

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ, МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЕ И ГРУНТОВЕДЕНИЕ

Научная статья

УДК 551.341

doi: 10.26110/ARCTIC.2023.121.4.001

ИЗ ОПЫТА БУРЕНИЯ МЕРЗЛЫХ ПОРОД В АРКТИКЕ И АНТАРКТИКЕ МАЛОГАБАРИТНЫМИ УСТАНОВКАМИ В НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ЦЕЛЯХ

Никита Эдуардович Демидов

Научный центр изучения Арктики, Салехард, Россия

nikdemidov@mail.ru

Аннотация. Рассмотрены технические возможности и ограничения использования малогабаритных установок применительно к бурению научных скважин в мерзлых породах. Приводятся примеры бурения скважин в различных горно-геологических условиях Арктики и Антарктики.

Ключевые слова: бурение, буровая установка, скважина, мерзлота, Арктика, Антарктида.

Цитирование: Демидов Н.Е. Из опыта бурения мерзлых пород в Арктике и Антарктике малогабаритными установками в научно-исследовательских целях // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. 2023. (121). № 4. С. 6–20. Doi: 10.26110/ARCTIC.2023.121.4.001.

Original article

EXPERIENCE OF SCIENTIFIC SMALL-SCALE DRILLING OF
PERMAFROST IN ARCTIC AND ANTARCTIC

Nikita E. Demidov

Arctic Research Center, Salekhard, Russia

nikdemidov@mail.ru

Abstract. Advantages and limitations of the technique for making scientific boreholes in permafrost are discussed with review of particular examples of drilling in different geological conditions of Arctic and Antarctic.

Keywords: drilling, drill rig, borehole, permafrost, Arctic, Antarctic.

Citation: Demidov E.N. Experience of scientific small-scale drilling of permafrost in Arctic and Antarctic // Scientific Bulletin of the Yamal-Nenets Autonomous District. 2023. (121). № 4. P. 6–20 doi: 10.26110/ARCTIC.2023.121.4.001.

Введение

Бурение скважин в мерзлоте является одной из распространенных составляющих научных исследований на побережье Северного Ледовитого океана, арктических архипелагах и в свободных ото льда оазисах Антарктиды. Скважины бурятся главным образом в целях получения кернов для изучения особенностей строения и состава мерзлых толщ и реконструкции условий их осадконакопления. Керны даже из неглубоких скважин (10–25 м) в лучшей степени характеризуют отложения, чем образцы из обнажений, поскольку последние, находясь на или близ поверхности, подвергаются разуплотнению, растеплению, дегазации и влиянию атмосферных осадков. С помощью скважин можно получать информацию об отложениях, находящихся ниже уровня дрен (морей, озер, рек), что принципиально невозможно сделать путем исследования обнажений. Только с помощью опущенной в скважину термокося можно измерять температуру, которая является неотъемлемой частью геокриологической характеристики отложений. Экспедиционный характер этих работ выдвигает серьезные ограничения в отношении габаритов и массы используемых буровых станков. Малогабаритные станки не только выигрывают в плане возможности их транспортировки в труднодоступные районы, но и существенно в меньшей степени по сравнению со станками тяжелой серии оказывают воздействие на ранимый деятельный слой. Нарушение деятельного слоя запрещено как в Арктике, так и в Антарктике, и недопустимо как с точки зрения ущерба окружающей среде, так и искажения температурного поля при обустройстве термометрических скважин.

Сходный спектр задач при бурении решается в ходе инженерно-геологических изысканий и обустройстве скважин геотехнического мониторинга. В России требования к бурению скважин в мерзлых грунтах, полевому описанию и отбору образцов при выполнении инженерно-геологических изысканий регламентируются соответствующими государственными стандартами [1-3]. На площадках проектируемых и существующих сооружений экологические ограничения менее строгие, и зачастую предпочтение отдается станкам тяжелой серии из-за их высокой производительности. Малогабаритные станки здесь также применяются (преимущественно на линейных объектах), но опыт бурения мерзлоты, полученный производственными организациями, редко находит свое отражение в периодических изданиях. Важным исключением из этого правила стоит считать рекомендации по бурению скважин в мерзлых грунтах при производстве инженерно-геологических изысканий для строительства, разработанные и изданные Производственным и научно-исследовательским институтом по инженерным изысканиям в строительстве [4].

Потепление климата, которое в Арктике носит наиболее быстрые темпы на планете и уже также регистрируется на Антарктическом полуострове, потребует в ближайшие годы нарастить темпы научно-исследовательского бурения и организации пунктов мониторинга мерзлоты. В России это уже находит отражение в формировании Росгидрометом государственной сети мониторинга состояния многолетней мерзлоты [5] и в создании региональных сетей, как, например, в ЯНАО [6]. Бурение льдосодержащих пород является также одной из перспективных задач в исследовании высоких широт Марса и вечно затененных кратеров на полюсах Луны. Различные портативные буровые установки для этих целей проходили полевое тестирование на острове Девон в канадской Арктике и оазисе Сухие долины в Антарктиде [7].

В гляциологии конструктивные особенности установок для бурения льда освещаются в ведущих профильных периодических изданиях, таких как *Journal of Glaciology* и *Annals of Glaciology*, проводятся международные симпозиумы по технологии бурения льда. В мерзловедении подобной практики обмена опытом не сложилось. Данная статья является попыткой обобщения опыта бурения научно-исследовательских скважин малогабаритными установками в различных горно-геологических условиях криолитозоны. В задачи исследования входило рассмотрение преимуществ и ограничений применения методов бурения мерзлоты «всухую», с промывкой и с продувкой.

Материалы и методы

В статье анализируется процесс бурения скважин, осуществлявшийся главным образом в экспедициях Арктического и антарктического науч-

но-исследовательского института (г. Санкт-Петербург), Российской антарктической экспедиции, Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН (г. Пущино), Научного центра изучения Арктики (г. Салехард) и норвежского университета UNIS (University Centre in Svalbard, Норвегия). Рассмотрены примеры бурения установками УКБ 12/25 (ООО «Машиностроительный завод им. В.В. Воровского», Россия), УКБ 12/25И (ООО «Машиностроительный завод им. В.В. Воровского», Россия), «Белка» (ООО «Объединенные заводы буровой техники им. В.В. Воровского», Россия), «Термит» (ООО НПО «Геммаш», Россия), UNIS Permafrost Drill Rig (Dipl.-Ing. Lutz Kurth Bohr- und Brunnenausüstungen GmbH совместно с Kolibri Geo Services, Германия) в оазисах Антарктиды, на Шпицбергене, Ямале, Земле Франца-Иосифа, Новосибирских островах и в других полярных районах. Более подробно с природными условиями этих районов и характеристикой отложений можно ознакомиться по приведенным в тексте ссылкам. Сравнительный анализ эффективности применения разных методов проведен на качественном уровне. В статье также используются такие количественные критерии, как скорость бурения, проходка за рейс, вес бурового комплекта.

Колонковое бурение «всухую»

Дисперсные породы, подвергшиеся промерзанию, являются сложной многокомпонентной средой, состоящей в первом приближении из минеральных агрегатов разного размера, льда-цемента и скоплений льда в виде шлиров. Эти основные составляющие могут находиться в породе в разной пропорции, возможны также включения крупных скальных обломков, незамерзшего рассола, органических грунтов, крупных прослоев льда и ледогрунта. Кроме того, свойства мерзлых пород и фазовый состав содержащейся в них влаги являются функцией температуры, которая меняется как вследствие естественного изменения температурного поля по глубине, так и при механическом воздействии на забой скважины во время бурения. Все это осложняет понимание, физическую формализацию и моделирование процессов, происходящих на забое скважины. Ниже рассматриваемые методики бурения являются результатом накопленного эмпирическим путем опыта работы в Арктике и Антарктике.

Колонковое бурение «всухую» – основной метод, применяемый для проходки мерзлых дисперсных пород. Отказ от использования промывки и продувки уменьшают вес бурового оборудования и требования к его энерговооруженности, что имеет важное значение в экспедиционной логистике. Буровые насосы для проходки неглубоких скважин могут иметь относительно небольшой вес, но промывка результируется в растеплении ствола скважины и кернов и поэтому исключена при бурении дисперсных

пород. Продувка приводит к растеплению в меньшей степени по сравнению с промывкой, но ввиду большой массы компрессоров и генераторов, а также их дороговизны, к этому методу, как правило, прибегают только при необходимости проходки скальных грунтов.

В теории бурения любой применяемый метод описывается с позиции решения трех задач: разрушения породы инструментом на забое скважины, извлечения разрушенной породы из скважины и поддержания стабильности стенок скважины. Последняя задача при бурении мерзлоты «всухую» не имеет особой сложности, так как мерзлые породы благодаря наличию льда-цемента не обваливаются и хорошо держат ствол скважины.

Если бурение проводится во время формирования сезонно-талого слоя (СТС), то по возможности следует выбирать точку бурения так, чтобы избежать подтока надмерзлотных вод СТС в скважину, например, на

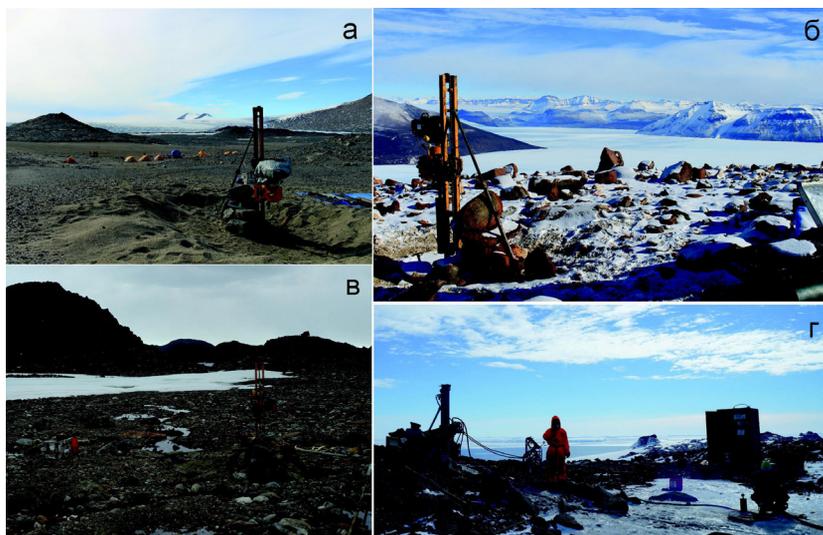


Рис. 1. Бурение малогабаритными установками в оазисах Антарктиды:

а – буровая установка УКБ 12-25И в долине Райта, оазис Сухие долины. Буровая пригружена валунами и стоит в шурфе на поверхности мерзлоты. Сухой песок («сухая мерзлота») мощностью 40 см был предварительно снят. Температура на забое скважины $-14,5^{\circ}\text{C}$;

б – буровая установка УКБ 12-25И на Столовой горе, оазис Сухие долины. Буровая пригружена валунами и стоит в шурфе на поверхности мерзлоты. Сухой песок с валунами («сухая мерзлота») мощностью 20 см был предварительно снят. Температура на забое скважины -23°C ;

в – буровая установка УКБ 12-25 в оазисе Бангера. Валуны встречены лишь вблизи поверхности и были предварительно убраны руками из СТС перед установкой кондуктора. Температура на забое скважины $-9,4^{\circ}\text{C}$;

г – буровая установка «Термит» на станции Русская. Буровая пригружена валунами, на льду озера насос НБ-1. Температура на забое скважины $-10,5^{\circ}\text{C}$

локальном возвышении. В значительном числе случаев СТС не обсыпается и не подтапливает скважину, а значит можно обойтись без его обсадки. При работах в оазисе Сухие долины в Антарктиде [8], где верхние дециметры грунта иссушены благодаря сублимации, «сухая мерзлота» снималась лопатой и бурение проводилось непосредственно с поверхности льдосодержащих пород без кондуктора (рис. 1 а, б). При необходимости установки кондуктора скважину углубляют примерно на 0,5–1,5 м ниже СТС, вставляют трубу-кондуктор и оставляют ее на ночь, чего для случая низкотемпературных пород достаточно для смерзания со стенками скважины. Если толща дисперсных пород содержала крупные скальные обломки, то за счет выпучивания они могут концентрироваться на поверхности и близ нее, что зачастую осложняет проходку СТС. В этом случае также целесообразно предварительно выкопать шурф, установить в него кондуктор и начать бурение мерзлых пород через кондуктор. Такой способ использовался для проходки морены, перекрывающей озерно-лагунные отложения, в антарктических оазисах Холмы Ларсеманн [9] и Бангер (рис. 1 в). Бурение в разрезах с деградирующей заглубленной мерзлотой требует организации обсадки на значительную глубину. Применение в таких случаях малогабаритных установок является нецелесообразным.

При бурении мерзлоты «всухую» колонковый снаряд решает одновременно задачи разрушения и извлечения породы. При его вращении на забое происходит не только разрушение породы коронкой, но и плавление льда. По мере углубления снаряда шлам поступает по зазору между колонковой трубой и стенками скважины и через специальные окна попадает в колонковую трубу, скапливаясь над керном. Превращение льда в воду и поступление шлама через окна в колонковую трубу уменьшает трение и позволяет бурить мерзлые породы малогабаритными установками без значительной нагрузки на забой. На рис. 2 представлено фотоизображение колонковых снарядов, зарекомендовавших себя при бурении мерзлоты «всухую». Для их изготовления используется тонкостенная труба с толщиной стенки около 3 мм, что позволяет уменьшить вес снаряда. Кроме того, это позволяет снизить количество образуемого шлама, который запрессовывает снаряд, повысить выход керна и увеличить длину проходки за рейс, которая может достигать 75 см (рис. 3). Съемные коронки при такой толщине трубы изготовить проблематично, и взамен них твердосплавные резцы припаивают к торцу трубы с внутренней и внешней стороны. Используются колонковые снаряды четырех диаметров 108, 89, 73 и 63 мм. Полезная длина снарядов 75 и 50 см, вес от 1,5 до 5 кг. За один рейс проходка составляет в зависимости от типа пород от 15 до 75 см. При такой проходке керн, как правило, успевает запрессоваться шламом и оторваться. Если этого не происходит, то повторяют проходку, углубляясь ниже на 5-15 см.

Для отрыва керна можно также прибегнуть к перебуриванию интервала меньшим диаметром.

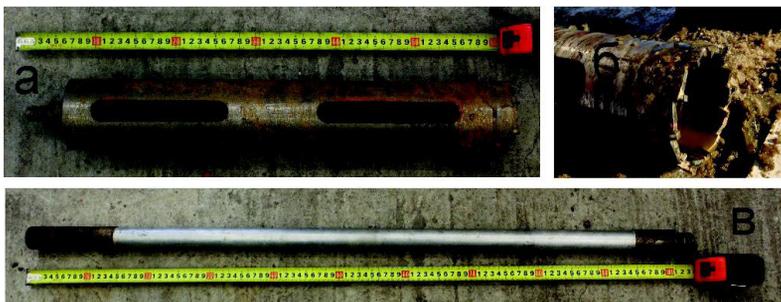


Рис. 2. Фотоизображение инструмента для бурения мерзлоты «всухую» малогабаритными установками: а – колонковый снаряд; б – коронка колонкового снаряда; в – алюминиевая штанга



Рис. 3. Керн длиной 75 см, полученный при бурении мелких песков с массивной криотекстурой и включениями щебня, перекрывающими льдонасыщенное ядро булгуньяха Вась-Юган 1 в окрестностях г. Салехарда. Температура на забое скважины $-0,5^{\circ}\text{C}$

Оптимальным вариантом применяемых бурильных штанг являются полые штанги, изготовленные для облегчения из алюминиевых труб (рис. 2 в). На торцах труб нарезается резьба и навинчиваются стальные наконечники с выемками под подкладные вилки и с резьбами для соединения штанг между собой. По сравнению со стальными штангами вес алюминиевых штанг примерно на 25% ниже, что и определяет преимущество в использовании последних при бурении малогабаритными установками, в процессе которого спуско-подъемные операции проводятся вручную. Алюминиевая штанга длиной 1 м весит 2,2 кг. По мере углубления штанги свинчиваются в свечи по 5 м и спуско-подъемные операции проводятся путем свинчивания — развинчивания пятиметровых свечей на металлическом кольце внизу мачты с помощью подкладной вилки, г-образных или газовых ключей. Захват и подъем колонны проводится руками или с

помощью газовых ключей. Применение алюминиевых штанг позволяет проводить подъем колонны с глубины 25 м вручную без использования лебедки. Если стоит задача бурения скважины глубиной более 25 м, то после достижения данной отметки следует переходить к использованию лебедки. При использовании стальных штанг к использованию лебедки прибегают начиная с глубины 18 м.

Известно, что в связи с уменьшением количества незамерзшей воды при понижении температуры прочность мерзлых пород увеличивается. Однако фактический опыт бурения экстремально холодной по земным меркам мерзлоты в Сухих долинах Антарктиды, где температура в скважине на Столовой горе достигала -23°C , показал, что ее сопротивляемость бурению не отличается от таковой в более теплых районах криолитозоны. Определяющее значение при бурении песчано-глинистых отложений имеет их льдистость. При низких значениях льдистости снаряд быстрее запрессовывается, увеличение давления на забой приводит лишь к незначительному углублению и нагреву керна. Низкие значения льдистости, как правило, не характерны для верхних метров разреза и могут быть встречены с глубины 5-10 м. Так, при бурении слабольдистых песков на восточном побережье Обской губы на полуострове Явай [10] проходка за рейс составляла не более 15 см. Низкая проходка за рейс может существенно увеличить трудоемкость и снизить скорость бурения скважины. На рисунке 4 показана зависимость глубины забоя от количества рейсов («забурок») при разной величине проходки за рейс.

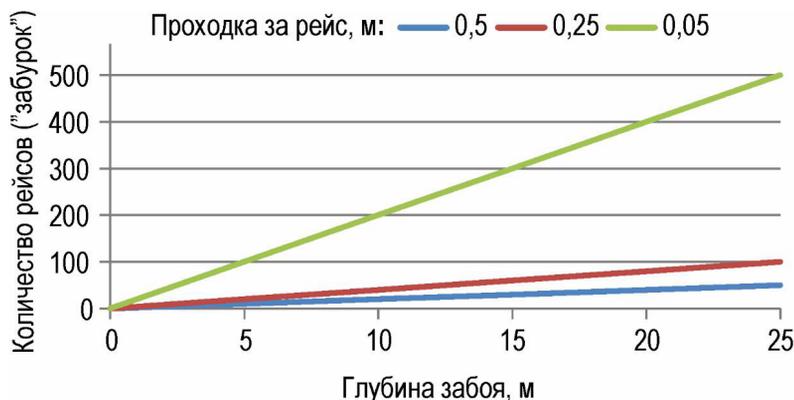


Рис. 4. Зависимость глубины забоя от количества рейсов («забурок») при разной величине проходки за рейс

Фактор температуры нужно принимать во внимание с точки зрения возможности приморозки бурового инструмента во время остановок его вращения. В случае непредвиденных остановок необходимо поднять инструмент над забоем и периодически его проворачивать или полностью

извлечь его из скважины, чтобы он не примерз к стенкам. При бурении низкотемпературной мерзлоты эти операции необходимо делать незамедлительно.

Выход керна и его качество помимо типа буримой породы определяется толщиной стенки колонковой трубы (чем тоньше стенка, тем лучше керн) и ее диаметром (чем больше диаметр, тем лучше керн), поэтому если колонковую трубу не подклинивает при спуско-подъемных операциях, то переходить на бурение меньшим диаметром нецелесообразно. В отдельных случаях получается пройти скважину, используя только колонковые трубы диаметром 108 мм. Таким образом, например, была пробурена скважина глубиной 25 м в долине Грендален на архипелаге Шпицберген. Скважиной вскрыт разрез мерзлых суглинков и алевролитов с прослоями льда мощностью до 1 м, перекрытых гравием с суглинистым заполнителем [11]. Из колонковой трубы керн выдавливается монтировкой или выбивается ударами молотка по стальному стержню. Для удобства извлечения и упаковки керн может быть разделен зубилом на части. При зимнем бурении может понадобиться разводить костер или использовать горелку для прогрева колонковой трубы перед извлечением керна.

Значительное сопротивление бурению оказывают скальные и полускальные грунты, лед, мерзлый торф. Отдельная галька и небольшие валуны даже таких крепких пород, как гранит, гнейс, базальт, за счет их трещиноватости и выветрелости поддаются колонковому бурению «всухую». Массивы этих пород оказывается возможным пройти на глубину 0,5 — 2 м. Причем, если позволяет научная задача, стоящая перед бурением, проходку скальных грунтов в некоторой степени можно облегчить путем подлива в скважину пресной воды или рассола [12]. Глубже эти породы, как правило, отличаются низкой степенью выветрелости и поэтому могут разбуриваться только с применением продувки или промывки. Проходка валунов и тем более массивов скальных грунтов ведет к быстрому истиранию твердосплавных резцов и их отрыву. Массивы полускальных грунтов — аргиллитов, алевролитов, известняков — бурятся легче, но и их проходка малогабаритными установками «всухую» целесообразна только в исключительных случаях, таких как добуривание низов скважины для обустройства пунктов термометрического мониторинга. Бурение аргиллитов, встреченных скважиной государственной сети мониторинга многолетней мерзлоты на метеостанции Санникова (о. Котельный, архипелаг Новосибирские острова) в диапазоне глубин 20,5 — 25,0 м, заняло 4 суток. В районе рудника Баренцбург на Шпицбергене, где в большинстве скважин верхняя часть разреза представлена грубообломочным материалом с преобладанием гравия, дресвы и гальки аргиллита с суглинистым и супесчаным заполнителем или без него [11], бурение «всухую» показало высокие скорости проходки, а колонковые снаряды высокую сопротив-

ляемость износу. В осадочных породах особую сложность может иметь проходка окремненных и сидеритизированных прослоев и стяжений. На метеостанции Визе (о. Визе, север Карского моря) при организации термометрической скважины государственной сети мониторинга многолетней мерзлоты в меловых песках была встречена крупная окремненная конкреция. Проходка 0,7 м по конкреции потребовала 6 часов, были потеряны резцы на двух колонковых снарядах, после чего бурение было перенесено в новую точку.

Нередко мерзлотные скважины вскрывают льдопроявления в виде погребенных льдов, повторно-жильных льдов, ледяных ядер бугров пучения. С теорией бурения льда можно подробно ознакомиться в специальной литературе, например [7]. Снаряды для бурения льда редко применяются в практике мерзлотных исследований. Во-первых, льды в разрезах мерзлотных скважин играют не главную роль. Во-вторых, дополнительная транспортировка ледовых буров осложняет логистику. В-третьих, грунтовые льды в отличие от ледников зачастую имеют минеральные прослои или примеси, которые быстро выводят из строя ледовые резцы, поэтому бурение грунтового льда проводится теми же снарядами, что и мерзлых пород. Лед в меньшей степени по сравнению с мерзлой породой подвергается плавлению, снаряд быстро запрессовывается. Проходка за рейс редко превышает 25–30 см. Тем не менее малогабаритные установки с использованием вышеописанных колонковых снарядов справлялись с задачей бурения как ядер булгунняхов, сложенных ледогрунтом с отдельными прослоями чистого льда в окрестностях Салехарда [13], так и массивных ледяных ядер гидролакколитов мощностью в 16 — 21 м на Шпицбергене [14, 15]. В скважине государственного мониторинга многолетней мерзлоты на о. Котельный повторно-жильный лед мощностью 16 м был пройден за 16 часов. Для бурения массивных скоплений грунтового льда с минеральными примесями и бурения ледогрунта требуется разработка специальных снарядов для бурения «всухую», которые позволили бы как повысить скорость проходки, так и качество ледяных кернов. Когда предстоит начинать бурение с поверхности льда водоема, наледи или мерзлого торфяника, то наилучшим вариантом будет его начать специальными бурами для льда, таким как, например, колонковый бур Kovacs (Kovacs Enterprises, Inc., США). Этот бур с успехом может применяться также для бурения грунтовых льдов большой мощности, лишенных минеральных примесей.

В случае если научная задача не требует получения кернов, вся скважина или отдельные диапазоны ее глубин могут с успехом проходиться шнеком. Шнеки с однолопастным долотом позволяют осуществлять проходку мерзлых суглинков, песков и гравия. Поскольку порода перестает выноситься на поверхность шнеками при глубине скважины более 10 м,

следует использовать штанги с навинченными снизу 4-метровыми шнеками и осуществлять «забурки» по 0,4 – 0,7 м, доставая и очищая скапливающийся на шнеках шлам.

Колонковое бурение с промывкой и продувкой

Научное бурение мерзлых пород с промывкой малогабаритными установками может иметь ограниченное применение, например, для организации термометрических скважин в скальных и полускальных грунтах. Особенности данного метода применительно к малогабаритным установкам является невозможность выхода на оптимальный режим бурения из-за недостаточной нагрузки на забой, а для случая алмазных коронок и скорости вращения. Вторая особенность, вытекающая из применения метода в условиях мерзлоты, — замерзание промывочной жидкости. Низкая скорость проходки при научном бурении не является определяющим критерием. Что касается замерзания промывочной жидкости, то есть два пути решения данного вопроса: использование незамерзающих жидкостей (например, рассола) или подогрев жидкости на поверхности. Оба варианта значительно увеличивают вес комплекта бурового оборудования, усложняя транспортную логистику, поэтому рациональным вариантом является отказ от бурения в зимнее время, расположение точки бурения в непосредственной близости от источника воды, отказ от бурения ниже отметки, начиная с которой начинается льдообразование на стенках скважины. В летнее время температура воды в естественных водоемах, которые могут использоваться как источник промывочной жидкости, позволяет ей достаточно долго не замерзать при циркуляции внутри скважины. Из опыта бурения скважин при температурах скального грунта около -3°C показано, что как минимум на глубине в несколько десятков метров льдообразования в циркулирующей жидкости не происходит. Метод бурения с промывкой водой был применен при обустройстве термометрической скважины на антарктической станции Русской, расположенной на сложенном габброидами свободном от льда участке суши Земли Мэри Бэрд (рис. 1 г). Колонковое бурение проводилось малогабаритной буровой установкой «Термит». Для промывки использовалась озерная вода с околонулевой температурой, нагнетаемая в скважину насосом НБ-1. Температура воздуха в течение работ составляла первые градусы ниже 0°C . Бурение алмазными коронками диаметром 76 мм велось трое суток, при остановках на ночь вода вычерпывалась из скважины желонкой. По достижении отметки в 13 м бурение было остановлено, так как в промывочной жидкости начала появляться шуга, а при подъеме колонковой трубы вверх со стенок скважины коронкой срезалась корка льда. Последующие замеры в скважине на этой глубине показали температуру $-10,5^{\circ}\text{C}$.

Бурение с продувкой не имеет ограничений, связанных с обязательным наличием водоемов и температурой в скважине. Норвежский университет UNIS успешно использует для мерзлотных исследований на Шпицбергене и в Гренландии специально сконструированный в единичном экземпляре станок UNIS Permafrost Drill Rig (рис. 5) с гидравлическим приводом и двумя работающими в параллели компрессорами общей производительностью $2,8 \text{ м}^3/\text{мин}$. при давлении 7 бар. Применение компрессоров и необходимость обеспечения их электроэнергией влечет за собой увеличение веса бурового комплекта, который составляет более 1000 кг. Однако за счет продувки станок UNIS Permafrost Drill Rig обладает возможностью бурения практически в любых грунтах, в том числе в грубообломочных с заполнителем изо льда. Такие грунты широко распространены в горных районах Шпицбергена и в Гренландии, где используется станок. Для проходки скальных и грубообломочных грунтов применяются алмазные коронки, а для проходки мерзлых песков и глин — коронки с твердосплавными резцами. Максимальная глубина бурения с отбором кернов диаметром 43 мм составила 20 м, максимальная глубина безкернового бурения сплошным забоем — 105 м. Несмотря на то, что теплоемкость воздуха ниже теплоемкости воды, в летнее время использование продувки также может приводить к растеплению керна и ствола скважины.



Рис. 5. Бурение установкой UNIS Permafrost Drill Rig на Шпицбергене. Справа виден керновый стол, оснащенный гидравлическим устройством для выдавливания керна из колонковой трубы

Заключение

Для изучения разрезов, сложенных разностями мерзлых песков и суглинков с незначительным количеством скальных обломков, рекомендуется применять бурение «всухую». Установки для данного типа бурения могут быть наиболее легкими и простыми. Только они могут классифицироваться как переносные, т. е. могут перемещаться отрядом из 2-3 человек на 1-2 км в течение дня. Применять эти легкие буровые следует только в том случае, если есть априорная информация, что в заданном районе на глубину бурения не встретятся массивы скальных грунтов. В целях снижения количества шлама используются тонкостенные колонковые трубы с напаянными твердосплавными резцами. Рекомендуется применять алюминиевые штанги, колонну из которых можно поднимать вручную с глубины 25 м. Скорость бурения может снижаться при проходке льда и мерзлых торфов. Эти грунты с точки зрения скорости бурения и качества кернов рациональнее проходить специальными ледовыми пробоотборниками.

Проходку скальных грунтов в летнее время можно проводить методом колонкового бурения с промывкой в случае наличия рядом со скважиной источника воды. Данный метод может успешно применяться при бурении высокотемпературной мерзлоты, а в низкотемпературных разрезах имеет ограничения, связанные с образованием льда на стенках скважины при бурении глубже 10 м. По сравнению с бурением «всухую» вес комплекта возрастает из-за наличия насоса. Использование продувки позволяет вести бурение даже в таких сложных разрезах, как грубообломочные грунты с заполнителем из льда. Вес компрессора сопоставим с весом станка, что существенно утяжеляет комплект бурового оборудования. Однако в отличие от бурения «всухую» и бурения с промывкой данный метод позволяет планировать бурение в более широком спектре горно-геологических условий.

Колонковое бурение малогабаритными установками вне зависимости от того, проводится оно «всухую», с продувкой или промывкой рационально осуществлять до глубин не более 25-30 м. Задачи бурения на большие глубины должны решаться с применением тяжелых установок, оснащенных мачтами для работы с бурильными штангами длиной 2 м и более, что изменяет подход к экспедиционной логистике.

Данный обзор не претендует на исчерпывающее рассмотрение вопроса. Вполне возможно, что уже существуют или в ближайшее время будут разработаны новые подходы и технические средства бурения мерзлых пород. Требуется продолжение систематизации и обмена опытом бурения мерзлоты.

Список источников

1. ГОСТ 25358–2020. Грунты. Метод полевого определения температуры.
2. ГОСТ Р 58325–2018. Грунты. Полевое описание.
3. ГОСТ 12071–2014. Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов.
4. Рекомендации по бурению скважин в мерзлых грунтах при инженерно-геологических изысканиях для строительства / Произв. и науч.-исслед. ин-т по инж. изысканиям в стр-ве Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1974. – 80 с.
5. Демидов Н.Э., Веркулич С.Р., Анисимов М.А., Угрюмов Ю.В. Концепция и первые результаты проекта создания государственной системы мониторинга многолетней мерзлоты РФ на базе наблюдательной сети Росгидромета // Современные тенденции и перспективы развития гидрометеорологии в России. Материалы V Всероссийской научно-практической конференции. – Иркутск, 2023. – С. 384-387.
6. Kraev G., Shein A., Kamnev Y., Filimonov M., Vaganova N. Developing a regional permafrost monitoring system in Yamalo-Nenets Autonomous Okrug, Russia // Abstarcts: 2021 Regional Conference on Permafrost and 19th International Conference on Cold Regions Engineering, 2022 - P. 51-52.
7. Drilling in Extreme Environments: Penetration and Sampling on Earth and other Planets // Eds Bar-Cohen Y., Zacny K. Darmstadt. - John Wiley&Sons, 2009. – 767 p.
8. Абрамов А.А. и Демидов Н.Э. В поисках самой древней мерзлоты на Земле в Сухих долинах Антарктиды // Российские полярные исследования. – 2015. – № 1 (19). – С. 36-40.
9. Демидов Н.Э., Веркулич С.Р., Занина О.Г., Караевская Е.С., Пушина З.В., Ривкина Е.М., Шмелев Д.Г. Конечная морена и озерно-лагунные отложения в разрезе четвертичных отложений оазиса Холмы Ларсеманн, Восточная Антарктида // Проблемы Арктики и Антарктики. – 2013. – Т. 97. – № 3. – С. 79-90.
10. Демидов Н.Э., Баранская А.В., Дурденко Е.В., Занина О.Г., Караевская Е.С., Пушина З.В., Ривкина Е.М., Спирина Е.В., Спенсер Р. Биогеохимия мерзлых толщ арктического побережья полуострова Гыдан // Проблемы Арктики и Антарктики. 2016. – № 3 (109). – С. 34-49.
11. Демидов Н.Э., Борисик А.Л., Веркулич С.Р., Веттерих С., Гунар А.Ю., Демидов В.Э., Желтенкова Н.В., Кошурников А.В., Михайлова В.М., Никулина А.Л., Новиков А.Л., Саватюгин Л.М., Сироткин А.Н., Терехов А.В., Угрюмов Ю.В., Ширрмейстер Л. Мерзлотно-гидрогеологические условия западной части Земли Норденшельда (арх. Шпицберген) // Геофизические процессы и биосфера. – 2020. – Т. 19. – № 4. - С. 68–93. <https://doi.org/10.21455/GPB2020.4-6>.

12. Обидин Н.И. Инструкция по изучению мерзлоты и подземных вод в Арктике / М.: Изд.-во Главсевморпути, 1947. – 110 с.
13. Демидов Н.Э., Гунар А.Ю., Балихин Е.И., Гагарин В.Е., Гузева А.В., Дежникова А.А., Казанцев В.С., Кошурников А.В., Нарижная А.И. Строение, газосодержание и термическое состояние многолетних бугров пучения (булгунняхов) в долине р. Вась-Юган (окрестности г. Салехарда, Западная Сибирь) // Геофизические процессы и биосфера. – 2022. – Т. 21. – № 3. – С. 27-38. - <https://doi.org/10.21455/GPB2022.3-4>.
14. Demidov N., Wetterich S., Verkulich S., Anisimov M., Demidov V., Meyer H., Schirrmeister L., Hodson A.J.. Geochemical signatures of pingo ice and its origin in Grondalen, West Spitsbergen // Cryosphere. – 2019. – 13. - P. 3155-3169. -<https://doi.org/10.5194/tc-13-3155-2019>.
15. Demidov V., Demidov N., Verkulich S., Ekaykin A., Terekchov A., Veres A., Kozachek A., Wetterich S., Schirrmeister L., Koshurnikov A., Gagarin V. Pingo drilling reveals sodium-chloride-dominated massive ice in Grondalen, Spitsbergen // Permafrost and Periglacial Processes. - 2021. – P. 1–15. - <https://doi.org/10.1002/ppp.2124>.

Сведения об авторе

Демидов Никита Эдуардович в 2011 г. получил степень кандидата геолого-минералогических наук. С 2023 г. является ведущим научным сотрудником ГАУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики» (г. Салехард, Россия). Неоднократно организовывал и принимал участие в экспедициях в качестве бурового мастера. Область научных интересов: высокоширотные районы Арктики и Антарктики.

Статья поступила в редакцию 09.11.2023 г., принята к публикации 07.12.2023 г.

The article was submitted on November 9, 2023, accepted for publication on December 7, 2023.