Анализ возможных осложнений при сооружении и эксплуатации скважин в многолетнемерзлых породах

А. С. НОВИКОВ *– к.т.н., технический директор ООО «МИП Георазведка плюс»*
Д. Ю. СЕРИКОВ *– д.т.н., доцент РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина*

В статье проведен анализ возможных осложнений при сооружении и эксплуатации скважин в многолетнемерзлых породах. Даны рекомендации, позволяющие снизить риски возникновения внештатных ситуаций при проведении буровых и эксплуатационных работ в районах залегания многолетнемерзлых пород.

Ключевые слова: многолетнемерзлые породы, проходка скважины, глубина залегания пород, эксплуатационная колонна.

Общепланетарное похолодание климата Земли, произошедшее в позднем кайнозое, привело к формированию криолитозоны, существующей и развивающейся до настоящего времени. Криолитозона – это часть земной коры, в которой породы имеют отрицательную температуру независимо от наличия и фазового состава в ней воды. Сплошность формирования криолитозоны по площади определяется: условиями формирования температурного режима пород, а в слое, годовыми теплооборотами температур, мощностью и строением их по разрезу, распространением сплошных таликов [1]. Распространение криолитозоны по разрезу определяется геологическим строением и тектонической структурой, условиями многолетнего промерзания и их взаимодействия с пластовыми водами. В результате сформировались как непрерывно мерзлые на всю мощность, так и двухслойные мерзлые толщи, разобщенные слоем талых пород. В составе многолетнемерзлых пород (ММП) может находиться незамерзающая вода (талики) с различной степенью минерализации. Количество этой воды зависит от температуры, вещественного состава и солености. Например, считается, что тонкодисперсные мерзлые глины могут содержать незамерзшую воду даже при температуре -50°С.

Многолетнемерзлые горные породы имеют широкое распространение на земном шаре, встречаясь на всех континентах за исключением Австралии.

В северном полушарии мерзлотой покрыты северные части Евразии и Северной Америки. В Европе ММП встречаются в отдельных горных районах Кавказа, Альп, на Кольском полуострове, Полярном Урале. Наибольшую территорию ММП занимают в Азии, простираясь от северных побережий России до горных районов Монголии и Китая. Площадь распространения ММП в настоящее время составляет около 25% всей суши земного шара, включая 75% территории Аляски, 63% территории Канады и 47% территории России. В Западной Сибири различают три геокриологические зоны: южная, центральная и северная. Литология и стратиграфия интервала залегания мерзлых пород достаточно изучены лишь в центральной и южной геокриолитозонах. Здесь мерзлый массив представлен в основном чередованием песчаных и глинистых пластов различной мощности [2].

Мерзлая зона, или криолитозона – часть осадочного чехла, в которой вода полностью или частично находится в твердом состоянии; температура и содержание льда не зависит от атмосферных колебаний.

Кровля мерзлой толщи имеет минимальную глубину, когда совпадает с нижней границей сезонного протаивания.

Подошва мерзлой толщи определяется глубиной нулевой изотермы, являющейся постоянной в данный исторический период и достигающей нескольких сот метров в зависимости от района работ, а также от положения на структуре.

Нейтральный слой – глубина залегания пород, температура которых не подвержена сезонным колебаниям.

Часть разреза горных пород от нейтрального слоя до дневной поверхности – слой годовых теплооборотов или слой сезонных колебаний.

Мерзлая толща представлена в основном песчаными и глинистыми породами, характерными образованиями в которой являются:

- породы с водой насыщения в твердом состоянии;
- талики – водонасыщенные проницаемые пласты с положительной температурой;
- пласты чистого льда;
- криопеги – насыщенные водой пласты или линзы с высокой минерализацией, снижающей температуру замерзания.

Криопеги в виде линз так же могут быть включены в пласты чистого льда. Давление воды в криопегах может быть выше гидростатического, поэтому при их вскрытии возможны водопроявления и фонтанирование [3].

Морозные породы – породы с отрицательной температурой, не содержащие льда. В морозном состоянии находятся, как правило, консолидированные глинистые породы. В морозных глинах большая часть воды не замерзает вследствие адсорбированного состояния и повышенной минерализации.

Газогидратная залежь – пласты, в которых пустоты кристаллической решетки льда заполнены молекулами углеводородных газов. Гидраты в ММП формируются при промерзании воды, содержащей растворенные соли и газ, насыщенный водяными парами.

Газовые пропластки с замерзшей поровой водой; при снижении давления или тепловом воздействии в процессе углубления скважины опасны с точки зрения возникновения интенсивных газопроявлений и выбросов.

Эпикриогенные породы – породы, замерзшие после своего формирования. В эпикриогенных породах высокольдистые и полностью льдистые слои возможны только в верхней части, где они перекрываются синкриогенными породами. Льдистость с глубиной уменьшается. Как правило, эпикриогенные породы занимают большую часть мощности ММП.

Синкриогенные породы – породы, сформировавшиеся при среднегодовой отрицательной температуре. Для них характерны высокая льдистость, наличие повторно-жильных и пластовых льдов, изменчивость криогенного строения как в плане, так и в разрезе. Льдистые синкриогенные и эпикриогенные породы, которые уменьшаются в объеме при протаивании льда, называются избыточно-льдистыми. Содержание льда в них превышает объем пор в талом состоянии породы [4].

Изменения мерзлой толщи в необсаженной приствольной части скважины при бурении характеризуются следующими особенностями:

- Консолидированные глины эпикриогенной толщи при бурении как правило размываются незначительно, при этом ствол скважины сохраняется близким к номинальному.
- Пески эпикриогенной части разреза, сцементированные льдом, и избыточно-льдистые породы в синкриогенной части мерзлой толщи при бурении с промывочной жидкостью, имеющей положительную температуру, размываются, образуя каверны [5]. При этом таяние порового льда происходит с образованием переходной зоны, в которой сосуществуют лед и вода. Эрозия (размыв) переходной зоны уменьшает ее толщину, увеличивая интенсивность растепления и кавернообразования. Каверны в стволе скважины могут быть сплошными или отделяться от дневной поверхности кровлей в виде суженной горловины; горловина может занимать скрытое по глубине положение. Слой дневной поверхности или горловина под дополнительным действием атмосферного и возмущающего тепла может терять устойчивость, сползать в нижние интервалы каверны, образуя воронку вплоть до разрушения основания, наклона или падения вышки.

Характерными изменениями в мерзлой толще при работе скважины являются следующие.

В консолидированных глинах в зоне нулевой изотермы происходит только повышение температуры. На контакте с консолидированным глинистым слоем происходит ускоренное протаивание льдистых пластов. Протаивание мерзлой толщи, в частности линз льда, происходит как в радиальном направлении, так и с подошвы за счет перетока в вертикальном направлении выделяемого скважиной тепла на участке, находящемся в морозных глинах и талых породах. Темп протаивания льда с подошвы усиливается по мере увеличения срока работы скважины и при кустовом расположении скважин.

В породах с избыточной льдистостью при протаивании образуется полость, которая может достигать дневной поверхности. Внизу полость заполняется осадком, сверху – водой.

Высота осадка зависит от льдистости пород. Кровля полости и дневная поверхность вокруг нее могут обваливаться, часто с образованием (расширением) воронки, если не проводить необходимых мероприятий [6].

В период временной остановки или консервации скважины идет обратное промерзание, но уже модифицированных против естественного состояния ММП, а также возврат нулевой изотермы. В заколонном пространстве против глинистых пластов, а также в межколонных пространствах и эксплуатационной колонне, если они заполнены водой, образуются ледяные пробки. Замерзание водосодержащей среды в замкнутом пространстве приводит к росту давления на его ограничивающие поверхности. Максимальное давление в заколонном пространстве может достигать давления гидроразрыва пород, в межколонном и колонном – соответствующее минимальной температуре мерзлых пород. При этом давление передается также по дефектам (каналам) в цементном кольце, вследствие чего место смятия колонн не всегда соответствует интервалу с наименьшей отрицательной температурой пород [2].

В условиях наличия газовмещающего пласта (газогидратной залежи) характерной закономерностью распределения градиентов пластовых давлений является следующая: давление в криопеге не может превышать давление поглощения (разрыва) вмещающих пород; давление в интервале газогидратной залежи падает от подошвы криопега к подошве газовмещающего пласта.

Таким образом, сооружение и эксплуатация нефтяных и газовых скважин в районах ММП обладает своей спецификой и связана с определенными сложностями. Однако, соблюдение описанных выше рекомендаций позволяет существенно снизить риски возникновения внештатных ситуаций при проведении буровых и эксплуатационных работ в районах залегания многолетнемерзлых пород, и как следствие повысить безопасность персонала, а также снизить сроки и стоимость строительства и эксплуатации скважин.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Мищевич В. И., Сидоров Н. А. Справочник инженера по бурению. В 2-х томах. Изд.: Недра. 1973.
2. Новиков А. С., Сериков Д. Ю., Гаффанов Р. Ф. Бурение нефтяных и газовых скважин. – М.: Нефть и газ, 2017. – 307 с.
3. Сериков Д. Ю. Шарошечные долота для реактивно-турбинного бурения. – М.: Нефть и газ, 2016. – 240 с.
4. Егоров Н. Г. Бурение скважин в сложных геологических условиях. – Тула: ИПП «Гриф и К», 2006. – 301 с.
5. Сериков Д. Ю. Повышение эффективности шарошечного бурового инструмента с косозубым вооружением: Автореф. дис.…докт. техн. наук. – Ухта, 2018.
6. Сериков Д. Ю., Гинзбург Э. С. Повышение эффективности разрушения средних и твердых пород за счет использования косозубого вооружения шарошек // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса: науч.-техн. журн. – М.: ОАО «ВНИИОЭНГ», 2015. – №4. – С. 18–22.