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

2024, Том 16, № 2 / 2024, Vol. 16, Iss. 2 https://esj.today/issue-2-2024.html

URL статьи: https://esj.today/PDF/21NZVN224.pdf

1.6.21. Геоэкология (технические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:
Нерадовский, Л. Г. Снижение прочности песчаника в криолитозоне Южной Якутии при переходе в прогнозируемое водонасыщенное состояние (на примере жилого квартала в г. Нерюнгри) / Л. Г. Нерадовский, А. В. Осьмушкин // Вестник евразийской науки. — 2024. — Т. 16. — № 2. — URL: https://esj.today/PDF/21NZVN224.pdf

For citation:
Neradovskii L.G., Osmushkin A.V. Decrease in the strength of sandstone in the permafrost zone of Southern Yakutia during the transition to the predicted water-saturated state (using the example of a residential area in the city of Neryungri). *The Eurasian Scientific Journal*. 2024;16(2): 21NZVN224. Available at: https://esj.today/PDF/21NZVN224.pdf. (In Russ., abstract in Eng.)

УДК 552.5+552.08

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://elibrary.ru/author_profile.asp?id=394470

Осьмушкин Андрей Владимирович
ООО «Нерюнгристройизыскания», Нерюнгри, Россия
Главный инженер
E-mail: osmushkin.nsi@gmail.com

Снижение прочности песчаника в криолитозоне Южной Якутии при переходе в прогнозируемое водонасыщенное состояние (на примере жилого квартала в г. Нерюнгри)

Аннотация. Результаты исследований многочисленных лабораторных данных, собранных в архиве ООО «Нерюнгристройизыскания» в квартале «М» г. Нерюнгри, удостоверяют в следующем. При искусственном замачивании водой воздушно-сухих образцов песчаника кардинально меняется структура вероятностного распределения значений прочностной характеристики R_c с устойчивой на неустойчивую и частичной или почти полной потерей разнообразия строения, состава и свойств воздушно-сухих образцов песчаника. По лабораторным данным во всех случаях прочность воздушно-сухого или высокотемпературного мёрзлого массива песчаника при замачивании водой уменьшается, но в разной мере. По наиболее устойчивой статистке — среднему медианному показателю у воздушно-сухого массива песчаника низкой, пониженной и малой прочности при прогнозируемом переходе в водонасыщенное состояние потери прочности максимальны и составляют 66–63 %. Среди скальных воздушно-сухих массивов песчаника наиболее уязвима к размягчению водой группа средней прочности. У этой группы в 23,5 % случаев потери прочности аномальны и достигают 63 и 80 %. По такому же среднему показателю и в таком же состоянии потери прочности у группы прочного массива песчаника снижаются до 22 %. Минимальные потери в 14 % имеет группа очень прочного воздушно-сухого массива песчаника. В целом, 87 % территории квартала «М» г. Нерюнгри, изученной по лабораторным данным, сложено массивом песчаника,

фоновая прочность которого даже в прогнозируемом водонасыщенном состоянии достаточна высока и составляет 57,34–63,17 МПа. При такой прочности массив песчаника по ГОСТ 21500-2020 считается скальным грунтом и представляет собой устойчивое и надёжное основание для безопасного строительства и эксплуатации инженерных сооружений. Однако только в 51,3 % случаев массив песчаника не размягчается водой. Остальная половина массива в разной степени размягчается водой и при длительном воздействии атмосферно-подземной воды вместе с водой антропогенно-техногенного происхождения потенциально опасна в части проявления непредвиденных и неконтролируемых деформаций и просадок для строительства и эксплуатации инженерных сооружений. Особенно в сложных и неблагоприятных инженерно-геологических условиях, которые включают в себя присутствие в основаниях инженерных сооружений зон тектонического дробления и трещиноватости, литогенно слабых по прочности осадочных пород (аргиллита, алевролита) вместе с пластами угля и неустойчивой высокотемпературной островной мерзлоты. Полученные табличные статистики по коэффициенту размягчаемости k_{sof} водой воздушно-сухих образцов песчаника позволяют геологам-изыскателям, а также геофизикам в ряде случаев быстро оценивать предполагаемую потерю прочности массива песчаника в водонасыщенном состоянии, как по средним показателям k_{sof}, так и по его верхней-нижней границам интервала со стандартной доверительной вероятностью 68,2 % или с более высоким доверием к полученным вероятностным оценкам на уровне 80,0 %.

Ключевые слова: квартал «М»; инженерные сооружения; инженерно-геологические изыскания; воздушно-сухие и замоченные водой образцы песчаника; массив песчаника; потеря прочности; коэффициент размягчаемости; табличная статистика; гистограммы

Введение

Известно, что в естественной природной обстановке выполнить исследования в части снижения прочности скально-полускальных оснований инженерных сооружений при их переходе из мёрзлого-талого или немёрзлого и воздушно-сухого состояния в водонасыщенное состояние принципиально невозможно. Такие задачи геомеханики, инженерной геологии и грунтоведения относятся к типу прогнозных задач и обычно решаются путём постановки экспериментальных или опытно-производственных лабораторных опытов. Первостепенная производственная значимость решения такого типа задач обусловлена в первую очередь необходимостью априорного знания проектировщиками инженерных сооружений снижения их прочности в процессе строительства и эксплуатации. То есть в тех непредвиденных, но ожидаемых прогнозируемых случаях, когда устойчивое прочное скально-полускальное основание сооружений будет работать в неблагоприятных инженерно-геологических условиях, в частности, в водонасыщенном состоянии. Таких прогнозных сценариев множество. Все они, и об этом надо откровенно сказать, носят скрытый заказной спекулятивный характер, возникая преимущественно в США, Канаде и странах Европы. Предлогом служит очередное планетарное потепление климата с нагнетанием психоза населения Земли в ожидании катастроф мирового масштаба при необратимой общей деградации мёрзлой геолого-грунтовой среды под мощным однонаправленным влиянием комплекса климатических и антропогенно-техногенных факторов.

В настоящей статье в частном порядке по лабораторным данным решена обозначенная задача прогноза применительно к инженерно-геологическим условиям эксплуатации инженерных сооружений в одном из жилых кварталов г. Нерюнгри. Цель статьи состояла в получении статистики значений коэффициента размягчаемости в зависимости от групп прочности воздушно-сухих образцов песчаника. Для достижения поставленной цели были решены задачи элементарного вероятностно-статистического анализа в части изучения

изменчивости глубины опробования прочности массива песчаника буровыми и лабораторными работами, а также изменчивости в пределах этой глубины прочности образцов песчаника в воздушно-сухом и водонасыщенном состояниях.

Исследования выполнены по архивным материалам ООО «Нерюнгристройизыскания» в лаборатории инженерной геокриологии ФГБУН «Институт мерзлотоведения имени П.И. Мельникова» по программе СО РАН «Устойчивость природно-технических систем в криолитозоне и разработка технологий использования криогенных ресурсов». Регистрационный номер АААА-А20-120111690011-9.

Характеристика участка исследований

Решение задачи прогноза снижения прочности массива песчаника по отобранным из него монолитам, получено в жилом квартале «М» в связи с появившейся возможностью[1] планомерного изучения материалов инженерно-геологических изысканий, полученных в ходе застройки территории г. Нерюнгри. Выбор из 12 кварталов города квартала «М» объясняется тем, что по нему в первую очередь начался сбор фактического материала изысканий. Сам квартал «М» шириной 450 м и длиной 670 м расположен в центральной части города на его наиболее возвышенной юго-западной окраине с абсолютными отметками высоты рельефа над уровнем Балтийского моря равными 859–873 м. В квартале находятся разной этажности (1–10 этажей) инженерные сооружения социально-торговой и инженерной инфраструктуры (жилые дома, детсады, школы, магазины и пр.). Местоположение квартала «М» показано на рисунке 1.

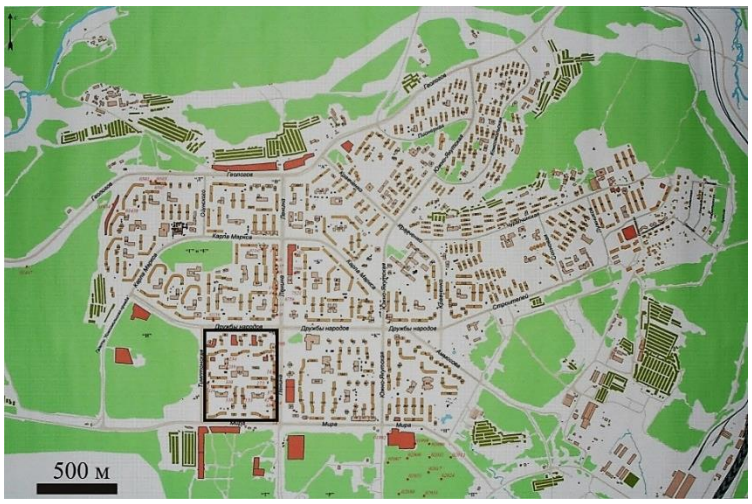


Рисунок 1. *Схема квартальной застройки г. Нерюнгри. Контур чёрного цвета — жилой квартал «М» (оригинал схемы взят из Интернета[2])*

По общим данным, заимствованных из фундаментальных [1–3] и других работ [4–7], а также конкретным неопубликованным материалам, представленных в технических отчётах по инженерно-геологическим изысканиям, известно следующее. Криолитозона Южной Якутии имеет сложное по площади и глубине прерывисто-островное строение с выходом на поверхность Земли толщи углевмещающих осадочных пород. Толща отличается тремя

[1] Такая редкая в настоящее время бескорыстная возможность была предоставлена главным инженером А.В. Осьмушкиным ООО «Нерюнгристройизыскания».

[2] Первый адрес: www.infokart.ru — Карта Нерюнгри — Инфокарт. Второй адрес: https://strana-yu-ya.narod.ru/index-old/page1344.htm.

природными закономерными чертами, порождающими широкий спектр и пестроту изменчивости мерзлотно-грунтовых условий. Такие же черты и условия характерны для территории г. Нерюнгри, включая квартал «М».

Первая черта — очень сложное неоднородное строение пород, обусловленное повсеместным развитием в прошлом и настоящем времени тектонических процессов с образованием множества разрывных и пликативных структур разного масштабного порядка [8; 9]. Вторая черта — крайне изменчивое по площади и глубине криогенное состояние мёрзлой высокотемпературной[3] осадочной толщи из-за влияния подземных вод и тепловых потоков, поступающих по зонам тектоники [1; 10]. Эта черта касается, как верхней части слоя годовых теплооборотов до глубины 3–6 м с регулярным сезонным переходом пород из мёрзлого в талое состояние, так и нижней части слоя на максимальной глубине, достигающей 30–50 м. Третья черта — литогенная однородность массива осадочных пород с доминированием в них мелко-среднезернистого песчаника [2; 3]. Этого достаточно, чтобы, располагая лабораторными данными, понять в каких условиях изучалась прогнозируемая потеря прочности массива песчаника при его замачивании и размягчении водой.

Изыскательские работы с бурением, термометрией скважин и отбором из керна скважин монолитов пород на лабораторное определение физико-механических свойств последовательно проводились в квартале «М» в период 1977–1985 гг. Сначала Якутским отделением Красноярского треста инженерно-строительных изысканий (ЯО КрасТИСИЗ), а затем Южно-Якутским отделением Якутского треста инженерно-строительных изысканий (ЮЯО ЯкутТИСИЗ). Скважины бурились на разных стадиях изысканий колонковым способом с продувкой ствола скважин сжатым воздухом. Бурение выполнялось до глубины 10 м и реже, глубже до 12–15 м. Из керна каждой скважины на глубине 1,0–15,5 м по правилам, принятым в НПО «Стройизыскания» Госстроя РСФСР[4], по неравномерной схеме избирательно отбирался один монолит и, реже, два–три монолита из массива песчаника разной степени выветрелости, трещиноватости и плотности. Наиболее часто и об этом свидетельствует гистограмма (рис. 2), отбор монолитов делался в интервале глубины 3–10 м. То есть начиная от границы соприкосновения так называемой «разборной скалы» — выветрелой сильнотрещиноватой части массива песчаника блочно-ячеистой структуры со слоем делювия-элювия до границы залегания относительно сохранной [5] части массива трещинно-жильной структуры. По описанию строения, состава и состояния песчаника в паспортах скважин в верхней малопрочной части массива песчаника господствует хаотически ориентированная по простиранию и падению система трещин экзогенной природы в сохранившихся разобщённых между собой крепких останцах массива песчаника. В нижней прочной части наблюдается упорядоченная система наклонно-вертикальных ориентированных трещин тектонической природы. Эта часть массива по данным геофизики[6], залегает на глубине 9–17 м при среднем

[3] По данным термометрии изыскательских скважин значения температуры на глубине 10–15 м изменялись от плюс 0,6–3,4 до минус 0,1–1,2°С при часто встречающихся значениях минус 0,4°С.

[4] Левкович А.И. Методика обоснования состава и объёмов инженерно-геологических изысканий для строительства различных типов зданий и сооружений промышленного, сельскохозяйственного и жилищно-гражданского назначения в районах распространения вечномёрзлых грунтов с учётом требований проектирования. — М.: Госстрой РФСР. НПО Стройизыскания, 1989. — 173 с.

[5] От действия процессов физического выветривания, включая очень сильный по своей разрушительной силе на дневной поверхности и в слое годовых теплооборотов процесс криогенного метаморфизма [11; 12]. Напомним, что в высокотемпературной прерывисто-островной криолитозоне Южной Якутии мощность отмеченного слоя может быть аномально большой, достигая по разным оценкам 30–50 м.

[6] Полученных в г. Нерюнгри методом вертикального электрического зондирования на постоянном токе, методом преломленных сейсмических волн и методом дискретной георадиолокации.

значении 12 м. По данным термометрии изыскательских скважин эти значения глубины в целом, соответствует положению нижней части слоя годовых теплооборотов в г. Нерюнгри. В петрофизическом отношении именно здесь на контрастной структурно-петрофизической границе происходит скачок роста плотности песчаника вместе с ростом скорости распространения сейсмической и электромагнитной волны. У последней вдобавок резко снижается удельное затухание.

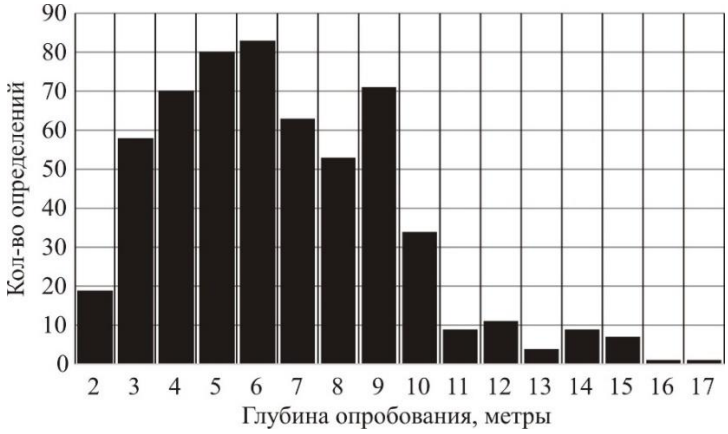


Рисунок 2. *Гистограмма глубины опробования прочности массива песчаника в квартале «М» г. Нерюнгри (составлено автором)*

Фактический материал исследований

Фактический материал представлен значениями широко и постоянно применяемой в отечественном грунтоведении и зарубежной геотехнике механической характеристики R_c — временного предела прочности на одноосное сжатие образцов скально-полускальных грунтов в воздушно-сухом и водонасыщенном состоянии.[7] Значения этой характеристики были выписаны из лабораторных ведомостей по определению физико-механических свойств песчаника.

Приготовленная для вероятностно-статистического анализа выборочная совокупность фактического материала лабораторных опытов состояла из 573 определений парных значений R_c образцов песчаника в воздушно-сухом и водонасыщенном состоянии.

Такой редко собираемый в условиях нынешнего времени рыночной экономики умеренно большой объём определений обеспечивает получение надёжной статистики по искомой характеристике — коэффициенту размягчаемости песчаника в водной среде (k_{sof}). Её значения вычислялись по отношению значений R_c образцов песчаника в водонасыщенном и воздушно-сухом состоянии. Стоит заметить, что при производстве массовых лабораторных опытов по пункту 1.3.9 ГОСТ 21135.2-84 ошибки средних значений R_c, определённых с надёжностью 80,0 % по серии из шести образцов скально-полускальных грунтов, не должны превышать[8] ±20,0 %. С такой же предельно допустимой ошибкой будем считать и результат вычислений значений коэффициента k_{sof}.

[7] ГОСТ 21135.2-84. Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном сжатии. — Москва: Изд-во стандартов, 1984. — 7 с.

[8] Реальные ошибки лабораторных определений прочности образцов скально-полускальных грунтов в технических отчётах по инженерно-геологическим изысканиям не приводятся.

Вероятностно-статистический анализ

Вероятностно-статистический анализ фактического материала, собранного в квартале «М» г. Нерюнгри, выполнен с помощью эргономичной программы «Стадия» [13]. В отличие от зарубежных программ, например, программ «Statistica-6» и «Origin» отечественная программа «Стадия», разработанная А.П. Кулаичевым, имеет следующие важные преимущества. Это — автоматический анализ структуры вероятностного пространства исследуемых характеристик с выбором оптимальных интервалов группирования значений этих характеристик, а также выдача сообщений о результатах проверки нулевой гипотезы по трём независимым критериям. То есть о соответствии или несоответствии фактических рядов вероятностных распределений значений исследуемых характеристик теоретическому нормальному закону или как его иногда называют законом больших чисел [14], руководствуясь результатами исследований шведского математика Якова Бернулли [15]. Первая возможность наиболее важна при построении гистограмм по небольшим выборочным совокупностям фактического материала, помогая исследователю не пуститься в крайности в выборе интервала группирования.[9]

Цель применения методов элементарного вероятностно-статистического анализа состояла в изучении отмеченной нулевой гипотезы и описательных статистик изменчивости прочности образцов песчаника и порождаемой этой изменчивостью меры их размягчаемости в воде — значений коэффициента k_{sof}.

Рассмотрение результатов вероятностно-статистического анализа начнём с иллюстрации вероятностных распределений в квартале «М» г. Нерюнгри прочности образцов песчаника в воздушно-сухом и водонасыщенном состоянии в интервале глубины опробования массива песчаника буровыми и лабораторными работами (рис. 3).

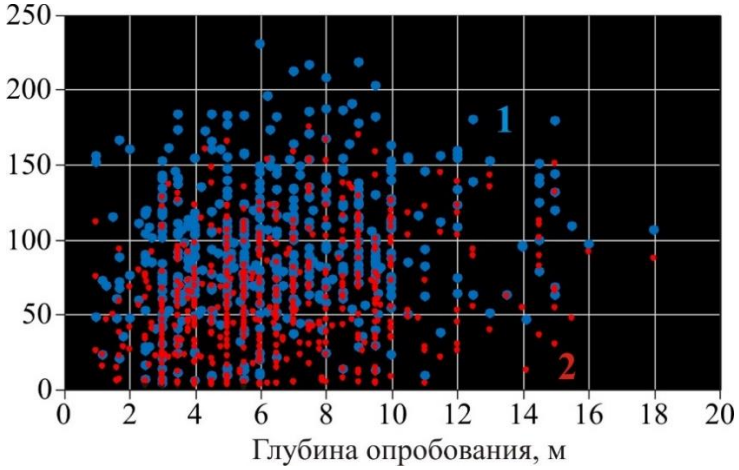
С первого взгляда приходишь к выводу, что в неупорядоченном виде это распределение разрозненных между собой по площади и глубине единичных значений прочности образцов песчаника носит случайный характер и не зависит от глубины опробования массива песчаника. Однако при внимательном рассмотрении обнаруживаешь едва заметный на общем случайном фоне поворот облака рассеяния вверх.

Это означает, что в вероятностном распределении значений R_c кроме случайной компоненты в скрытом, подавленном сильными локальными вариациями единичных значений присутствует закономерная детерминированная компонента в виде тенденции роста прочности массива песчаника при увеличении глубины его опробования.

Эта принципиально важная тенденция сохраняется и при переходе массива песчаника в водонасыщенное состояние с существенным понижением его прочности. В чём нетрудно удостовериться, рассматривая облако красных точек, сдвинутое вниз по вертикальной оси прочности по отношению к центральной части облака синих точек.

При общем снижении прочности локальные её вариации наследуют изменчивость прочности образцов песчаника в исходном воздушно-сухом состоянии. Мера такой зависимости, оцененная по приведённому значению множественного коэффициента детерминации, составляет 74,1 %. Это означает, что в 74 случаях из 100 случаев вклад фактора воды на изменение прочности воздушно-сухих образцов песчаника доминирует среди остальных неучтённых и неконтролируемых структурно-текстурных и петрографических факторов, которые оказывают влияние при производстве лабораторных опытов.

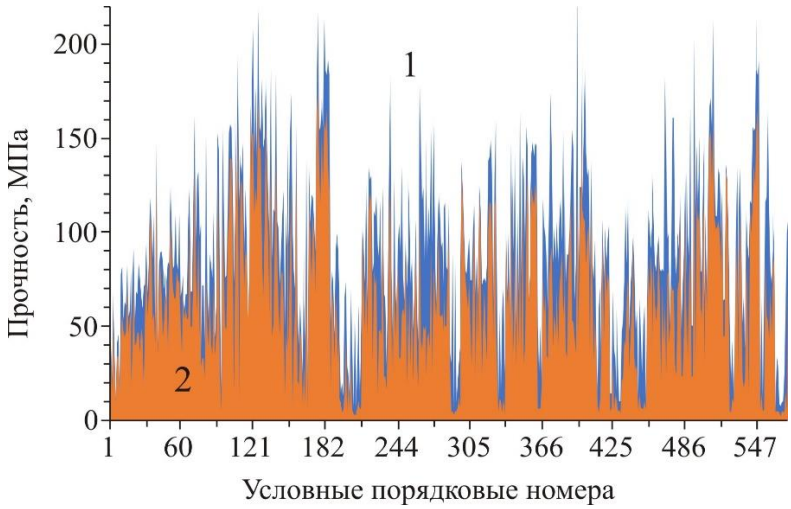
[9] Недопустимо большого количества интервалов для удовлетворения желания увидеть нюансы вероятностных распределений или недопустимо маленького количества интервалов, скрывающих эти важные нюансы.



1 — в воздушно-сухом состоянии; 2 — в водонасыщенном состоянии

Рисунок 3. *Поле случайного рассеяния прочности образцов песчаника. Объём выборки — 573 определений (составлено автором)*

Иллюстрация высокой степени фоновой (в целом) и локальной (в деталях) воспроизводимости изменения прочности образцов песчаника в водонасыщенном состоянии по отношению к исходному воздушно-сухому состоянию показана на рисунке 4. При такой степени близости появляется возможность решения важной прогнозной задачи. А именно, вычисления по уравнению регрессии оценки средней прочности массива песчаника в прогнозируемом водонасыщенном состоянии по известным значениям прочности, отобранных из массива и испытанных в лаборатории образцов в воздушно-сухом состоянии. Однако эта тема для публикации другой статьи и в настоящей статье она лишь упоминается и не рассматривается.



1 — в воздушно-сухом состоянии; 2 — в водонасыщенном состоянии

Рисунок 4. *Упорядоченные по условным номерам ряды значений прочности образцов песчаника. Объём выборки — 573 определений (составлено автором)*

Перейдём к рассмотрению структур вероятностных распределений значений R_c образцов песчаника в воздушно-сухом и водонасыщенном состоянии. С этой целью обратимся к гистограммам, как простому, но эффективному средству упорядочивания, разрозненного по годам, месту и условиям инженерно-геологических изысканий фактического материала с помощью программы «Стадия» (рис. 5). Без этого анализа невозможно правильно понять причинно-следственные отношения, которые возникают в лабораторных условиях между

начальным прочностным состоянием воздушно-сухих образцов песчаника и конечным состоянием при их замачивании водой под нарастающим давлением механического штампа. Итогом таких отношений, носящих смешанный детерминированно-случайный характер, предстают значения коэффициента k_{sof}.

Рисунок 5. *Гистограммы значений R_c образцов песчаника. Объём выборки — 573 определений: а — в воздушно-сухом состоянии; б — в водонасыщенном состоянии (составлено автором)*

Простое сравнение гистограмм однозначно удостоверяет о кардинальных изменениях, происшедших в вероятностной структуре изменчивости значений R_c при замачивании водой воздушно-сухих образцов песчаника. До замачивания образцов водой структура по результатам тестирования с применением 3-х независимых критериев (Колмогорова, Омега-квадрат и Хи-квадрат) [13] не описывается теоретическим нормальным законом, но близка к нему. Свидетельством этому служат черты определённости и предсказуемости в сосредоточенности группы значений R_c около статистического центра тяжести — максимума гистограммы в интервале 54,27–110,92 МПа (рис. 5 а). По этим внешним признакам вероятностную структуру любой характеристики в математической статистике и теории вероятности принято считать либо строго однородной, либо квазиоднородной. Такие устойчивые структуры математически корректно описывают разнообразие массовых событий, например, социально-экономических, политических или геологических, порождённых множеством неконтролируемых, но сбалансированных между собой разнообразных разнонаправленных факторов. В рассматриваемом случае такими факторами предстают внешние климатические, антропогенно-техногенные факторы и внутренние мерзлотно-грунтовые факторы. В числе их минерально-гранулометрический состав, тип и цемент минеральных образований, скрепляющий их в единое целое, влажность (льдистость), плотность (объёмный вес) и другие свойства.

Результат совместного действия внешних и внутренних факторов выражается и оценивается в значениях R_c массива песчаника посредством совокупности его точечных копий — монолитов, отобранных в разных местах квартала «М» на разной глубине из керна скважин.[10] В своей совокупности монолиты, как части целого, служат в соответствии с принципами наследственности, преемственности и редукционизма полноценными[11] представителями массива песчаника. Конкретное выражение всей гаммы, полноты внутреннего разнообразия строения, состава и свойств массива песчаника изначально сосредоточено в

[10] Напомним, что именно из монолитов изготавливаются образцы на лабораторное определение их прочности.

[11] В относительном понимании этой характеристики, достаточной для решения практических задач. Абсолютной полноценности в точной идентификации массива песчаника невозможно достигнуть методом отбора проб, да ещё по неравномерной схеме и на это ограничение в общем философском порядке недвусмысленно указывает принцип эмерджентности.

воздушно-сухих образцах песчаника и только после их испытания в лабораторных условиях механическими нагрузками в соответствии с ГОСТ 21135.2-84 оно раскрывается в устойчивой вероятностной структуре.

При замачивании воздушно-сухих образцов песчаника водой вышеописанная природная гармония нарушается, деформируется, свидетельством чему служит гистограмма с кусочно-блочной неоднородной и несбалансированной вероятностной структурой (рис. 5 б). В ней находит своё выражение результат полного или частичного стирания разнообразия всего внутреннего облика воздушно-сухих образцов песчаника и прежде всего, индивидуальных тонких особенностей, структурно-текстурных и петрографических нюансов этого облика. В этом деструктивном процессе образуются три группы прочности образцов песчаника замоченных водой, по которым можно приблизительно судить о том, что произойдёт в реальности с прочностью массива песчаника при его замачивании атмосферно-грунтовой или подземной водой (рис. 5 б).

Первая группа наиболее многочисленная и охватывает широкий интервал значений R_c от 7,9 до 72,66 МПа. Доля этих значений в общей совокупности определений составляет 67,5 %. В пределах этой группы вероятностное распределение с некоторыми локальными вариациями близко к закону равномерного распределения, где каждое значение встречается с равной вероятностью. В этой группе решать задачи прогноза прочности массива песчаника в водонасыщенном состоянии если и можно, то с большой осторожностью в принимаемых решениях. Вторая немногочисленная группа выглядывает из границ первой группы и включает в себя значения R_c от 83,45 до 126,63 МПа. Доля её составляет 26,3 %. В точности сказать нельзя, но в этой группе изменение прочности вероятнее всего, подчиняется нормальному закону. В случае верности этого предположения вторая группа представляет собой остаток той регулярной упорядоченной структуры воздушно-сухих образцов песчаника, которая сохранилась при их переходе в водонасыщенное состояние. Третья группа самая маленькая. Её доля составляет 6,1 % в границах значений R_c от 137,22 до 169,80 МПа. В ней изменения прочности в точности подчинены закону равномерного вероятностного распределения. Получается, что внутренние структурно-текстурные и петрографические особенности воздушно-сухих образцов песчаника очень высокой прочности полностью стираются при замачивании водой.

Вот, к каким серьёзным последствиям приводит действие воды! Образно говоря, разрушительный процесс действия воды равносилен процессу стирания памяти камня о своём прошлом в воздушно-сухом состоянии.

В дополнение к гистограммам остаётся констатировать сухую статистику прочности образцов песчаника в воздушно-сухом и водонасыщенном состоянии (табл. 1).

В воздушно-сухом состоянии R_c образцов песчаника изменяется от 4,7 до 231,3 Мпа при средних значениях 64,00–93,93 МПа. Теоретически по стандартному отклонению, означающему доверительную вероятность в 68,2 %, значения R_c заключены в интервал 49,6–138,5 МПа. При замачивании водой разброс единичных значений R_c возрастает от 2,5 до 64,5 МПа при среднем арифметическом и медианном значениях 36,17 и 57,3 МПа. В 68,2 % случаях вариации прочности происходят в более узком интервале от 22,44 до 103,89 МПа со смещением в сторону низких значений R_c. Следовательно, и с этой стороны удостоверяется информационная потеря разнообразия строения, состава и свойств воздушно-сухих образцов песчаника при замачивании водой. Более высокое значение коэффициента вариации в этом состоянии, равное 64,5 %, не противоречит сделанному выводу. Напротив, усиливает его, обращая внимание на рост неопределённости в случайном появлении событий с разными единичными значениями R_c на более низком прочностном фоне прочности со средним арифметическим значением 63,17 МПа (табл. 1).

Таблица 1

Общая прочность образцов песчаника

Описательная статистика	R_c, МПа	
	1	2
Среднее арифметическое значение	93,93	63,17
Медианное среднее значение	89,0	57,34
Модальное среднее значение	64,0	5,65
Стандартное отклонение	44,57	40,73
Коэффициент вариации, %	47,4	64,5
Минимальное значение	4,7	2,5
Максимальное значение	231,3	175,2
Количество определений	573	573
Уровень надежности (95,0 %)	3,65	3,65

Примечания: 1 — прочность в воздушно-сухом состоянии; 2 — прочность в водонасыщенном состоянии

В целом, для всей территории квартала «М» г. Нерюнгри значение коэффициента k_{sof}, вычисленное по медианным средним оценкам прочности, составляет 0,64 отн. ед. Это означает, что при прогнозируемом непостоянном, а временном замачивании водой массива песчаника, как это делается в лаборатории, следует ожидать снижение прочности в среднем на 37 %.

Размягчаемость песчаника

Детальный анализ размягчаемости воздушно-сухих образцов песчаника, искусственно замоченных в воде в лабораторных условиях выполнен по значениям коэффициента размягчаемости k_{sof} в группах прочности.[12] Ради сокращения назовём его просто k_{sof}. Отметим, что чем меньше значения этого коэффициента, тем больше потери прочности при замачивании воздушно-сухих образцов песчаника и наоборот. Мера потерь оценивалась по разнице между максимальным значением коэффициента размягчаемости k_{sof} 1,00 отн. ед. и конкретным значением, например, 0,34 отн. ед. В этом случае мера потерь или их количественная оценка равна 0,66 отн. ед. В более понятном процентном отношении потери составляют 66 %.

Границы групп заданы для водонасыщенных образцов песчаника в соответствии с действующей классификацией разновидностей скально-полускальных грунтов.[13] Для воздушно-сухих образцов грунтов такая классификация не предусмотрена. По каждой группе представлена статистика по двум характеристикам: прочностной характеристике R_c воздушно-сухих образцов песчаника в МПа и характеристике размягчаемости этих образцов — коэффициенту k_{sof} в отн. ед.

Из-за совсем маленького (всего три значения) и небольшого числа определений значений коэффициента размягчаемости k_{sof} группа низкой прочности (1–3 МПа) и пониженной прочности (3–5 МПа) объединены с группой малой прочности (5–15 МПа) в одну смешанную группу со значениями R_c от 1 до 15 МПа. Названа эта группа группой слабой прочности.

Результат группирования значений k_{sof} представлен в виде гистограмм на рисунке 6 и описательной статистики в таблице 2. Гистограммы свидетельствуют о разной реакции на замачивание водой воздушно-сухих образцов песчаника в разных группах прочности. Поэтому нельзя принимать по лабораторным данным общее решение о каком-либо одном среднем

[12] Значения коэффициента вычисляются путём деления значений Rc образцов, замоченных водой на Rc воздушно-сухих образцов.

[13] ГОСТ 25100-2020. Грунты. Классификация. — Москва: Изд-во Стандартинформ, 2020. — 38 с.

значении, который давал бы правильную прогнозную количественную оценку по снижению прочности массива песчаника в водонасыщенном состоянии.

В группе слабой прочности (ниже 15 МПа) несмотря на игру случая и несоблюдение теоретического нормального вероятностного закона наблюдаются следы тенденции в виде сдвига частоты встречаемости значений k_{sof} в направлении от 0,65 до 0,10 отн. ед. (рис. 6 а). По логике развития процесса размягчаемости начальный максимум гистограммы с интервальными значениями k_{sof}, равными 0,10–0,21 отн. ед., означает, что более всего потеря прочности на 90–79 % происходит в группе водонасыщенных образцов низкой-пониженной прочности. Меньшими потерями прочности в группе малопрочных образцов фиксируется второй максимум гистограммы с интервальными значениями k_{sof}, равными 0,43–0,54 отн. ед. В этой группе потери резко уменьшаются, но всё ещё существенны (57–46 %).

Потери продолжают снижаться в группе водонасыщенных образцов средней прочности, но уже более предсказуемо в сосредоточенности единичных значений коэффициента размягчаемости k_{sof} возле среднего интервального значения 0,45 отн. ед. соответствующего максимуму гистограммы (рис. 6 б). По результатам тестовой проверки по трём независимым критериям (Колмогорова, Омега-квадрат и Хи-квадрат) [13] вероятностное распределение значений k_{sof} подчиняется нормальному закону. Однако несмотря на это при внимательном рассмотрении гистограммы в ней видна асимметричность со сдвигом максимума гистограммы в сторону меньших значений k_{sof}. Такой штрих вероятностного распределения обнаруживает склонность воздушно-сухих образцов песчаника к размягчению водой с потерей прочности от 63 до 80 %. Вероятность появления таких труднопредсказуемых опасных событий составляет 23,5 %. Это не так много, но всё же заставляет обращать внимание на существование образно говоря «ахиллесовой пяты» в скальном массиве песчаника средней прочности, которая представляет собой потенциальную угрозу для продолжения строительства и эксплуатации инженерных сооружений в квартале «М» г. Нерюнгри. Размягчаемость большей части массива песчаника средней прочности существенно меньше и оценивается по лабораторным данным в интервале от 0,53 до 0,94 отн. ед. При такой размягчаемости потери прочности изменяются в широком интервале 47–16 %, но чаще всего, они равны 55 %. В целом, если руководствоваться таблицей 1 пособия к СНиП 2.02.01-83, то при критическом значении коэффициента $k_{sof} > 0{,}75$ отн. ед. всего лишь 16,3 % массива песчаника сохраняют свойства скальных грунтов и не размягчаются при замачивании водой.

Асимметрия вероятностных распределений значений k_{sof} становится явной и преобладающей в группах прочных и очень прочных водонасыщенных образов песчаника. В группе прочных образцов (рис. 6 в) значения k_{sof} распределены не по нормально закону, но близко к его частному виду — логнормальному закону. С плавным нарастанием частоты появления и сосредоточием в правой части гистограммы в диапазоне многоуровневых максимальных интервальных значений от 0,68 до 0,96 отн. ед. На этом локальном фоне отчётливо наблюдается максимум гистограммы с наиболее часто встречающимися значениями k_{sof}, равными 0,79 отн. ед. В целом, по лабораторным данным 76,2 % прочного массива песчаника не размягчаются водой (значения коэффициента $k_{sof} > 0{,}75$ отн. ед.). Конечно же, это хорошо и вполне объяснимо зональным уплотнением массива песчаника по глубине, но даже при этом закономерном процессе почти четверть скального плотного массива размягчается водой!

Отчего возникает такая деструктивная особенность?

Однозначно ответить на этот вопрос сложно. Тем не менее, есть предположение, что главной причиной следует считать наличие в массиве песчаника скрытых микроскопических дефектов и мест механических напряжений. При замачивании водой и под давлением инженерных сооружений дефекты нейтрализуются, а напряжения снимаются. В результате

происходит деформация, размягчение массива с частичным разрушением жёстких кристаллических и цементирующих структурных связей. Аналогичные явления происходят и в мёрзлых дисперсных грунтах песчано-глинистого состава, где цементирующей основой служит поровый и сегрегационный лёд. Присутствующие в этих грунтах дефекты А.Д. Фролов называл матрицей дефектов пространственной кристаллизационно-коагуляционной структуры [16].

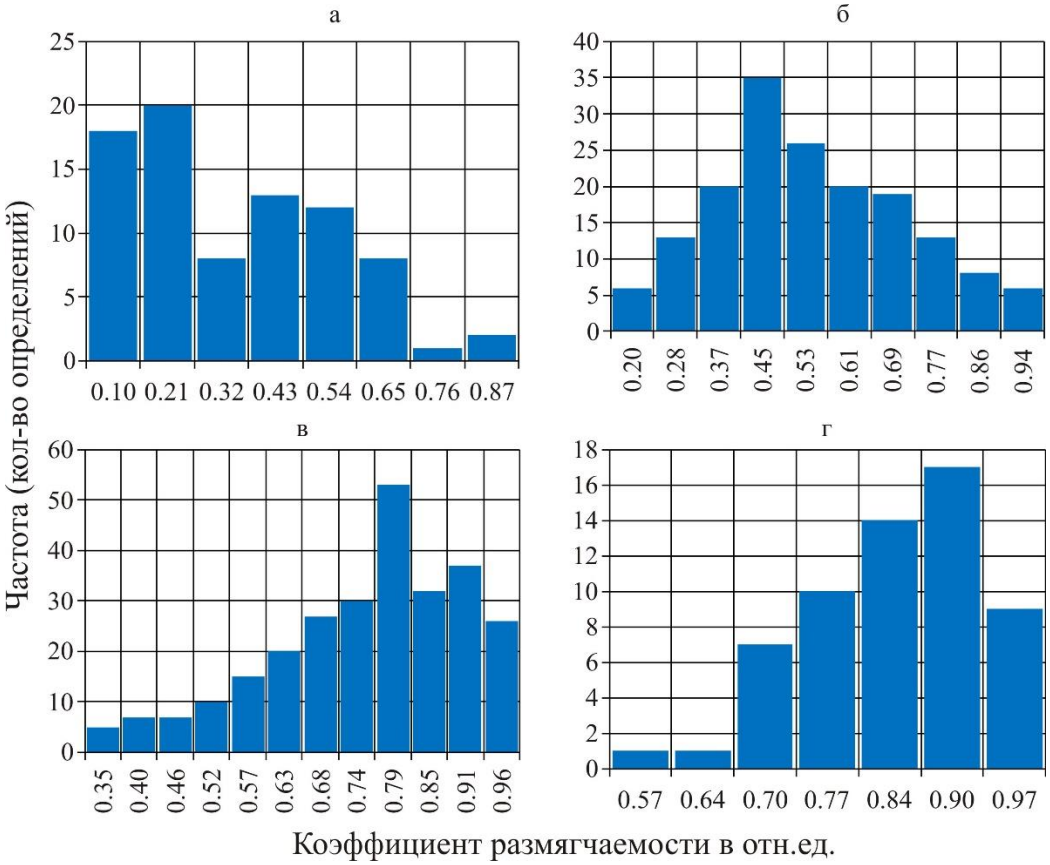


Рисунок 6. *Гистограммы значений коэффициента размягчаемости* k_{sof} *по группам прочности водонасыщенных образцов песчаника (табл. 2). Объём выборки — 573 определений: а — I–III группы ниже 15 МПа; б — VI группа 15–50 МПа; в — V группа 50–120 МПа; г — VI группа выше 120 МПа (составлено автором)*

Перейдём к рассмотрению табличной статистики размягчаемости водой воздушно-сухих образцов песчаника (табл. 2).

Табличная статистика представляет практическую ценность для проектировщиков и геологов-изыскателей, работающих в г. Нерюнгри. Это заявление не следует рассматривать, как декларацию пустых обещаний. Потому, что с помощью полученной по лабораторным данным статистики появляется возможность приблизительно, но достоверно решить задачу прогноза прочности массива песчаника в водонасыщенном состоянии. Причём получить решение быстро без всяких материальных и финансовых затрат на проведение трудоёмких и дорогостоящих дополнительных буровых, лабораторных работ или работ, связанных с систематизацией результатов инженерно-геологических изысканий в квартале «М». Для получения решения обозначенной задачи в 2-х вариантах достаточно априори знать группу прочности массива песчаника в водонасыщенном состоянии и соответствующие этой группе значения k_{sof}. В первом варианте решение получается в виде средних значений R_c (лучше всего использовать медианные оценки) или вероятностных оценок этой характеристики в пределах границ заданного доверительного интервала.

Рассмотрим пример решения этой задачи.

Допустим, что на какой-либо площадке изысканий в силу разных причин (недостатка времени, ограниченного финансирования или низкой квалификации или отсутствия практического опыта у инженерно-технических работников, а также иных причин) известны значения R_c образцов песчаника только в воздушно-сухом состоянии. Пусть одно из таких значений, входящее в группу очень прочных образцов (по таблице 2 это VI группа). равно 135,14 МПа. Умножим это значение на групповой средний медианный показатель k_{sof}, равный 0,86 отн. ед. Получаем 116,2 МПа. То есть средняя потеря прочности воздушно-сухого массива песчаника, замоченного водой, оценивается в 14 %.

В дополнение к этой оценке определим разброс единичных значений R_c в стандартном доверительном интервале 68,2 %. При стандартном отклонении единичных значений k_{sof}, равном 0,09 отн. ед. (табл. 2) их разброс в этом интервале будет оцениваться значением 0,86 ±0,09 отн. ед., т. е. в интервале 0,77–0,95 отн. ед. Умножим исходное значение 135,14 МПа на эти цифры и получим, что почти в семи из десяти случаев прогнозная прочность замоченного водой массива песчаника будет находиться в интервале 104,06–128,38 МПа.

Таблица 2

Групповая прочность и размягчаемость водой воздушно-сухих образцов песчаника

Статистика	I группа		II группа		III группа		IV группа		V группа		VI группа	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Среднее арифметическое	22,5	0,28	25,8	0,30	41,4	0,35	71,39	0,54	108,9	0,75	168,5	0,84
Медиана	15,9	0,24	20,6	0,24	38,3	0,27	70,8	0,52	107,4	0,78	166,3	0,86
Мода	нет	нет	24,6	0,16	13,2	0,22	50,7	0,45	120,0	0,85	155,1	0,86
Стандартное отклонение	22,4	0,24	21,4	0,19	28,2	0,22	22,81	0,18	27,74	0,15	26,39	0,09
Коэффициент вариации, %	99,6	85,7	82,9	63,3	68,1	62,8	31,9	33,3	25,5	20,0	15,7	10,7
Минимум	4,7	0,05	6,6	0,06	9,4	0,05	21,5	0,16	51,8	0,32	124,4	0,54
Максимум	53,5	0,59	88,5	0,66	117,2	0,92	150	0,98	186,5	0,99	231,1	1,00
Количество определений	3	3	21	21	56	56	166	166	270	270	59	59
Надежность (95,0 %)	35,7	0,38	9,51	0,09	7,48	0,06	3,49	0,03	3,32	0,02	6,88	0,02

Примечания: I — VI стандартные группы прочности для водонасыщенного состояния скально-полускальных грунтов по ГОСТ 25100-2020 — значения R_c ниже 3; 3–5; 5–15; 15–50; 50–120; больше 120 МПа; 1 — прочность образцов песчаника в воздушно-сухом состоянии в МПа; 2 — коэффициент размягчаемости k_{sof} в отн. ед.

В случае, если потребуется установить границы доверительного интервала на уровне лабораторных оценок с надёжностью 80,0 %, то следует умножить табличное значение стандартного отклонения k_{sof} 0,09 отн. ед. на теоретический коэффициент 1,28. Сделаем это умножение и получим разброс единичных значений k_{sof}, равный 0,86 ±0,115 отн. ед. в границах доверительного интервала 0,745–0,975 отн. ед. Умножим исходное начальное значение прочности 135,14 МПа на эти цифры. В результате получаем, что в восьми из десяти случаев прогнозируемая прочность массива песчаника, замоченного водой, будет находиться в интервале 100,68–131,76 МПа. При такой оценке воздушно-сухой массив песчаника со средними значениями 155,1–168,5 МПа (табл. 2) при замачивании водой с высокой надёжностью по-прежнему сохраняет свойства скальных грунтов, но часть его по нижней границе доверительного интервала переходит из очень прочной группы в прочную группу (по таблице 2 это V группа). Кстати сказать, эта группа наиболее многочисленна. Её доля в общем количестве определений составляет 47,1 %, а средняя прочность воздушно-сухого массива песчаника в этой группе оценивается по лабораторным данным в 107,4–120,0 МПа. Эта группа вместе с группой средней прочности и группой очень прочного воздушно-сухого массива песчаника, доля которых составляет 29,0 и 10,3 % соответственно, слагает основную часть оснований инженерных сооружений на территории квартала «М» в г. Нерюнгри.

Сопоставляя результаты вероятностной оценки прочности массива песчаника в квартале «М» г. Нерюнгри с содержанием таблицы 2 и таблицы 115 пособия к СНиП 2.02.01-83[14] приходим к трём важным выводам.

Во-первых, большая часть изученного по лабораторным данным массива песчаника относится к категории слабовыветрелых (трещиноватых) скальных грунтов со значением коэффициента выветрелости k_{wr} меньше единицы, но больше или равном 0,90 отн. ед. Во-вторых, минеральная основа этой категории песчаника, а также его выветрелых разностей[15], скреплена прочным карбонатным цементом. В-третьих, фактические лабораторные оценки коэффициента размягчаемости k_{sof} близки к обобщённым оценкам СНиП 2.02.01-83. Для массива песчаника средней, прочной и очень прочной групп (IV–VI) средние медианные оценки равны 0,52–0,86 отн. ед. (табл. 2), а интервальные сниповские оценки изменяются от 0,60 до 0,73 отн. ед. (табл. 115 пособия к СНиП 2.02.01-83).

Таким образом, заложенные в строительные нормы и правила результаты обобщения многолетних полевых и лабораторных исследований скальных грунтов, с одной стороны свидетельствуют о своей фундаментальности, а с другой стороны не только восполняют недостаток знаний о свойствах массива песчаника в квартале «М», но и переводят их в разряд объективно-региональных оценок для всего г. Нерюнгри и вполне возможно для всей криолитозоны Южной Якутии, где в мезозойских впадинах распространена толща углевмещающих осадочных пород с доминирующим литотипом мелко-среднезернистого песчаника.

Вернёмся к табличной статистике (табл. 2).

Кроме описанной выше практической пользы табличная статистика имеет научную значимость. Речь идёт о петрофизической закономерности, соединяющей по лабораторным данным в единое целое с одной стороны рост средней прочности воздушно сухого массива песчаника, а с другой стороны — снижение размягчаемости массива песчаника при его замачивании водой.

Заключение

Результаты исследований многочисленных лабораторных данных, собранных в архиве ООО «Нерюнгристройизыскания» за 1977–1985 гг. в квартале «М» г. Нерюнгри, удостоверяют в следующем. При искусственном замачивании водой воздушно-сухих образцов песчаника кардинально меняется структура вероятностного распределения значений R_c с устойчивой на неустойчивую с частичной или почти полной потерей разнообразия строения, состава и свойств воздушно-сухих образцов песчаника. По лабораторным данным во всех случаях прочность воздушно-сухого массива песчаника при замачивании водой уменьшается, но в разной мере.

По наиболее устойчивой статистке — среднему медианному показателю у воздушно-сухого полускально-скального массива песчаника низкой, пониженной и малой прочности с R_c = 15,9 - 38,3 МПа при прогнозируемом переходе в водонасыщенное состояние потери прочности максимальны и составляют 66–63 %.

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

[15] За исключением массива песчаника в виде отдельных кусков — «рухляков с прочностью в воздушно-сухом и водонасыщенном состоянии меньше 10 и 5 МПа.

Среди скальных воздушно-сухих массивов песчаника наиболее уязвима к размягчению водой группа средней прочности со средним медианным значением R_c = 70,8 МПа. У этой группы на общем фоне потерь прочности 48 % в 23,5 % случаев потери прочности аномальны и составляют 63 и 80 %. По такому же среднему показателю и в таком же состоянии потери прочности у группы прочного массива песчаника с R_c = 107,4 МПа снижаются до 22 %. Минимальные потери в 14 % имеет группа очень прочного воздушно-сухого массива песчаника со средним медианным значением R_c = 166,3 МПа.

В целом, 87 % территории квартала «М» г. Нерюнгри, изученной по лабораторным данным, сложено массивом песчаника, фоновая прочность которого даже в прогнозируемом водонасыщенном состоянии достаточна высока и составляет 57,34–63,17 МПа. При такой прочности массив песчаника по ГОСТ 21500-2020 считается скальным грунтом и представляет собой устойчивое и надёжное основание для безопасного строительства и эксплуатации инженерных сооружений. Однако только в 51,3 % случаев массив песчаника не размягчается водой. Остальная половина массива в разной степени размягчается водой и при длительном воздействии атмосферно-подземной воды вместе с водой антропогенно-техногенного происхождения потенциально опасна в части проявления непредвиденных и неконтролируемых деформаций и просадок для строительства и эксплуатации инженерных сооружений. Особенно в сложных и неблагоприятных инженерно-геологических условиях, которые включают в себя присутствие в основаниях инженерных сооружений зон тектонического дробления и трещиноватости, литогенно слабых по прочности осадочных пород (аргиллита, алевролита) вместе с пластами угля и неустойчивой высокотемпературной островной мерзлоты.

Полученные табличные статистики по коэффициенту размягчаемости k_{sof} водой воздушно-сухих образцов песчаника позволяют геологам-изыскателям, а также геофизикам в ряде случаев быстро оценивать предполагаемую потерю прочности массива песчаника в водонасыщенном состоянии, как по средним показателям k_{sof}, так и по его верхней-нижней границам интервала с заданной стандартной доверительной вероятностью 68,2 % или с более высоким доверием, надёжности к полученным вероятностным оценкам на уровне 80,0 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Южная Якутия: мерзлотно-гидрогеологические и инженерно-геологические условия Алданского горнопромышленного района / Под ред. В.А. Кудрявцева. — М.: МГУ, 1975. — 444 с.
2. Желинский В.М., Коробицына В.Н., Каримова С.С. Мезозойские отложения и генетические типы угольных пластов Южной Якутии / Отв. ред. А.К. Матвеев. — Новосибирск: Изд-во «Наука», 1976. — 126 с.
3. Желинский В.М. Мезозойская угленосная формация Южной Якутии / Отв. ред. А.К. Матвеев. — Новосибирск: Изд-во «Наука». Сиб. отд-ние, 1980. — 119 с.
4. Инженерная геология СССР. В 8-ми томах. Том 3. Восточная Сибирь. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1977. — 657 с.
5. Геология Якутской АССР. — М.: Недра, 1981. — 300 с.
6. Южно-Якутская угленосная формация // Труды ВСЕГЕИ. Том 312. — М.: Новое время, 1981. — 142 с.
7. Геокриология СССР. Восточная Сибирь и Дальний Восток / Г35. Редколлегия: Э.Д. Ершов (гл. редактор) и др.; под ред. Э.Д. Ершова. — М.: Недра, 1989. — 515 с.

8. 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. Москва. Изд-во Моск. ун-та, 1976, с. 120–125.

9. Мокшанцев К.Б., Гонштейн Д.К., Гусев Г.С. и др. Тектоническое строение Якутской АССР. — Москва: Наука, 1964. — 240 с.

10. Железняк М.Н. Геотемпературное поле и криолитозона Юго-Востока Сибирской платформы. — Новосибирск: «Наука», 2015. — 227 с.

11. Мельников А.Е., Павлов С.С., Колодезников И.И. Разрушение пород насыпи новой железнодорожной линии Томмот-Кердём Амуро-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). EDN: SBWMQZ.

12. Забелин А.В. Количественная оценка влияния процессов криогенного выветривания на устойчивость откосов бортов угольных карьеров Южной Якутии // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2003, № 7, с. 11–13. EDN: KXFGGJ.

13. Кулаичев А.П. Методы и средства комплексного анализа данных. — М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2006. — 512 с.

14. Пасхавер И.С. Закон больших чисел и статистические закономерности. — М.: Статистика, 1974. — 152 с.

15. Бернулли Я. О законе больших чисел: Пер. с лат / Я. Бернулли. — М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. — 176 с.

16. Фролов А.Д. Электрические и упругие свойства мёрзлых пород и льдов = Electric and elastic properties of frozen earth materials. — 2-е изд., перераб. и доп. — Пущино: ОНТИ ПНЦ РАН, 2005. — 607 с.

Neradovskii Leonid Georgievich
Melnikov Permafrost Institute Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russia
E-mail: L031950N@ya.ru
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=394470

Osmushkin Andrey Vladimirovich
Neryungristroyzyskaniya, Neryungri, Russia
E-mail: osmushkin.nsi@gmail.com

Decrease in the strength of sandstone in the permafrost zone of Southern Yakutia during the transition to the predicted water-saturated state (using the example of a residential area in the city of Neryungri)

Abstract. The results of studies of numerous laboratory data collected in the archives of Neryungristroyzyskaniya LLC in the «M» quarter of Neryungri confirm the following. When artificially soaking air-dry sandstone samples with water, the structure of the probability distribution of strength characteristic values Rc radically changes from stable to unstable and partial or almost complete loss of the diversity of structure, composition and properties of air-dry sandstone samples. According to laboratory data, in all cases the strength of an air-dry or high-temperature frozen sandstone massif when soaked with water decreases, but to varying degrees. According to the most stable statistics — the average median indicator, in an air-dry sandstone massif of low, reduced and low strength, during the predicted transition to a water-saturated state, the loss of strength is maximum and amounts to 66–63 %. Among air-dry sandstone rock masses, the group of medium strength is most vulnerable to softening by water. In this group, in 23,5 % of cases, strength loss is abnormal and reaches 63 and 80 %. According to the same average and in the same condition, the strength loss of a group of solid sandstone massifs is reduced to 22 %. The group of very strong air-dry sandstone massif has a minimum loss of 14 %. In general, 87 % of the territory of the «M» quarter of the city of Neryungri, studied using laboratory data, is composed of a sandstone massif, the background strength of which, even in the predicted water-saturated state, is quite high and amounts to 57,34–63,17 MPa. With such strength, the sandstone massif according to GOST 21500-2020 is considered rocky soil and represents a stable and reliable foundation for the safe construction and operation of engineering structures. However, only in 51,3 % of cases is the sandstone massif not softened by water. The remaining half of the massif is softened by water to varying degrees and, with prolonged exposure to atmospheric-groundwater along with water of anthropogenic-technogenic origin, is potentially dangerous in terms of the manifestation of unforeseen and uncontrolled deformations and subsidence for the construction and operation of engineering structures. Especially in complex and unfavorable engineering-geological conditions, which include the presence in the foundations of engineering structures of zones of tectonic crushing and fracturing, lithogenically weak sedimentary rocks (argillite, siltstone) together with coal layers and unstable high-temperature island permafrost. The obtained tabular statistics on the coefficient of softening k_{sof} by water of air-dry sandstone samples allow prospecting geologists, as well as geophysicists, in some cases, to quickly assess the expected loss of strength of a sandstone massif in a water-saturated state, both by the average k_{sof} values and by its upper-lower boundaries of the interval with a standard confidence level of 68,2 % or with a higher confidence in the obtained probabilistic estimates at the level of 80,0 %.

Keywords: quarter «M»; engineering structures; engineering-geological surveys; air-dry and water-soaked sandstone samples; sandstone massif; loss of strength; softening coefficient; tabular statistics; histograms