Нарушенные породы	Масштаб тектонических нарушений	Тип разрушения пород	Альфа, град.	Бета, град.	Азимут падения, град.	Угол падения, град.
Максимум I											
C-2	42,4	42,5	0,1	42,4	Гнейсы	Ш	К, Г	32	220	105,9	82,0
C-8	130,4	131,2	0,8	130,5	Лампрофиры	Ш	Д	25	120	91,6	82,3
				130,6	Лампрофиры	Ш	Д	18	120	88,5	88,6
Максимум II											
C-2	109,4	115,4	6,0	112,0	Гнейсы	ТЗ	К, Т	62	237	106,1	50,8
				112,7	Гнейсы		К, Т	68	210	89,8	50,6
C-4	64,7	65,1	0,4	64,6	Гнейсы	Ш	Д	35	192	80,3	64,9
C-5	57,7	57,9	0,2	57,7	Гнейсы	Ш	К	56	129	91,7	42,3
	82,3	87,3	5,0	83,1	Гнейсы	ТЗ	К, Д	55	155	105,1	45,8
	152,9	155,6	2,7	154,3	Метадолериты	ТЗ	К, Д	42	120	87,7	54,7
	155,6	155,7	0,1	155,3	Метадолериты	Ш	М	48	122	90,2	49,2
	155,7	156,7	1,0	155,9	Метадолериты	Ш	Р, Д	48	142	106,5	51,9
156,3				Метадолериты	Ш	Р, Д	40	140	102,9	59,6	
C-8	50,0	50,3	0,3	50,3	Контакт пород	Ш	М	60	172	137,4	60,7
	50,25	53,7	3,45	50,4	Гнейсы	ТЗ	К, Д	60	160	130,6	59,9
				50,5	Гнейсы	Ш	К, Д	63	148	125,0	55,5
	58,4	60,4	2,0	58,6	Долериты	ТЗ	К, Д	50	120	102,3	60,6
				58,6	Долериты	Ш	М	50	122	103,5	61,2
				58,7	Долериты	Ш	Б, Д	50	123	104,2	61,5
				58,8	Долериты	Ш	Б, Д	50	120	102,3	60,6
130,4	131,2	0,8	131,1	Лампрофиры	Ш	М	55	90	90,0	45,2	
Максимум III											
C-4	138,7	138,8	0,1	138,7	Гнейсы	Ш	М	70	220	90,6	28,9
				138,8	Гнейсы	Ш	М	65	225	96,5	33,3
C-5	29,1	29,3	0,2	29,1	Гнейсы	Ш	К	77	145	112,5	23,3
				29,3	Гнейсы	Ш	Д, Р	80	180	131,4	21,4
	58,6	58,8	0,2	58,7	Гнейсы	Ш	Д	71	148	110,6	29,7
	60,7	60,9	0,2	60,7	Гнейсы	Ш	К	70	165	120,3	31,6
	82,3	87,3	5,0	85,4	Гнейсы	Ш	К, Д	63	182	127,7	38,6
	92,0	93,1	1,1	92,2	Гнейсы	ТЗ	К, Д, Р	74	155	117,5	27,1
	116,5	116,8	0,3	116,8	Гнейсы	Ш	Д	56	170	134,1	45,8
C-8	28	30,3	2,3	28,1	Гнейсы	Ш	К	70	120	117,5	43,4
	43,5	45,0	1,5	45,0	Метадолериты	Ш	Р	85	72	133,3	29,7
	130,4	131,2	0,8	131,0	Лампрофиры	Ш	Д	85	90	134,2	31,0
Максимум IV											
C-2	30,0	30,2	0,2	30,0	Гнейсы	Ш	Д	54	345	197,2	10,3
	48,4	48,7	0,3	48,7	Гнейсы	Ш	Д	70	20	43,3	12,4
	109,4	115,4	6,0	115,3	Контакт пород	Ш	М	45	320	179,6	27,8
				115,4	Контакт пород	Ш	М	54	320	162,8	22,3
C-4	86,7	88,2	1,5	86,8	Гнейсы	ТЗ	К	72	0	247,0	7,7

Окончание таблицы 3

Скважина	От, м	До, м	Длина, м	Глубина точки измерения, м	Нарушенные породы	Масштаб тектонических нарушений	Тип разрушения пород	Альфа, град.	Бета, град.	Азимут падения, град.	Угол падения, град.
С-5	63,6	63,8	0,2	63,6	Гнейсы	Ш	Д	77	349	241,6	2,6
	82,3	87,3	5,0	83,3	Гнейсы	Ш	К	53	280	209,3	36,6
				85,5	Гнейсы	Ш	К	80	345	178,6	3,3
	90,4	90,5	0,1	90,4	Гнейсы	Ш	К	80	290	178,6	12,5
	98,4	99,8	1,3	99,6	Гнейсы	ТЗ	К, Д	73	8	349,1	5,4
122,8	123,0	0,2	123,0	Гнейсы	Ш	К	75	68	77,6	15,2	
С-8	43,5	45,0	1,5	44,2	Метадолериты	Ш	Д, М	60	358	192,6	1,3
				44,3	Метадолериты	Ш	Д, М	63	358	156,4	4,0
Максимум V											
С-8	158,7	158,8	0,1	158,7	Гнейсы	Ш	Р	22	34	12,4	44,0
				158,8	Гнейсы	Ш	Р	18	34	10,1	47,6
Максимум VI											
С-2	57,8	58,0	0,2	57,9	Контакт пород	Ш	Р	33	290	167,1	52,0
				58,0	Контакт пород	Ш	Р	30	290	169,3	54,5
С-5	122,8	122,9	0,1	122,8	Гнейсы	Ш	К	42	247	202,2	53,5
С-8	36,0	38,3	2,3	37,2	Лампрофиры	ТЗ	Д, М	50	240	183,6	60,3
С-8	50,3	53,7	3,4	53,7	Гнейсы	Ш	Б, Д	35	260	204,7	65,2
Максимум VII											
С-5	116,5	116,8	0,3	116,6	Гнейсы	Ш	Д	0	38	0,2	80,6
С-8	28,0	30,3	2,3	28,1	Гнейсы	ТЗ	К, М	40	229	180,3	72,4
	50,3	53,7	3,5	53,3	Гнейсы	Ш	Б, Д	30	220	176,0	85,0
				53,4	Гнейсы	Ш	Б, Д	35	220	174,3	80,2
Максимум VIII											
С-8	117,0	120,2	3,2	117,0	Гнейсы	ТЗ	Д	7	280	239,0	78,9
				120,2	Гнейсы	Ш	Д	12	95	64,4	82,2
	132,1	132,2	0,1	132,1	Лампрофиры	Ш	М	10	89	58,3	80,9
Максимум IX											
С-5	79,7	80,1	0,4	80,1	Гнейсы	Ш	К, Д	38	0	303,1	40,4
С-8	28,0	30,3	2,3	28,2	Гнейсы	Ш	К, М	2	342	302,0	59,5
				28,3	Гнейсы	Ш	К, М	30	348	302,5	30,9

ТЗ – тектоническая зона, Ш – тектонический шов, Б – брекчия тектоническая, К – катаклаз, Д – дробление, М – милонитизация, Р – расланцевание, Г – глина трения.

Максимумы I–IX показаны на структурной диаграмме (см. рис. 5).

в составе поясов нарушения, согласные с осью В, играют роль основных, несогласные – дополнительных (оперяющих) [18].

Их наличие позволяет выделить в пределах участка 3 ассоциации разрывных нарушений: субмеридиональную (максимумы I–III, пояс П-1, ось В1), субширотную (максимумы V–VII, пояс П-2, ось В2) и диагональную

(максимумы VIII–IX, пояс П-3, ось В3). В составе первой ассоциации ведущую роль играют разрывные нарушения, падающие на восток (В) под углами (50–85)°, второй – нарушения с южным (Ю) направлением падения под углами (55–80)°, третья образована менее развитыми разрывами северо-западного (СЗ) и северо-восточного направлений (СВ) (табл. 4).

Таблица 4. Ориентировка элементов разрывных нарушений

Пояса и максимумы плотности					Бета-оси		
Пояс	Максимум	Азимут простирания, град.	Азимут падения, град.	Угол падения, град.	Номер	Азимут погружения, град.	Угол, град.
П-1	I	С 07	В 97	85	В1	Ю 188	8
	II	С 07	В 97	52			
	III	СВ 25	ЮВ 115	30			
П-2	V	СЗ 282	СВ 12	47	В2	З 267	3
	VI	В 85	Ю 175	56			
	VII	В 88	Ю 178	80			
П-3	VIII	СЗ 330	СВ 60	82	В3	СЗ 333	38
	IX	СВ 34	СЗ 304	36			
?	IV	СЗ 283	ЮЗ 193	4	-	-	-

Полого залегающие разрывные нарушения, образующие на диаграмме максимум IV, в геологической структуре участка «Енисейский» ранее не выделялись. Они отвечают, вероятно, отражающему горизонту ОГ-3, выделенному в 2005 г. по результатам сейсморазведочных работ МОГТ-3Д на глубине 130–210 м [19]. Имеющиеся данные пока не позволяют отнести их к какой-либо ассоциации, и они требуют дополнительного изучения.

Совместное рассмотрение складчатой и разрывной структур (см. рис. 3 и 5) показывает, что проявленные в керне разрывные нарушения косо секут складки и не связаны во времени с пликативными деформациями гнейсов, а сформировались существенно позже, испытав еще более позднее обновление.

Выводы

1) Определение элементов залегания пород по данным ориентированного бурения основано на натуральных, сеточных и программно-аналитических методах. Большие массивы данных обрабатываются средствами горно-геологических систем (Micromine, Learfrog Geo). При обработке немногочисленных измерений или в качестве контрольных определений используются натурные или сеточные способы, а также узкоспециализированные программные продукты (таблицы, калькуляторы).

2) Первые результаты обработки данных ориентированного бурения позволяют дополнить характеристику геологической структуры участка размещения ПИЛ. Она образована опрокинутыми складками северо-западной вергентности, разбитыми разрывными нарушениями.

Доминируют дизъюнктивы ортогональной ориентировки при подчиненном значении крупных трещин северо-восточного и северо-западного направлений. Выделяются пологозалегающие нарушения, роль которых остается неясной.

3) В строении разрывных структур проявлены следы тектонического подновления, в оценке времени которого существенное значение имеет возраст лампрофиров как наиболее молодых (и нарушенных) магматических образований, требующих изучения петрографического, химического состава и времени их формирования.

4) Разрывные структуры, представляющие собой зоны нарушенных и метасоматически измененных пород, играют важную роль в миграции радионуклидов, как способствуя, так и препятствуя ей, в зависимости от механического состояния тектонитов, вещественного состава приуроченных к ним метасоматитов и характера напряженного состояния участка недр.

5) Разведочное бурение с отбором ориентированного керна существенно дополняет представления о геолого-структурных условиях участка размещения ПИЛ, его результаты будут использованы при уточнении геологической модели.

Благодарности

Автор благодарит Д. В. Сивкова за ценные замечания в ходе подготовки методической части работы.

Литература

1. Караулов В. А., Заблоцкий К. А. Геологическое доизучение (оценочная стадия) горного массива участка «Енисейский» для обоснования

- расширения интервала захоронения радиоактивных отходов до глубин 450–525 метров (+5 – –70 м БС) объектов окончательной изоляции радиоактивных отходов (Красноярский край, Нижне-Канский массив). — Красноярск, ОАО «Красноярскгеология», 2015.
2. *Пушкарева О. В., Семеняко В. В., Арефьев С. А. и др.* Сооружение картировочно-наблюдательных скважин на лицензионном участке филиала «Железногорский» ФГУП «НО РАО» (ЗАТО Железногорск, Красноярский край). — Красноярск, АО «Красноярскгеология», 2023.
3. *Нескоромных В. В.* Направленное бурение и основы кернометрии. — Красноярск, СФУ, 2015. 336 с.
4. *Holcombe R.* Mapping and Structural Geology in Mineral Exploration, 2016. — URL: <https://www.holcombe.net.au/book/rodh-book.html> (дата обращения: 08.12.2023).
5. *Holcombe R.* Oriented drillcore: measurement, conversation and QA/QC procedures for structural and exploration geologists. Last modified May 2023. — URL: <https://www.hcovglobal.com/> (дата обращения: 02.03.2024).
6. *Родыгин А. И.* Сборник задач по структурной геологии. — Томск, Томский гос. ун-т, 2002. 74 с.
7. Инструкция по геологическим работам на угольных месторождениях Российской Федерации. Введена в действие Первым заместителем Министра топлива и энергетики РФ 23.07.1993 г. № Е-4775.
8. *Stanley C. R., Hooper J. J.* POND: A Microsoft Excel Spreadsheet to Obtain Structural Attitudes of Planes from Oriented Drillcore // *Computers and Geosciences*. 2003. Vol. 29. Iss. 4. Pp. 531–537. DOI: 10.1016/S0098-3004(03)00033-5. — URL: https://www.researchgate.net/publication/240919540_POND_an_Excel_spreadsheet_to_obtain_structural_attitudes_of_Planes_from_Oriented_Drillcore (дата обращения: 02.03.2024).
9. *Парфенов Ю. И., Гончаров Ю. И.* Геологическая карта СССР масштаба 1:200 000. Серия Енисейская. Лист О-46-XXV. Объяснительная записка. — М.: Недра, 1967. 74 с.
10. *Зуев В. К., Качевский Л. К., Качевская Г. И. и др.* Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000 000. (третье поколение). Серия Ангаро-Енисейская. Лист О-46. Красноярск. Объяснительная записка. — СПб.: ВСЕГЕИ, 2009. 500 с.
11. *Махлаев М. Л., Комаров В. В.* Легенда Ангаро-Енисейской серии Государственной геологической карты Российской Федерации. Масштаб 1:1000 000 (третье издание) / Гл. ред. Глухов Ю. С. — Красноярск, ОАО «Красноярскгеолсъемка», 2008.
12. *Тимашиков А. Н., Лебедев П. Б., Капитонов И. Н. и др.* Новые данные о возрасте вулканогенных образований основного состава Восточного Саяна // *Отечественная геология*. 2010. № 6. С. 61–64.
13. *Казачков А. Н.* Деформации и наложенная складчатость в метаморфических комплексах. — Л.: Наука, 1976. 238 с.
14. *Вознесенский В. Д., Горлов Н. В., Доливо-Добровольский А. В. и др.* Геологическая съемка сложно дислоцированных комплексов. — Л.: Недра, 1980. 239 с.
15. *Кирмасов А. Б.* Основы структурного анализа. — М.: Научный мир, 2011. 368 с.
16. *Ramsay J. G., Huber M. I.* The techniques of modern structural geology. Volume 2: Folds and Fractures. — Academic Press, 1987. 405 p.
17. *Родыгин А. И.* Методы стрейн-анализа. — Томск, Изд-во Томского университета, 2006. 168 с.
18. *Данилович В. Н.* Метод поясов в исследовании трещиноватости, связанной с разрывными смещениями: Методическое руководство. — Иркутск, 1961. 48 с.
19. *Москалишин В. С., Старицына Л. И.* Комплексная геофизическая оценка геолого-тектонических условий участка «Енисейский» Нижнеканского гранитоидного массива. — Железногорск, КГПИИ «ВНИПИЭТ», 2005.

Информация об авторе

Морозов Олег Анатольевич, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (115191, Москва, Большая Тульская ул., д. 52), e-mail: oam55@yandex.ru.

Библиографическое описание статьи

Морозов О. А. Разведочное бурение с отбором ориентированного керна на участке «Енисейский»: первые результаты // *Радиоактивные отходы*. 2024. № 2 (27). С. 69–79. DOI: 10.25283/2587-9707-2024-2-69-79.

EXPLORATORY DRILLING WITH ORIENTED CORE SAMPLING AT THE YENISEISKY SITE, THE FIRST RESULTS

Morozov O. A.

Nuclear Safety Institute of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Article received on February 27, 2024

The paper considers the methodological basis and the first results of exploratory oriented core drilling performed at the site of the underground research laboratory (URL). It presents dip and strike data on metamorphic banding in gneiss and discontinuous faults. Based on these data, the study draws conclusions about the main features of the folded and discontinuous structures available at the site. The resulting insights are essential for the development of a geological site model, as well as forecasting potential contaminant spread.

Keywords: oriented core, elements of occurrence, processing technique, metamorphic banding, discontinuous disturbances, radioactive waste.

Acknowledgments

The author would like to thank D. V. Sivkov for his valuable comments expressed during the preparation of the methodological part of the study.

References

1. Karaulov V. A., Zablotsky K. A. *Geologicheskoye doizucheniye (otsnochnaya stadiya) gornogo massiva uchastka "Yeniseyskiy" dlya obosnovaniya rasshireniya intervala zakhoroneniya radioaktivnykh otkhodov do glubin 450–525 metrov (+5 – –70 m BS) ob'yektov okonchatel'noy izolyatsii radioaktivnykh otkhodov (Krasnoyarskiy kray, Nizhne-Kanskiy massiv)* [Additional geological study (assessment stage) of the Yeniseyskiy site and its mountain range supporting the decision on expanding the RW disposal interval to a depth of 450–525 meters (+5 – –70 m BS) for the final RW disposal facilities (Krasnoyarsk Territory, Nizhnekanskiy massif)]. Krasnoyarsk, JSC Krasnoyarskgeology, 2015.

2. Pushkareva O. V., Semenyako V. V., Arefiev S. A. et al. *Sooruzheniye kartirovochno-nablyudatel'nykh skvazhin na litsenziyom uchastke filiala "Zheleznogorskiy" FGUP "NO RAO" (ZATO Zheleznogorsk, Krasnoyarskiy kray)* [Construction of mapping and observation wells at the licensed area of the NO RAO's Zheleznogorskiy branch (Zheleznogorsk restricted administrative and territorial entity, Krasnoyarsk Territory)]. Krasnoyarsk, JSC Krasnoyarskgeology, 2023.

3. Neskoromnykh V. V. *Napravlennoye bureniye i osnovy kernometrii* [Controlled drilling and basic core measurements]. Krasnoyarsk, Siberian Federal University Publ., 2015. 336 p.

4. Holcombe R. *Mapping and Structural Geology in Mineral Exploration*, 2016. — URL: <https://www.holcombe.net.au/book/rodh-book.html> (accessed on: 08.12.2023).

5. Holcombe R. *Oriented drillcore: measurement, conversation and QA/QC procedures for structural and exploration geologists*. Last modified May 2023. — URL: <https://www.hcovglobal.com/> (accessed on: 02.03.2024).

6. Rodygin A. I. *Sbornik zadach po strukturnoy geologii* [Collection of problems on structural geology]. Tomsk, Tomsk State University Publ., 2002. 74 p.

7. *Instruktsiya po geologicheskim rabotam na ugol'nykh mestorozhdeniyakh Rossiyskoy Federatsii* [Guide for geological explorations in coal deposits of the Russian Federation]. Enacted by the First Deputy Minister of Fuel and Energy of the Russian Federation on July 23, 1993 No. E-4775.

8. Stanley C. R., Hooper J. J. *POND: A Microsoft Excel Spreadsheet to Obtain Structural Attitudes of Planes from Oriented Drillcore*. *Computers and Geosciences*, 2003, vol. 29, iss. 4, pp. 531–537. DOI: 10.1016/S0098-3004(03)00033-5. — URL: https://www.researchgate.net/publication/240919540_POND_an_Excel_spreadsheet_to_obtain_structural_attitudes_of_Planes_from_Oriented_Drillcore (accessed on: 02.03.2024).

9. Parfenov Yu. I., Goncharov Yu. I. *Geologicheskaya karta SSSR masshtaba 1:200 000. Seriya Yeniseyskaya* [Geological map of the USSR, scale 1:200,000. Yenisei series]. Sheet O-46-XXV. Explanatory letter. Moscow, Nedra Publ., 1967. 74 p.

10. Zuev V. K., Kachevsky L. K., Kachevskaya G. I. et al. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii* [State geological map of the Russian Federation]. Scale 1:1000 000 (third generation). Angara-Yenisei series. Sheet O-46. Krasnoyarsk. Explanatory letter. Saint-Petersburg, VSEGEI Publ., 2009. 500 p.

11. Makhlaev M. L., Komarov V. V. *Legenda Angaro-Yeniseyskoy serii Gosudarstvennoy geologicheskoy karty Rossiyskoy Federatsii* [State Geological Map of the Russian Federation: legend for the Angara-Yenisei series]. Scale 1 : 1000000 (third edition). Ch. ed. Glukhov Yu. S. Krasnoyarsk, OJSC Krasnoyarskgeolsemka Publ., 2008.
12. Bogomolov E. S., Timashkov A. N., Lebedev P. B. et al. Novyye dannyye o vozraste vulkanogennykh obrazovaniy osnovnogo sostava Vostochnogo Sayana [New Age Data for Basic Volcanites from Eastern Sayan]. *Otechestvennaya geologiya — National Geology*, 2010, no. 6, pp. 61–64.
13. Kazakov A. N. *Deformatsii i nalozhennaya skladchatost' v metamorficheskikh kompleksakh* [Deformations and superimposed folding in metamorphic complexes]. Leningrad, Nauka Publ., 1976. 238 p.
14. Voznesensky V. D., Gorlov N. V., Dolivo-Dobrovolsky A. V. et al. *Geologicheskaya s"yemka slozhno dislotsirovannykh kompleksov* [Geological survey of complexly dislocated complexes]. Leningrad, Nedra Publ., 1980. 239 p.
15. Kirmasov A. B. *Osnovy strukturnogo analiza* [Fundamentals of structural analysis]. Moscow, Nauchnyy mir Publ., 2011. 368 p.
16. Ramsay J. G., Huber M. I. *The techniques of modern structural geology*. Volume 2: Folds and Fractures. Academic Press Publ., 1987. 405 p.
17. Rodygin A. I. *Metody streyn-analiza* [Strain analysis methods]. Tomsk, Tomsk University Publishing House Publ., 2006. 168 p.
18. Danilovich V. N. *Metod poyasov v issledovanii treshchinovatosti, svyazannoy s razryvnymi smeshcheniyami: Metodicheskoye rukovodstvo* [Belt method in the study of fractures associated with discontinuous displacements: methodological guidelines]. Irkutsk, 1961. 46 p.
19. Moskalishin V. S., Staritsyna L. I. *Kompleksnaya geofizicheskaya otsenka geologo-tektonicheskikh uslovii uchastka "Yeniseiskiy" Nizhnekanskogo granitoidnogo massiva* [Comprehensive geophysical assessment of the geological and tectonic conditions at the Yeniseiskiy site of the Nizhnekansk granitoid massif]. Zheleznogorsk, KGPII VNIPIET Publ., 2005.

Information about the author

Morozov Oleg Anatolyevich, PhD in Geological and Mineralogical Sciences, Senior Researcher, Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (52, Bolshaya Tulskaaya st., Moscow, 115191, Russia), e-mail: oam55@yandex.ru.

Bibliographic description

Morozov O. A. Exploratory Drilling with Oriented Core Sampling at the Yeniseisky Site, the First Results. *Radioactive Waste*, 2024, no. 2 (27), pp. 69–79. DOI: 10.25283/2587-9707-2024-2-69-79. (In Russian).