

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2022, №2, Том 14 / 2022, No 2, Vol 14 <https://esj.today/issue-2-2022.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/01NZVN222.pdf>

DOI: 10.15862/01NZVN222 (<https://doi.org/10.15862/01NZVN222>)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Нерадовский, Л. Г. Прочность скального основания инженерных сооружений в криолитозоне Южной Якутии (г. Нерюнгри) / Л. Г. Нерадовский // Вестник евразийской науки. — 2022. — Т. 14. — № 2. — URL: <https://esj.today/PDF/01NZVN222.pdf> DOI: 10.15862/01NZVN222

For citation:

Neradovsky L.G. Strength of hard foundation rocks in the Southern Yakutian permafrost region (city of Neryungri). *The Eurasian Scientific Journal*, 14(2): 01NZVN222. Available at: <https://esj.today/PDF/01NZVN222.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.15862/01NZVN222

УДК 552.5+552.513

Нерадовский Леонид Георгиевич

ФГБУН «Институт мерзлотоведения имени П.И. Мельникова Сибирского отделения Российской академии наук»,
Якутск, Россия

Старший научный сотрудник

Доктор технических наук

E-mail: L031950N@ya.ru

РИНЦ: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=394470

Прочность скального основания инженерных сооружений в криолитозоне Южной Якутии (г. Нерюнгри)

Аннотация. В статье рассмотрены результаты статистического анализа по выборке фактического материала, полученного в середине 70-х годов прошлого века при производстве изысканий в островной высокотемпературной криолитозоне Южной Якутии в г. Нерюнгри. Фактический материал состоит из 162 лабораторных определений значений предела прочности на одноосное сжатие образцов песчаника. Образцы были отобраны из керна скважин. Исследование вероятностных распределений значений прочности песчаника в общей выборочной совокупности фактического материала и в формальном его разбиении на проектно-строительные категории показало следующее. В неблагоприятном (искусственно водонасыщенном) и благоприятном для строительства естественном состоянии (мёрзлом или воздушно-сухом) песчаник юрского возраста в подавляющем большинстве случаев представляет собой по государственному стандарту надёжное и устойчивое по прочности скальное основание инженерных сооружений. Диапазон средних значений скальных грунтов: песчаника малой и средней прочности вместе с прочным песчаником в водонасыщенном и естественном состоянии составляет 8,83–92,81 и 30,91–127,00 МПа. Из сравнительного анализа средних значений предела прочности песчаника в естественном состоянии, выполненного по результатам отечественных и зарубежных исследований, следует, что песчаник г. Нерюнгри мало чем отличается от песчаников криолитозоны Южной Якутии (87,26 МПа) и песчаников, занимающих территорию бывшей РСФСР, а ныне России (84,53 МПа). В масштабе региональной близости общей меры средней прочности в значительной степени (по признаку общей территориальной принадлежности) проявляет себя одна из сторон природной сущности песчаника, как класса осадочных пород на Евразийском материке.

Ключевые слова: Южная Якутия; г. Нерюнгри; инженерные сооружения; скальные грунты; песчаник; прочность; водонасыщенное и естественное состояние; вероятностные распределения; гистограммы; средние значения

Введение

В настоящей статье впервые представлен ранее не опубликованный по разным причинам результат статистического анализа некоторой части фактического материала, который был собран в 70-х годах прошлого века в криолитозоне Южной Якутии в ходе инженерно-геологических изысканий на застраиваемой территории г. Нерюнгри. Фактический материал представляет собой лабораторные определения значений предела временной прочности песчаника на одноосное сжатие в водонасыщенном состоянии (R_{cw}). Эта характеристика механических свойств пород и грунтов, хорошо изучена в научно-производственном отношении. Однако для территории г. Нерюнгри нет ни одной опубликованной статьи или монографии, в которых был бы освещён вопрос о закономерностях и особенностях вероятностной изменчивости значений R_{cw} коренных пород. Речь идёт об осадочных породах, которые используются в качестве основания инженерных сооружений, построенных и эксплуатируемых в г. Нерюнгри. Цель настоящей статьи состоит в том, чтобы не только восполнить существующий пробел по характеристике R_{cw} и её аналоге в воздушно-сухом состоянии (R_{cs}), но и сравнить статистики широты изменчивости и средних значений этой характеристики в Южной Якутии и за её пределами.

Обзор характеристики R_c песчаника

В рамках не только одной статьи, но даже нескольких коллективных монографий невозможно дать полноценный исчерпывающий обзор исследований по характеристике предела временной прочности песчаника на одноосное сжатие (R_c) в водонасыщенном и/или воздушно-сухом состоянии. Поэтому ограничимся кратким рассмотрением её применения у нас в стране и за рубежом. Однако и этот обзор сделать трудно из-за рассеянного в огромном числе публикаций фактического материала представленного в систематизированном и обобщённом виде в аспекте решения инженерно-геологических задач для целей проектно-изыскательских работ. Попытки поиска материала по R_c в таких авторитетных журналах, как, например, «Грунтоведение» и «Промышленное и гражданское строительство» не принесли желаемых результатов. В выпусках этих журналов соответственно за 2012–2021 гг. и за 2009–2021 гг. нет ни одной статьи по изучению.

Проблема дефицита *сконцентрированных* знаний по характеристике R_c скально-полускальных грунтов не заметна на фоне множества работ, касающихся изучения характеристик всего класса физико-механических свойств пород и грунтов и их вероятностно-статистических взаимосвязей. Эта область знаний основательно изучена в инженерной геологии, мерзлотоведения и грунтоведения в лабораторных и натуральных экспериментах. Их результаты опубликованы в монографиях, справочниках, сборниках статей, методических указаниях и других источниках научно-технической информации. Например, в работах В.В. Охотина, Н.А. Цытовича, Е.М. Сергеева, В.Д. Ломтадзе, Е.Д. Ершова, Г.В. Алексеева, Г.А. Голодковской, Л.В. Шаумян, В.Н. Кобрановой, Н.Б. Дортман, Н.В. Мельникова, В.В. Ржевского, М.М. Протодяконова, И.Н. Вотякова и многих-многих других отечественных учёных.

Пожалуй, главной причиной обозначенного выше дефицита, является, существовавшая в прикрытом виде в прошлом веке и обострившаяся в обнажённом виде в настоящее время, ведомственная и корпоративная разобщённость источников получения знаний не только о строительных качествах грунтов, но и в целом, о геологическом строении освоенных или осваиваемых природных ресурсов Земли. По этому поводу сотрудники Нижне-Волжского научно-исследовательского института геологии и геофизики замечают [1, с. 48]: *“В сравнении с прошлым временем разделение общероссийского геологического пространства на*

«лоскутные» лицензионные участки с конфиденциальной информацией препятствует периодически публиковать обобщения по систематизированным результатам геологических и геофизических работ».

Есть и другие взаимосвязанные причины общего характера, затрудняющие поиск научно-технической информации в Интернете и государственных библиотеках. Во-первых, огромное количество информации. Во-вторых, платный доступ к полнотекстовым публикациям. В-третьих, отсутствие возможности в процессе поиска в Интернете быстрого профессионального перевода зарубежных публикаций. Автоматизированные переводчики (Яндекс, Гугл и др.) решают эту задачу не удовлетворительно.

Несмотря на существующие ограничения перевод достаточно большого числа публикаций из зарубежных источников, сделанный в Интернете (научном портале Google Академия) даёт основание сделать заключение. А именно, характеристика R_c ¹ постоянно применялась и продолжает применяться в поисках вероятностных моделей прогноза прочности грунтов по двум генеральным направлениям. Первое направление охватывает решение задач петрофизики осадочных пород в сфере производства геологоразведочных, промысловых (добыча нефти и газа) и горнодобывающих работ. Второе направление сосредоточено на решении задач петрофизики грунтов при производстве проектно-изыскательских работ в строительной индустрии. Стоит заметить, что эта отрасль народного хозяйства настолько важна, что в 2010 г. президент Российского союза строителей В.А. Яковлев осмелился назвать её локомотивом развития экономики России². Позже, в 2020 г. В.В. Путин подтвердил первостепенную роль строительной индустрии в нашей стране³.

Не заостряя внимание на обозначенных направлениях, коснёмся лишь некоторых зарубежных работ, чтобы понять для решения каких петрофизических задач применялась характеристика R_c . К сожалению, приходится констатировать, что только по редким доступным для автоматизированного перевода полнотекстовым статьям можно узнать, подробности изучения интересующей нас характеристики.

Приступим к обзору зарубежных работ.

На месторождениях Турции характеристика R_c по данным Х. Басарир и др. применялась вместе с другими горнотехническими параметрами для построения модели нейронной множественной регрессии с целью прогноза скорости проходки скважин с алмазным долотом [2]. Ф.Г. Белл в 2005 г. [3] отмечал, что песчаник, как представитель класса осадочных пород, широко распространён на Земле. Длительное действие процессов диагенеза и эволюции пористости привели к многоликости песчаника с широким диапазоном изменчивости значений R_c от 5,0 до 150 и более МПа. Эти значения сложным образом зависят от пористости, типа и количества цемента, материала минеральной матрицы, а также состава и текстуры отдельных зерен. Прочный песчаник имеет более высокое содержание цемента в минеральной матрице и более низкую пористость. Кроме того, прочность песчаника, как и других горных пород, снижается от влажности. В насыщенном водой песчанике его прочность может быть вдвое меньше, чем в сухом состоянии. Так, например, образцы киддерминстерского песчаника

¹ В зарубежной геотехнике она известна под аббревиатурой UCS (uniaxial compressive strength).

² Яковлев, А. Строительная отрасль — это локомотив, который тянет за собой всю экономику. — Электронные текстовые данные. — Режим доступа: <https://sroportal.ru/publications/v-yakovlev-stroitel'naya-otrasl-eto-lokomotiv-kotoryj-tyanet-za-soboj-vsyo-ekonomiku>, свободный. — Загл. с экрана.

³ Путин, В.В. Строительный комплекс станет локомотивом роста при восстановлении экономики. — Электронные текстовые данные. — Режим доступа: <http://www.tass.ru/ekonomika/8261871>, свободный. — Загл. с экрана.

пермо-триасового возраста, отобранные из естественных обнажений в Уэльсе (горной стране на юго-западе Великобритании) имеют среднюю прочность на длительное сжатие в сухом состоянии около 2,5 МПа [3]. Однако при насыщении водой прочность образцов песчаника в отдельных случаях снижается до минимального значения 0,5 МПа. В работе Ф.Г. Белла также обращается внимание на высокие коэффициенты внутреннего трения песчаника, которые придают им высокую прочность на сдвиг при длительной нагрузке и вследствие этого не создают серьезных проблем для строительства. В качестве оснований фундаментов инженерных сооружений даже плохо сцементированный песчаник обычно не подвержен пластической деформации. Более того, за исключением сланцеватого песчаника, в котором цемент легко растворим, песчаник не подвержен быстрому разрушению при воздействии процесса растворения. Тем не менее, действие соли может привести к сотовому выветриванию песчаника. В таких случаях ухудшается прочность массива песчаника при его использовании в качестве основания инженерных сооружений или теряется качество и красота плиток песчаника, как облицовочного материала. Снижается и качество обломочного материала песчаника, как строительного балласта на насыпях автомобильных и железных дорог.

Замечание Ф.Г. Белла по разрушительному действию солей своевременно и заслуживает внимания для урбанизированных территорий, в частности, территории г. Нерюнгри, на которых в разной мере и до разной глубины развиваются процессы антропогенно-техногенного химического загрязнения грунтовых оснований фундаментов инженерных сооружений.

А.А. Шакур и Р.Э. Бонелли в 1991 г. [4] изучали в лабораторном эксперименте характеристику R_c вместе с механическими (прочность на растяжение, модуль Юнга, коэффициент Пуассона) и петрографическими характеристиками (размером, формой, плотностью упаковки зерна и др.), а также индексом инженерных свойств. Эксперимент был выполнен на шести образцах песчаника с названием Шарон, Джуниата, Моргантаун-Графтон и Берея. В ходе эксперимента были изучены многомерные корреляции отмеченных характеристик и на основе их тесной корреляции создана вероятностная модель прогноза R_c по комплексу петрографических характеристик.

Важность изучения и применения характеристики R_c в нефтяной механике горных пород отмечается в современной работе М. Фаррохруз, М.Р. Азеф [5]. По теме исследований она аналогична работе [4], но отличается от неё количеством использованного фактического материала. Причём не только в авторском исполнении, но и с привлечением нескольких сотен данных, полученных другими исследователями. И в этой работе высоко оценена возможность быстрой оценки значений R_c по другим более доступным для определения лабораторных данных, например, пористости и модуля Юнга. Объясняется это преимуществом отсутствием подходящих образцов, отобранных из керна скважин для лабораторных экспериментов, что зачастую является серьезным препятствием для геотехнических исследований. Авторы заявляют, что ими впервые найдено для широкого географического применения уравнение прогноза R_c с существенно меньшими ошибками, чем ошибки вероятностных моделей, разработанные другими исследователями.

Влияние количества циклов (от 0 до 50) нагрева-охлаждения, увлажнения-сушки, замораживания-оттаивания, имитирующих в лабораторных условиях искусственное изменение и влияние климата на значения R_c , изучали П.А. Хейл и А.А. Шакур [6] при длительном сжатии шести образцов разного песчаника, отобранных из керна скважин. Результаты опытов показали, что ни нагрев-охлаждение, ни увлажнение-сушка существенно не снижали прочность песчаника, но в циклах замораживания-оттаивания его прочность значительно снизилась, но не у всех образцов. При этом было установлено, что в диапазоне пористости 2–7 % происходит значительное ухудшение прочности песчаника.

Зависимость значений R_c от среднего размера минерального зерна изучали в лабораторных условиях Х. Атапур и А. Мортазави [7]. Опыты проводили при длительном сжатии образцов, отобранных из ненарушенных пластов пористого песчаника. Результаты показали, что размер зерна не является подходящим показателем оценки прочности песчаника на сжатие. Кроме размера зерна и другие характеристики, такие как структура, текстура порового пространства и сила межзёрновой цементации, влияют на прочность песчаника. С учётом действия этих факторов была разработана эмпирическая модель для оценки значений R_c длительной прочности пористого песчаника. Достоверность модели была проверена в сравнении с опубликованными данными других исследователей.

Для сравнения корректности и погрешности вероятностных моделей прогнозирования R_c в зависимости от прочности на растяжение, удельного веса, коэффициента твёрдости, индекса точечной нагрузки и скорости продольной волны А. Теймен и Э.К. Менгук [8] выполнили очень сложный статистический анализ. В ходе анализа были апробированы разные методы регрессии, включая современные методы, которые можно назвать экзотическими. По индексу производительности классический метод множественной регрессии, хотя и не намного, но превзошёл по эффективности современные методы регрессии (искусственную нейронную сеть, адаптивную систему нейронного нечёткого вывода и управляемую генетическую экспрессию).

Детальный многофакторный статистический анализ R_c и некоторых физико-механических характеристик был выполнен В. Чаудхари и др. [9] на 30 образцах песчаника Маркунди. Они были отобраны из керна скважин, пробуренных в Каймурском районе Восточной Индии. Цель анализа построить вероятностную модель для быстрого прогноза прочности песчаника без нарушения естественных условий его залегания. Такая модель, по мнению индийских учёных, имеет жизненно важное значение для земляных работ. Фактическим материалом для построения модели послужил набор данных из 150 лабораторных определений значений плотности в сухом состоянии, пористости, R_c , предела прочности на растяжение и модуля Юнга. Вероятностное распределение значений перечисленных механических характеристик не подчинялось нормальному закону и отличалось разнообразным характером. Почти линейная обратная зависимость была установлена для R_c с характеристикой пористости (корреляция $-0,86$), а прямая — для предела прочности на растяжение (корреляция $+0,83$).

В завершение обзора зарубежных работ остановимся на ещё одной работе турецких геотехников К. Зорлу и др. [10]. Она представляет научный интерес в части лабораторных исследований зависимости R_c от большого числа петрографических характеристик. Значения характеристик получены по 138 образцам песчаника, которые были отобраны в окрестности г. Анкары. Авторы исследований заостряют внимание на том, что, несмотря на широкое распространение песчаника среди горных пород, общей модели прогноза его прочности на одноосное сжатие в литературе не существует. Поэтому, а также принимая во внимание, что геотехники запрашивают данные о характеристике R_c чаще, чем любое другое свойство скального грунта, была сделана попытка создать экспериментальную базу данных максимально возможного размера. С той целью, чтобы выбрать наиболее влиятельные петрографические характеристики, контролирующие изменчивость R_c и на их основе разработать общую модель прогноза прочности песчаника. Среди 17 петрографических характеристик максимальное и статистически значимое влияние на R_c песчаника оказали три ключевые характеристики: плотность упаковки зёрен в минеральном скелете, контакт зёрен вогнуто-выпуклого типа и содержание кварца. Используя эти независимые переменные, были созданы две модели прогноза R_c песчаника: множественная регрессия и регрессия нейронных сетей.

Коснёмся обзора по криолитозоне Южной Якутии.

Здесь расположен одноимённый крупный не только по местным меркам, но и в масштабе России территориально-промышленный комплекс по разработке золотоносных, угольно-железородных и урановых месторождений со вспомогательной социально-гражданской и административно-управленческой инфраструктурой крупных населённых пунктов таких, как города Нерюнгри и Алдан. Несмотря на промышленную значимость, единственной опубликованной работой по южной части Республики Саха (Якутия), является монография Н.Н. Гриба и А.В. Самохина [11]. Она даёт достаточно полное представление по физико-механическим свойствам углевмещающих пород, в частности, по характеристике R_c . Кроме этого, подробно описаны статистические связи геолого-геофизических характеристик, определённых по образцам пород, взятых из керна скважин, а также методами геоэлектрики и сейсмометрии по стволу скважин и на поверхности Земли. Расширенные и отчасти дублирующие сведения о характеристике R_c , заимствованные по некоторым разделам работы [11], приведены в монографии Г.Ф. Алексева и др. [12], посвящённой изучению вопросов взрывных работ на Нерюнгринском угольном месторождении.

По г. Нерюнгри полноценных сведений по значениям R_c нет.

Этот факт не может не вызывать удивления и недоумения. Ведь, на территории этого второго по величине города Якутии за несколько десятков лет проектно-изыскательских работ были пробурены тысячи скважин. В начале-середине 70-х годов прошлого века, буровые работы выполнялись Южно-Якутским отделением Красноярского треста инженерно-строительных изысканий (ЮЮ КрасТИСИЗ), а в последующие годы Южно-Якутским трестом инженерно-строительных изысканий (ЮЖЯкутТИСИЗ). За длительный период освоения территории г. Нерюнгри получен большой объём инженерно-геологических данных, но они до сих пор не опубликованы и остаются, образно говоря, лежать «мёртвым грузом» в архиве ЮЖЯкутТИСИЗ, но уже с названием ООО «Нерюнгростройизыскания».

Несмотря на такое печальное положение, а иначе его и назвать нельзя, обобщённые сведения по характеристике R_c найдены в 2-х научно-производственных отчётах. Первый отчёт по изучению физико-механических свойств и вещественного состава угленосных пород и углей методами ГИС⁴. Второй отчёт о литолого-петрографической характеристике пород Южно-Якутского каменноугольного бассейна⁵. Содержащиеся в отчётах сведения по петрофизике углевмещающих осадочных пород применимы к территории г. Нерюнгри по двум обстоятельствам. Во-первых, геологическое строение территории г. Нерюнгри мало чем отличается от строения Южной Якутии, где расположен каменноугольный бассейн. Во-вторых, г. Нерюнгри расположен рядом с Нерюнгринским месторождением коксующегося угля. Попутно заметим, что это уникальное по запасам и качеству угля месторождение было известно в России ещё со времён Союза Советских Социалистических Республик (СССР).

⁴ Опытные-производственные работы по изучению физико-механических свойств и вещественного состава угленосных пород и углей методами ГИС на месторождениях Алдано-Чульманского района Южно-Якутского бассейна. Отчёт каротажной партии о результатах опытно-производственных работ за 1985–1990 гг. в 3-х томах. Том I — Текст. Гос. регистр. № 45-86-20-22. — Чульман, 1990. — 276 с.

⁵ Литолого-петрографическая характеристика углевмещающих пород Южно-Якутского каменноугольного бассейна. Отчёт по договору № 894 за 1989–1992 гг. В 3-х книгах. Книга I — текст. Отв. исп. ведущий инженер Г.В. Каткевич. — Санкт-Петербург: ВСВГВИ, 1992. — 189 с.

Район и участок исследований

Несмотря на давность времени, единственной обзорной работой по Южной Якутии в части широты охвата и детального анализа фактического материала, а также разноплановой его систематизации, можно считать работу МГУ имени М.В. Ломоносова, выполненную под руководством В.А. Кудрявцева [13]. В этой работе, ставшей библиографической редкостью, приведены сведения обо всех сторонах природной обстановки криолитозоны юга Якутии до начала его промышленного освоения. При необходимости эти сведения могут послужить отправной информационной точкой для любых мониторинговых исследований в этом регионе Якутии. В соответствии с работой [13] район исследований расположен в зоне складчатости по краевому шву Предстанового прогиба на южной окраине Алданского плоскогорья в пределах Чульманской впадины, выполненной угленосными осадочными породами юры и нижнего мела. В южной части Чульманского плато (в бассейне среднего течения р. Чульман) на отложениях горкитской свиты согласно залегают отложения холодниканской свиты нижнего мела (песчаники с прослоями конгломератов, алевролиты, каменный уголь), выполняющие ядро Нерюнгринской синклинали с разрывными дислокациями. Тектонический фактор накладывает особый отпечаток на всю криолитозону Южной Якутии [14]. В целом, этот регион отличается сложным инженерно-геокриологическим обликом, главной чертой которого, является неоднородность и динамичность мерзлотно-грунтовых условий. Эта черта проявляется в значительной глубине сезонного оттаивания-промерзания (порядка 3–6 м) с возможностью многократного перехода мёрзлых пород в талое состояние и наоборот. Поверхности водоразделов в Южной Якутии имеют мягкие мерзлотно-грунтовые условия с развитием островной мерзлоты небольшой мощности (20–50 м) и среднегодовой температурой близкой к 0,0°C. Естественный тепловой режим мерзлоты находится в сильной зависимости от процессов конвективного теплопереноса. Движение воздуха и воды с поверхности и из глубин Земли по зонам дробления и трещиноватости коренных пород приводит к уменьшению мощности островной мерзлоты вместе с увеличением мощности слоя годовых теплооборотов. По разным оценкам нижняя граница этого слоя залегает на глубине 15–30 м.

Город Нерюнгри, является административным центром Южной Якутии и расположен почти в 800 км на юго-запад от г. Якутска. Город занимает вершину и частично склоны водораздела рек: Чульман, Верхняя Нерюнгри, Малый Беркакит и Амнуннакта. Абсолютные отметки высоты рельефа водораздела изменяются от 773 до 868 м. Сложный по изменчивости в пространстве, а также неустойчивый во времени природный температурный режим коренных пород в г. Нерюнгри был нарушен в ходе строительства и эксплуатации инженерных сооружений. За всю историю города, начавшуюся в 1975 г., на некоторых его участках произошла деградация мерзлоты. По результатам обобщения данных термометрии изыскательских скважин температура на этих участках на глубине 10 м изменялась от 0,0 до 6,5°C. На участках сохранившейся островной мерзлоты мощностью 13–18 м, среднегодовая температура на глубине 10 м составляла минус 0,4±0,1°C.

Анализ геологического строения территории г. Нерюнгри, выполненный по имеющимся в распоряжении автора настоящей статьи данным ЮжЯкутГИСИЗ, позволяет сделать ряд обобщений. Они приведены ниже.

1. Мощность слоя делювия-элювия, покрывающего сплошным плащом коренные породы осадочного происхождения, в среднем равна 2–3 м.
2. Преобладающим дисперсным материалом глинистого состава в слое делювия-элювия являются супеси, реже, пески.
3. Массив скальных коренных пород сложен песчаником и залегает почти горизонтально с небольшим углом падения.

4. До глубины 6–7 м коренные породы в той или иной степени разуплотнены процессами физического выветривания и криогенного метаморфизма.
5. Коренные породы до максимальной глубины проходки неглубоких проектно-изыскательских скважин (10–20 м) находятся в относительно сохранном прочностном состоянии.
6. Блоки песчаника средней прочности встречаются в коренных породах на разной глубине с вероятностью 97 %, т. е. практически в каждой скважине. Песчаник пониженной, малой прочности и песчаник прочный встречается с вероятностью 26 %, 41 % и 50 %.
7. Вероятность вскрытия скважинами в массиве песчаника прослоев алевролита и углистого аргиллита составляет 18 % и 8 %, а пластов каменного угля 29 %.

Статистика вероятностного строения и прочности коренных пород, полученная по данным бурения скважин ЮжЯкутГИСИЗ, не противоречит опубликованным сведениям по Алдано-Чульманскому угольному бассейну. Так, например, В.М. Желинский [15] во всех свитах Южной Якутии отмечает преобладание среди других осадочных пород песчаника мелко-средне-крупнозернистого. Доля песчаника в дурайской свите составляет 52,6 %, а в юхтинской свите возрастает до 86,5 %. В Нерюнгринской свите, пространственно близкой к г. Нерюнгри, доля песчаника преимущественно мелко-среднезернистого тоже большая и составляет 78,7 %. График вероятности встречаемости в г. Нерюнгри перечисленных выше литотипов коренных пород показан на рисунке 1.

Фактический материал

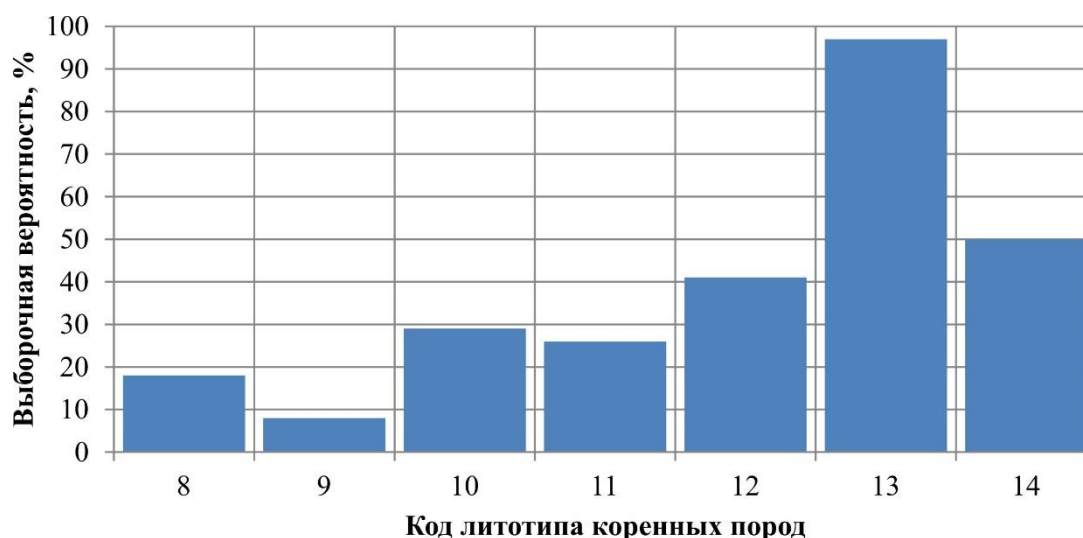
Материал представлен значениями R_{cw} , полученных по 72 скважинам, которые были пробурены в начальный период проектно-изыскательских работ на территории строившегося г. Нерюнгри. В ходе бурения скважин из каждого литотипа коренных пород, залегающих на разной глубине, отбирались 1–3 монолитных образца на определение в лаборатории ЮжЯкутГИСИЗ показателей физико-механических свойств коренных пород. Из имеющегося материала выборка значений R_{cw} сделана только по одному наиболее распространённому литотипу коренных пород — песчанику. Количество таких определений составило 162. Порядок проведения лабораторных опытов по определению значений R_{cw} регламентирован государственным стандартом⁶. Этот документ не актуализирован, но сохраняет своё правомочие и в настоящее время. Подробное описание процесса определения R_c есть в учебнике В.Д. Ломтадзе⁷. Дополнительно к этому учебнику рекомендуется прочитать рекомендации для инженерных расчётов⁸.

Погрешность лабораторного определения R_{cw} неизвестна, но она не могла быть выше 20 %. Такой предел установлен вышеуказанным стандартом при условии проведения массовых лабораторных опытов в серии испытаний по нескольким образцам грунтов. Обратим внимание, что ни в одной из проанализированных отечественных и зарубежных работ по геотехнике нет данных о фактической погрешности определения R_c .

⁶ ГОСТ 21135.2-84. Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном сжатии. — М.: Изд-во стандартов, 1984. — 8 с.

⁷ Ломтадзе В.Д. Физико-механические свойства горных пород. Методы лабораторных исследований: Учебное пособие. — Л.: Недра, 1990. — 328 с.

⁸ Рекомендации по комплексу методов определения механических свойств горных пород (для инженерных расчетов горного давления). — Л.: ВНИМИ, 1980. — 105 с.



Номера кодов литотипов коренных пород: 8 — алеврит; 9 — аргиллит; 10 — уголь; 11 — сильно выветренная разборная блочно-глыбовая скала (песчаник «рухляк»); 12 — песчаник малой прочности; 13 — песчаник средней прочности; 14 — прочный песчаник

Рисунок 1. Гистограмма вероятности встречаемости основных литотипов коренных пород в инженерно-геологическом разрезе изыскательских скважин ЮжЯкутГИСИЗ. Объём выборки — 72 скважины (составлен автором)

Обсуждение результатов статистического анализа

Изучение вероятностной изменчивости значений R_{cw} песчаника, преимущественно слагающего основание инженерных сооружений г. Нерюнгри, выполнялось с помощью программы «Стадия» [16]. От других программ вероятностно-статистического анализа эта программа отличается многими совершенствами и, в частности, автоматическим разбиением выборочной совокупности экспериментальных данных на корректное число групп (бинов) по эвристическому алгоритму, разработанному А.П. Кулаичевым. Без этой квалифицированной помощи трудно найти оптимальное решение между желанием увидеть общую закономерность или напротив, удовлетворить любопытство в рассмотрении тонких особенностей и деталей вероятностных распределений значений R_c . Кроме этого, программа «Стадия» освобождает исследователя от рутинной и не всегда правильной проверки альтернативных статистических гипотез. Речь идёт о том, что по результатам тестовой проверки гистограмм программа выдаёт диагностику о соответствии или несоответствии фактического вероятностного распределения теоретическому закону нормального распределения.

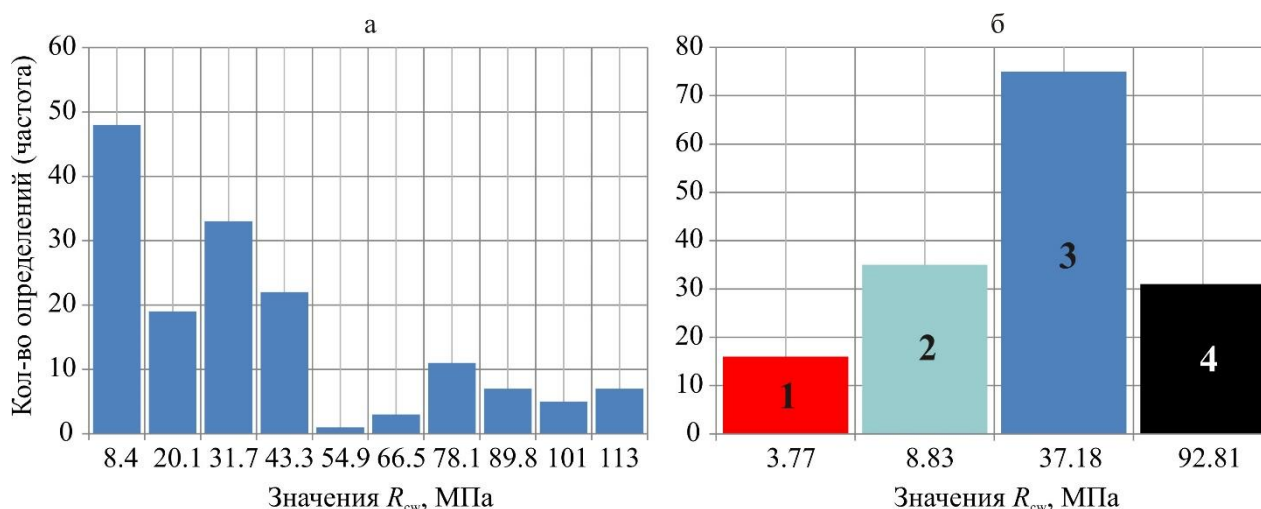
Рассмотрим результаты статистического анализа.

Начнём с самого главного — законов вероятностных распределений.

Одного взгляда на рисунке 2 достаточно, чтобы понять, что в общей совокупности фактического материала, состоящей из 162 значений R_{cw} , закон теоретического нормального вероятностного распределения нарушен. В 1-ом варианте гистограммного анализа (рис. 2а) видно, что вероятностная структура значений R_{cw} состоит из 3-х композиций с разными модальными (наиболее вероятностными) средними значениями. Эти значения соответствуют максимумам гистограмм. Природа композиций идентифицируется по таблице Б.1⁹, как разновидности скально-полускального грунта. Первая композиция с модой 8,40 МПа включает в себе группу значений R_{cw} соответствующую полускальному грунту (песчанику

⁹ ГОСТ 25100-2020. Грунты. Классификация. — М., Стандартинформ, 2020. — 38 с.

пониженной прочности). Вторая композиция с модой 31,7 МПа отображает скальный грунт (песчаник средней прочности) с границами изменчивости R_{cw} от 20,1 до 43,3 МПа. В рассеянном виде наблюдается аномальная третья композиция со слабовыраженной модой 78,1 МПа. Эта композиция в границах изменчивости R_{cw} от 54,9 до 113,0 МПа охватывает другую разновидность скального грунта — прочного песчаника. Во втором варианте гистограммного анализа (рис. 2б), выполненного также с привязкой к номенклатурным границам прочности разновидностей скально-полускального грунта (ГОСТ 25100-2020), средние значения песчаника R_{cw} установлены более точно по медианному показателю. Описательная статистика общего и частного вероятностного распределения лабораторных определений значений R_{cw} по разновидностям скально-полускального песчаника приведена в таблице 1. В выборочной совокупности фактического материала песчаник пониженной прочности составляет 11,7 %. Остальная преобладающая часть принадлежит песчанику средней прочности и песчанику прочному (88,3 %).



Номера разновидностей скально-полускального грунта (песчаника): 1 — пониженной прочности; 2 — малопрочные; 3 — средней прочности; 4 — прочные

Рисунок 2. Гистограммы вероятностного распределения значений предела прочности на одноосное сжатие песчаника в водонасыщенном состоянии в общей выборке фактического материала (а) и в разновидностях скально-полускальных грунтов (б).
Объём выборки — 162 лабораторных определений (составлен автором)

Таблица 1

Статистика значений R_{cw} песчаника г. Нерюнгри

Описательная статистика R_{cw}	R_{cw} скально-полускальных песчаника, МПа				
	1–4	1	2	3	4
Среднее арифметическое (САР)	35.15	4.03	8.76	30.86	91.1
Стандартная ошибка САР	2.49	0.21	0.39	0.98	2.92
Среднее медианное	40.21	3.77	8.83	37.18	92.81
Среднее модальное	нет	нет	нет	нет	нет
Стандартное отклонение	31.2	0.93	2.21	8.59	16.2
Коэффициент вариации, %	88.8	23.1	25.2	27.8	17.8
Минимальное значение	2.63	3.06	5.09	13.89	62.52
Максимальное значение	118.8	5.68	12.53	47.84	118.8
Кол-во определений (объём выборки)	162	19	31	76	36
Уровень надежности САР (95.0 %)	4.92	0.45	0.81	1.96	5.95

Примечание: 1–4 — общая выборочная совокупность по всем разновидностям песчаника; 1 — песчаник пониженной прочности; 2 — песчаник малопрочный; 3 — песчаник средней прочности; 4 — песчаник прочный. Составлена автором

Возникают два вопроса. Первый вопрос — насколько вырастут средние значения R_{cw} образцов изученных разновидностей песчаника при переходе в воздушно-сухое состояние? Второй вопрос — проводились эти испытания в лаборатории ЮжЯкутГИСИЗ?

Ответить на второй вопрос автор настоящей статьи не может из-за отсутствия точных сведений о составе и порядке лабораторных испытаний.

Чтобы получить ответ на второй поставленный вопрос воспользуемся пособием к строительным нормам и правилам (СНиП)¹⁰. В пособии есть таблица 115. В ней приведены обобщённые средние значения R_c грунтов, как для водонасыщенного, так и природного состояния для 2-х главных типов цемента: глинистого и карбонатного с учётом значений коэффициента выветрелости (k_{wr}). Расшифровка этих значений дана в таблице 2 того же пособия. Понятие природного состояния в пособии не конкретизировано, но скорее всего, под ним подразумевается то состояние, в котором образцы грунтов были отобраны из керна скважин. В отношении к этому общему состоянию интересующее нас воздушно-сухое состояние, скорее всего, предстаёт частной формой вошедшего в обиход названия, применяемого для обозначения стандартных условий лабораторных испытаний на прочность образцов грунта. К этому пояснению уместно добавить и заодно не лишне напомнить начинающим свою научную деятельность молодым исследователям исключительное значение всего того материала, который содержится в СНиП. В этих ведомственных документах в систематизированном и обобщённом виде сосредоточен большой по объёму и разнообразный по содержанию фактический материал по физико-механическим характеристикам грунтов. Этот материал получен на обширной территории Российской Советской Социалистической Республике (РСФСР) в результате целенаправленных многолетних лабораторных и натурных экспериментов разными научно-производственными проектно-исследовательскими институтами и предприятиями.

Вернёмся к решению поставленного вопроса в свете вышесказанного.

Анализ содержания таблицы 115 из пособия к СНиП 2.02.01-83 показывает, что соотношение или разность значений R_{cw} и R_{cs} (в воздушно-сухом состоянии) сильно зависит от двух факторов. Первый фактор — тип цемента, скрепляющий минеральные зёрна песчаника. Второй не менее сильный фактор — степень выветрелости песчаника. Результат определения с учётом этих факторов более надёжных средних медианных значений R_{cs} песчаника в г. Нерюнгри представлен в таблице 2.

Таблица 2

Нормативные (средние) значения R_c песчаника г. Нерюнгри

Разновидности песчаника по R_{cw} (по ГОСТ 25100–2020 [24])	Характеристики песчаника с карбонатным цементом				
	R_{cw}	k	R_{cs}	k_{wr}	степень выветрелости*
Песчаник пониженной прочности	3.77	2.0	7.54	Меньше 0.80	Сильновыветрелые (рухляки)
Малопрочный песчаник	8.83	3.5	30.91	0.80–0.85	Выветрелые
Песчаник средней прочности	37.18	1.67	62.09	0.90–0.95	Слабовыветрелые (трещиноватые)
Прочный песчаник	92.81	1.37	127.0	0.95–1.00	Слабовыветрелые (трещиноватые)
Все разновидности песчаника	40.21	1.99	80.02	0.95–1.00	Слабовыветрелые (трещиноватые)

*Примечание: R_{cw} — среднее медианное значение предела прочности на одноосное сжатие в водонасыщенном состоянии, МПа; R_{cs} — тоже, в воздушно-сухом состоянии, МПа; k — коэффициент пересчёта из водонасыщенного состояния в воздушно-сухое (природное) состояние; k_{wr} — коэффициент степени выветрелости. * — в воздушно-сухом состоянии. Составлена автором*

¹⁰ Пособие по проектированию оснований зданий и сооружений (к СНиП 2.02.01-83) / НИИОСП им. Н.М. Герсеванова Госстроя СССР — М.: Стройиздат, 1986. — 415 с.

Близость максимальных средних фактических и табличных (табл. 115 пособия к СНиП 2.02.01-83) значений R_{cw} песчаника сориентировал определить прогнозные значения R_{cs} с допущением, что в лабораторных условиях образцы песчаника г. Нерюнгри были изучены не с глинистым, а с более прочным карбонатным цементом.

Представленный в таблице 2 материал преобразования прочности песчаника из неблагоприятного для строительства и эксплуатации инженерных сооружений водонасыщенного состояния в благоприятное воздушно-сухое состояние важен сам по себе. Однако куда важнее, знать сокрытый на поверхности преобразования его смысл в аспекте использования имеющейся возможности сопоставления разных нормативных¹¹ оценок. Имеется в виду частные оценки R_{cw} , полученные по 162 определениям в г. Нерюнгри с аналогичными общими оценками по пособию к СНиП 2.02.01-83, полученных по неизвестно какому, но заведомо очень большому числу определений на территории РСФСР.

Во внешне незатейливой стороне сопоставления таких оценок происходит исключительно важный по содержанию информационно-качественный переход из одного вероятностного пространства в другое. Из обособленного пространства ограниченных местных определений в расширенное и более устойчивое к влиянию случайных факторов пространство массовых определений нормативных значений R_{cw} , близкое к пространству генеральных средних значений для разновидностей всего класса песчаника. В качественной стороне перехода, нивелирующей до известной степени действие масштабного фактора, нельзя упускать из внимания тонкую и трудно понимаемую сторону. А именно, при обретении региональной общности местная характеристика R_{cw} , хотя и растворяется в этой общности, но при этом не теряет своей индивидуальной особенности в чертах вероятностной изменчивости. Информационная сторона перехода отождествляет совокупность лабораторных оценок нормативных значений R_{cw} образцов песчаника с аналогичными оценками, но уже для массива песчаника в его естественном залегании. Это означает, что в привязке лабораторных значений R_{cw} к табличным значениям песчаника (табл. 115 пособия СНиП 2.02.01-83) появляется единственная возможность сделать прогноз прочности массива песчаника, слагающего основание инженерных сооружений г. Нерюнгри в двух вариантах или сценариях¹²: водонасыщенном и воздушно-сухом состоянии.

Первый вариант прогноза¹³ допускает два следствия: массовый и длительный или частный и временный¹⁴ переход массива песчаника г. Нерюнгри из мёрзлого состояния в водонасыщенное состояние. Первое следствие нереально. Второе следствие наблюдается в повседневной жизни г. Нерюнгри, но до сих пор не привело к техногенно-социальной катастрофе, ограничиваясь частичным повреждением отдельных аварийных домов.

Отчего такая уверенность?

Она проистекает из нескольких причин.

¹¹ Так принято в отечественной инженерной геологии и грунтоведении называть средние значения различных геологических характеристик, определённых по правилам математической статистики с высокой достоверной вероятностью (не менее 70 %).

¹² В настоящее время вавилонского смешения понятий в таких областях знаний, как климатология и география вместо точного по сути слова «вариант» предпочитают употреблять термин кинематографистов — сценарий.

¹³ Допуская за реальность многочисленные прогнозы о неуклонном длительном потеплении климата Земли.

¹⁴ В результате аварии питьевых, тепловых и канализационных сетей с прорывом из труб и поступлением в фундаменты инженерных сооружений холодной и/или горячей воды, а также фекалий.

Во-первых, по классификации ГОСТ 25100–2020 в г. Нерюнгри большая часть инженерных сооружений с вероятностью 88,3 % опирается на скальный грунт — песчаник. А песчаник, и это хорошо известно, при прочих равных условиях не размягчается и не хуже других осадочных пород сохраняет прочность даже при длительном замачивании водой. Опыт 45 лет эксплуатации инженерных сооружений убедительно свидетельствует о том, что вероятность возникновения таких событий ничтожно мала. Мёрзлый массив песчаника лишь на малое время замачивается водой под отдельными зданиями в случаях возникновения аварийных ситуаций. Даже в этих случаях, поступившая в массив песчаника вода, долго в них не задерживается. Она либо замерзает, превращаясь в лёд, либо по системе открытых трещин проникает вглубь массива за пределы границ сферы механического, теплового и химического взаимодействия с инженерными сооружениями.

Во-вторых, песчаник устойчив к ударным воздействиям. Ими в г. Нерюнгри являются массовые взрывы со стороны действующего карьера Нерюнгринского месторождения угля, а также землетрясения. Одно из свидетельств, доказывающих механическую устойчивость песчаника к ударам, находится в работе А.Н. Кочанова [17]. В ней представлен результат сложного лабораторного эксперимента по электронной микроскопии процесса трещинообразования после взрывного воздействия на образцы разных литотипов пород, запаянных в ампулы. Не вдаваясь в излишние подробности, отметим лишь, что число, образовавшихся после взрыва трещин на поверхности образцов песчаника и кварцита, в четыре раза (!) было меньше, нежели на образце гранита.

В-третьих, песчаник, как и подобает скальному грунту, отличается механической устойчивостью к криогенному метаморфизму — одной из форм процесса физического выветривания, действующего в слое годовых теплооборотов. В этом слое с затухающей интенсивностью по глубине постоянно¹⁵ происходят в течение веков межгодовые механические напряжения сжатия при понижении температуры в зимний период и расширения при повышении температуры в летний период.

Уникальные исследования А.Е. Мельникова и др. [18], а также А.В. Забелина [19], выполненные на образцах песчаника, приготовленных из обломков насыпи железной дороги и керна скважин, пробуренных на одном из бортов карьера Нерюнгринского месторождения угля, показали интересные и ранее неизвестные результаты. А именно, в начальной стадии испытаний на замораживание-оттаивание (до 50 циклов) прочность у всех пород резко снижалась в аэральных (воздушно-сухих), аквальных (водонасыщенных) и нивальных (холодных) условиях. При увеличении количества циклов (до 500), длительность которых примерно соответствовала 5 годам действия процесса поверхностного криогенного выветривания, происходила стабилизация изменчивости значений R_c . У песчаника она происходила на минимальном прочностном уровне, но с равным для остальных более крепких пород¹⁶ незначительным градиентом изменчивости. Причём, не только по характеристике R_c , но и характеристикам потери массы и морозостойкости. В этом и проявляется качество механической устойчивости песчаника, которое во много раз усиливается в естественном залегании, где в отличие от поверхности Земли исключено прямое воздействие фактора криогенного метаморфизма.

Вернёмся ко второму более реалистичному варианту прогноза прочностного состояния оснований инженерных сооружений г. Нерюнгри.

¹⁵ С момента перехода немёрзлого массива песчаника в вечномёрзлое состояние.

¹⁶ Известняка и доломита с микрзернистой мозаичной структурой и массивной текстурой с содержанием минерала доломита 98 %.

Этот вариант ставит во главу угла восстановление природных условий криолитозоны в г. Нерюнгри, нарушенное несоблюдением правил строительства и эксплуатации инженерных сооружений. В этом варианте в г. Нерюнгри ленточные фундаменты всех инженерных сооружений опираются преимущественно на скальный грунт (песчаник малопрочный, средней прочности и песчаник прочный) со средними значениями R_{cs} от 30,91 до 127,0 МПа (табл. 2). Эти разновидности песчаника с общей вероятностью встречаемости около 90 % находятся в слабыветреном трещиноватом состоянии¹⁷ с несмещёнными блоками (глыбами). Остальная незначительная часть массива песчаника со средними значениями R_{cs} от 7,54 до 30,91 МПа и значением коэффициента k_{wr} от 0,80 до 0,90 находится или в сильновыветреном состоянии (рухляки) в виде отдельных кусков или выветреном состоянии с кусками разного размера, переходящих в трещиноватую скалу.

К большому сожалению, из-за отсутствия данных по топографо-геодезической привязке местоположения изыскательских скважин невозможно понять, где в г. Нерюнгри ленточные фундаменты инженерных сооружений опираются на скальные или полускальные грунты. Впрочем, это досадное упущение, обусловленное давностью времени и разными обстоятельствами изыскательской жизни, не так уж, и важно, как с позиции решения поставленной петрофизической задачи, так и с учётом небольшого количества определений R_{cw} , которые вдобавок неравномерно рассеяны по территории г. Нерюнгри. Остаётся посмотреть, каким образом значения R_{cw} песчаника г. Нерюнгри распределены в разновидностях скально-полускального грунта в границах, установленных ГОСТ 25100-2020¹⁸ для решения задач проектирования инженерных сооружений. Графики вероятностных распределений показаны на рисунке 3. Из них видно, что гистограммы фактических распределений значений R_{cw} указывают на неоднородную и несбалансированную вероятностную структуру, которая по внешнему виду далека от закона нормального вероятностного распределения.

Результаты тестовой проверки, сделанной с помощью программы «Стадия» по трём независимым критериям (Колмогорова, омега-квадрат и хи-квадрат), не подтверждают, казалось бы, внешне правильный результат визуальной диагностики. В каждой разновидности скально-полускального грунта распределение значений R_{cw} корректно аппроксимируются теоретическим законом нормального вероятностного распределения. Это даёт основание считать среднее арифметическое значение R_{cw} выборочной оценкой математического ожидания неизвестного среднего в подмножестве генеральной совокупности с теоретически бесконечным числом определений значений R_{cw} в пределах территории г. Нерюнгри. Описательная статистика (табл. 1), свидетельствует, что выборочные оценки среднего арифметического значения R_{cw} по отношению к теоретической оценке генерального среднего определены с доверительной вероятностью 95 % со следующими ошибками.

В целом, для г. Нерюнгри при изменчивости единичных значений R_{cw} от 2,63 до 118,8 МПа и среднем арифметическом значении 35,15 МПа, абсолютная ошибка равна $\pm 4,92$ МПа. У разновидности полускального грунта (песчаника пониженной прочности) минимальное среднее значение 4,03 МПа определено с ошибкой 0,45 МПа. Средние значения малопрочного песчаника, песчаника средней прочности и прочного песчаника равные 8,8 МПа, 30,7 МПа, 92,81 МПа определены с ошибками 0,81 МПа, 1,96 МПа, 5,95 МПа. Абсолютные ошибки растут в нарастающем ряду степени прочности песчаника, но в относительном измерении, напротив, существенно уменьшаются от 11,2 до 6,4 %.

¹⁷ По прочности оно сравнимо или несколько ниже с высокотемпературным мёрзлым состоянием.

¹⁸ По стандарту международного общества механики горных пород (ISRM) классификация пород по значениям R_c более детальная.

Остаётся добавить, что при общей высокой интегральной изменчивости R_{cw} , равной по коэффициенту вариации 88,8 %, аналогичная изменчивость в каждой разновидности скально-полускальных грунтов почти одинакова и сравнительно невелика. Она не выходит за границы диапазона 17,8–27,8 %. По этому показателю можно утверждать о репрезентативности небольших по числу определений выборок значений R_{cw} по каждой разновидности песчаника.

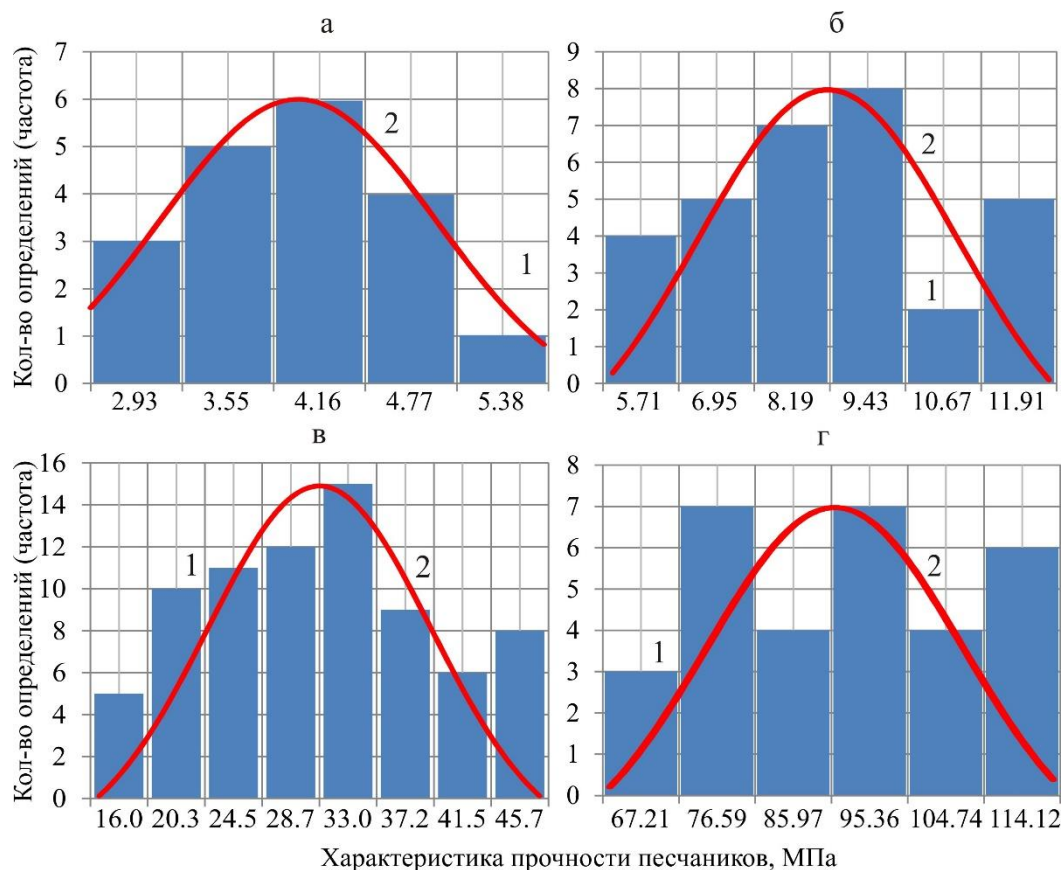


Рисунок 3. Гистограммы фактического (1) и вариограммы теоретического (2) закона нормального вероятностного распределения значений R_c скально-полускальных оснований инженерных сооружений г. Нерюнгри: песчаник пониженной прочности (а), песчаник малопрочный (б), песчаник средней прочности (в) и песчаник прочный (г). Объём выборок по разновидностям песчаника см. в таблице (составлен автором)

Сравнительный анализ характеристики R_c

Сравнительный анализ, и об этом не лишне напомнить, считается в научных исследованиях одним из основных методов познания окружающего мира. Поэтому попробуем применить его к характеристике R_c . С той целью, чтобы, хотя бы отчасти приблизительно узнать, какие значения эта характеристика механических свойств пород и грунтов принимает у песчаника в разных географо-геологических условиях. И при этом удовлетворить любопытство и ответить на вопрос, насколько эти значения близки или далеки от песчаника зарубежья и России в сравнении с песчаником криолитозоны Южной Якутии и г. Нерюнгри.

Поиск ответа на поставленный вопрос начнём с ближайшего соседства. А именно, Нерюнгринского месторождения угля, о котором уже было сказано выше. В работе А.И. Ушницкого и В.В. Преловского [20] приведены новые данные по лабораторным определениям значений R_c на современном приборе «Петромеханикс». Данные получены по 12 цилиндрическим водонасыщенным образцам мелкозернистого песчаника, взятых из керна

технологических скважин, но неизвестно с какой глубины. При изменчивости значений от 30,2 до 63,1 МПа среднее значение R_{cw} составило 43,2 МПа. Разница со средним значением R_{cw} песчаника г. Нерюнгри 35,15 МПа (табл. 1) невелика и составляет 25,6 %. Прогнозное значение R_{cs} по коэффициенту 1,99 (табл. 2) равно 85,97 МПа.

Расширим сферу ближайшего соседства до границ Южной Якутии.

Вернёмся к работе Н.Н. Гриба и А.В. Самохина [11]. В ней есть ценные сведения по 140 определениям в Южной Якутии значений R_{cw} песчаника. К сожалению, в этих сведениях нет указания глубины отбора проб из керна поисково-разведочных скважин на лабораторное определение значений R_c . Остаётся лишь с той или иной степенью уверенности догадываться, что опробование ствола скважин было сделано ниже глубины бурения изыскательских скважин, т. е. ниже 10–20 м.

Статистический анализ показал, что при изменчивости единичных значений R_{cw} песчаника мелкой и средней зернистости от 41,5–43,4 до 124,3–127,8 МПа их средние значения практически не отличаются и равны 73,8–76,9 МПа. В сравнении с г. Нерюнгри, где более надёжные в статистическом отношении средние медианные значения R_{cw} песчаника равны 40,21 МПа, средние значения песчаника Южной Якутии выше почти в два раза. В воздушно-сухом состоянии разница уменьшается за счёт применения повышающих коэффициентов, значения которых скорректированы с учётом разновидностей скально-полускального грунта по таблице 115 пособия СНиП 2.02.01-83. При применении коэффициента 1,37 для прочных разновидностей песчаника Южной Якутии получаем прогнозные средние значения R_{cs} , равные 101,11–105,35 МПа. У песчаника г. Нерюнгри они равны 80,02 МПа при применении коэффициента 1,99.

Разница объясняется разной глубиной опробования массива песчаника. В г. Нерюнгри до глубины 10–20 м опробована верхняя часть массива, где он, хотя и находится в относительно сохранном прочностном состоянии, но всё же примыкает к зоне интенсивного физического выветривания. В отличие от песчаника г. Нерюнгри песчаник Южной Якутии, опробован в районах расположения месторождений угля предположительно на глубине в несколько сотен метров, т. е. за пределами зоны выветривания. На этих глубинах плотность песчаника выше и они находятся в прочном консолидированном состоянии, хотя и не могут не испытывать локального разуплотняющего влияния со стороны тектонических процессов. Тем не менее, по ГОСТ 25100-2020 оба песчаника по средним значениям R_{cw} относятся к разновидности скального грунта средней прочности. А это, уже говорит о региональном характере распространения в пределах всей криолитозоны Южной Якутии благоприятных грунтовых условий для строительства и эксплуатации инженерных сооружений. Такой вывод получает ещё больший вес доверия, если принять во внимание, что средние прогнозные значения R_{cs} по отношению к средним значениям R_{cw} возрастают в г. Нерюнгри в 1,37–3,50 раза (табл. 2), а по работам некоторым зарубежным исследователям, например, F.G. Bell [3] могут возрасти в пять раз.

Расширим пространство сравнения до границ с криолитозоной северной части Читинской области, находящейся примерно в 400 км от г. Нерюнгри. Посмотрим, какими значениями R_{cw} обладает песчаник на этой территории Восточной Сибири. В качестве примера обратимся к работе Т.Г. Рященко и др. [21]. В ней приведены данные по R_c метаморфизованного песчаника протерозоя, полученные по результатам инженерно-геологических изысканий в районе одного из крупнейших в мире Удоканского месторождения меди. Здесь на одном из объектов инженерно-геологических изысканий были пробурены скважины до глубины 25–52 м. При природной ничтожной влажности песчаника 0,2 % и плотности 2,58–2,83 г/см³ значения R_{cs} , определённые по 10 образцам, взятых из мёрзлого керна скважин на разной глубине, изменялись от 92,9 до 151,4 МПа. В водонасыщенном состоянии эти значения

уменьшались до 77,7–137,5 МПа. Средние значения при переходе от R_{cs} к R_{cw} изменялись от 124,2 до 105,5 МПа (1,18 раз). Это говорит о том, что процесс метаморфизации делает песчаник более прочным, чем в осадочном состоянии. В сравнении с общим средним значением R_{cw} юрского песчаника г. Нерюнгри равного 35,15 МПа (табл. 1) аналогичный показатель образцов более древнего и более консолидированного протерозойского песчаника Удокана выше в 3 раза.

Сравним значения R_{cw} на ещё большем удалении от г. Нерюнгри.

В этот раз на расстоянии примерно 1200 км в юго-восточную сторону Хабаровского края, где проходит граница с Приморским краем. Здесь в горах северной части хребта Сихотэ-Алиня на одном из участков Дальневосточной ж/д между городами Комсомольск-на-Амуре и Советская Гавань расположен Кузнецовский тоннель. На этом участке получен большой объём данных по лабораторным испытаниям разных литотипов осадочных, интрузивных и метаморфических пород. Частичный результат исследований физико-механических свойств этих пород представлен в работе С.В. Квашук и др. [22] и работе Г.А. Злобина и др. [23]. Песчаник среди изученных пород занимает подчинённое значение и зачастую представлен тонким переслаиванием с алевролитами. Значения R_{cw} были определены по 16 образцам песчаника позднемелового возраста с плотностью 2,61 г/см³. У однородных воздушно-сухих образцов массивного песчаника средние значения R_{cs} составляли 160 МПа. В единичных случаях значения R_{cs} достигали 200,62–280 МПа. У трещиноватых образцов песчаника средние значения R_{cs} были ниже (121,53 МПа). В водонасыщенном состоянии они снижались до 47,24–85,78 МПа. В этом же состоянии, появление в песчанике прослоек алевролита снижало средние значения R_{cw} до 26,04 МПа.

В рассмотренном случае затруднительно сделать правильное сравнение значений R_{cw} песчаника г. Нерюнгри и Хабаровского края (Кузнецовский тоннель). Тем не менее, сделать это сравнение всё-таки можно, зная, что и в г. Нерюнгри образцы преимущественно песчаника средней прочности и песчаника прочного были отобраны в трещинно-жильном массиве осадочных пород. Итак, со стороны г. Нерюнгри трещиноватый песчаник имеет средние значения R_{cw} , равные 30,76 и 92,81 МПа, а со стороны Кузнецовского тоннеля — 47,24 и 85,78 МПа. Относительная разница в границах диапазонов средних значений составляет 42,2–7,9 %. По песчанику средней прочности разница существенная, а по прочному песчанику разность незначительная.

За пределами России по результатам исследований А.А. Яланского и др. [24] со ссылкой на сводные данные ПО «Артемгеология», ПО «Луганскгеология» и другие источники, значения R_{cw} песчаника на территории Восточной Украины изменяются от 2,7–34 до 40–212 МПа при общем среднем медианном значении 26,0 МПа. В применении к этим значениям коэффициента 2,5 из таблицы 115 пособия к СНиП 2.02.01-83 получим среднее значения R_{cs} , равное 65,00 МПа. К сожалению, авторы исследований не опубликовали сведения по геологическим особенностям (возрасту, строению, составу и др.) отбора проб песчаника. Однако и в этом неопределённом случае между изменчивостью значений R_{cw} песчаника г. Нерюнгри и Украины не видно сильных различий.

Приведём ещё несколько данных о лабораторных значениях R_{cw} песчаника, полученных в странах дальнего зарубежья, и этим завершим подборку фактического материала для сравнительного анализа.

В южной части Турции (область Адана), значения R_{cw} образцов песчаника неизвестного возраста, стратиграфии, глубины и способа отбора, а также геолого-петрографических характеристик изменялись от 10,14 до 126,6 МПа при среднем значении 67,69 МПа [8]. Применим к нему средний коэффициент 1,6 из таблицы № 115 пособия к СНиП 2.02.01-83.

Получим среднее значение R_{cs} , равное 108,34 МПа. В сводке общих данных по Турции за 1978–1999 гг. [7] значения R_{cw} опять же, полученные неизвестно для какого песчаника, изменялись от 17,5 до 214,0 МПа при среднем медианном значении 74,60 МПа. Применяя, как и к песчанику области Адана, средний коэффициент 1,6, получим среднее значение R_{cs} , равное 119,36 МПа. У песчаника г. Анкары вариативность R_{cw} ниже (от 17,5 до 107,75 МПа) со средним значением 89,50 МПа [10]. Среднее значение R_{cs} по коэффициенту 1,6 равно 133,70 МПа. В Каймурском районе Восточной Индии значения R_{cw} песчаника Маркунди изменялись от 41,9 до 83,4 МПа при среднем значении 66,2 МПа [9]. При коэффициенте 1,6 из таблицы № 115 пособия к СНиП 2.02.01-83 среднее значение R_{cs} равны 105,92 МПа.

В западной Африке (государство Гвинея) в провинции Боке на одном из объектов строительства в районе расположения группы бокситовых месторождений с названием «Диан-Диан» был изучен, выходящий на поверхность Земли, палеозойский песчаник ордовикского возраста (свита Пита) [25]. Представлен он преимущественно грубо-мелкозернистыми кварцевыми разностями. Средние значения R_{cs} и R_{cw} трещиноватого песчаника средней прочности и слаботрещиноватого прочного песчаника соответственно равны 82–76 и 35–27 МПа. У сильновыветрелого песчаника очень низкой прочности (рухляка) средние значения R_{cs} меньше 1,0 МПа.

Насколько верен прогноз по средним значениям R_{cs} , сделанный по таблице 115 пособия к СНиП 2.02.01-83?

Неизвестно.

У каждого есть право исследователя не соглашаться или сомневаться с результатом прогноза, но только сама жизнь даст окончательный ответ и покажет научно-производственную необходимость признать результат прогноза, дополнить и уточнить его или безоговорочно отклонить, как не заслуживающего доверия.

Подводя итог в обобщении результатов сравнительного анализа значений R_{cs} , позволим себе творческую вольность: собрать в единое целое выше проанализированный разнородный фактический материал. Положив в его сердцевину найденный в Интернете справочник (кадастр)¹⁹ за 1975 г. Этот документ весьма представительен и особо ценен по своему содержанию для настоящего времени, скудного на петрофизическую информацию регионального характера. Справочник составлен по результатам независимых исследований 39 научных институтов, производственных предприятий и организаций. В справочнике собрана статистика по горно-геологическим и строительным характеристикам месторождений полезных ископаемых РСФСР. Статистика касается минералов, руд, магматических, метаморфических и осадочных пород, включая песчаник. Для настоящей статьи представляют интерес 685 значений R_{cs} , полученных на образцах песчаника, которые были отобраны с глубины в несколько сотен метров из керна скважин и подземных горных выработок.

Посмотрим гистограммы вероятностных распределений этих значений (рис. 4). Как и на рисунке 2 они представлены в общем виде (рис. 4а) и с детальным разбиением на группы (рис. 4б) в соответствии с разновидностями или категориями скально-полускальных грунтов по ГОСТ 25100-2020. Как и у песчаника г. Нерюнгри распределение значений R_{cs} на бывшей территории РСФСР (рис. 4а) не соответствует закону нормального вероятностного распределения. Оно сдвинуто в левую область гистограммы с пониженными значениями прочности. В правой части гистограммы наблюдается группа с относительно маловероятными аномально высокими значениями прочности, выше 180–200 МПа.

¹⁹ Справочник (кадастр) физических свойств горных пород. / Под ред. Н.В. Мельникова и др. — М.: Недра, 1975. — 279 с.

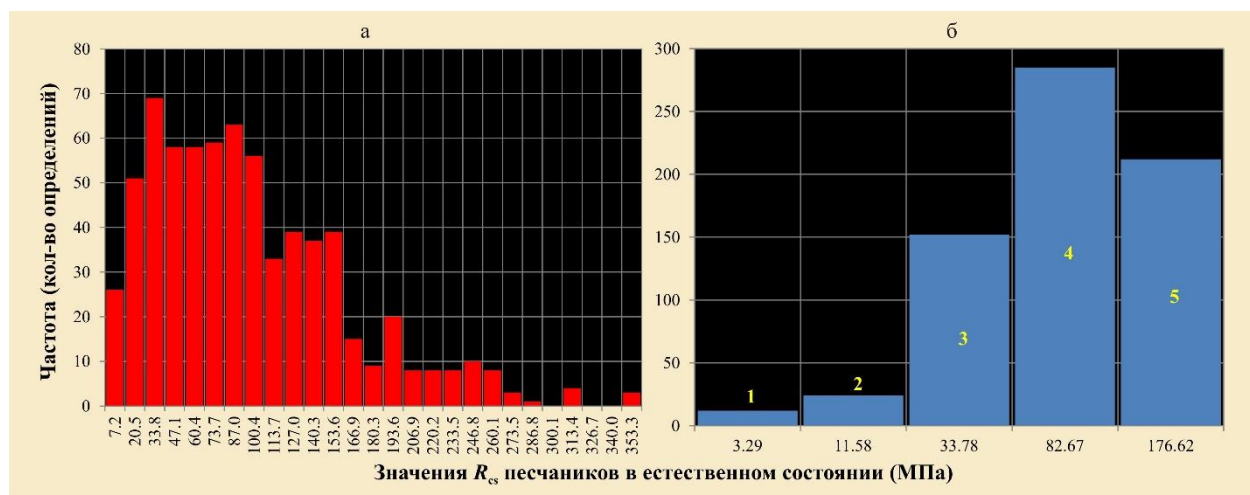
В формально-категориальном проектно-строительном представлении (рис. 4б) вероятностная структура, хотя и теряет свои тонкие черты, но зато обретает более понятную упорядоченность. В ней сохраняется согласованность доминирования прочного песчаника по средним значениям R_{cs} . Доля такого песчаника со средними значениями $R_{cs} = 82,67$ МПа на бывшей территории РСФСР равна 41,6 %, а на территории г. Нерюнгри с меньшими средними значениями $R_{cs} = 62,09$ МПа (табл. 2) составляет 46,9 %.

Рассмотрим, наконец, ранги объектов исследований, выстроенных в порядке уменьшения фактических и прогнозных средних значений R_{cs} . Легенда рангов приведена в таблице 3. Сводная гистограмма распределения объектов исследований показана на рисунке 5. На нём изученные объекты разделены на две области по линии с повышенным (область «А») и пониженным (область «Б») фоновым значением R_{cs} песчаника равным 103,23 МПа. Во избежание недоразумений следует оговориться, что это значение всего-навсего есть, хотя и крупная по масштабу своего определения, но всё же выборочная оценка среднего значения R_{cs} .

Таблица 3

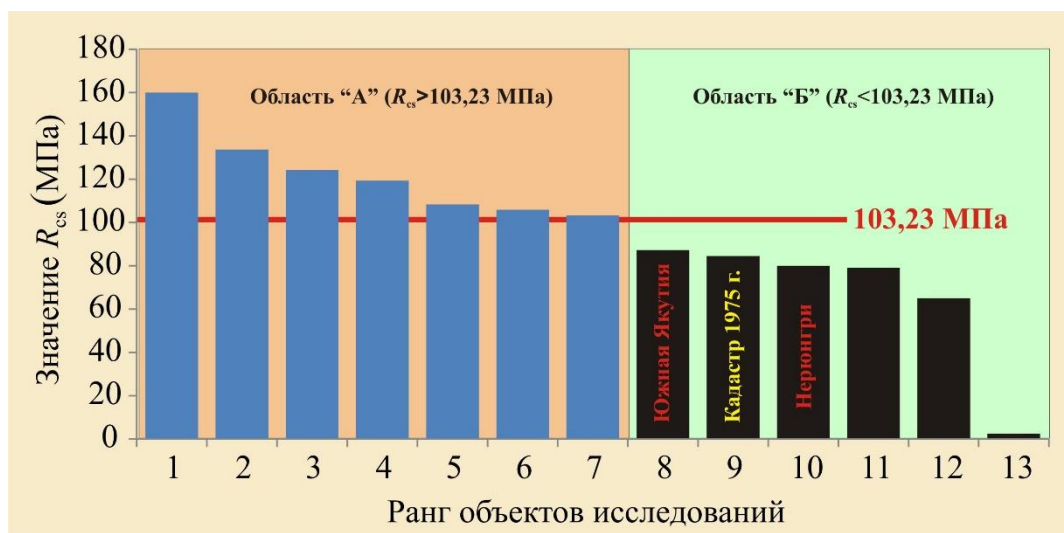
География нормативных значений R_{cs} песчаника

Название объекта исследования	Номер ссылки	Ранг	R_{cs} , МПа
Кузнецовский тоннель (Хабаровский край, Россия)	[31; 32]	1	160.00
Турция (г. Анкара)	[12]	2	133.70
Удоканское м-ние меди (Забайкалье, Россия)	[30]	3	124.20
Турция (общие данные)	[9]	4	119.36
Турция (область Адана)	[10]	5	108.34
Индия (Каймурский район)	[11]	6	105.92
Южная Якутия (Россия)	[13]	7	103.23
Нерюнгринское м-ние угля (Якутия, Россия)	[29]	8	87.26
РСФСР (кадастр 1975 г.)	[35]	9	84.53
г. Нерюнгри (Якутия, Россия)	настоящая статья	10	80.02
Африка (Государство Гвинея)	[34]	11	79.00
Восточная Украина (Донецкая и Луганская область)	[33]	12	65.00
Великобритания (Уэльс)	[5]	13	2.50



Номера разновидностей скально-полускального грунта (песчаника): 1 — пониженной прочности; 2 — малопрочного; 3 — средней прочности; 4 — прочного; 5 — очень прочного

Рисунок 4. Гистограммы вероятностного распределения значений предела прочности на одноосное сжатие песчаника в естественном состоянии в общей выборке фактического материала (а) и в разновидностях скально-полускального грунта (б). Объём выборки — 685 лабораторных определений (составлен автором)



А — область песчаника повышенной прочности; Б — область песчаника пониженной прочности

Рисунок 5. Гистограмма ранжированных объектов исследований в порядке снижения средних значений R_{cs} . Расшифровка номеров рангов дана в таблице 3 (составил автор)

Поэтому эту оценку ни в коем случае нельзя воспринимать, наподобие кларковых содержаний химических элементов, как прочностной фон прочности всего класса песчаника для всей планеты Земли. Решить такую грандиозную задачу, хотя и частного порядка, вряд ли когда и кому удастся. Тем не менее, в обобщённом и упорядоченном виде фактический материал исследований выражает некоторые черты закономерности пространственного распределения средних значений R_{cs} . Одна из этих черт подтверждает известное общее положение в геологии и формулируется следующим образом. Песчаник, как класс осадочных геологических образований Земли, находясь в одном из природных состояний (воздушно-сухом) отличается высоким пределом прочности на одноосное сжатие. Этот предел в максимальном значении, равный 160,00 МПа, не опускается ниже 65,00 МПа. И лишь в одном случае появляется аномалия. В киддерминстерских песчаниках Уэльса в Великобритании среднее значение R_{cs} равно 2,5 МПа. Вполне возможно, что аномалия носит случайный характер. Нельзя исключить и ошибки, посчитав указанное в работе [3] единичное определение за средний показатель. Общий вывод о механической прочности песчаника, как прочного непластичного и надёжного устойчивого скального основания инженерных сооружений, касается и территории России, включая Южную Якутию и г. Нерюнгри. Другая черта, выглядывающая из общей пространственной закономерности в распределении средних значений R_{cs} , касается только песчаника г. Нерюнгри.

Что важно в этой черте?

Прежде всего, местная близость по категории прочности песчаника г. Нерюнгри (80,02 МПа) с песчаником Южной Якутии (103,23 МПа) и региональная близость с песчаником РСФСР (84,53 МПа). Благодаря этому факту не только усиливается, но и подтверждается репрезентативность фактических и прогнозных выборочных оценок средних значений R_{cw} и R_{cs} , привязанных к таблице 115 пособия к СНиП 2.02.01-83. Положительно решается вопрос и о кондиционности этих оценок.

Всё вместе взятое допускает распространить на оставшуюся неизученной часть территории г. Нерюнгри вес достоверности средних оценок прочности песчаника, полученных по ограниченному фактическому материалу, т. е. по 162 определениям значений R_{cw} . Есть и информативное следствие близости местных и региональных средних значений прочности песчаника, но о нём пока нужно говорить с большой осторожностью. Речь идёт о применении

уравнениях регрессий, полученных в г. Нерюнгри, по которым можно вычислять начальные приблизительные прогнозные оценки средних значений R_{cw} и R_{cs} песчаника в криолитозоне Южной Якутии или даже в каком-либо регионе России. Не исключается и обратный порядок применения уравнений регрессии. В этом аспекте с позиции применения в естественных науках положений феноменологии достаточно знать неискажённую математическими преобразованиями суть²⁰ разного порядка общих закономерных вероятностных отношений между пределом прочности на одноосное сжатие и другими более легко и быстро определяемыми петрофизическими характеристиками (петрографическими, физико-механическими, геофизическими). Например, скоростью распространения и затуханием упругих или электромагнитных волн.

Заключение

Исследование на территории г. Нерюнгри вероятностных распределений значений предела прочности на одноосное сжатие 162 образцов песчаника, отобранных из керна 72 скважин, показало следующее. В искусственном водонасыщенном и природном состоянии (мёрзлом или воздушно-сухом) песчаник юрского возраста в подавляющем большинстве случаев (около 90 %) представляет собой надёжное и устойчивое скальное основание инженерных сооружений. Диапазон изменения средних значений разновидностей скального грунта (песчаника малой, средней прочности и прочного песчаника) в водонасыщенном и природном состоянии составляет 8,83–92,81 и 30,91–127,00 МПа. Сравнительный анализ данных отечественных и зарубежных работ, удостоверяет в том, что средняя прочность песчаника г. Нерюнгри в природном состоянии отличается от песчаника Южной Якутии на 12,7 %, а от песчаника бывшей РСФСР, а ныне России на 5,5 %.

В близости разномасштабных средних оценок прочности проявляется одна из петрофизических сторон сущности песчаника, как представителя всего класса осадочных пород. Объективность этого вывода усиливается независимостью средних оценок, полученных разными исследователями в разное время и в разных местах Евразийского материка с многообразием природных условий (климатических, географических, горно-геологических, инженерно-геологических).

ЛИТЕРАТУРА

1. Феоктистов А.В., Феоктистов В.А. Проблемы и особенности интерпретации геофизических материалов при работах ПГР // Недра Поволжья и Прикаспия, 2011. Вып. 67, с. 47–68.
2. Basarir H., Tutluoglu L., Karpuz C. Penetration rate prediction for diamond bit drilling by adaptive neuro-fuzzy inference system and multiple regressions // Engineering Geology (2014). Vol. 173, p. 1–9.
3. Bell F.G. Engineering geology / Problematic Rocks in Encyclopedia of Geology, 2005, p. 543–554. <https://doi.org/10.1016/B0-12-369396-9/00220-3>.

²⁰ Эта суть выражается в типе (линейном или нелинейном), порядке (одномерном или многомерном) и форме (степенной, логистической и пр.) корреляционной связи петрофизических характеристик.

4. Shakoor A.A., Bonelli R.E. Relationship Between Petrographic Characteristics, Engineering Index Properties, and Mechanical Properties of Selected Sandstones // Environmental and Engineering Geoscience (1991). Vol. XXVIII (1), p. 55–71.
5. Farrokhrouz M., Asef M.R. Experimental investigation for predicting compressive strength of sandstone // Journal of Natural Gas Science and Engineering (2017). Vol. 43, p. 222–229.
6. Hale P.A., Shakoor A.A. Laboratory Investigation of the Effects of Cyclic Heating and Cooling, Wetting and Drying, and Freezing and Thawing on the Compressive Strength of Selected Sandstones // Environmental and Engineering Geoscience (2003). Vol. 9(2), p. 117–130.
7. Atapour H., Mortazavi A. The influence of mean grain size on unconfined compressive strength of weakly consolidated reservoir sandstones // Journal of Petroleum Science and Engineering (2018). Vol. 171, p. 63–70.
8. Teymen A., Mengüç E.C. Comparative evaluation of different statistical tools for the prediction of uniaxial compressive strength of rocks // International Journal of Mining Science and Technology (2020). Vol. 30. Issue 6, p. 785–797.
9. Chaudhary V., Srivastav A., Pandey V.H.R., Kainthola A., Tiwari S.K., Dwivedi S.B., Singh T.N. Physico-Mechanical Characteristics of Vindhyan Sandstone, India // In Journal of The Institution of Engineers (India) Series D (2021). <https://doi.org/10.1007/s40033-021-00301-1>.
10. Zorlu K., Gokceoglu C., Ocakoglu F., Nefeslioglu H.A., Acikalin S. Prediction of uniaxial compressive strength of sandstones using // Petrography-based models Engineering Geology (2008). Vol. 96, p. 141–158.
11. Гриб Н.Н., Самохин А.В. Физико-механические свойства углевмещающих пород Южно-Якутского бассейна. — Новосибирск: Наука, 1999. — 240 с.
12. Алексеев Г.Ф., Гриб Н.Н., Самохин Д.А. Управление комплексом буровзрывных работ в сложных горно-геологических условиях Южно-Якутского бассейна / Под ред. Б.Д. Заровняева. — Якутск, 2003.— 188 с.
13. Южная Якутия: мерзлотно-гидрогеологические и инженерно-геологические условия Алданского горнопромышленного района. / Под ред. В.А. Кудрявцева. — М., Изд-во Моск. ун-та, 1975. — 444 с.
14. 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. Вып. XV. М., Изд-во Моск. ун-та, 1976, с. 120–125.

15. Желинский В.М. Мезозойская угленосная формация Южной Якутии / Отв. ред. А.К. Матвеев. — Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1980. — 119 с.
16. Кулаичев А.П. Методы и средства комплексного анализа данных, 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Изд-во ФОРУМ: ИНФРА-М, 2006. — 512 с.
17. Кочанов А.Н. Микротрещины в твердом теле на примере горных пород // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. № 7. С. 221–224.
18. Мельников А.Е., Павлов С.С., Колодезников И.И. Разрушение пород насыпи новой железнодорожной линии Томмот-Кердём Амура-Якутской магистрали под воздействием криогенного выветривания // Современные проблемы науки и образования. — 2014. — № 2; URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=12945> (дата обращения: 06.02.2022).
19. Забелин А.В. Количественная оценка влияния процессов криогенного выветривания на устойчивость откосов бортов угольных карьеров Южной Якутии // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2003, № 7, с. 11–13.
20. Ушницкий А.И., Преловский В.В. Определение предела прочности горных пород Нерюнгринского каменноугольного месторождения методом сосредоточенной силы // Материалы XIX Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов в г. Нерюнгри с международным участием. Секция 3. Науки о Земле. — Нерюнгри: Изд-во Технического института (филиала СВФУ), 2018, с. 192–197.
21. Рященко Т.Г., Тирских С.А., Корнилова Т.А. Физико-механические свойства скальных грунтов строительной площадки в районе Удокана (на примере протерозойских песчаников) // Вестник ИрГТУ, 2015, № 2(97), с. 83–89.
22. Квашук С.В., Колтун П.А., Злобин Г.А. Характеристика инженерно-геологических условий Кузнецовского тоннельного перехода на линии (Комсомольск-На-Амуре — Советская Гавань) // Научно-технические проблемы транспорта, промышленности и образования: труды Всероссийской научно-практической конференции, 21-23 апреля 2010 г. В 6 т. / Под ред. О.Л. Рудых. — Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2010. — Т. 2. — С. 50–54.
23. Злобин Г.А., Потапчук М.И. Оценка инженерно-геологических и геомеханических свойств района Кузнецовского тоннеля (БАМ) / Г.А. Злобин, М.И. Потапчук // Маркшейдерия и недропользование. — 2012. — № 4. — С. 35–39.
24. Яланский А.А., Сапунова И.А., Слащев А.И., Новиков Л.А. Обоснование исходных параметров для моделирования геомеханических процессов в задачах оценки безопасности поддержания горных выработок // Геотехнічна механіка, 2014. № 119, с. 282–295.
25. Кузин С.В. Инженерно-геологические особенности грунтовой толщи в приокеаническом районе провинции Боке (Гвинейская Республика) // Вестник МГУ. Серия 4. Геология. 2014. № 2. С. 56–61.

Neradovsky Leonid Georgievich

Melnikov Permafrost Institute Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russia

E-mail: L031950N@ya.ru

RSCI: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=394470

Strength of hard foundation rocks in the Southern Yakutian permafrost region (city of Neryungri)

Abstract. This paper discusses the results of a statistical analysis of data from geotechnical surveys conducted in the mid-1970s in the city of Neryungri, southern Yakutia, located on sporadic, warm permafrost. The analysis included 162 laboratory determinations of uniaxial compressive strength of sandstone specimens. The test specimens were taken from core obtained boreholes. The study of the probabilistic distributions of sandstone strength values in the total sample population and in the formal groups divided into the rock strength categories has shown the following. In an unfavorable (artificially water-saturated) and favorable (frozen or air-dry) natural state, the Jurassic sandstone in the vast majority of cases is, according to the, a reliable and stable rock foundation for engineering structures. The range of average values for the rock varieties: sandstone of low strength and moderate strength together with sandstone of high strength in water-saturated and natural condition is 8.83–92.81 and 30.91–127.00 MPa. Comparison with the average dry strength values reported by Russian and foreign authors has shown that the Neryungri sandstone differs little in strength from sandstones southern Yakutia permafrost region (87.26 MPa), but also the territory of the former RSFSR, now Russia (84.53 MPa). On a regional scale, the proximity of a common measure of average strength and common territorial belonging, one of the sides of the natural essence of sandstone appears as a representative of the class of sedimentary rocks of the Eurasian continent.

Keywords: Southern Yakutia; Neryungri; buildings and structures; rocky soils; sandstone; strength; water-saturated and natural condition; probability distribution; histogram; average values