

МЕРЗЛОТНО-ГЕОТЕРМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ НЕФТЕГАЗОВЫХ РЕСУРСОВ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

д-р геол.-минерал. наук Я.В.НЕИЗВЕСТНОВ,

д-р геол.-минерал. наук О.И.СУПРУНЕНКО,

канд. геол.-минерал. наук О.В.БОРОВИК, вед. инженер Н.Л.КОЛЧИНА,

ст. науч. сотр. Н.А.КУРИННЫЙ, вед. инженер Т.Н.ФРАНЦЕВА

ВНИИОкеангеология, Санкт-Петербург, e-mail: neizv@vniio.nw.ru

Рассмотрены мерзлотно-геотермические условия нефтегазоносных провинций и бассейнов территории и акватории Российской Арктики на фоне деградации многолетнемерзлых пород (ММП) криолитозоны Евразии с конца позднего неоплейстоцена. Показано, что толща ММП нефтегазоносных структур имеет двухъярусное строение. В верхнем ярусе мерзлые породы содержат «нормальный» лед-цемент, в нижнем — предположительно цемент газогидратоносный. Для доказательства сделанного предположения приведены некоторые данные по месторождению газовых гидратов в дельте р. Маккензи и в шельфовой зоне моря Бофорта, находящихся в аналогичной природной обстановке.

Ключевые слова: многолетнемерзлые породы, газовые гидраты, отрицательно-температурные воды (криопэги), нефтегазовые структуры.

Полярные и приполярные территории и акватории России обладают огромными ресурсами углеводородов. Существенная часть нефтегазоносных бассейнов Арктики и Субарктики располагается на площадях с охлажденной ниже 0 °С литосферой (криолитозонной) мощностью до 100–200 м в областях с несплошным развитием многолетнемерзлой толщи пород и до 600–700 м — в областях сплошного развития многолетнемерзлых толщ.

Характеристика мерзлотно-геотермических условий региона приведена по материалам монографии «Геокриология СССР» [5, 6, 7, 8] и отражена на Геокриологической карте СССР, масштаба 1:2500000 [9].

Средние температуры кровли многолетнемерзлых пород (ММП) в областях несплошного развития мерзлых толщ горных пород на суше и на дне шельфовых морей составляют, как правило, от 0 до –2 °С. В областях сплошного развития многолетнемерзлых толщ нефтегазоносных бассейнов на суше эти температуры понижаются до –3 ... –13 °С. В горно-складчатых областях, окаймляющих нефтегазоносные бассейны, и на склонах Анабарской антеклизы Сибирской платформы мощность криолитосферы увеличивается до 1000–1500 м. Глубокому охлаждению способствует проникновение отрицательно-температурных рассолов в недра, по трещинам в земной коре. Так, у северной оконечности Пай-Хоя, где средние температуры поверхности мерзлой зоны составляют –7 ... –9 °С, мощность криолитосферы достигает 500–1000 м при мощности толщи ММП от 100 м на побережье до 400 м на удалении 10–15 км. Криопэги здесь образуются при вымораживании рыхлых прибрежно-морских отложений, насыщенных морскими водами. Основная часть криолитосферы сложена охлажденными горными породами, насыщенными отрицательно-температурными водами морского типа (криопэгами) с минерализацией до 150 г/л.

Такое же строение криолитозоны свойственно Анабарской антеклизе и трапповым плато Сибирской платформы, где общая мощность криолитозоны достигает 1500 м при мощности ММП 200–500 м и средней температуре кровли

мерзлых пород $-4 \dots -9 \text{ }^\circ\text{C}$. Нижний ярус криогенной толщи сложен терригенными и карбонатными породами, насыщенными отрицательнотемпературными рассолами с минерализацией от 50–150 до 400 г/л, хлоридного натриевого и кальциевого состава, образованными за счет охлаждения подземных вод палеозойских платформенных отложений.

Мерзлотно-геотермические проблемы освоения нефтегазовых ресурсов севера древней Сибирской платформе связаны с глубоким охлаждением ее недр, что усугубляется низкими значениями глубинного теплового потока $13\text{--}27 \text{ Вт/м}^2$ [2].

Сложные проблемы возникнут и при освоении углеводородных ресурсов нефтегазоносных бассейнов молодых плит севера Евразии и акватории шельфа Северного Ледовитого океана, что определяется особенностями строения и состава развитой здесь криогенной толщи. Анализ деградации многолетнемерзлых пород криолитозоны территорий и акваторий севера России позволяет достаточно обоснованно предполагать двухъярусное строение их толщи (рис. 1). Верхний ярус сложен «нормальными» льдистыми отложениями с точками фазовых переходов в незасоленных грунтах близкими к $0 \text{ }^\circ\text{C}$. Нижний ярус криогенной толщи с большой долей вероятности образован гидратоносными отложениями. Основанием для этого предположения служат термодинамические условия залегания пород нижнего яруса криогенной толщи суши, известной в литературе под термином «реликтовая мерзлота» [6]. На отдельных участках «реликтовая мерзлота» залегают южнее контура несплошных многолетнемерзлых пород верхнего яруса, располагаясь целиком в зоне распространения талых посткриогенных пород. Как известно [12], устойчивым состоянием в области положительных температур до $5\text{--}10 \text{ }^\circ\text{C}$ обладают, в отличие от «нормального» льда, газовые гидраты, находящиеся под давлением $3\text{--}4 \text{ МПа}$, которое существует в осадочных толщах на глубинах в первые сотни метров.

К выводу о возможном присутствии в «реликтовой мерзлоте» газогидратов и даже наличии в этой зоне газогидратных залежей на примере европейского северо-востока пришли полярно-уральские геологи: Н.Б.Какунов, И.Б.Гранович и Е.М.Зимаков [11].

Если рассматривать мерзлую зону литосферы Евразии, включая арктическую шельфовую зону в историческом плане, бросается в глаза ее ярко выраженный деградационный характер. При этом отчетливо отражается двухъярусное строение криогенной толщи (рис. 1 и 2).

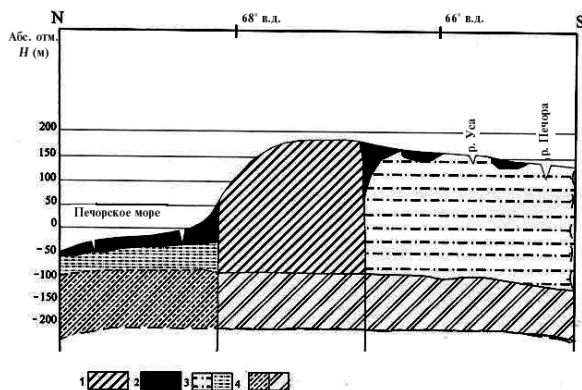


Рис. 1. Схема залегания толщ ММП Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции:

1 – сплошное распространение многолетнемерзлых пород; 2 – несплошное распространение многолетнемерзлых пород (верхнего яруса); 3 – талые посткриогенные породы с температурами, близкими к нулю: *a* – на суше, *b* – на шельфе (предполагаемые); 4 – реликтовые многолетнемерзлые породы (нижнего яруса): *a* – на шельфе (предполагаемые), *b* – на суше

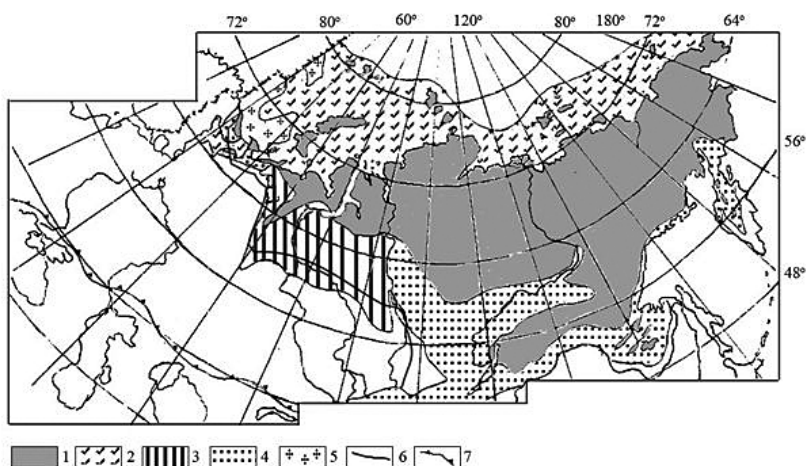


Рис. 2. Геокриологическая схема Российской Евразии:

1 – сплошное и преимущественно сплошное распространение мерзлых пород на суше; 2 – предполагаемая площадь развития реликтовых квазимерзлых пород шельфа на фоне несплошных многолетнемерзлых пород верхнего яруса мерзлой зоны; 3 – распространение реликтовых квазимерзлых пород на суше под несплошной многолетнемерзлой зоной верхнего яруса; 4 – несплошное распространение многолетнемерзлых пород на суше; 5 – зона положительной температуры донных отложений на шельфе; 6 – граница современного распространения многолетней криоли토ны; 7 – границы распространения мерзлых пород в позднем плейстоцене

Во время максимального позднплейстоценового промерзания, 20–18 тыс. лет назад, северная граница сплошной толщи ММП проходила по бровке осушенного шельфа Северного Ледовитого океана, достигая 81–82° с.ш. Южнее названных широт многолетнемерзлые толщи горных пород отсутствовали лишь под дном некоторых глубоких желобов и впадин, заполненных в ту пору морскими водами. Это впадины Центральной котловины Баренцева моря, желоба (троги) Баренца, Франц-Виктории, Св. Анны, Воронина и др. [17]. Южная граница толщи ММП 20–13 тыс. лет назад располагалась на параллели 45–46° с.ш. Ширина полосы сплошных ММП на территории и акватории России превышала 3–3,5 тыс. км. В настоящее время ширина полосы сплошного развития ММП в Печорской низменности сократилась до 30–130 км, в Западной Сибири – до 800–900 км.

Деградация «мерзлоты» близ южной границы ее распространения в пределах нефтегазоносных провинций Печорской синеклизы и Западной Сибири сопровождается повышением средних температур мерзлых пород от $-3 \dots -11$ °C до $0 \dots -2$ °C, расслоением толщи на два яруса, расчленением таликами многолетнемерзлых толщ отложений верхнего яруса, что отражается в смене подзоны сплошных и преимущественно сплошных толщ ММП подзонами прерывистого, массивно-островного и редкоостровного распространения ММП вплоть до смены многолетнемерзлой зоны на зону сезонного промерзания литосферы. Ширина последовательно сменяющих друг друга подзон – прерывистой, массивно-островной и редкоостровной – на суше Тимано-Печорской и Западно-Сибирской нефтегазоносных провинций исчисляется десятками, редко – первыми сотнями километров.

В подзонах с несплошной многолетнемерзлой зоной на нефтегазоносных площадях уже отчетливо проявляется обособление верхнего и нижнего ярусов мерзлых пород. Несплошные толщи верхнего яруса обладают мощностями менее 100–10 м, температурами от 0 до $-0,5$ °C.

Мощность немерзлых пород, разделяющих верхний и нижний ярусы мерзлой толщи, изменяется от 15–20 м на севере до 100–200 м у южной границы

распространения ММП верхнего яруса. За этой границей глубокозалегающие толщи реликтовых квазимерзлых пород перекрыты тальми породами мощностью до 300 м.

Максимальная глубина залегания подошвы «реликтовой мерзлоты» нижнего яруса (443 м) вскрыта в пределах Обь-Енисейского междуречья, недалеко от южной границы распространения ММП верхнего яруса.

Для участков двухъярусного строения ММП температура в верхнем ярусе изменяется от отрицательной, не ниже -2°C на глубинах нулевых амплитуд, до нулевой. В межмерзлотных немерзлых породах положительная температура близка к нулю и распределяется практически безградиентно. На участках суши, где сохранились только квазимерзлые породы нижнего яруса, в талых породах до кровли реликтовой мерзлой толщи положительная температура $2-3^{\circ}\text{C}$ понижается до 0. В реликтовых мерзлых породах температура не опускается ниже $-0,15 \dots -0,40^{\circ}\text{C}$. Характер деградации криогенной толщи на северной и южной границах подзоны сплошного распространения ММП отражен на рис. 1, 2, 3.

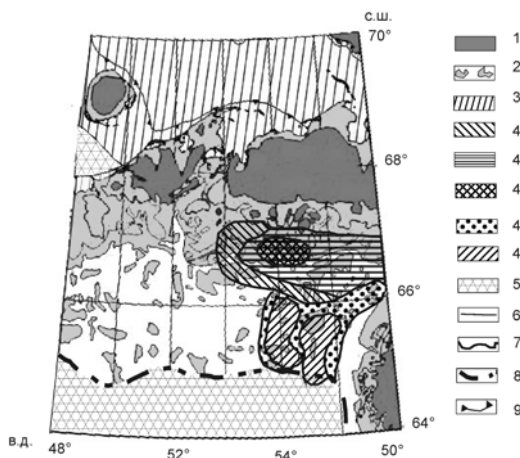


Рис. 3. Схема распространения реликтовых ММП в Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции (по геокриологической карте СССР, М 1:2500000, 1996 г., с добавлениями):

1 – преимущественно сплошное распространение многолетнемерзлых пород (ММП) верхнего этажа на суше; 2 – несплошное распространение ММП на суше; 3 – предполагаемая площадь развития реликтовых квазимерзлых пород шельфа на фоне несплошных многолетнемерзлых пород верхнего этажа мерзлотной зоны; 4 – развитие реликтовых (квазимерзлых) пород нижнего этажа на суше: глубина залегания кровли реликтовых ММП от поверхности (глубина) – до 100 м, мощность – 100–200 м (а), глубина – до 100 м, мощность – более 200 м (б), глубина – до 100 м, мощность – более 300 м (в), глубина – более 200 м, мощность – до 200 м (г), глубина – более 200 м, мощность – 100–200 м (д); 5 – преимущественно сплошное и сплошное распространение посткриогенных (талых) пород с положительными температурами; 6 – границы геокриологических районов; 7 – границы распространения реликтовых ММП на суше; 8 – южная граница распространения островов и массивов мерзлых пород верхнего этажа; 9 – границы области отрицательных среднегодовых температур придонного слоя и донных осадков на шельфе

Мерзлые реликтовые породы нижнего яруса многолетнемерзлой толщи даже за южной границей мерзлоты верхнего яруса Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции на суше имеют сплошное распространение, но, возможно, прерываются неширокими таликами под руслами рек Печора и Уса (рис. 3).

Сплошным распространением характеризуются также реликтовые «квазимерзлые» толщи субаэральной части Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции. Южная граница ее распространения проходит по параллели $62-59^{\circ}$ с.ш. Здесь толщина включает прослой и линзы немерзлых водонасыщенных пород. При этом установлено, что нижняя часть этой реликтовой «мерзлой» толщи более монолитна и практически не разобшена таликами.

Деграция сплошной толщи ММП, сформировавшейся в конце позднего неоплейстоцена на севере, в пределах шельфовой зоны Северного Ледовитого океана, осуществлялась под влиянием последней трансгрессии, начавшейся 15–13 тыс. лет назад, в процессе которой современный уровень моря был достигнут 5 тыс. лет назад [4]. Средняя температура придонных вод при этом колебалась во времени и в пространстве в основном от -2 до $+2$ °С, достигая больших положительных значений в юго-западной части Баренцево-морского шельфа, в областях, подверженных влиянию Гольфстрима, и на некоторых прогреваемых мелководьях. Средние температуры придонных морских вод определяют средние температуры пород на подошве слоя сезонных колебаний (рис. 4).

Учитывая, что существенную часть площади арктического шельфа Российской Евразии занимают подводные продолжения Тимано-Печорской и Западно-Сибирской нефтегазоносных провинций, которые в совокупности с перспективными нефтегазоносными провинциями и областями шельфа составляют Арктический нефтегазоносный супербассейн [1], предполагаем, что деградиционный характер толщи ММП на шельфе и на суше аналогичны. То есть строение протаивающей сплошной толщи многолетнемерзлых пород нефтегазоносных провинций и областей симметрично относительно северной прибрежной подзоны сплошного развития ММП, где средние температуры пород кровли мерзлой толщи верхнего яруса достигают -13 °С, а общая мощность ММП составляет 600–700 м. Многолетнемерзлые породы подзоны сплошного распространения в пределах нефтегазоносных провинций в южном направлении сменяются в подзонах несплошного распространения ММП верхнего яруса толщей, расчлененной на два яруса «межмерзлотным» таликом. Нижний ярус сложен реликтовыми мерзлыми толщами, подошва которых близ южных границ располагается на глубине, превышающей 400 м. Средняя температура пород в подзонах несплошного распространения ММП ниже слоя годовых колебаний, как правило, составляет от -2 до 0 °С. Температура пород межмерзлотного «талика» низкая положительная, а температура пород реликтовой многолетнемерзлой толщи близка к нулю, не ниже $-0,15 \dots -0,40$ °С.

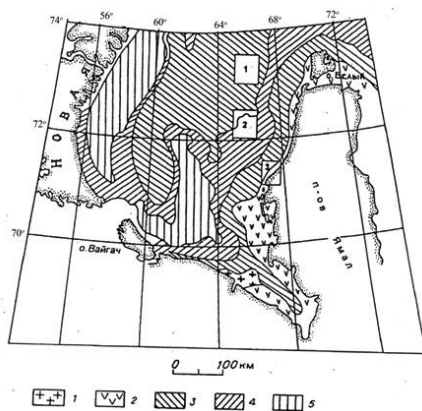


Рис. 4. Температура дна юго-западной части Карского моря (по В.П.Мельникову и В.И.Спесивцеву, 1995 г.).

1–5 – районы с различными температурами (°С): 1 – $+1 \dots -2$; 2 – $-0,7 \dots -1,0$; 3 – $-1,0 \dots -1,5$; 4 – $-1,5 \dots -1,7$; 5 – $-1,7 \dots -2,0$. Цифры в квадратах – нефтегазоносные площади: 1 – Русановская; 2 – Ленинградская; 3 – Харасавэйская

Температура пород, слагающих дно пролива Дмитрия Лаптева,
по данным замеров в скважинах в апреле–июне 1974 г. [3]

| Характеристика точки замера | Температура воздуха, (°С) | Абс. отм. устья скважины (дна моря), (м) | Глубина от дна моря, (м) | Температура пород, (°С) | Примеч. (время выстойки) |
|---|---------------------------|--|--------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| Скважина на припайном льду, лежащем на дне у берега континента. Породы мерзлые на глубину свыше 140 м | –12 | –1 | 14 69–80 | –12,4 –8,5 | трое суток в процессе бурения |
| Скважина в 25 км к югу от о. Б.Ляховский. Породы немерзлые, насыщенные отрицательно температурными водами | –12 | –13,3 | 0,7 13–28 | –1,1 –0,3 | 6 часов в процессе откачки |
| Скважина в 15 км к югу от о.Б.Ляховский. Породы мерзлые на глубину свыше 10 м | –10 | –14 | 1 52–55 | –1,3 –1,4 | трое суток в процессе откачки |
| Скважина в 12,9 км к югу от о. Б.Ляховский. Породы немерзлые | –1 | –13 | 1 7 | –0,1 1,5 | в процессе бурения |
| Скважина в 12,9 км к о. Б.Ляховский. Породы немерзлые | –2 | –14 | 0,05 43,2–48,3 | 0,0 –0,1 | в процессе откачки |

С учетом возможной засоленности среды и давлений, существующих на глубинах в сотни метров, считаем, что, как правило, температуры пород нижнего яруса реликтовой мерзлой толщи находятся выше точки фазовых переходов вода–лед, что можно объяснить только газогидратным составом цемента. В свете вышеизложенного горные породы так называемой реликтовой мерзлой толщи нами рассматриваются как квазимерзлые.

Существуют факты, подтверждающие почти зеркальное отражение геокриологических условий южной зоны интенсивной деградации позднеплейстоценовой многолетнемерзлой толщи нефтегазоносных провинций суши в мерзлой толще чехла Арктического нефтегазоносного супербассейна на шельфе. Зона интенсивной деградации сплошных и прерывистых ММП Печорской суши начинается сразу почти у берегового уреза, продолжаясь до бровки шельфа. Переходная зона, где под водой сохранились небольшой мощности прерывистые тощи ММП, протягивается неширокой полосой вдоль абразионных берегов.

Температура пород ниже слоя с годовыми теплооборотах арктической шельфовой зоны за внешней границей берегового припая находятся в пределах –2 °С, так же как и на суше в зоне развития несплошных мерзлых толщ. Несплошное развитие верхнего яруса многолетнемерзлой толщи Тимано-Печорской и Западно-Сибирской НГП подтверждается серией скважин Арктической морской инженерно-геологической экспедиции (АМИГЭ), часть из которых не вскрыла ММП, а часть вскрыла на поддонных глубинах 6–46,5 м при мощности мерзлых пород 1,1–25 м. Скважиной 383 поддонной глубиной 109,5 м, под слоем морской воды 15,5 м, пройдены мерзлые грунты в интервале 63–109,5 м [13]. По всей

видимости, этой скважиной вскрыты верхние слои реликтовых «квазимерзлых» пород нижнего яруса в подзоне островного распространения ММП верхнего яруса.

На прибрежном шельфе Карского моря сплошные многолетнемерзлые породы верхнего яруса Западно-Сибирской провинции быстро выклиниваются. Лишь у быстро отступающих абразионных берегов подводное продолжение в виде кромки сплошных мерзлых толщ прослеживается на 500–600 м. Сплошная толща ММП верхнего яруса на шельфе сменяется массивно-островной и реликтовой. Бурением обнаружены единичные острова мерзлых пород на изобатах 8–12 м, где кровля ММП залегает в 5–15 м от донной поверхности, подошва – на глубине не свыше 40 м.

Острова мерзлых пород верхнего яруса криогенной толщи вскрыты бурением на расстоянии 150 км от побережья Ямала (глубина моря 109–114 м), в поддонных интервалах 13,5–48 и 8,4–18,5 м.

Кровля нижнего яруса криогенной толщи скважинами глубиной до 50–60 м вскрыта не была. Однако результаты морских электрометрических исследований, выполненных под руководством М.А.Холмянского (метод зондирований, становление электромагнитного поля в ближней зоне), позволяют предположить, что под криолитозной восточной части Баренцевоморского шельфа с островами ММП и в северной субмаринной части Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции на глубинах десятки метров и более может залегать кровля реликтовых ММП [18].

На шельфе морей Восточной Сибири в пределах областей Арктического нефтегазоносного супербассейна сплошная толща ММП суши, верхнего яруса также довольно резко сменяется зонами несплошного залегания ММП на шельфе. Вдоль интенсивно отступающих берегов кайма субаквальных сплошных ММП верхнего яруса располагается между изобатами 0–10 м, достигает ширины 20–30 км при мощности у берегового уреза более 130 м, а на расстоянии 20 км от берега – 30 м. Кровля ММП в проливах располагается на поддонной глубине 1,2–7,5 м [15]. Вдоль берегов ширина каймы реликтовых ММП составляет первые сотни метров, как это установлено в Ванькиной губе [10]. В проливе Дмитрия Лаптева на изобатах 13–14 м скважинами разбурены острова мерзлых пород мощностью 2,7–41,2 м. Талые песчано-глинистые отложения, подстилающие ММП прибрежной части шельфа, насыщены пресными и слабосолеными водами с температурами, близкими к 0 °С (см. табл. 1) в интервалах глубин от 30–50 до 100 и более м, там, где глубина моря превышает 10 м. Химический состав подземных вод таликовой зоны пролива Дмитрия Лаптева приведен в статье [14].

В результате российско-германских исследований методом сейсмоакустического профилирования и проведением донного пробоотбора установлено, что в его внутренней части до изобат 30–40 м на поддонных глубинах 100 м и более предположительно прослеживается кровля мерзлоты [16].

Субаквальная мерзлота обнаруживается, по тем же данным, и на песчаных банках при глубинах моря до 20 м, на поддонных глубинах 2–3 м. По мнению Н.Н.Романовского и др [16], эти факты указывают на неровность кровли реликтовой мерзлоты.

По нашим представлениям, здесь геокриологическая обстановка аналогична обстановке в области интенсивной деградации ММП у ее южной границы, в пределах Тимано-Печорской и Западно-Сибирской НГП, где условия аградации и деградации мерзлоты примерно одинаковы с шельфовой зоной арктических морей.

На поддонных глубинах свыше 100 м залегают реликтовые «квазимерзлые» (газогидратоносные) породы нижнего яруса ММП, мощностью до 500–600 м, на поддонных глубинах 2–3 м при глубине моря до 20 м залегают острова ММП верхнего яруса. Рассматриваемые банки на глубинах моря до 20 м аналогичны банкам, образованным на месте упомянутых в статье [16] островов Васильевский и Семеновский. Мощность ММП верхнего яруса на таких банках за счет суровых усло-

вий промерзания в позднем голоцене могла превышать 100 м, составляя единое целое с «квазимерзлыми» породами нижнего яруса криогенной толщи. Однако в прибрежной части шельфа морей Восточной Сибири, как рассматривалось выше, расслоение криогенной толщи на два яруса устанавливается, с нашей точки зрения, достаточно отчетливо.

В частности, одна из скважин на поддонной глубине 106 м (при глубине моря 16 м) вскрыла кровлю, по-видимому, реликтовых ММП [10].

Возможность существования в недрах шельфовых зон «нормальной» мерзлоты на поддонных глубинах свыше 400–700 м, на примере моря Бофорта, и ранее предполагалось лишь при наличии в «реликтовой мерзлоте» газовых гидратов [15].

Изучением газогидратоносности горных пород под мерзлой зоной дельты р. Маккензи и в море Бофорта зарубежные специалисты занимались начиная с 70-х гг. прошлого века [19, 21]. Существование природных гидратов установлено в дельте р. Маккензи, где с помощью бурения скважин в 1998–2002 гг. открыто месторождение Маллик. Зона стабильности газовых гидратов на суше определена в интервале 225–1100 м. В нижней части этой зоны, на глубинах 890–1108 м, выявлены газовые гидраты. Равновесная температура, соответствующая нижней границе стабильности гидратов, составляет 12,2 °С [20].

Приведенные факты, с нашей точки зрения, доказывают, что формирование криогенной толщи в нефтегазоносных провинциях и областях Арктики происходит при наличии мощного газового потока из недр, с образованием скоплений газовых гидратов под подошвой мерзлой зоны. Скоплению газовых гидратов под подошвой ММП способствует существенное уменьшение газопроницаемости мерзлых пород по сравнению с тальми. В соответствии с исследованиями специалистов МГУ, толща ММП представляет собой сплошной экран, который «непроницаем для подземных вод и газов». Во внутренней части шельфа, морей Лаптевых и Восточно-Сибирского, примерно до изобат 50–60 м и на низменностях, по данным [16], этот мерзлый экран существует непрерывно не менее 400 000 лет. Под мерзлым экраном в зоне стабильности газовых гидратов, в водонасыщенных породах под влиянием газового потока с глубины формируются газовые гидраты. Отражением наличия мощного газового потока являются скопления газа в ловушках, наиболее крупными из которых в Российской Арктике являются: Штокмановское, Ленинградское, Русановское, Харасавэйское, Бованенковское, Крузенштерновское и многие другие месторождения шельфа и суши. В шельфовой зоне, кроме того, отмечаются довольно многочисленные выходы газа преимущественно метанового состава в гидросферу и атмосферу [13, 14, 16].

Исходя из приведенной мерзлотно-геотермической характеристики нефтегазоносных территорий и акваторий Рросийской Арктики, возникают следующие проблемы их освоения.

Для северной части Сибирской платформы и арктических шельфов может появиться необходимость добычи нефти в условиях низких температур недр, что потребует применения шахтных или других специальных способов извлечения полезного ископаемого.

Освоение углеводородов областей криолитозоны в зоне арктических шельфов и приморских низменностей России потребует изучения гидратоносности нижнего яруса реликтовых ММП, расположенных в зоне стабильности газовых гидратов. Проведение исследовательских работ в данном направлении само по себе представляет серьезную научно-методическую и технологическую проблему.

В случае положительного результата упомянутых выше исследований, что, судя по результатам изучения шельфовой зоны моря Бофорта, включая долину р. Маккензи, вполне реально, неизбежно возникнут проблемы оценки ресурсов углеводородов, включая газовые гидраты.

Проблемы промышленного освоения подмерзлотных скоплений газовых гидратов, нефти и газа в Арктике неотделимы от проблем защиты природной среды с учетом повышенной чувствительности гидратоносных толщ к техногенным нагрузкам

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 60 лет в Арктике, Антарктике и Мировом океане: Сб. научных трудов / Ред.: В.Л.Иванов, В.Д.Каминский. СПб.: ВНИИОкеангеология, 2008. 651 с.
2. *Балобаев В.Т., Павлов А.В.* Динамика криолитозоны в связи с изменениями климата и антропогенными воздействиями // Проблемы геокриологии. М.: 1983. С. 184–194.
3. *Войнов О.Н., Неизвестнов Я.В.* Геотермические исследования на шельфе и островах Восточно-Сибирского шельфа // Геотермия. Ч. 1. М.: ГИН АН СССР, 1976. С. 114–117.
4. *Гаврилов А.В.* Криолитозона арктического шельфа Восточной Сибири (современное состояние и история развития в среднем плейстоцене-голоцене): Автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. М., 2001. 48 с.
5. Геокриология СССР. Восточная Сибирь и Дальний Восток / Под ред. Э.Д.Ершова. М.: Недра, 1989. 516 с.
6. Геокриология СССР. Европейская территория СССР / Под ред. Э.Д.Ершова. М.: Недра, 1988. 352 с.
7. Геокриология СССР. Западная Сибирь / Под ред. Э.Д.Ершова. М.: Недра, 1989. 454 с.
8. Геокриология СССР. Средняя Сибирь / Под ред. Э.Д.Ершова. М.: Недра, 1989. 414 с.
9. Геокриологическая карта СССР масштаба 1:2500000. М.: МГУ, 1996. 16 с.
10. *Жигарев Л.А., Плахт И.Р.* Особенности строения, распространения и формирования субаквальной криогенной толщи // Проблемы криолитогенеза. М.: 1974. Вып. 4. С. 115–124.
11. *Какунов Н.Б., Гранович И.Б., Зимаков Б.Н.* К проблеме формирования многолетнемерзлых пород и газогидратных залежей на территории Европейского Северо-Востока // Нетрадиционные источники углеводородного сырья, их распространение и проблемы освоения. СПб.: ВНИГРИ, 2000. С. 271–273.
12. *Матвеева Т.В., Соловьев В.А., Мазуренко Д.Л. и др.* Газовые гидраты Мирового океана: механизмы образования, распространение, источники, ресурсный потенциал // 60 лет в Арктике, Антарктике и Мировом океане. СПб.: ВНИИОкеангеология, 2008. С. 409–426.
13. *Мельников В.П., Спесивцев В.И.* Инженерно-геологические и геокриологические условия шельфа Баренцева и Карского морей. Новосибирск: Наука, 1995. 198 с.
14. *Неизвестнов Я.В., Войнов О.Н., Постнов И.С.* Солевой и газовый состав пластовых вод Новосибирских островов и окружающих акваторий // Геология шельфа Восточно-Сибирских морей: Сб. научных тр. / Под ред. И.С.Грамберга. Л.: НИИ геологии Арктики, 1976. С. 76–89.
15. *Неизвестнов Я.В., Соловьев В.А.* Океанический и шельфовый регионы // В кн. Геокриология СССР. Восточная Сибирь и Дальний Восток. М.: Недра. 1989. С. 176–183.
16. *Романовский Н.Н., Гаврилов А.В., Тумский В.Е., Холодов А.Л.* Криолитозона Восточно-Сибирского арктического шельфа // Вестн. МГУ. Сер. 4. Геология. 2003. № 4. С. 51–56.
17. Шельфы Евразии в мезозое и кайнозое: Атлас палеогеографических карт. Т. 2. Карты. Поздний плейстоцен (18000 л.), 13.12.
18. Экологическая безопасность при освоении нефтегазовых месторождений на шельфе Карского моря. СПб.: СПбГУ. Северо-Зап. НИИ культурного и природного наследия, 2004. 160 с.
19. *Bily C., Dick W.J.* Natural occurring gas hydrates in the Mackenzi delta // NWT-Bull. of Can Petr. Geol. 1974. Vol. 22. P. 320–352.
20. *Dallimore S., Collet T., Uchida T.* Scientific Results from JAPEX/GSC Mallik 2L-38. Gas Hydrate research well, Mackenzie Delta, North-west territories, Canada // Geological Survey of Canada, Bulletin 554. 1999. P. 403.
21. *Weaves J.S., Stewart J.M.* In situ hydrates under the Beafort Sea shelf // Proc. 4-th Can. Permafrost Conf. Calgary, Alberta. 1981. Ottawa, 1982. P. 312–319.

YA.V.NEIZVESTNOV, O.I.SUPRUNENKO, O.V.BOROVIK, N.L.KOLCHINA,
N.A.KURINNYI, T.N.FRANTCEVA

CRYOGENIC-GEOTHERMAL PROBLEMS IN DEVELOPMENT OF PETROLEUM RESOURCES OF THE RUSSIAN ARCTIC

Cryogenic-geothermal conditions of the petroleum provinces and basins of the Russian Arctic offshore and onshore territories against the background of the permafrost rocks degradation of the Eurasian permafrost area, started from the end of the Late Neo Pleistocene have been discussed. It was shown that the unit of permafrost rocks within hydrocarbon plays has two stage structure. Cryogenic rocks of the upper stage contain «normal» ice-cement. The cement in the lower stage admittedly is gas hydrate. Some data on gas hydrate deposits from the Mackenzie River Delta and from the shelf zone of the Beaufort Sea, which have similar environment, have been cited to support the assumption.

Key words: Permafrost rocks, gas hydrate negative temperature waters (cryopegs), hydrocarbon plays.