

Л.Г. Нерадовский, Л.Л. Федорова

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ОСАДОЧНЫХ И ИНТРУЗИВНЫХ ПОРОД В КРИОЛИТОЗОНЕ ЮЖНОЙ ЯКУТИИ МЕТОДОМ ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ

В сложных горно-геологических и мерзлотных условиях Южной Якутии, впервые в расширенном виде изучены статистические связи скорости распространения и затухания сигналов георадиолокации с прочностью разных типов пород. Полученные результаты свидетельствуют о ранее неизвестной способности метода георадиолокации с приемлемой для практики точностью количественно оценивать прочность массивов пород. Тем самым созданы предпосылки эффективного применения метода георадиолокации в стройиндустрии и горнодобывающей промышленности с целью классификации массивов пород по категориям прочности на всех стадиях проектно-изыскательских работ.

Ключевые слова: породы, прочность, скорость, затухание, георадиолокация, скважины, уравнения, ошибки.

Введение

Изучение свойств пород методом георадиолокации относится к задачам высшей категории сложности. В обычном методическом исполнении метода их решение невозможно из-за непредсказуемости интерпретационных решений, принимаемых по одно-разовым записям сигналов стохастической природы. Решения становятся устойчивыми при применении нового способа георадиолокации¹. В статье приводится результат изучения им одной из важнейших характеристик физико-механических свойств пород – прочности. Этот результат расширяет представления о возможностях георадиолокации, впервые полученные в 2004 г. [3].

Цель и задача исследований

Цель статьи – поделиться редким опытом петрофизических исследований в части сопоставления результатов георадиолокационных зондирований в точках скважин и лабораторных определений прочности пород по керну скважин². В задачу исследований входило провести статанализ геолого-геофизических характеристик, изучить их связи и оценить точность вычисления среднего показателя прочности по данным георадиолокации.

Район и объекты исследований

Исследования связи волновых характеристик с прочностной характеристикой пород выполнялись по архивным материалам изыскательских работ,

¹ Способ прошел успешную апробацию в криолитозоне Якутии и запатентован [5].

² Изучалась характеристика прочности на одноосное сжатие в водонасыщенном состоянии. Эта характеристика более важна, чем характеристика прочности в сухом состоянии, так как несет информацию о тех потенциально неблагоприятных условиях, которые могут образоваться на стадии строительства и эксплуатации зданий и сооружений при появлении в их грунтовом основании воды техногенного или природного происхождения.

полученных в 80–90-х годах прошлого столетия в Южной Якутии³. Эта территория сложена осадочными и интрузивными породами. На водоразделах они перекрыты слоем делювия-элювия в виде дресвяно-щебенисто-глыбового материала с глинистым заполнителем. Мощность слоя редко превышает 3 м. В долинах рек и ручьев породы перекрыты слоем аллювия с фациальной сменой суглинков, супесей, песков на гравий, гальку и валуны. Мощность аллювия изменяется от единиц до первых десятков метров. Особый отпечаток на геокриологический облик территории накладывает тектоника. Она формирует неоднородность и динамичность мерзлотных условий в виде прерывистого и островного распространения по площади и глубине мерзлых пород мощностью до 30–50 м, значительной глубины сезонного оттаивания-промерзания (порядка 3–6 м) и возможности многократного перехода в слое годовых теплооборотов пород из мерзлого состояния в талое состояние и наоборот. Среднегодовая температура пород на глубине 15–20 м близка к нулю градусов и чаще всего равна $\pm(0,1-0,3)$ °С.

Исследования выполнены по 6 объектам (табл. 1). На них до глубины 10 м и реже, до 20 м, пробурены 145 скважин с неравномерным по глубине отбором⁴ керна на лабораторное определение R_s . Всего отобрано 247 проб из пород, находящихся в мерзлом высокотемпературном состоянии, а также в талом и обводненном состоянии в зонах тектонических нарушений с движением по ним подземных вод. Большое число проб и их информационное разнообразие в своей совокупности дает правильное представление об изменчивости прочности массива грунтов, и тем самым, частично снимает проблему масштабного фактора между лабораторными и натурными исследованиями. Полностью решить проблему невозможно потому, что в лаборатории на прочность испытываются монолиты пород с принудительным замачиванием водой, предварительно прошедшие механическую обработку и получившие правильную геометрическую форму. Результаты таких испытаний далеки от истинных значений R_s . Результаты объемного изучения прочности мас-

Таблица 1

Список объектов петрофизических исследований

Номер и наименование объекта промышленной инфраструктуры криолитозоны Южной Якутии	Количество скважин
1. Селигдарский апатитовый завод. Поселок строителей и эксплуатационников. База стройиндустрии	15
2. Учебно-курсовой комбинат в п. Чульман	6
3. Сейсмическое микрорайонирование в районе аэропорта п. Алдан	14
4. Школа на 33 места с интернатом на 280 мест и торгово-общественный центр в г. Алдане	35
5. Расширение базы материально-технического снабжения комбината «Алданзолото»	44
6. Станция «Кюргеллях» трассы ж/д «Беркабит-Томмот-Якутск»	31

³ Геологическое строение и геокриологические особенности криолитозоны Южной Якутии подробно описаны учеными МГУ в коллективной монографии [6].

⁴ Такая методика в качестве нормативного документа была ранее принята в НПО «Стройизыскания» Госстроя РСФСР с целью оптимизации информативности стоимости инженерно-геологических работ.

сива пород методами геофизики ближе к истине, но они, к сожалению, не способны самостоятельно ее выразить без привязки к геологическим данным⁵.

Методика исследований

Не касаясь методики бурения скважин и лабораторного определения R_s , кратко остановимся на методике оценки надежных удельных характеристик скорости распространения и затухания сигналов георадиолокации (далее, скорости и затухания). Такими характеристиками являются средние вероятностные значения, вычисленные по методике многоцветных измерений сигналов [4]. Она предусматривает использование программы «Signal», осуществляющей вероятностное суммирование сигналов с анализом числа накопления импульсов в ячейках амплитудно-фазовой плоскости. В результате анализа находятся координаты (время задержки и амплитуда) когерентных импульсов, отраженных от опорных границ разреза. После их геологической идентификации путем сопоставления с границами обобщенной физико-геокриологической модели объекта исследований вычисляются средние значения скорости и затухания по слоям, интервалам или всему разрезу. В рассматриваемом случае значения скорости и затухания изучались по всему разрезу. Для обеспечения номинальной точности изучения скорости и затухания на уровне (10–15)% в окрестности каждой точки скважины на расстоянии 3–5 м измерялись 20–30 сигналов. Измерения выполнялись одним из первых отечественных

образцов георадаров – аппаратурой «17ГРП-1».

Обсуждение результатов

Статобработка фактического материала петрофизических исследований выполнялась по программе «Stadia» [2]. Полученные результаты обсуждаются в нескольких направлениях:

1) законы и статистики вероятностных распределений средних значений прочности⁶, скорости и затухания по типам пород;

2) диаграммы рассеяния значений прочности, скорости, затухания;

3) уравнения связи частных и нормативных характеристик скорости и затухания с прочностью.

По первому и второму направлениям скорость и затухание рассматривались, как зависимые переменные, а прочность, как независимая переменная. В третьем направлении они формально менялись местами, хотя природа их причинно-следственной связи оставалась неизменной.

Принадлежность эмпирического распределения значений скорости, затухания и прочности к базовому теоретическому закону – нормальному закону или закону Гаусса – оценивалась по тесту из 3-х критериев: Колмогорова, хи-квадрат и омега-квадрат. В соответствии с ними распределение характеристик гранитов по 66 определениям подчиняется нормальному закону и может быть в точности охарактеризовано основными параметрическими статистиками. Это – среднее арифметическое значение и среднеквадратичное отклонение (стандарт) единичных определений от среднего значения. На уровне доверия 95% они равны

⁵ Это связано с принципиальным ограничением - неоднозначностью и некорректностью решения обратной задачи геофизики, когда одно значение какой-либо характеристики естественного или искусственно вызванного геофизического поля Земли соответствует разным решениям о строении, составе, состоянии и свойствах пород.

⁶ По каждой скважине для всего разреза вычислялось среднее значение R_s не менее чем по трем лабораторным определениям керна пород.

для прочности, скорости и затухания $43,8 \pm 19,3$ МПа, $0,100 \pm 0,021$ м/нс, $6,00 \pm 2,87$ дБ/м.

У песчаников распределение значений скорости из 46 определений не подчиняется нормальному закону и поэтому для оценки среднего нужно пользоваться непараметрической статистикой – медианным средним, равным $0,083$ м/нс, а диапазон разброса единичных определений ($0,075$ – $0,104$ м/нс) определять приблизительно по гистограмме. Что касается прочности и затухания, то их средние значения и разброс равны $69,3 \pm 28,3$ МПа, $4,53 \pm 1,69$ дБ/м.

Характеристики доломитов распределены ненормально. Возможно, это связано с неоднородностью большой по объему выборки, состоящей из 104 определений и включающей в себя образцы, отличающиеся высокой изменчивостью свойств, например, по показателю кавернозности. Скорость в доломитах имеет два вероятностных значения: $0,075 \pm 0,011$ и

$0,116 \pm 0,012$ м/нс. Затухание и прочность характеризуются медианными средними с разбросом $4,93 \pm 2,54$ дБ/м и $37,4 \pm 19,5$ МПа.

Итак, из анализа вероятностных распределений значений R_s следует неожиданный вывод: наиболее крепкими породами оказываются не граниты или доломиты, а песчаники. Скорее всего, это связано с их молодым возрастом и более высокой природной устойчивостью к разрушению в слое годовых теплооборотов, где интенсивно протекают процессы физико-химического выветривания и криогенного метаморфизма. Все породы, находящиеся в этом слое, подвергаются в разной степени механическому разрушению с заполнением продуктами выветривания промежутков между блоками крепких сохранившихся пород. При этом они находятся в талом, обводненном или высокотемпературном мерзлом состоянии. Именно поэтому в них наблюдается высокое затухание сигналов георадиолокации.

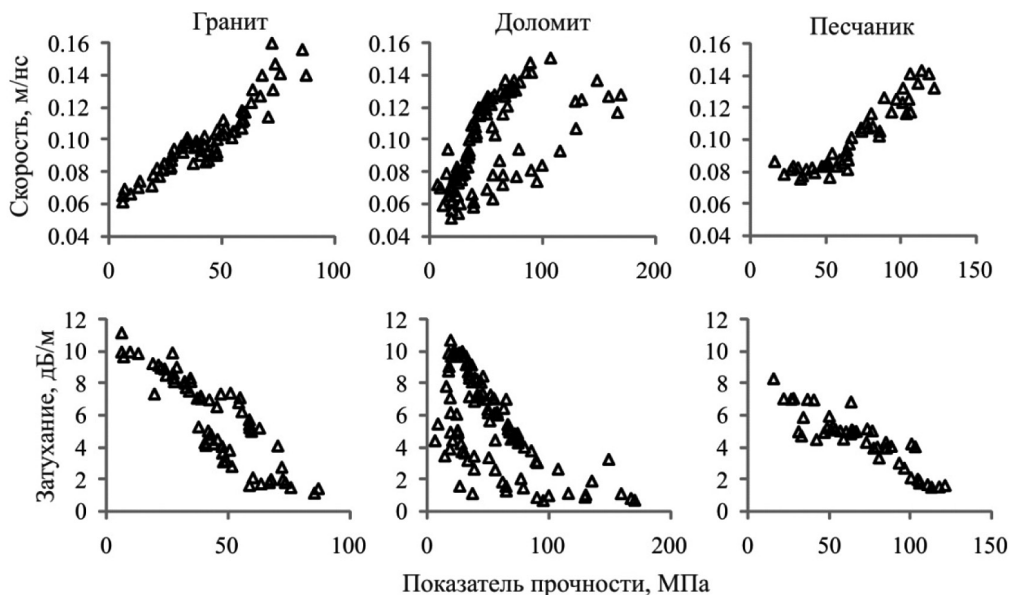


Рис. 1. Диаграммы рассеяния фактического материала петрофизических исследований в криолитозоне Южной Якутии

Рассмотрим диаграммы рассеяния значений парных переменных для изученных типов грунтов по всем 6 объектам (рис. 1). Все они свидетельствуют об одной закономерности: рост прочности пород вызывает рост скорости и спад затухания сигналов георадиолокации. Причем, графики этих характеристик почти зеркально отображают друг друга.

Наиболее сложная и очевидно нелинейная их прочностная зависимость наблюдается у доломитов в виде расщепления корреляционного следа на две области, подтверждая вышеотмеченный факт о неоднородности этой выборки. Для описания прочностной зависимости скорости и затухания в этом случае надо пользоваться двумя уравнениями регрессии. Однако определить для них граничные условия трудно, как по значениям переменных, так и по комплексу ландшафтно-геоморфологических и инженерно-геокриологических признаков, характеризующих типовые особенности разномасштабных ключевых участков мечтостности, на которой были изучены доломиты.

Прочностная зависимость скорости и затухания близка к линейной, но все же для корректного ее описания желательно применять нелинейные функции⁷.

Наилучшие результаты аппроксимации случайного разброса значений переменных скорость-прочность получают преимущественно при использовании экспоненциальной функции, а переменных затухание-прочность – степенной функции. При этом доля закономерного влияния прочности пород на скорость и затухание по коэф-

фициенту множественной корреляции изменяется от 64 до 94% и в среднем составляет 87%, что заведомо приемлемо по показателю точности для производственного георадиолокационного прогнозирования средних значений R_s .

Возникает вопрос: как может прочность пород, определенная в лаборатории по измененному керну скважин, влиять на отдаленный от нее по времени и месту результат георадиолокационного зондирования массива пород, не затронутого этими изменениями, т.е. на скорость распространения и затухание в нем сигналов георадиолокации? На первый взгляд такой связи быть не может, но она существует и требует ответа на поставленный вопрос. Дело в том, что, несмотря на разные воздействия на керн скважин, он, как неразрывная часть грунтовой системы, обязан сохранять и, как мы видим, сохраняет в себе генетическую связь с теми условиями образования и существования пород, из которых он был взят. И, если некоторым образом по площади и глубине изменяется строение, состав, состояние и свойства пород, то соответственно этому меняются результаты лабораторных опытов. Главное здесь не абсолютное, а относительное соответствие и причем, не единичных определений, а средних значений, определенных по некоторой совокупности геолого-геофизического материала. Этим все и объясняется.

Перейдем к обсуждению уравнений регрессии и точности⁸ вычисления по ним средних объектных значений R_s . Необходимость в этом может возникнуть в будущем при проведении проектно-изыскательских работ в

⁷ При вычислении прочности пород по данным георадиолокации могут быть использованы любые функции, лишь бы они адекватно описывали связь между переменными на максимально возможном уровне детерминации.

⁸ Точность оценивается путем внутреннего контроля по имеющемуся фактическому материалу, т.е. сравнительным анализом разницы значений прочности, полученных по данным георадиолокации и лаборатории.

криолитозоне Южной Якутии на территории изученных объектов (см. табл. 1) в сходных инженерно-геологических условиях. Ниже приводятся соответствующие уравнения по номерам объектов и типам пород:

$$R_s = -18,29 - 2,579 \cdot G + 804,7 \cdot V, \\ R_2 = 0,93, \text{ объект № 1 (гранит)} \quad (1)$$

$$R_s = 36,73 - 6,468 \cdot G + 529,9 \cdot V, \\ R_2 = 0,73, \text{ объект № 1 (доломит)} \quad (2)$$

$$R_s = 273,7 - 90,71 \cdot \sqrt{G}, \\ R_2 = 0,81, \text{ объект № 2 (песчаник)} \quad (3)$$

$$R_s = -207,7 + 869,2 \cdot \sqrt{V}, \\ R_2 = 0,75, \text{ объект № 2 (песчаник)} \quad (4)$$

$$R_s = 14,43 - 6,109 \cdot G + 808,1 \cdot V, \\ R_2 = 0,93, \text{ объект № 3 (песчаник)} \quad (5)$$

$$R_s = 17,49 - 1,826 \cdot G + 243,3 \cdot V, \\ R_2 = 0,93, \text{ объект № 4 (доломиты)} \quad (6)$$

$$R_s = 314 - \frac{278,9}{1 + 0,4003 \cdot \exp(-0,5814 \cdot G)}, \\ R_2 = 0,88, \text{ объект № 4 (граниты)} \quad (7)$$

$$R_s = 40,78 + \frac{38,48}{1 + 1,388 \cdot E5 \cdot \exp(-99,32 \cdot V)}, \\ R_2 = 0,91, \text{ объект № 4 (граниты)} \quad (8)$$

$$R_s = \exp(5,195 - 0,1904 \cdot G), \\ R_2 = 0,91, \text{ объект № 5 (доломиты)} \quad (9)$$

$$R_s = \exp(1,582 + 20,12 \cdot V), \\ R_2 = 0,92, \text{ объект № 5 (доломиты)} \quad (10)$$

$$R_s = -23,115 + 1365,2 \cdot V - 8,8322 \cdot G, \\ R_2 = 0,73, \text{ объект № 6 (доломит)} \quad (11)$$

В уравнениях (1)–(11) переменная G означает затухание в дБ/м, а переменная V – скорость в м/нс. Ошибки вычислений значений R_s по уравнениям приведены в табл. 2. В ней интервал разброса среднего значения получен на уровне доверия 95%, а интервал разброса единичных определений – на уровне 70%. Этот уровень давно принят в геологоразведке за номинальный критерий оценки качества и достоверности работ. Более высокие требования к точности определений показателей свойств пород на уровне 95 или 99%, выдвигаемые

Таблица 2

Погрешность оценивания прочности пород по показателю R_s

Номер уравнения	Статистики абсолютных ошибок в МПа				Число определений
	Минимум	Максимум	Средняя	Стандарт	
1	-7,14	9,03	0,0±1,57	4,83	39
2	-3,78	5,56	0,0±6,76	4,25	4
3	-18,8	28,0	0,0±5,21	11,1	20
4	-30,9	24,8	0,0±6,04	12,9	20
5	-18,5	10,8	0,0±2,94	7,29	26
6	-2,7	2,3	0,0±0,98	1,45	11
7	-13,7	16,3	0,0±2,29	5,69	26
8	-7,1	12,3	0,0±1,77	4,67	26
9	-10,9	51,3	0,57±2,28	8,67	58
10	-11,1	72,2	0,69±2,89	10,9	58
11	-32,8	37,3	0,04±4,61	18,1	62

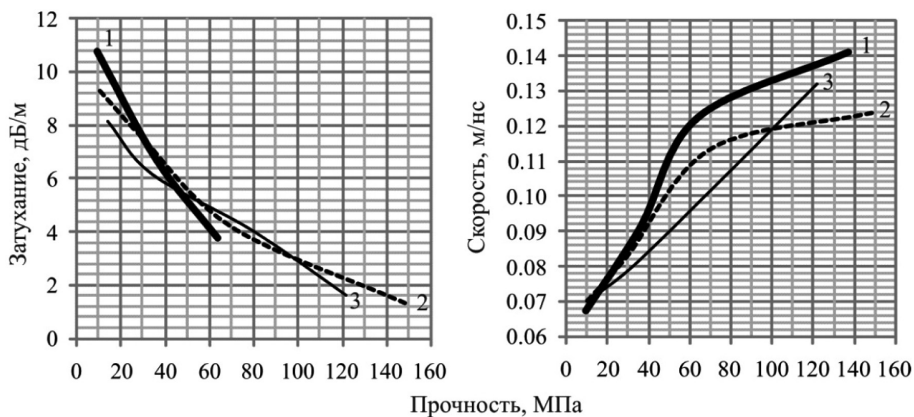


Рис. 2. Графики эмпирической зависимости от прочности нормативных значений характеристик волновых свойств пород криолитозоны Южной Якутии: 1 – гранит; 2 – доломит; 3 – песчаник

некоторыми исследователями, следует считать необоснованными для методов геофизики.

Из табл. 2 следует, что при опробовании гранитов, доломитов и песчаников бурением скважин в 70 из 100 случаев их средние значения R_s оцениваются георадиолокацией с погрешностью 1,45–18,1 МПа. Предельно высокая погрешность в этом диапазоне отмечается при изучении доломитов на объекте № 12 (см. табл. 1). На этом объекте в отдельных точках, доля которых составляет 3% от общего числа определений, погрешность еще выше и достигает недопустимо высокого для практики уровня (около 40 МПа). Связано это с тем, что массив доломитов оказался на пересечении боковых ответвлений крупных тектонических разломов и находится в сильнотрещиноватом и раздробленном состоянии с образованием мощной толщи глыбового элювия и глубоких карстовых воронок, заполненных глиной. Поэтому и растет расхождение между объемными гео-

радиолокационными оценками прочности массива доломитов и точечными лабораторными оценками его прочности по керну скважин.

Обсуждая результаты петрофизических исследований нельзя обойти вниманием особую производственную значимость георадиолокации, которую она приобретает, используя нормативные⁹ оценки прочности пород на стадии рекогносцировочной инженерно-геологической и мерзлотной съемки обширных территорий будущего строительства зданий и сооружений в малообжитой и труднодоступной местности.

Рассмотрим точность таких оценок на примере обобщения фактического материала исследований. Предварительно разделим его на три категории пород по степени прочности: малой прочности ($R_s < 15$ МПа); средней прочности ($R_s = 15–50$ МПа); прочных пород ($R_s = 50–120$ МПа); очень прочных пород ($R_s > 120$ МПа)¹⁰. После разделения в каждой категории вы-

⁹ Такими оценками в инженерной геологии, мерзлотоведении и грунтоведении принято называть средние значения характеристик пород и грунтов, определенных по совокупности фактических данных для каждого инженерно-геологического элемента разреза (ИГЭ). В рассматриваемом случае речь идет не о частных, а обобщенных оценках ИГЭ для изученной территории в пределах Алданского и Чульманского районов Южной Якутии.

¹⁰ Категории пород установлены в соответствии с нормативным документом [1, с. 18].

числялись средние средних значений затухания, скорости и средние значения R_s гранитов, доломитов и песчаников. Результат обобщения показан на рис. 2.

В целом, графики затухания образуют единый облик нелинейной связи с прочностью пород. В этом отношении они более предсказуемы, нежели графики скорости, показывающие нелинейную связь с прочностью гранитов и доломитов и идеально линейную связь с прочностью песчаников. Графическое определение прочности без данных бурения на опережающих стадиях работ методом георадиолокации возможно только по затуханию¹¹. Эту характеристику следует оценивать по результатам нескольких зондирований на ключевых участках местности, зная нормативные значения скорости, установленные для изученного района работ для каждого типа пород или для всей их совокупности. В рассматриваемом случае общая нормативная оценка скорости равна 0,092 м/нс.

Приведем умозрительный пример графической оценки прочности по затуханию на одном из ключевых участков местности Южной Якутии. Представим его в виде водораздельной поверхности. Разрез ее сложен песчаниками и изучен методом георадиолокации в 15 точках с опережением буровых и лабораторных работ. После обработки сигналов георадиолокации по методике многоразовых измерений находим когерентные импульсы, отраженные от опорных границ разреза. Далее, по времени задержки импульсов и нормативной скорости 0,092 м/нс вычисляем мощности слоев пород и средневзвешенное по ним затухание по всему разрезу. Пусть оно будет равным 2,0 дБ/м. Тогда, по точке пересечения линии с этим значением графика гранитов на рис. 2 (слева), найдем прибли-

зительную оценку их прочности равную 117 МПа.

При отсутствии геологических данных о типе пород, слагающих разрез, следует обратиться к уравнению общей прочностной зависимости затухания для всех изученных типов пород:

$$R_s = 162,5 - 67,24 \cdot \ln G, \\ R_2 = 0,98 \text{ (номера объектов 1–6)} \quad (12)$$

Средняя ошибка вычисления характеристики прочности пород по уравнению (12) при уровне доверия 95% равна $0,00 \pm 4,7$ МПа. Это означает, что при затухании, например, равном 3,18 дБ/м, вычисленное значение прочности пород будет находиться в диапазоне 89,4–80,0 МПа. Разброс ошибки единичных определений в 70% случаев не выходит за границы диапазона $\pm 7,0$ МПа. Как видим, статистика ошибок удовлетворяет производственным требованиям в части решения задач классификации пород по категории их прочности на рекогносцировочных стадиях проектно-изыскательских работ с опережением буровых и лабораторных работ методом георадиолокации.

Заключение

Петрофизические исследования в криолитозоне Южной Якутии установили возможность метода георадиолокации количественно оценивать с приемлемой для практики точностью прочность массивов интрузивных и осадочных пород по характеристикам их волновых свойств (скорости распространения и затухания сигналов георадиолокации) в двух направлениях. Первое направление предусматривает применение георадиолокации в рекогносцировочных мелко-средне-масштабных исследованиях, опережая производство буровых и лабора-

¹¹ Скорость без данных бурения оценить невозможно.

торных работ с целью рационального площадного или линейного (по профилям) обследования новых районов строительства и их районирования по категории прочности массивов пород. Второе направление совместно с геологическими методами использует возможности георадиолокации на промежуточных и детальных стадиях проектно-изыскательских работ с целью изучения прочности массивов пород на конкретных строительных пло-

щадках и линейных сооружениях. Все вместе взятое частично решает государственную проблему рационального природопользования в строительной индустрии и горнодобывающей промышленности, заключающуюся в снижении стоимости, трудозатрат и риска загрязнения окружающей природной среды при изысканиях, строительстве и эксплуатации зданий и сооружений промышленно-гражданского и сельскохозяйственного назначения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 25100-95. Грунты. Классификация. – М.: Изд-во стандартов, 1995. – 29 с.

2. Кулаичев А.П. Методы и средства комплексного анализа данных. 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во ФОРУМ: ИНФРА-М, 2006. – 512 с.

3. Нерадовский Л.Г., Омеляненко А.В. Прочностные свойства коренных пород криолитозоны по данным динамической георадиолокации/ Тезисы докладов международной конференции «Криосфера нефтегазоносных провинций». РАН. Научный совет по криологии Земли. – Тюмень, 2004. – С. 138–139.

4. Нерадовский Л.Г. Методическое руководство по изучению многолетнемерзлых

пород методом динамической георадиолокации. Избранные труды Российской школы по науке и технологиям. – М.: РАН, 2009. – 337 с.

5. Нерадовский Л.Г. Патент 2490671 RU, МПК G01V 3/12, G01S1 3/88. Способ георадиолокации многолетнемерзлых пород. № 2011125238/28; заявл. 17.06.2011; опубл. 20.08.2013, Бюл. № 23. – 11 с.

6. Южная Якутия: мерзлотно-геологические и инженерно-геологические условия Алданского горнопромышленного района / Под ред. В.А. Кудрявцева. – М.: Изд-во МГУ, 1975. – 444 с. **TVAS**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Нерадовский Леонид Георгиевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, e-mail: leoner@mpi.ysn.ru, Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, Федорова Лариса Луквична – кандидат технических наук, доцент, зав. лабораторией, e-mail: Lar-fed-90@rambler.ru, Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН.

UDC 550.370+552.08

GPR METHOD ASSESSMENT OF STRENGTH OF SEDIMENTARY AND INTRUSIVE ROCKS IN SOUTH YAKUTIA PERMAFROST

Neradovskiy L.G., Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Melnikov Permafrost Institute of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, 677010, Yakutsk, Russia, e-mail: leoner@mpi.ysn.ru, Fedorova L.L., Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, Head of Laboratory, N.V. Chersky Institute of Mining of the North, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, 677980, Yakutsk, Russia, e-mail: Lar-fed-90@rambler.ru.

Under complicated ground conditions of permafrost in South Yakutia, the statistical correlation between the velocity and attenuation of GPR signals and the strength of different types of rocks has for the first time been comprehensively studied. The results prove the earlier unknown capacity of GPR method to assess rock

strength with practically acceptable accuracy. Thus, there are prerequisites for efficient application of GPR method in classification of rocks based on their strength at all stages of exploration and planning in construction and mining.

Key words: rocks, strength, velocity, attenuation, ground-penetrating radar, holes, equations, errors.

REFERENCES

1. Grunty. Klassifikatsiya. GOST 25100-95 (Soils. Classification. State Standart 25100-95), Moscow, Standarty, 1995, 29 p.
2. Kulaichev A.P. *Metody i sredstva kompleksnogo analiza dannykh*. 4-e izd. (Methods and means for integrated data analysis, 4th edition), Moscow, Izd-vo FORUM: INFRA-M, 2006, 512 p.
3. Neradovskiy L.G., Omel'yanenko A.V. *Tezisy dokladov mezhdunarodnoy konferentsii «Kriosfera neftegazonosnykh provintsiy»*. RAN. Nauchnyy sovet po kriologii Zemli (Proceedings of International Conference on Cryosphere of Oil and Gas Provinces. Russian Academy of Sciences. Scientific Council on Earth Cryology), Tyumen, 2004, pp. 138–139.
4. Neradovskiy L.G. Metodicheskoe rukovodstvo po izucheniyu mnogoletnemerzlykh porod metodom dinamicheskoy georadiolokatsii. *Izbrannye trudy Rossiyskoy shkoly po nauke i tekhnologiyam* (Instructional guidelines on the dynamic GPR method analysis of permafrost rocks. Russian School of Science and Technology: Selectals), Moscow, RAN, 2009, 337 p.
5. Neradovskiy L.G. Patent RU 2490671, 20.08.2013.
6. Yuzhnaya Yakutiya: merzlotno-gidrogeologicheskie i inzhenerno-geologicheskie usloviya Aldanskogo gornopromyshlennogo rayona. Pod red. V.A. Kudryavtseva (South Yakutia: permafrost-hydrological and engineering geologic conditions in Aldan mining district. Kudryavtsev V.A. (Ed.)), Moscow, Izd-vo MGU, 1975, 444 p.



ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)

ПЛАНИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПОДРАЗДЕЛЕНИЯ УДП НА ПРИМЕРЕ ГОРНОТРАНСПОРТНОГО УЧАСТКА ОАО «РАЗРЕЗ ТУГНУЙСКИЙ»

Кулецкий В.Н.¹ – кандидат технических наук, исполнительный директор;

Федоркевич Т.И.¹ – заместитель исполнительного директора по экономике и финансам, финансовый директор; Горохов А.В.¹ – начальник ГТУ;

Довженко А.С. – доктор технических наук, ведущий научный сотрудник ООО «НИИОГР»,

¹ ОАО «Разрез Тугнуйский».

Рассмотрены принципы планирования развития производственного подразделения. Показан методический подход к планированию развития производственного подразделения УДП, позволяющий выявлять необходимые резервы для достижения целевых показателей деятельности и обеспечивать реализуемость планов развития.

Ключевые слова: производственное подразделение, планирование, развитие, эффективность производства, резервы, алгоритм планирования.

DEVELOPMENT PLANNING OF THE PRODUCTION UNIT OF THE TPA ON THE EXAMPLE OF MINING SITE OF JSC «SECTION TUGNUYSKIY»

Kuletskiy V.N.¹, Candidate of Technical Sciences, Executive Director,

Fedorkevich T.I.¹, Deputy Executive Director for Economy and Finance, Financial Director,

Gorokhov A.V.¹, Head of GTU,

Dovzhenok A.S., Doctor of Technical Sciences, Leading Researcher LTD «NIIOGR»,

¹ JSC «Open Cast Tugnuyskiy».

Principles of planning the development of production units. Shows a methodical approach to planning the development of production units of UDP, which allows to identify the necessary reserves for the achievement of performance targets and ensure the feasibility of development plans.

Key words: production Department, planning, development, efficiency of production, reserves, the scheduling algorithm.