



Нерадовский Л. Г.

д.т.н., старший научный сотрудник
лаборатории инженерной геокриологии
ФГБУН «Институт мерзлотоведения
им. П.И. Мельникова» СО РАН
L031950N@ia.ru

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ ОСАДОЧНЫХ ПОРОД В КРИОЛИТОЗОНЕ ЮЖНОЙ ЯКУТИИ И НА ТЕРРИТОРИИ Г. НЕРЮНГРИ

Сделан разномасштабный сравнительный анализ регионального и локального вероятностного распределения значений прочности песчаника – главного литотипа толщи осадочных пород в криолитозоне Южной Якутии и на территории её административного центра г. Нерюнгри. Установлено, что в сравнении с природными условиями Южной Якутии в городских антропогенно-техногенных условиях происходит почти одинаковый и существенный (в 2,5-3,0 раза) упорядоченный взаимно зависимый рост широты изменчивости со снижением величины прочности песчаника в основании инженерных сооружений. Несмотря на это в зоне термического покоя ниже горизонта выветривания и в слое годовых теплооборотов в сфере механического и теплового взаимодействия с инженерными сооружениями песчаники даже в прогнозируемом по лабораторным данным водонасыщенном состоянии сохраняют прочность достаточную для использования в качестве скального основания инженерных сооружений.

Ключевые слова: Южная Якутия; Нерюнгри; инженерные сооружения; скально-полускальные основания; осадочные породы; прочность; гистограммы и вариограммы; изменчивость; средние значения.

Известно, что прочностные и деформационные свойства составляют главный предмет научно-практических исследований в механике горных пород. В разных аспектах эти свойства изучаются в инженерной геологии, мерзлотоведении, грунтоведении, а также инженерной геофизике и геофизике криолитозоны. В области недропользования, которая так или иначе и в той или иной мере охватывает перечисленные науки, механические свойства горных пород важны тем, что участвуют в информационном сопровождении длительного процесса освоения месторождений полезных ископаемых. В этом процессе неразрывно переплетаются между собой задачи, связанные с количественной оценкой прочности скально-полускальных горных пород, используемых в качестве устойчивых и надёжных оснований инженерных сооружений разного назначения. Это и сооружения горнодобывающей и перерабатывающей промышленности (карьеры, подъездные пути, обогатительные фабрики и др.), и сооружения инфраструктуры населённых пунктов, расположенных в окрестности месторождений. Примером такого комплексного сочетания и жизненно важного подхода в прошлом веке является крупное месторождение угля в Южной Якутии и расположенный вблизи него город угольщиков – г. Нерюнгри.

В настоящей статье представлен очередной результат изучения вероятностной изменчивости значений прочности высокотемпературных мёрзлых осадочных пород в криолитозоне Южной Якутии. Цель статьи заключалась в разномасштабном сравнении законов и основных статистик изменчивости прочности. С одной стороны, объектом сравнения регионального масштаба предстают осадочные породы всей Южной Якутии, изученные геологическими работами на участках поиска и разведки месторождений угля. С другой стороны, объектом сравнения местного масштаба служат те же самые осадочные породы, детально изученные инженерно-геологическими изысканиями на территории административного центра Южной Якутии г. Нерюнгри.

Надеюсь, что результаты сравнительных исследований будут не только интересны, но и окажутся полезными читателям журнала для решения разноплановых вопросов недропользования. В частности, сложных вопросов развития производительных сил России в богатом земными недрами Южно-Якутском территориально-промышленном комплексе. Разумеется, с точки зрения информационного обеспечения, используя ранее неизвестное знание закономерностей и особенностей регионально-локальной вариации прочности высокотемпературных

мёрзлых осадочных пород. То есть тех площадных вариаций прочности, которые проявляют себя в разных природно-техногенных условиях применения осадочных пород в осваиваемом регионе Южной Якутии и его освоенной части на территории г. Нерюнгри.

Геологическая справка

Геология Южной Якутии планомерно изучалась в прошлом веке в течении многих десятков лет в ходе производства съёмочных и поисково-разведочных работ, которые централизованно выполняло по государственному плану развития минерально-сырьевой базы РСФСР Якутское геологическое управление (ЯГУ). Несмотря на очень большой объём геологических данных, полученных в Южной Якутии, они, как это и положено, засекречены и хранятся в виде технических отчётов в фондах ЯГУ под грифом «секретно» или «для служебного пользования». При такой особенности хранения геологического материала лишь незначительная его часть, разрозненная по участкам месторождений и съёмочным площадям, опубликована в виде статей в научно-технических журналах. Что касается регулярных публикаций в открытом доступе наиболее ценной для развития наук о Земле информации (систематизированных и обобщённых результатов научных исследований), то такая возможность, за редким исключением, исключена. Одним из таких исключений, не нарушающих правил секретности, предстаёт для современников нестареющая с годами монография, написанная в содружестве геологов ЯГУ и коллектива учёных МГУ им. М.В. Ломоносова под руководством В.А. Кудрявцева [9]. Эта работа имеет обзорный характер и до сих пор является настольной книгой исследователей, изучающих геологию и мерзлоту Южной Якутии. Ценность монографии МГУ заключена не только в её разностороннем содержании, но и в обобщённой констатации тех ненарушенных природных условий, которые существовали в 60–70-х годах XX в. перед началом промышленного освоения не отдельных месторождений и видов минерального сырья, а всей их совокупности (золота, угля, железа и др.) на территории Южной Якутии со строительством инженерных сооружений. Знание такого рода сведений чрезвычайно важно на начальном этапе решения разнообразных прогнозных задач мониторинга состояния осваиваемой природной среды.

По данным МГУ [9] криолитозона в Южной Якутии имеет прерывисто-островное распространение по площади. Мерзлые породы имеют небольшую мощность равную 20-50 м и высокую среднегодовую фоновую температуру в нижней части слоя годовых теплооборотов равную – $(0,1 \div 0,5)^\circ\text{C}$ на глубине 10-20 м. Тепловой

режим плоских водораздельных поверхностей Южной Якутии зависит от конвективного теплопереноса. В этом процессе движение воздуха и воды по тектоническим зонам дробления и системе трещиноватости увеличивает на этих участках мощность слоя годовых теплооборотов до максимальных значений 30-50 м. Зимой в этих зонах образуются лёд и снег.

На геологическое строение и формирование криолитозоны Южной Якутии сильное влияние оказал тектонический фактор [2]. В результате его влияния район исследований, включая г. Нерюнгри, отличается сложным инженерно-геокриологическим обликом. Главная его черта проявляется в неоднородности и динамичности мерзлотно-грунтовых условий в части значительной глубины сезонного летне-зимнего оттаивания-промерзания (порядка 3-6 м) с возможностью многократного перехода мерзлых пород в талое состояние, и наоборот.

Территория Южной Якутии сложена комплексом разных по возрасту, генезису и условиям залегания горных пород, включая интрузивные, метаморфические и осадочные образования. Наиболее распространена толща горизонтально или наклонно залегающих под разными углами осадочных пород, вмещающая в себя многочисленные пласты угля разной мощности. Среди осадочных пород доминируют песчаники. Алевриты и углистые аргиллиты занимают в осадочной толще подчинённое положение. По данным В.М. Желинского [4], изучавшего углевмещающие осадочные породы в Алдано-Чульманском районе, во всех стратиграфических свитах Южной Якутии преобладает песчаник (мелко-, средне- и крупнозернистый). Его доля изменяется от минимального значения 52,6 % в дурайской свите до максимального значения 86,5 % в ютинской свите. В нерюнгринской свите, пространственно близкой к г. Нерюнгри, доля преимущественно песчаника мелко- и среднезернистого составляет 78,7 %.

Участок площади, на которой построен г. Нерюнгри, представляет собой часть Чульманской впадины тектонической природы. На неё наложена Нерюнгринская синклиналь с пликативными дислокациями надвигов. В среднем течении р. Чульман, где расположен г. Нерюнгри, эти структуры выполнены осадочными породами горкитской свиты верхней юры и холодниканской свиты раннего мела. Осадочные породы сложены песчаниками с линзами конгломератов, алевритов, аргиллитов и углей и покрыты сплошным слоем делювиально-элювиальных отложений с супесчаным и реже, глинисто-песчаным заполнителем. По данным инженерно-геологических изысканий средняя мощность этого слоя равна 2-3 м.

По данным Южно-Якутского треста инженерно-строительных изысканий (ЮжЯкутТИСИЗ), полученных в г. Нерюнгри, начиная с 1973 г., пологонаклонная толща осадочных пород вскрыта бурением скважин до глубины 10-20 м и реже, до 30-50 м. Почти во всех скважинах колонкового бурения осадочные породы были представлены песчаниками разной прочности. Вероятность встречи прослоев или слоев алевритов, аргиллитов и угля составляла 18, 8, 29 % соответственно. Такая производственная статистика независимо подтверждает научные данные В.М. Желинского, расширяя региональные границы их достоверности вместе с объективностью и правомерностью применения к небольшому по размерам участку площади – г. Нерюнгри.

Прочность осадочных пород Южной Якутии

Изучение прочности пород в этом регионе Республики Саха (Якутия) выполнено только по одной лабораторной характеристике, которая наиболее широко и постоянно применяется в отечественном грунтоведении и зарубежной геотехнике при решении научно-производственных задач. Это – характеристика временного предела прочности на одноосное сжатие в водонасыщенном состоянии образцов скально-полускальных грунтов (R_c). Стоит пояснить, что грунтами по ГОСТ 25100–2020 [6] принято называть любую горную породу, почву, осадки и техногенные минеральные образования, которые изучаются в связи с инженерно-хозяйственной деятельностью. Проще говоря, те образования, которые используются в качестве оснований инженерных сооружений.

Образцами скально-полускальных грунтов служили монолиты осадочных пород, отобранные на разной глубине из керна геологоразведочных и изыскательских скважин. Значения R_c определялись по ГОСТ 21135.2–84 [5] в лаборатории Южно-Якутской геологоразведочной экспедиции (ЮЯГРЭ) и лаборатории ЮжЯкутТИСИЗ.

Изучение законов вероятностных распределений и основных статистик значений прочностной характеристики R_c выполнено с помощью лицензионной программы А.П. Кулаичева «Стадия» [7]. Фактическим материалом для вероятностно-статистического анализа служили значения характеристики R_c , заимствованные из монографии Н.Н. Гриба и А.В. Самохина [3, с. 143-172]. К сожалению, в Приложениях 1-5, в которых приведены эти значения, и по тексту самой монографии нет сведений о количестве и глубине отбора образцов пород из керна геологоразведочных скважин. Вероятнее всего, отбор был сделан ниже глубины залегания подошвы

слоя готовых теплооборотов. В криолитозоне Южной Якутии эта граница редко залегает на глубине более 20-50 м.

Тестовая проверка нулевой гипотезы была сделана по критериям Колмогорова, омега-квадрат и хи-квадрат в границах общей выборочной совокупности фактического материала, состоящего из 140 значений R_c трёх литотипов осадочных пород. Первый и второй литотипы представляют песчаники мелко-среднезернистые. К третьему литотипу относится алевролит. Других литотипов в работе Н.Н. Гриба и А.В. Самохина нет.

Результат строгого тестирования по независимым критериям показал, что вероятностная изменчивость значений R_c в Южно-Якутском каменноугольном бассейне, охватывающем всю Южную Якутию, подчиняется нормальному закону. В соответствии с этим фундаментальным законом теории вероятности и математической статистики, который нередко называется законом больших чисел, единичные значения R_c с почти равной вероятностью отклоняются от среднего значения в большую или меньшую сторону. Иллюстрация этой упорядоченной сбалансированной изменчивости показана на **рис. 1**. На этом рисунке наиболее вероятностные (модальные) значения прочности равные 65,51 и 76,83 МПа, сосредоточены в области максимума гистограммы. Доля таких значений в выборочной совокупности максимальная и составляет 48,6 %. Доля групп, расположенных в правой и левой асимптотических частях гистограммы с максимальными (110,78-122,10 МПа) и минимальными (31,55 МПа) значениями, незначительна и составляет 4,3 и 1,4 МПа соответственно.

Статистика (**табл. 1**) удостоверяет в следующем. При изменчивости единичных значений R_c от 25,9 до 127,8 МПа средние показатели прочности осадочных пород (арифметическое, медианное и модальное) близки друг к другу и не выходят за границы диапазона 71,2-73,8 МПа. Интегральная пространственная изменчивость, оцененная по коэффициенту вариации, равна 25,4 %. При такой небольшой пространственной мере изменчивости почти в 70 % случаев (одно стандартное отклонение) значения R_c занимают интервал 54,2-91,2 МПа. Это означает, что с выборочной вероятностью около 70 % изученная геологоразведочными работами значительная часть площади Южной Якутии в границах распространения месторождений каменного угля сложена слабоизменчивыми по прочности осадочными породами. По строительной классификации [6] породы относятся к разновидности скальных прочных грунтов со значениями R_c от 50 до 120 МПа. Не будем забывать, что эти значения характеризуют прогнозную прочность осадочных пород при возможном сценарии их перехода из естественного высокотемпературного мёрзлого или воздушно-сухого состояния в талое водонасыщенное состояние под совокупным влиянием климатических, и антропогенно-техногенных факторов. В реальности прочность песчаников в естественном состоянии существенно выше. При необходимости оценки реальной прочности песчаника или иной осадочной породы в естественном состоянии рекомендуется пользоваться повышающими нормативными коэффициентами, приведёнными в СНиП 2.02.01-83 [8].

Таким образом, результаты статистического анализа дают повод сделать прогноз, что в

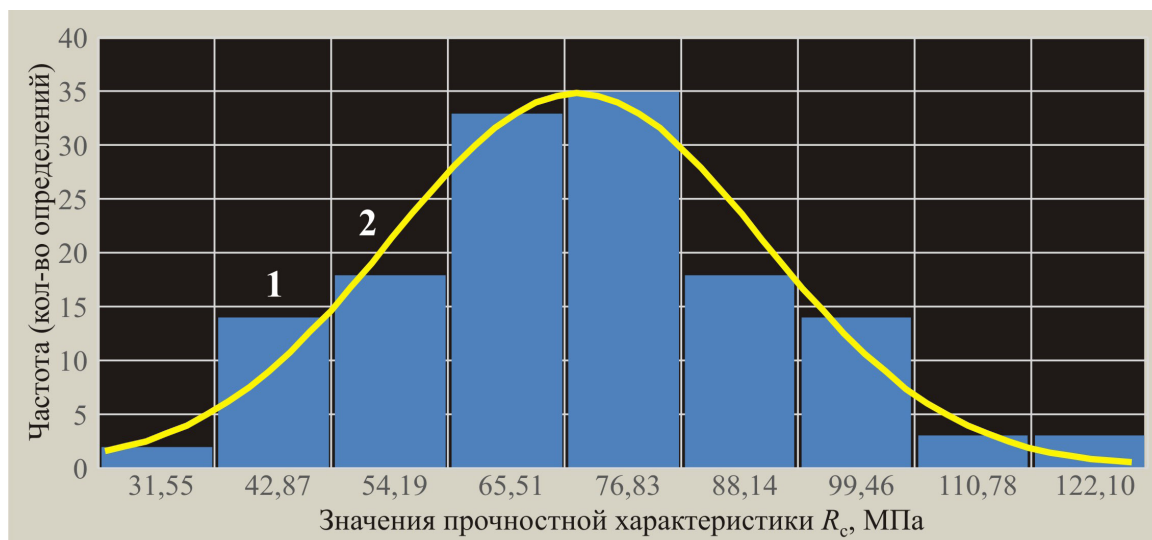


Рис. 1. Графики фактической гистограммы (1) и теоретической вариограммы закона нормального распределения значений прочности осадочных пород Южной Якутии. Объём выборки – 140 определений.

Таблица 1.
Прочность осадочных пород Южной Якутии

Описательная статистика	R _c , МПа
Среднее арифметическое значение (САР)	72,7
Среднее медианное значение	73,8
Среднее модальное значение	71,2
Стандартное отклонение	18,5
Коэффициент вариации, %	25,4
Минимальное значение	25,9
Максимальное значение	127,8
Кол-во определений	140
Уровень надежности САР (95,0 %)	3,1

процессе продолжающегося и нарастающего в современный период времени промышленного освоения месторождений Южной Якутии геологи-изыскатели в 7 из 10 случаев обнаружат прочные осадочные породы, а строители используют их, в качестве надёжных и устойчивых скальных оснований инженерных сооружений.

Посмотрим, как изменяется прочность между тремя основными литотипами осадочных пород Южной Якутии. Статистика результатов детального группового анализа (табл. 2) показывает, что максимальную прочность имеют песчаники мелкозернистые и среднезернистые (табличные коды 1 и 2) со средними значениями R_c равными 76,9-78,5 и 72,3-74,1 МПа соответственно. У алевролитов (табличный код 3) показатели средних значений R_c несколько ниже и составляют 63,2-66,6 МПа. При большей встречаемости в толще осадочных пород песчаников они и вносят основной вклад в повышение общих значений R_c. Пространственная широта изменчивости прочности у всех литотипов осадочных пород почти одинакова и по коэффициенту вариации не превышает 30 %. Также одинаков у всех литотипов осадочных пород и характер изменчивости по закону нормального вероятностного распределения. теоретические вариограммы этого распределения, аппроксимирующие фактические распределения, показаны на рис. 2. Во избежание загруженности и трудности понимания этого рисунка на нём не показаны гистограммы фактических распределений значений характеристики R_c.

Прочность осадочных пород г. Нерюнгри

Фактическим материалом для изучения изменчивости прочности осадочных пород, в которых доминирует литотип песчаника, послужила совокупность 218 лабораторных определений значений характеристики R_c, полученная в 70-90-х годах прошлого века. Прочностное опробо-

вание массива песчаника более-менее равномерно охватывало всю территорию г. Нерюнгри в пределах глубины изучения сферы механического и теплового взаимодействия массива песчаника с ленточным фундаментом инженерных сооружений, не выходя за нижнюю границу слоя годовых теплооборотов. Научно-практическая значимость этого слоя для решения научно-практических задач так велика, что один из основателей инженерной геофизики мерзлотовед А.Т. Акимов справедливо назвал этот слой «фабрикой криогенных процессов» [1]. При этом он указывал, что именно в этом слое в межгодовых циклах происходит перераспределение и выравнивание до нулевого баланса величины и направленности потоков тепловой энергии, приводя в конечном итоге к сохранению целостности криогенных систем и приспособлявая их термодинамику к постоянно изменяющимся внешним условиям.

После небольшого и необходимого экскурса вернёмся к теме исследования.

Большая часть мёрзлых монолитов песчаника, из которых изготавливались образцы для определений значений R_c, была отобрана из керна изыскательских скважин на глубине 10-20 м в относительно сохранном от действия процессов физического выветривания массиве песчаника. Существование этой важной прочностной границы установлено по данным метода вертикального электрического зондирования на постоянном токе и сейсмического метода преломленных волн, которые систематически применялись ЮжЯкутТИСИЗ при инженерно-геологических изысканиях г. Нерюнгри.

Результат изучения изменчивости прочности песчаника в основании инженерных сооружений г. Нерюнгри показан на рис. 3. В отличие от региональной изменчивости прочности песчаника, доминирующего в осадочных породах Южной Якутии, локальная изменчивость прочности аналогичного по возрасту и составу песча-

Таблица 2.
Прочность основных литотипов осадочных пород Южной Якутии

Описательная статистика	Код 1	Код 2	Код 3
Среднее арифметическое значение (САР)	76,9	73,8	63,2
Среднее медианное значение	77,6	74,1	66,6
Среднее модальное значение	78,5	72,3	66,3
Стандартное отклонение	17,7	18,8	16,4
Коэффициент вариации, %	23,0	25,5	26,0
Минимальное значение	41,5	43,4	25,9
Максимальное значение	127,8	124,3	95,1
Количество определений	55	54	31
Уровень надежности САР (95,0 %)	4,5	5,1	6,0

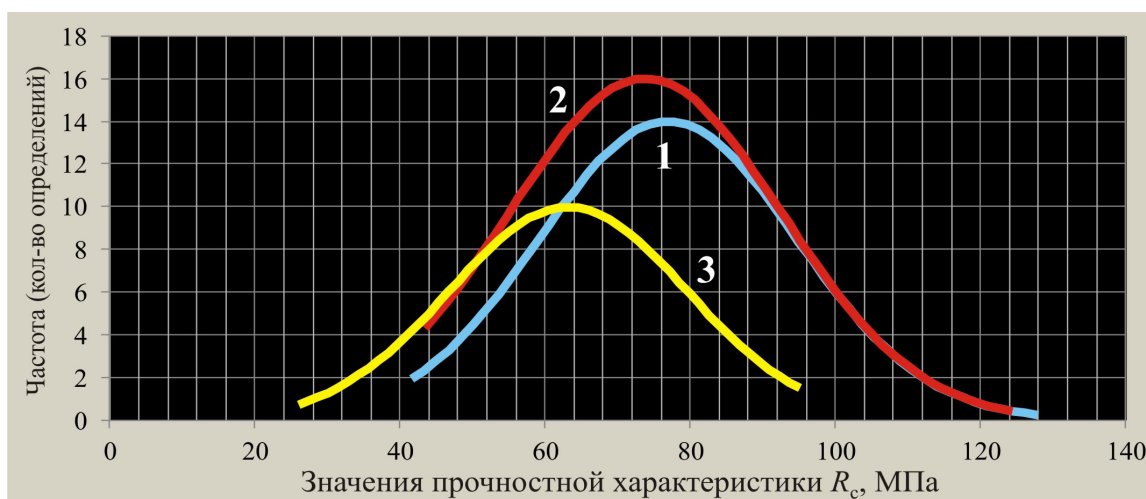


Рис. 2.
Сводный график теоретических вариограмм закона нормального вероятностного распределения значений прочности основных литотипов осадочных пород Южной Якутии: 1 – песчанник мелкозернистый; 2 – песчанник среднезернистый; 3 – алевролит. Объем выборки – 140 определений.

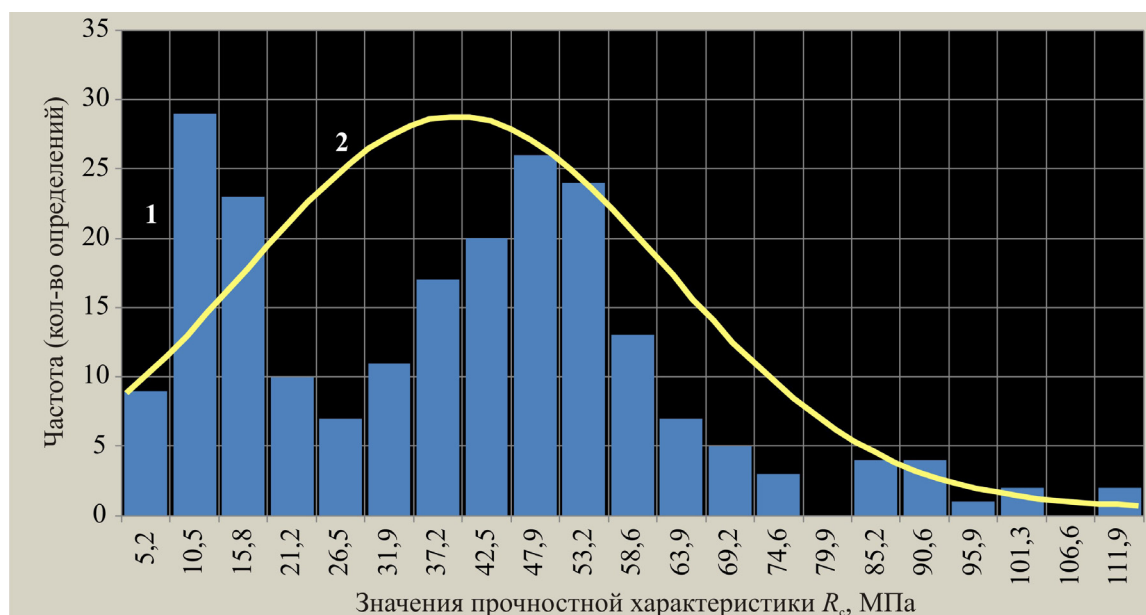


Рис. 3.
График фактической гистограммы (1) и аппроксимирующей теоретической вариограммы (2) закона нормального вероятностного распределения значений прочности массива песчанника в условиях г. Нерюнгри. Объем выборки – 218 определений.

Таблица 3.
Общая прочность песчаника г. Нерюнгри

Описательная статистика	R _c , МПа
Среднее арифметическое значение (САР)	39,1
Среднее медианное значение	40,7
Среднее модальное значение	13,2
Стандартное отклонение	23,3
Коэффициент вариации, %	59,6
Минимальное значение	2,5
Максимальное значение	114,6
Количество определений	218
Уровень надежности САР (95,0 %)	3,1

ника в городских условиях не подчиняется закону нормального вероятностного распределения и носит сложный мультимодальный характер.

Теоретически фоновая (общая средняя оценка по г. Нерюнгри) прочность массива песчаника в водонасыщенном состоянии, соответствующая максимуму вариограммы, составляет 37,2-42,5 МПа. При таких значениях характеристики R_c массив песчаника, в целом, всё ещё считается по ГОСТ 21135.2-84 [6] для решения проектно-строительных задач скальным основанием инженерных сооружений, но переходит из прочного состояния в состояние средней прочности (R_c < 50 МПа). Статистика реальной общей прочности массива песчаника представлена в **табл. 3**. Сильная изменчивость значений характеристики R_c по площади г. Нерюнгри указывает на прочностную неоднородность массива песчаника, состоящую из 3-х композиций, каждая из которых описывается законом нормального вероятностного распределения. Первая композиция с модой (максимумом гистограммы) 10,5-15,8 МПа соответствует группе малопрочного песчаника и отчасти песчаника средней прочности. Вторая композиция с модой 47,9-53,2 МПа соответствует группе песчаника средней прочности и отчасти прочного песчаника. Третья обособленная композиция расположена в правой части гистограммы (см. **рис. 3**). У неё нет чётко выраженной моды, но редкие значения R_c, распределённые в диапазоне 85,2-111,9 МПа, указывают, что природа этой группы, хотя и соответствует прочным песчаникам, но тяготеет к границе очень прочных песчаников (R_c > 120 МПа).

В соответствие со строительной классификацией скально-полускальных грунтов [6] был проведён детальный анализ изменчивости прочности массива песчаника на территории г. Нерюнгри. Статистика анализа представлена в **табл. 4**.

Содержание **табл. 3** показывает, что даже в прогнозируемых по лабораторным опытам предельно неблагоприятных условиях строительства и эксплуатации инженерных сооруже-

ний г. Нерюнгри, когда их основание находится в водонасыщенном состоянии, массив песчаника в таком состоянии представляет собой преимущественно скальный среднепрочный и прочный грунт со средними медианными значениями R_c равными 38,0 и 58,9 МПа. На долю малопрочного песчаника, но всё ещё скального грунта со средним медианным значением R_c равным 11,5 МПа приходится 21,1 %. Заметим, что применительно к данным табл. 3 с разными значениями всех показателей средних оценок непараметрическая медианная оценка среднего более корректна для ненормальных вероятностных распределений значений R_c. Графики распределений показаны на **рис. 4**. Они совершенно не похожи на свои композиционные аналоги (см. **рис. 3**), но это не должно вызывать недоумения и тем более, сомнения в достоверности представленных материалов.

Разница форм вероятностных распределений значений характеристики R_c объясняется разными задачами статистического анализа и соответственно им разными подходами к образованию рабочей выборки фактического материала. Как правило, на детальных стадиях статистического анализа разрушается закономерная общность и целостность вероятностной структуры изменчивости изучаемых характеристик (геолого-геофизических, социальных и др.). Взамен появляется ценная возможность обнаружить и понять тонкости вероятностной изменчивости в каком-либо предметном отношении и использовать их по назначению. В частности, по характеристике R_c с целью решения сугубо практических задач проектирования, промышленно-гражданского строительства и эксплуатации инженерных сооружений в г. Нерюнгри и его окрестности с близкими инженерно-геологическими условиями.

Сравнительный анализ

Анализ выполним с акцентом на две основные статистики. Это – интегральная изменчивость значений R_c песчаника по коэффициенту вариации и средняя медианная оценка этой

Таблица 4.

Прочность строительных разновидностей песчаника г. Нерюнгри

Описательная статистика	1	2	3
Среднее арифметическое значение (САР)	10,5	34,8	65,5
Среднее медианное значение	11,5	38,0	58,9
Среднее модальное значение	18,0	16,2	54,2
Стандартное отклонение	12,1	11,1	16,4
Коэффициент вариации, %	31,4	32,7	25,1
Минимальное значение	2,5	15,0	50,2
Максимальное значение	14,8	49	114,6
Количество определений	46	104	68
Уровень надежности САР (95,0 %)	0,98	2,17	4,01

Примечания: 1 – песчаник малой прочности и незначительная часть песчаника пониженной и низкой прочности; 2 – песчаник средней прочности; 3 – прочный песчаник.

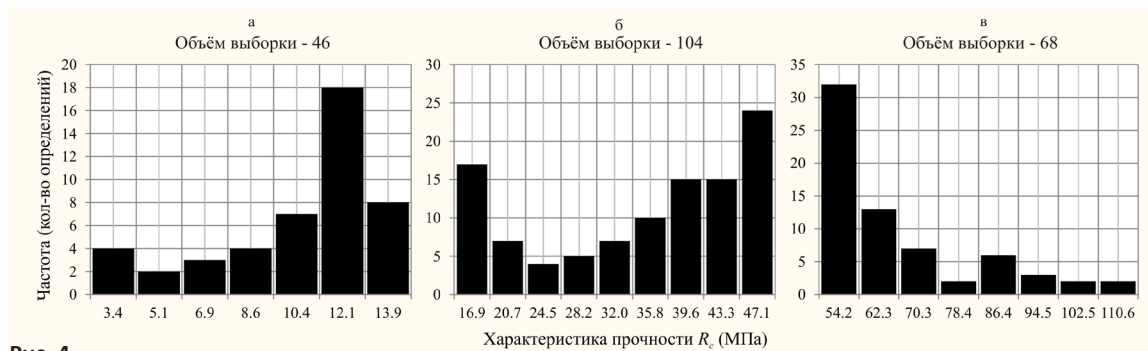


Рис. 4.

График гистограмм значений прочности массива малопрочного песчаника и частично песчаника пониженной и низкой прочности (а), песчаника средней прочности (б) и прочного песчаника (в) в г. Нерюнгри. Объем выборки – 218 определений.

характеристики, которая корректна для любого закона вероятностного распределения.

В сравнении с региональной природной изменчивостью прочности песчаника в толще мёрзлых осадочных пород криолитозоны Южной Якутии, равной 23,0-25,5 % (см. табл. 2), локальная смешанная (природная и антропогенно-техногенная) изменчивость прочности в основании инженерных сооружений г. Нерюнгри достигает 59,6 % (см. табл. 3). Относительная разница составляет 112,8-80,0 %.

Большая разница меры изменчивости прочности обусловлена неоднородностью состояния массива песчаника в слое годовых теплооборотов. В нём массив песчаника испытывает со стороны климата и инженерных сооружений сильные знакопеременные тепловые нагрузки наряду с природной выветренностью и непредсказуемой вариацией мощности мерзлоты и её температуры. Эти факторы в свою очередь инициируют такую же непредсказуемую, но более сильную изменчивость количества и состава глинисто-песчаного заполнителя вместе с льдистостью в блочно-ячеистой и трещинно-жильной структуре массива песчаника. Ниже области выветривания и в зоне термического покоя, расположенного ниже слоя годовых теплооборотов, песчаник Южной Якутии становится более предсказуемым в части прогноза изменчивости своей прочности.

Изменчивость по площади и глубине единичных значений R_c влияет и на средние её оценки. В природных условиях средняя прочность мелко-среднезернистого песчаника в толще осадочных пород составляет 74,1-77,6 МПа (см. табл. 2). В антропогенно-техногенных условиях г. Нерюнгри средняя прочность массива песчаника заметно меньше и равна 38,0-58,9 МПа (см. табл. 4). В первом случае песчаник классифицируется как прочный, а во втором случае как средней прочности и прочный. Однако в обоих случаях песчаник представляет собой скальный массив, благоприятный для строительства и эксплуатации инженерных сооружений в высокотемпературной прерывисто-островной криолитозоне Южной Якутии.

В структуре вероятностного распределения доля значений R_c равных 50-120 МПа и соответствующих разновидности прочного мелко-среднезернистого песчаника Южной Якутии составляет 89,0 %. Такие породы, если бы фундамент инженерных сооружений устанавливался на глубине их залегания в первые сотни метров, представляли бы собой в региональном плане однородное по небольшой площадной изменчивости монолитное консолидированное грунтовое основание.

В основании инженерных сооружений г. Нерюнгри доля прочного массива песчаника со значениями R_c равными 50-120 МПа и за-

легающего в слое годовых теплооборотов до глубины 10-20 м, составляет 31,2 %. То есть почти в три раза меньше в сравнении с прочным песчаником Южной Якутии за пределами городской застройки. В самой застройке преобладают песчаники средней прочности со значениями R_c равными 15-50 МПа. Их доля составляет 47,7 %. В меньшинстве остаются малопрочные песчаники (19,3 %) со значениями R_c равными 5-15 МПа и незначительная часть полускальных грунтов со значениями R_c меньше 5 МПа – песчаников пониженной и низкой прочности (около двух процентов).

Итог исследований

Сравнительный вероятностно-статистический анализ лабораторных значений прочностной характеристики R_c , сделанный в границах площади геологоразведочных работ по изучению каменноугольных месторождений Южной Якутии и на одном из многочисленных участков промышленного освоения этих месторождений вблизи г. Нерюнгри и его окрестности, обнаружил закономерность, которая проявляет себя

в высокотемпературном мёрзлом массиве песчаника – основном литотипе осадочной толщи пород Южной Якутии. Это – одинаково существенный (почти в 2,5-3,0 раза) рост широты пространственной изменчивости и снижение доли прочного песчаника в слое годовых теплооборотов до глубины 10-20 м в сфере интенсивного механического и теплового взаимодействия с инженерными сооружениями г. Нерюнгри.

Практическая ценность полученных результатов сравнительного анализа состоит прежде всего, в констатации факта сохранения даже в прогнозируемом по лабораторным данным водонасыщенном состоянии запаса прочности массива песчаника (в диапазоне 15-120 МПа) в природных незатронутых строительством условиях прерывисто-островной высокотемпературной криолитозоны Южной Якутии и в антропогенно-техногенных условиях на территории г. Нерюнгри с целью использования массива песчаника в качестве грунтового и преимущественно скального основания инженерных сооружений разного назначения. XXI

Литература

1. Акимов А.Т. Вопросы теории и практики электроразведки мёрзлых пород // Труды ПНИИИС Госстроя РСФСР, том VI. Геофизические методы исследований при изысканиях в строительстве. – Москва: Изд-во Госстроя СССР, 1971 – С. 6-73.
2. Булдович С.Н., Мелентьев В.С., Наумов М.С., Фурикевич О.С. Роль новейших разрывных нарушений в формировании мерзлотно-гидрогеологических условий (на примере Нерюнгринской синклинали Южно-Якутского мезозойского прогиба) // Мерзлотные исследования. Москва: Изд-во МГУ, 1976, выпуск XV, с. 120-125.
3. Гриб Н.Н., А.В. Самохин. Физико-механические свойства углевмещающих пород Южно-Якутского бассейна. Новосибирск: Изд-во «Наука», 1999. – 240 с.
4. Желинский В.М. Мезозойская угленосная формация Южной Якутии. Новосибирск: Изд-во «Наука», 1980. – 119 с.
5. ГОСТ 21135.2–84. Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном сжатии. – Москва: Изд-во стандартов, 1984. – 7 с.
6. ГОСТ 25100–2020. Грунты. Классификация. – Москва: Изд-во «Стандартинформ», 2020. – 38 с.
7. Кулаичев А.П. Методы и средства комплексного анализа данных. Москва: Изд-во «ФОРУМ: ИНФРА», 2006. – 512 с.
8. Пособие по проектированию оснований зданий и сооружений (к СНиП 2.02.01-83) / НИИОСП им. Н.М. Герсеванова Госстроя СССР – Москва: Изд-во «Стройиздат», 1986. – 415 с.
9. Южная Якутия: мерзлотно-гидрогеологические и инженерно-геологические условия Алданского горнопромышленного района / под ред. В.А. Кудрявцева. – Москва: Изд-во МГУ, 1975. – 444 с.

UDC 552.08+552.513

L.G. Neradovskii, Senior Research Scientist, Laboratory of Engineering Geocryology Melnikov Permafrost Institute SB RAS, L031950N@ia.ru

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE STRENGTH OF SEDIMENTARY ROCKS IN THE PERMAFROST ZONE OF SOUTH YAKUTIA AND IN THE TERRITORY OF THE CITY OF NERYUNGRI

Abstract: A multi-scale comparative analysis of the regional and local probabilistic distribution of the strength values of sandstone, the main lithotype of the sedimentary rock mass in the permafrost zone of South Yakutia and on the territory of its administrative center, the city of Neryungri, has been made. It has been established that in comparison with the natural conditions of South Yakutia, in urban anthropogenic and technogenic conditions, there is an almost identical and significant (2.5-3.0 times) ordered mutually dependent increase in the latitude of variability with a decrease in the strength of sandstone at the base of engineering structures. Despite this, in the zone of thermal rest below the weathering horizon and in the layer of annual heat cycles in the field of mechanical and thermal interaction with engineering structures, sandstones, even in the water-saturated state predicted from laboratory data, retain strength sufficient to be used as a rocky foundation for engineering structures.

Keywords: South Yakutia; Neryungri; engineering structures; rocky-semi-rocky foundations; sedimentary rocks; strength; histograms and variograms; variability; average values.