

# ГАЗОНОСНЫЕ СТРУКТУРЫ И КРИОГЕННАЯ ТОЛЩА КРИОЛИТОЛОГИЧЕСКИХ ПРОВИНЦИЙ ЯМАЛА

## THE GAS-BEARING STRUCTURES AND CRYOGENIC STRATA OF THE YAMAL PENINSULA CRYOLITHOLOGY PROVINCES

**БАДУ Ю. Б.**

*Ведущий научный сотрудник кафедры криолитологии  
и гляциологии географического факультета  
Московского государственного университета  
им. М.В. Ломоносова, к.г.н., г. Москва, yubadu@mail.ru*

**BADU Yu.B.**

*Leading researcher of the Department of Cryolithology  
and Glaciology, Faculty of Geography, Lomonosov  
Moscow State University, PhD (Candidate of Science  
in Geography), Moscow, yubadu@mail.ru*

### Ключевые слова:

*криогенная толща; газоносная структура;  
осадконакопление; промерзание; криолитогенез.*

### Keywords:

*cryogenic stratum; gas-bearing structure;  
sedimentation; freezing; cryolithogenesis.*

### Аннотация

**Криогенная толща рассматривается как развивающаяся криогенная система «Криогенная толща в газоносной структуре». В оригинальной авторской классификации показаны основные геокриологические параметры в разрезах газоносных структур, расположенных в пределах криолитологических провинций Ямала. Этим подчеркивается, что проявление криолитогенеза пород над газовой залежью, где осадконакопление и промерзание отложений сопровождалось их газонасыщением, конкретно влияет на технологию строительства и эксплуатации газопромысловых объектов, и показывает новый взгляд на формирование криогенной толщи.**

### Abstract

**Cryogenic strata are considered as a developing cryogenic system «Cryogenic strata in a gas-bearing structure». The author's original classification shows the main geocryological parameters of cryogenic strata in gas-bearing cuts, located in the cryolithology provinces of the Yamal peninsula. Sediment accumulation and freezing, as well as the gas saturation of sediment, are among the cryolithogenic processes shown to exist in the rocks above gas layers. Thus disturbances of the natural sedimentary bedding and in-situ permafrost conditions by the construction and development of gas facilities and fields influences construction methods and gas-producing technology. As well, it provides a new viewpoint on the forming of cryogenic strata.**

### Введение

На основе ряда работ о криогенной толще в газоносных структурах Ямала [1–10] автором установлено:

— региональное стратиграфическое положение генетических комплексов отложений в разрезе криогенной толщи, отражающее главные этапы в развитии изучаемого участка земной коры;

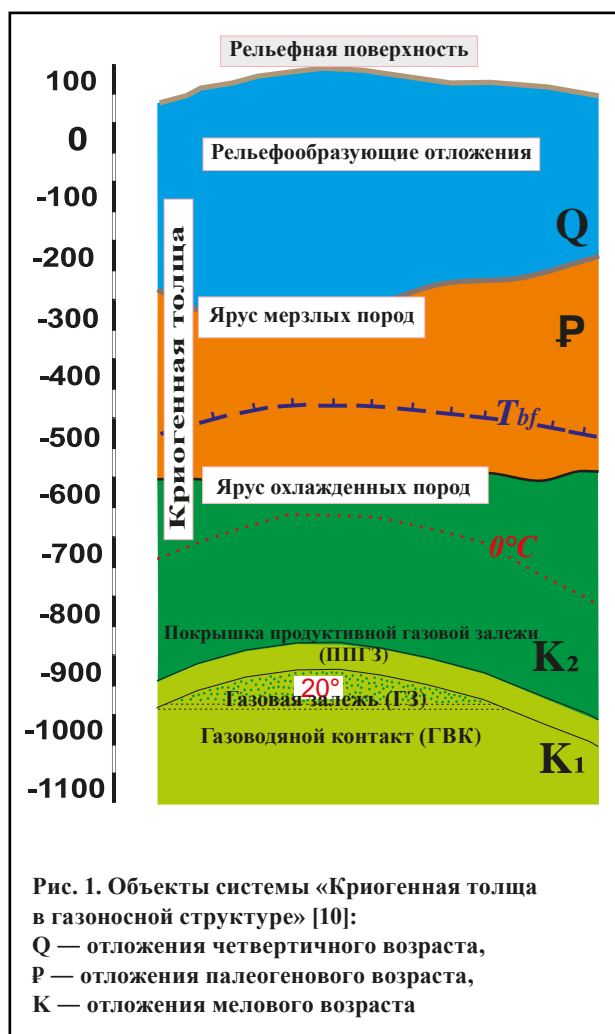
— основные геокриологические характеристики криогенной толщи, которые определяют условия развития криолитогенеза на территориях газоносных площадей;

— при восстановлении истории развития этих территорий в плейстоцене выявлены условия осадконакопления и промерзания для каждого этапа развития криогенной толщи.

По установленным особенностям пород криогенной толщи составлена классификация газоносных структур, учитывающая неотектоническое строение исследованной территории. При выделении стратиграфо-генетических комплексов отложений в строении системы «Криогенная толща в газоносной структуре» обособлены объекты (рис. 1), составляющие газоносную структуру<sup>1</sup> — «криогенная толща»<sup>2</sup> и «газовая залежь» [10].

<sup>1</sup> Газоносная структура (ГС) — неотектоническое образование в литосфере, в геологическом разрезе которого горизонт рыхлых пород кайнозойского возраста перекрывает толщу уплотненных пород позднего мела и покрывку продуктивной газовой залежи (ППГЗ) раннего мела. Положение и площадь ГС в плане определяются вертикальной проекцией площади газовой залежи на дневную поверхность. ГС ограничена сверху рельефной поверхностью, снизу — газовой залежью (ГЗ) от подстилающих ее водонасыщенных пород.

<sup>2</sup> Криогенная толща (КТ) представлена твердо- и пластичномерзлыми породами яруса мерзлых пород и охлажденными породами яруса охлажденных пород. Подошва криогенной толщи отбивается по положению нулевой изотермы, а подошва яруса мерзлых пород — по изотерме температуры начала замерзания  $T_{bf}$ .



В классификации (рис. 2) группы газоносных структур выделены с учетом особенностей неотектонического устройства и положения их в рельефе в пределах Шельфовой и Континентальной криолитологических провинций, определенных по характеру современных условий существования криогенной толщи [26]. При выделении групп газоносных структур учитывались: геотектоническое положение, геоморфологическое устройство поверхности, глубина положения газовой залежи от дневной поверхности, возраст и генезис плейстоценовых отложений — рельефообразующих и их подстилающих, вещественный состав мерзлых пород и фациальная обстановка осадконакопления, а также распределение по разрезу их температуры, мощности, льдистости и газонасыщенности.

Группы структур обособлены по особенностям их положения в современном рельефе шельфа:

— погруженные под морской акваторией глубиной до 50–150 м (группа I);

— погруженные под заливами-губами глубиной не более 20–25 м (группа II).

Группы газоносных структур обособлены по особенностям их положения в современном рельефе суши:

— с рельефом поверхности позднеплейстоценовых морских террас (группа III), в отдельную подгруппу включены частично погруженные под мелководьями шельфа до глубин менее 50 м, с абрадированной

верхней частью разреза позднеплейстоценовых отложений;

— с рельефом поверхности позднеплейстоценовых лагунно-морских террас (группа IV), в отдельную подгруппу включены частично погруженные под заливами-губами, с абрадированной верхней частью разреза позднеплейстоценовых отложений;

— с рельефом поверхности средне- и позднеплейстоценовой морской равнины (группа V), в отдельную подгруппу включены газоносные структуры, частично погруженные под Обской губой.

Такая обособленность связана с особенностями неотектонического строения. В рифтовой системе основания мезокайнозойского осадочного чехла, приуроченной к Ямал-Гыдан-Тазовскому грабену архей-палеозойского кристаллического фундамента, расположены межрифтовые блоки — Северо-Ямальский, Средне-Ямальский, Южно-Ямальский и Ямбургский. Над этими блоками сформировались мегавалы, своды и валы, соответственно: Русановско-Скураатовский; Харасавей-Крузенштернский, Бованенковский, Тамбейский; Новопортовский и Нурминский; Ямбургский. На рисунке 2 показано, что V и I группы газоносных структур приурочены к крупным межрифтовым блокам осадочного чехла на шельфе и на суше, группы II — к участкам грабенов в осадочном чехле, группы III и IV — к участкам грабенообразных понижений.

### Исходные положения

В основу классификации положены три исходных положения, опирающиеся на известные данные.

1. Основной интенсивный поток газа мигрирует снизу и концентрируется в сеноманских отложениях под мощным верхнемеловым экраном покрышки продуктивной газовой залежи. Заполнив ловушки полностью, газ устремляется по латерали в следующие, расположенные выше. Этот процесс происходит в течение многих миллионов и десятков миллионов лет.

Формирование рассматриваемых в работе залежей, первых от дневной поверхности и залегающих на глубинах до 900–1000 м, завершалось при мощном неотектоническом поднятии в неоген-раннечетвертичное время, когда активизировались структурообразующие движения в арктической области Западно-Сибирской плиты. К этому времени были окончательно сформированы крупные структуры — ловушки типа мегавалов, валов и куполовидных поднятий с амплитудами (по сеноману) в десятки метров. В ловушках метан массово выделялся из пластовых вод, так как активному его растворению в пластовых водах залежи способствовала их невысокая минерализация и относительно низкая положительная температура, обусловленная наличием сверху мощной (в сотни метров) мерзлоты [15].

При этом отмечалось, что нарушенность покрышек является основной причиной постоянного газовыделения и теплового воздействия в перекрывающую толщу грунтов, которая относится уже к нижней части криогенной толщи. Отсюда следует

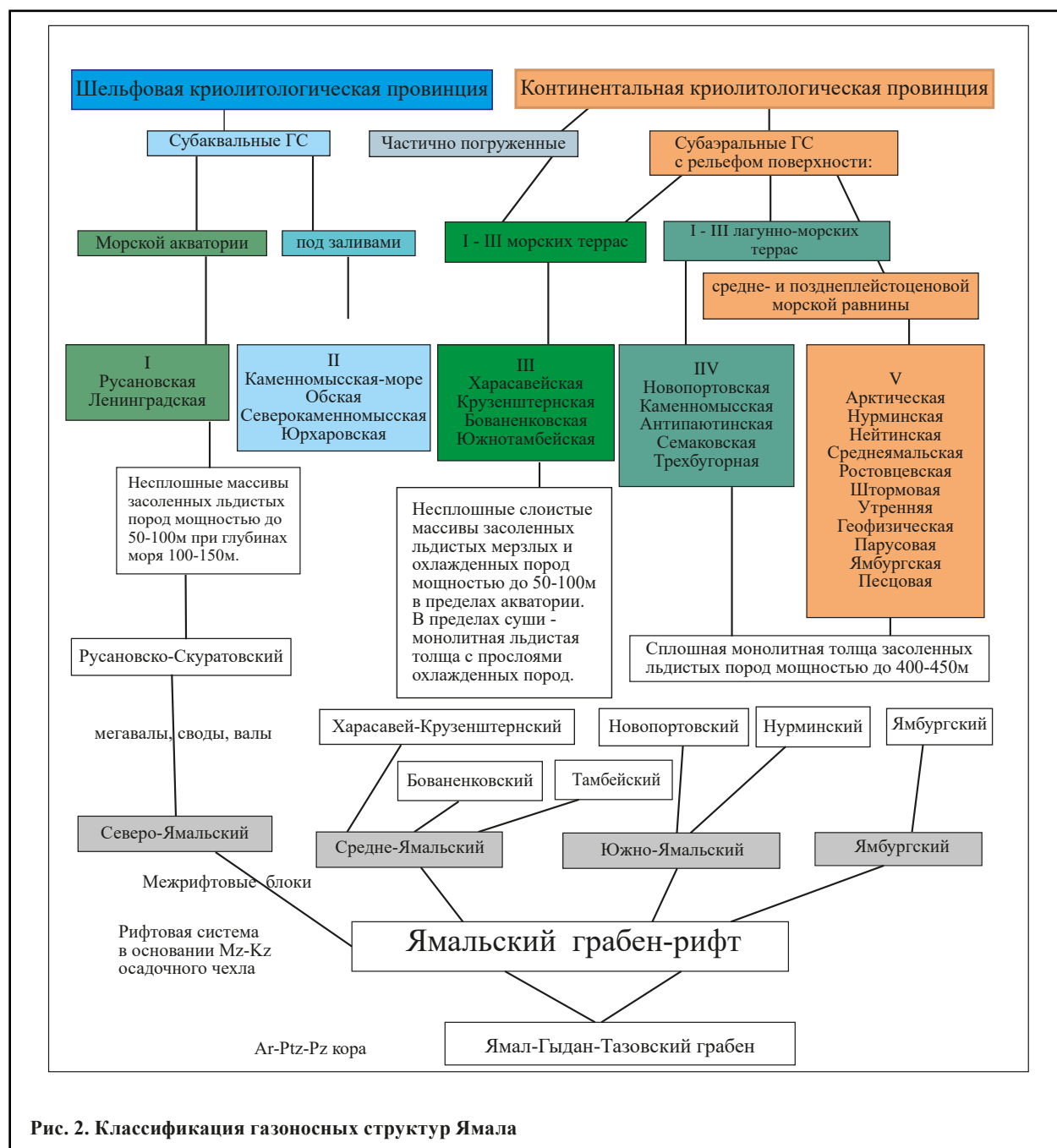


Рис. 2. Классификация газоносных структур Ямала

предположение о постоянности поступления мигрирующего газа в уже накопленной части грунтовой толщи.

2. Обская и Тазовская губы приурочены к тектонически активным отрицательным структурам платформенных грабенов. Их контуры отчетливо фиксируются и сопровождаются прогибаниями и заполнением водами ранне- и среднелейстоценовой трансгрессии, соизмеримой с юрской и меловой. Из этого следует предположение о синхронном этапе газонасыщения накапливавшихся плейстоценовых морских осадков.

3. При инерционности проявления экзогенного промерзания тектонодинамическая активность структур проявляется движением блоков вниз и вверх, обеспечивая развитие разломов в покрывке и над ней. По разломам газ мигрирует диффузией и конвекцией, а тепло передается в основном кондукцией. Учитывая, что скорость диффузионного и

конвективного массопереноса на порядок выше скорости кондуктивного переноса тепла, следует полагать, что в газоносной структуре породы сначала насыщаются газом (в процессе седиментации или после ее завершения), а по прошествии времени толща накопившихся осадков подвергается промерзанию сверху и тепловому прогреву снизу. Это еще один момент, который положен в основу авторских представлений об этапах развития криогенной толщи в газоносной структуре.

Н.Н. Романовский [25], В.С. Якушев и др. [29, 30] продемонстрировали в своих работах общую схему охлаждения, промерзания и гидратообразования в синклиальной и в антиклиальной газоносных структурах.

В.И. Богоявленский и И.А. Гарагаш [13], обобщая обширные материалы, подчеркивают, что во многих районах Арктической зоны России существуют природные притоки газа в зону мерзлых пород и его

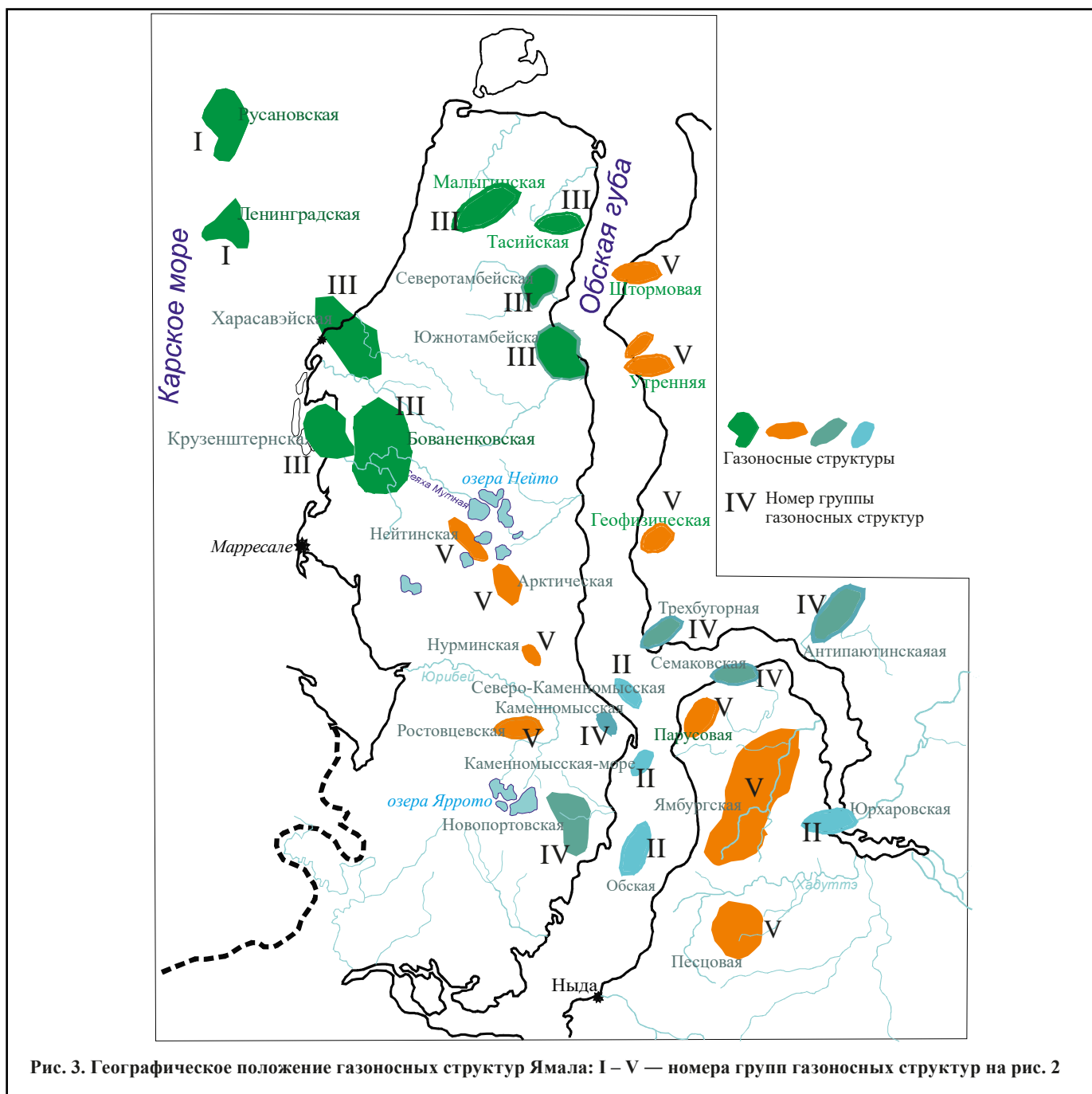


Рис. 3. Географическое положение газоносных структур Ямала: I – V — номера групп газоносных структур на рис. 2

выходы на поверхность земли и в водную толщу озер, рек и акваторий Северного Ледовитого океана. Они считают, что мерзлая толща — региональный флюидоупор, способный перенаправлять субвертикальные потоки газа в субгоризонтальном направлении, и при этом аномально высокие пластовые давления способствуют разрыву сплошности пород в наиболее слабых зонах, где развиты разломы и сквозные талики.

Г.З. Перльштейн с соавторами [18] считает, что в периоды трансгрессий эмиссия углеродосодержащих газов резко увеличивается через образующиеся сквозные талики и «разрывы» в зоне свободного газогидратообразования. При этом в рифтах образуются антиклинальные структуры — поднятия на нижней поверхности мерзлых толщ и зоны свободного газогидратообразования — места скопления газов или газогидратов в областях с высоким нефтегазовым потенциалом, которые существуют постоянно на этапах

регрессии и трансгрессии моря. В периоды регрессий моря и аградации мерзлоты на шельфе сквозные эндогенные талики, существовавшие в рифтовых или разломных зонах, промерзают, а возможная эмиссия газов через них прекращается.

Исходя из приведенных выше положений, предлагается иная схема формирования криогенной толщи.

1. Режим поступления мигрирующего газа в перекрывающую толщу пород был постоянен в течение плейстоцена.

2. Механизм насыщения пород газом сингенетичен процессу осадконакопления в акватории и эпигенетичен процессу криодиагенеза пород на суше.

3. В разрезе над газовой залежью породы сначала насыщаются газом в процессе седиментации, а после выхода на дневную поверхность в субэвральном режиме испытывают тепловое воздействие снизу и промерзание сверху.

4. Криогенная толща формируется в донных отложениях в субаквальном режиме седиментации, промерзая (при диффузионном расширении мигрирующих газов) из-за поглощения тепла из вмещающих пород (по В.П. Мельникову и В.И. Спесивцеву [17]), а также при развитии процессов субмаринного криодиагенеза (по А.И. Попову [21, 22] и А.Д. Маслову [16]) и процессов субмаринного синкриолитогенеза (по Н.А. Шполянской [27, 28]).

### Обсуждение результатов

В пределах Шельфовой провинции криогенная толща развивается в субаквальных условиях. Часть донных плейстоценовых отложений акватории в мерзлом состоянии относится к размытой морем части континентальной суши. Донные современные осадки накапливаются и промерзают в различных фациальных обстановках подводного берегового склона, мелководья приливно-отливной зоны. Граница между провинциями проводится по современной береговой линии Карского моря.

### Шельфовая криолитологическая провинция

Мелководье Карского побережья имеет незначительную глубину и местами изобата в 20 м прослеживается на расстоянии до 100 км от кромки воды у берега. Под акваторией Карского моря состояние литосферы определялось отрицательным конвективно-тепловым балансом систем «атмосфера — гидросфера» и «гидросфера — литосфера». Отрицательные балансы систем — основная причина отрицательно температурного состояния вод океана, определяющего охлажденное и мерзлое состояние донных грунтовых толщ подводного берегового склона шельфа при глубинах моря до 40–50 м и более [2].

Отдельные части разреза субаквальной криогенной толщи (пластичномерзлые и охлажденные пачки донных отложений) расположены в ареале, где на глубинах 600–800 м залегают крупные газовые залежи с высокими пластовыми температурой и давлением. В пределах таких акваторий промерзают донные породы (при глубинах моря более 40–50 м) при дроссельном эффекте адиабатического расширения газа,

мигрирующего из газовых залежей [17, 24, 23].

В позднем плейстоцене еще не промерзшие, но уже охлажденные толщи тиксотропных пород при активизации неотектонических движений над крыльями купола газовой залежи испытывали динамические напряжения подводного оползания и сминались в складки. При разгрузке напряжений в подводной среде, близкой к точке замерзания, спонтанно возникали промерзающие складчатые слои пород. Затем смятая в складки мерзлая толща перекрывалась более молодыми прибрежно-морскими отложениями с полигонально-жильными льдами и сохранилась до нынешнего времени в ряде разрезов позднплейстоценовых отложений Ямала и Гыдана. Эта реликтовая часть криогенной толщи в настоящее время развивается в субаэральной (континентальной) обстановке, а местами сохранена в пределах мелководного шельфа [6, 9].

### Субаквальные газоносные структуры морской акватории (группа I)

В пределах разведанных площадей Русановской и Ленинградской газоносных структур криогенная толща сложена пластичномерзлыми и охлажденными породами, так как в субаквальной обстановке формируется под воздействием иных, чем на суше, условий теплообмена. Характеристика их современного состояния представлена в табл. 1.

В разрезах газоносных структур положение изотермы 0 °С не соответствует обычному представлению о продолжительности промерзания в периоды криохронов. Мерзлота формируется в охлаждаемых ниже 0 °С газонасыщенных и засоленных грунтах и «самоконсервируется» синхронно накоплению осадков. В процесс «консервации» включается сегрегационное льдовыделение, сегрегационно-инъекционное и даже образование льдистых газогидратных залежей.

Мерзлая часть криогенной толщи формируется при адиабатическом расширении газов, поступающих в перекрывающие осадки по дизъюнктивам в покрывке продуктивной залежи. Это утверждается на основе исследований С.И. Рокоса, установившего, что в верхней 100-метровой части донного разреза мерзлыми льдистыми грунтами (мощностью до 20–40 м) перекрыт газонасыщенный интервал немерзлых грунтов [24].

Таблица 1

Температуры пород криогенной толщи газоносных структур группы I					
Газоносные структуры	Глубина положения изотермы 0 °С, м	Температура пород подошвы мерзлого яруса криогенной толщи $T_{bf}$ , °С		Градиенты температуры, °С/100 м	
		над куполом	мощность мерзлого яруса, м	криогенной толщи $G_{кт}$	от подошвы КТ до пластовой залежи газа $G_{пшгз}$
<i>Газоносные структуры группы I</i>					
Русановская	-110	-2,2	50	2,5	5,0
Ленинградская	-120	-2,3	100	2,5	5,0

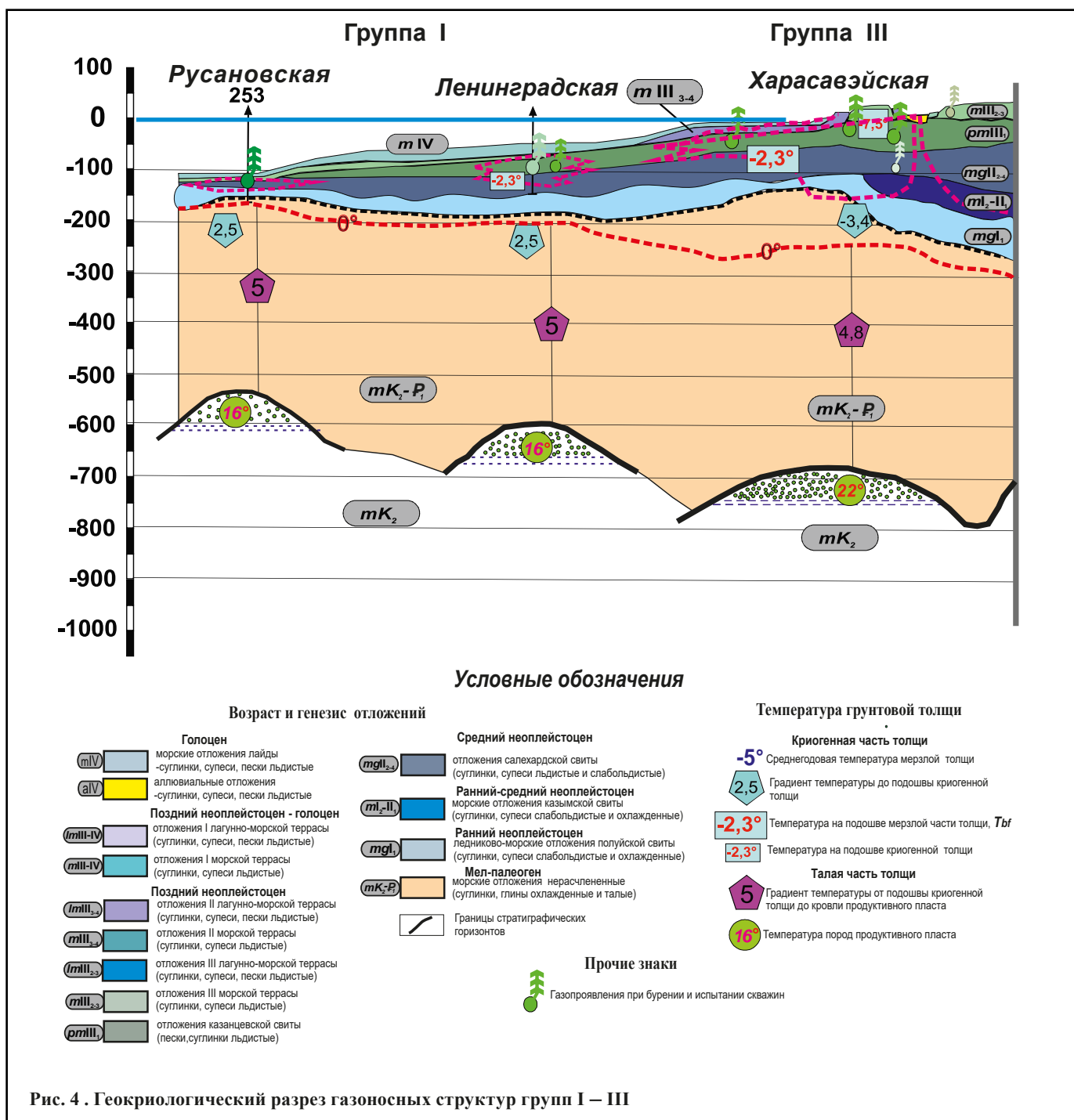


Рис. 4. Геокриологический разрез газоносных структур групп I – III

С.И. Рокос показал, что участки распространения мерзлых пород располагаются точно над зонами газонасыщенных песчаных осадков. Газом насыщается обводненный осадок в охлажденной (ниже 0 °С) части толщи, но еще не замерзшей, так как температура пород  $T_n$  еще не достигла величины точки начала замерзания  $T_{bf}$  (при данной минерализации грунтовой влаги). Насыщающий газ, адиабатически расширяясь в среде с наименьшей плотностью и горным давлением, резко понижает температуру этой влаги и замораживает ее, превращая в лед, а водогрунтовую массу — в ледогрунт. Дальнейшим поступлением газа из подстилающих песчаных горизонтов-коллекторов продолжается промерзание именно глинистых частей разреза. И именно на его участках, приуроченных к антиклинальным частям пликативных складок.

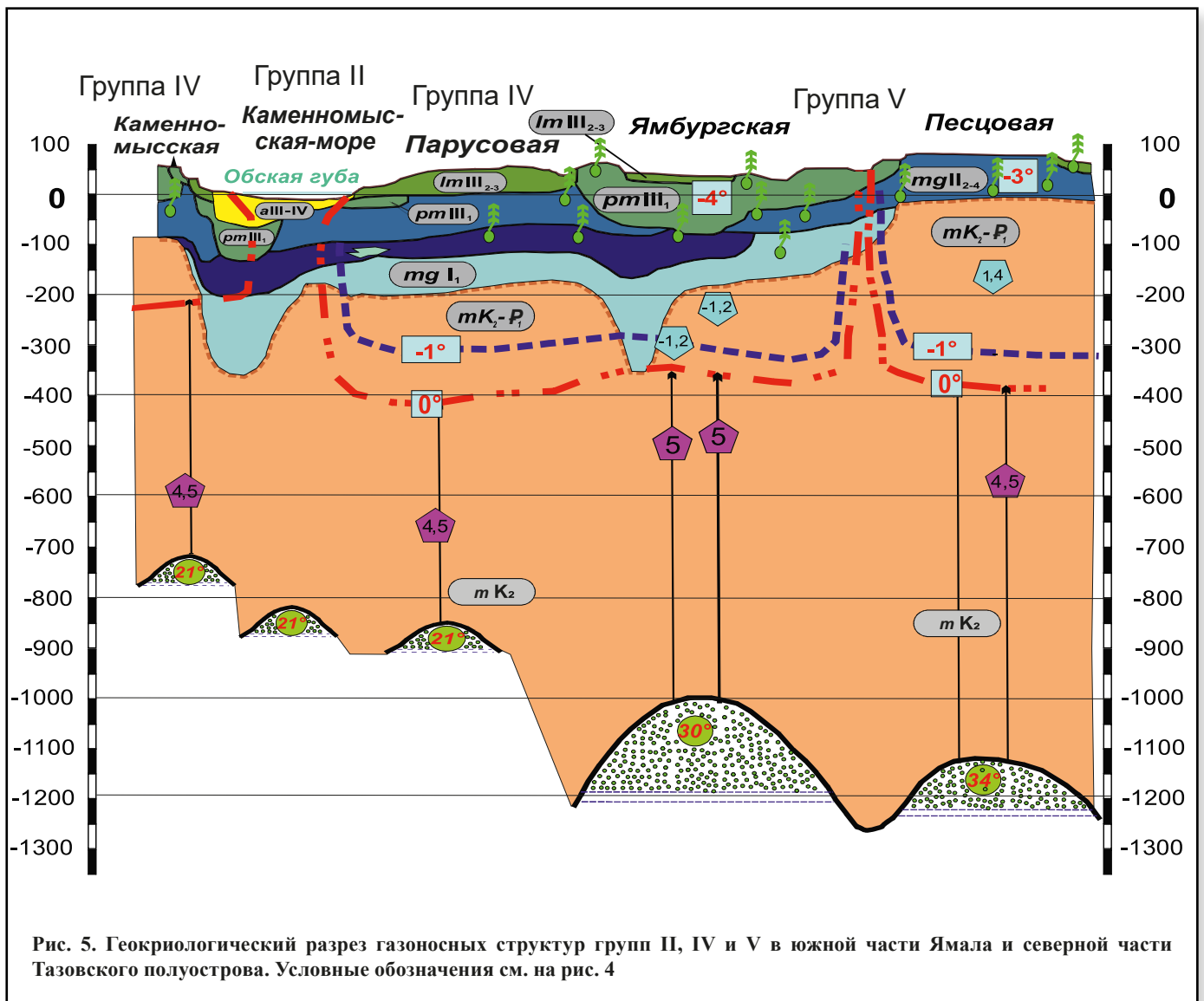
При переходе в субэаральный режим седиментация

прекращается, но наращивание мощности продолжается уже вниз по разрезу. Вероятнее всего, участки новообразования субаквальной мерзлоты смыкаются с участками «реликтовой» мерзлой части, фиксируя в разрезах следы и признаки субаквального и субэарального промерзания.

**Субаквальные газоносные структуры под заливами (группа II)**

Под пресноводными акваториями Обской и Тазовской губ газоносные структуры (Каменномысская-море, Северо-Каменномысская, Чугорьяхинская, Обская, Юрхаровская) характеризуются компактным расположением и находятся на сравнительно небольшом удалении от Ямбургской.

Геологические условия разработки сеноманских



залежей выявленных структур весьма благоприятны для организации крупного газодобывающего комплекса. В этих залежах сосредоточены большие запасы газа. Результаты проведенных геологоразведочных работ свидетельствуют о высокой продуктивности пластов, но публикации отсутствуют. Судя по рис. 5, по данным инженерно-геологических изысканий [26] под акваторией губы мерзлота отсутствует.

#### Континентальная криолитологическая провинция

В ее пределах криогенная толща развивается в субэаральных условиях суши: сплошная низкотемпературная и монолитная, криогенетически неоднородная, лишь местами разобшенная мелкими подрусловыми и подоцерными таликами и межмерзлотными горизонтами охлажденных пород.

Газовые залежи здесь расположены под поверхностью среднеплейстоценовой морской равнины и позднплейстоценовых морских террас на глубинах от 400 до 700–800 м. Столь неглубокое залегание мощной теплоемкой залежи оказывает заметное влияние на положение изотермы 0 °С и подошвы мерзлой льдистой толщи [2, 4, 6–8]. Глубина положения изотермы 0 °С уменьшается над самой возвышенной частью газового

купола. Мощность же мерзлой части толщи над куполом сокращается на 22–35% по сравнению с периферийной частью контура газовой залежи. Современные температуры пород приведены в табл. 2: глубина положения изотермы 0 °С в толще газоносной структуры, температура пород на подошве яруса мерзлых пород криогенной толщи и его мощность, градиенты температуры по всей толще и от ее подошвы до поверхности покрывки газовой залежи.

Неоднократно отмечалось, что пластовые залежи льда инъекционного генезиса (с дизъюнктивными нарушениями перекрывающих пород) в плане нередко приурочены к участкам сводового поднятия, под которыми расположены неотектонические разломы, горсты и грабены, пересекающие площади с горизонтами аномально высоких пластовых давлений [26, 7–8]. Складчатые дислокации мерзлых пород согласно с ледяными пластами обычно приурочены к крыльям куполов, где уклоны литологических слоев составляют 2–3°.

Газопроявления при бурении в толще средне-верхнечетвертичных отложений чаще всего обнаруживаются ближе к крутым крыльям купола, но очень редко к длинным и пологим [12]. При этом следует обратить внимание на то, что более 80% интервалов

Температуры пород криогенной толщи газоносных структур групп III, IV и V						
Газоносные структуры	Глубина положения изотермы 0 °С, м		Температура пород подошвы мерзлого яруса криогенной толщи $T_{bf}$ , °С		Градиенты температуры, °С/100 м	
	над куполом	по периферии	$T_{bf}$ , °С	Мощность мерзлого яруса, м	криогенной толщи, $G_{KT}$	от подошвы КТ до покрышки залежи газа $G_{пгз}$
<i>ГС группы III</i>						
Харасавейская	250	270	-2,2	130/180	2-3,5	4,6
Бованенковская	170-220	до 300	-2,3	160/280	1,3-1,8	5,0
Крузенштернская	180-200	240	-2,2		1,9	5,1
Южнотамбейская	380	440	-2,2	350/440	2-3,0	5,1
<i>ГС группы IV</i>						
Новопортовская	140-145	200-230	-1,6	100/200	2-2,9	3,7
<i>ГС группы V</i>						
Арктическая	340	380	-1,5	260	1,5	5,4
Среднеямальская	350	370	-1,5	240	1,7	4,9
Нурминская	290	320	-1,5	200	1,9	4,2
Нейтинская	320	350	-2,0	280	1,8	6,0
Ябургская	360	390	-0,5	320	1,0-1,2	5,0
Песцовая	380	400	-0,2	340	1,0-1,2	4,5

газопроявлений относится к породам салехардской свиты среднего плейстоцена — пачкам суглинков с прослоями и линзами песков. Наиболее часто газопроявления (при бурении) отмечены на участках сокращения мощности мерзлой толщи — под руслами низовьев рек и под крупными хасыреями и озерами.

В льдистых породах верхней части разреза (20–30 м) содержатся газосодержащие слои со слабыми перетоками газа (при вскрытии). Мощные притоки отмечены в слабольдистых суглинках салехардской свиты. Нижнеплейстоценовые толщи пород в пластичном мерзлом состоянии при вскрытии бурением показывают мощнейшие дебиты притоков газа. Охлажденная часть такого разреза насыщена газогидратами, а в талой части (палеоген) — напорными водами с растворенным газом [19].

Различия в мощности криогенной толщи зафиксированы [8] в разрезах:

— газоносных структур III группы с позднеплейстоценовыми морскими террасами, где часть купола расположена в пределах морской акватории (Харасавейская, Крузенштернская);

— газоносных структур IV группы с позднеплейстоценовой морской террасой и голоценовой поймой при неглубоком залегании газоносного купола (Бованенковская), а на восточном побережье Ямала с

лагунным и аллювиальным типом осадконакопления в позднем плейстоцене и голоцене (Южнотамбейская, Новопортовская, Сеяхинская);

— газоносных структур V группы в пределах водораздельных равнин, где максимальна продолжительность периода субаэрального промерзания отложений, отличающихся высокой засоленностью поровых вод (Арктическая, Нейтинская, Нурминская, Среднеямальская).

Мощности криогенной толщи западной и восточной частей Ямала связаны больше с морским или лагунно-морским режимом осадконакопления, а соответственно, с большим или меньшим засолением грунтов. Различны также и условия промерзания глубоководных и прибрежных осадков в регрессирувавшем открытом морском бассейне и в обмелевающей полузамкнутой лагуне (заливе, губе). Тем не менее в морских толщах мощность яруса мерзлых пород меньше, а на востоке — больше, и глубины положения изотермы 0 °С существенно различны [8, 9].

*Субаэральные газоносные структуры в пределах морских и лагунно-морских террас (группы III и IV)*

Газоносные структуры с позднеплейстоценовыми морскими террасами, где часть купола

залегают под морской акваторией (Харасавейская, Крузенштернская, Южнотамбейская), расположены в пределах абрадируемых участков позднплейстоценовой мерзлой толщи. В их погруженной субаквальной части новообразование мерзлых пород происходит по мере накопления осадков и их синхронного промерзания. В субаэральной самой приповерхностной части разреза мерзлые породы находятся в твердомерзлом состоянии, несмотря на их высокую засоленность. Остальная часть разреза — пластичномерзлая, и лишь мелкие песчаные линзы и слои становятся твердомерзлыми [1, 3].

Субаквальная часть разреза структур промерзает медленно из-за высокой засоленности накапливающихся отложений [3, 8, 9].

Эпикриогенная толща III и IV групп газоносных структур с поверхности перекрыта 10–20-метровой синкриогенной толщей пород позднего плейстоцена. Они отличаются монолитным строением, невысокой засоленностью, твердомерзлым и пластичномерзлым состоянием глинистых грунтов, низкими среднегодовыми температурами. В верхней части разреза расположены пластовые залежи подземных льдов, эпи- и синкриогенные полигонально-жильные льды (реликтовые и растущие современные). Неотъемлемый компонент нижней части криогенной толщи — слои и линзы засоленных охлажденных пород с напорными криопэгами [4, 6, 9, 26].

В разрезах газоносных структур с голоценовой поймой и неглубоким залеганием газоносной залежи (Бованенковская) зависимость глубины залегания подошвы криогенной толщи от возраста геоморфологических уровней заметно искажается составом и засоленностью грунтов [12]. В меридиональном разрезе нулевая изотерма следует положению кровли нижнемеловой газовой залежи и плавно понижается от вершины купола к северу. Она резко опускается в южном направлении от вершины купола согласно крутому падению его кровли.

Глубина залегания подошвы мерзлой толщи в общей конфигурации следует положению нулевой изотермы, но резко:

- уменьшается под системами хасыреев, под которыми существовали крупные талики;
- уменьшается в частях разреза, где грунтовая толща сложена сильно- и средnezасоленными грунтами;
- прерывается по вертикали в горизонтах залегания песчаных пород, насыщенных криопэгами;
- увеличивается в частях разреза с изотермами  $-4$  и  $-5$  °C, то есть в наиболее промороженных участках III морской террасы.

При оценке планового совпадения дизъюнктивных нарушений в продуктивной толще с аномальными колебаниями глубин положения изотермы  $0$  °C [6, 12] установлено:

- над грабенами увеличивается глубина положения изотермы  $0$  °C, что непосредственно сопряжено с газонасыщенностью пород;
- над плановым простиранием горстов чаще всего уменьшается глубина положения изотермы  $0$  °C, что непосредственно связано с тепловыделением из залежи.

В разрезах газоносных структур на восточном побережье Ямала с лагунным и аллювиальным типом осадконакопления (Южнотамбейская, Новопортовская, Каменномысская) средне-, позднплейстоценовые и голоценовые отложения так же насыщены газом, как и в разрезах морских отложений ГС западного побережья.

#### *Субаэральные газоносные структуры в пределах средне- и позднплейстоценовых морских равнин (группа V)*

В газоносных структурах средне-позднплейстоценовой морской равнины Ямала (Нейтинская, Арктическая, Ростовцевская, Нурминская, Среднеямальская), где максимальна продолжительность периода субаэрального промерзания, криогенная толща прошла все этапы ее формирования с тех пор, когда эти структуры находились в субаквальном положении. Она представлена в верхней части монолитным массивом твердомерзлых и пластичномерзлых засоленных грунтов, преимущественно глинистых, с низкими среднегодовыми температурами, насыщенным различными генетическими типами подземного льда. В нижней части криогенной толщи залегают мощный горизонт засоленных охлажденных пород с напорными криопэгами [3]. Для месторождений V группы (Новопортовская, Ябургская), расположенных в южной части области сплошного распространения мерзлых пород (рис. 6), характерны более мягкие геокриологические условия. Основная часть криогенной толщи сложена твердомерзлыми песчано-глинистыми породами и отличается меньшей льдонасыщенностью. Среднегодовая температура мерзлой толщи здесь не ниже  $-3$ – $-5$  °C при существенной разнице в температурах подошвы криогенной толщи (см. рис. 6).

#### **О практическом использовании классификации**

Все газоносные структуры Ямала, прилегающей территории и акватории Карского моря расположены в существенно неодинаковых геокриологических условиях, которыми определяются основы технологии строительства и эксплуатации газовых скважин и прочих промысловых объектов [11]. Очевидно, что именно нарушения или отступления от этой технологии приведут и уже приводили к осложнениям и авариям на газопромыслах.

Газоносные структуры групп III, IV и V, расположенные в пределах распространения сплошной и монолитной криогенной толщи песчано-глинистого состава, низких температур и значительной мощности, выделяются тем, что аварийные ситуации (газопроявления при бурении и эксплуатации) здесь возникают из-за малейшего нарушения естественного равновесия между любыми компонентами криогенной толщи, поэтому зависимость технологии строительства и эксплуатации от мерзлотных условий здесь будет максимальной.

В газоносных структурах группы V в южной части территории аварийные ситуации возникают обычно в верхней 10–20-метровой части разреза мерзлых пород



грабен-рифтами и межрифтовыми блоками кристаллического фундамента.

2. Криолитологическое развитие этих элементов продолжается в плейстоцене по этапам осадконакопления и субаквального промерзания в периоды трансгрессий и регрессий Полярного бассейна и заканчивается последовательным осушением поверхности газоносных структур с последующим наращиванием мощности криогенной толщи.

Криогенная толща газоносных структур группы V ранее, чем в остальных группах, переходит из субаквального режима развития в субаэральный — в конце среднего плейстоцена.


Криогенная толща газоносных структур группы IV переходит из субаквального режима развития в субаэральный к концу казанцевской эпохи позднего плейстоцена.

Криогенная толща газоносных структур группы III переходит из субаквального режима развития в субаэральный в течение возвратной регрессии морского бассейна зырянско-сарганской эпохи. Криогенная толща ряда структур этой группы (равно как и IV и V групп), расположенных в пределах современной акватории, подвержена

термоабразионному размыву, переотложению осадков и их промерзанию.

Криогенная толща газоносных структур I группы в настоящее время не вышла из субаквального морского режима седиментации и промерзания.

Толщи плейстоценовых пород газоносных структур II группы не выходили из пресноводного субаквального режима развития до сих пор.

3. Общие закономерности строения криолитосферы, определенные воздействием экзогенных процессов, испытывают заметные изменения под влиянием локальных эндогенных факторов, связанных с неравнозначным воздействием газовой залежи на вышележащую толщу пород. С одной стороны — из-под купола залежи выделяется мощный тепловой поток, а с другой — подается поток мигрирующего кверху газа. Оба фактора существенно влияют на условия формирования субаквальной мерзлоты, а также как на состояние, строение и мощность криогенной толщи в целом, так и на распределение льдистости пород в конкретных разрезах различных районов Ямала. При оценке этого влияния возникает необходимость разработки новой концепции развития криолитогеоза в толще пород над газовой залежью. 

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бадю Ю.Б.* Криолитогенез в условиях газовых месторождений // В сб. «Проблемы инженерно-геологического обеспечения строительства объектов нефтегазового комплекса в криолитозоне»: материалы научно-производственной конференции. М.: ФГУП ПНИИИС, 2006. С. 47–48.
2. *Бадю Ю.Б.* Криолитологическое районирование и типизация криолитологических условий газоконденсатных месторождений на севере Западной Сибири // В сб. «Проблемы инженерно-геологического обеспечения строительства объектов нефтегазового комплекса в криолитозоне»: материалы научно-производственной конференции. М.: ФГУП ПНИИИС, 2006. С. 119–122.
3. *Бадю Ю.Б.* Мощность мерзлой толщи // Криосфера нефтегазоконденсатных месторождений полуострова Ямал: в 3 т. Т. 1: Харасавейское газоконденсатное месторождение. Тюмень: ООО «ТюменНИИгипрогаз»; СПб.: Недра, 2006. С. 105–112.
4. *Бадю Ю.Б.* Криогенные толщи газоносных структур севера Западной Сибири // Материалы Четвертой конференции геокриологов России. МГУ им. М.В. Ломоносова. Т. 2. Часть 5. М.: Университетская книга, 2011. С. 9–15.
5. *Бадю Ю.Б.* К стратиграфии криогенной толщи севера Западной Сибири // Сборник научных трудов ООО «ТюменНИИгипрогаз». Тюмень: Флат, 2011. С. 24–26.
6. *Бадю Ю.Б.* Криогенная толща газоносных структур севера Западной Сибири — взгляд из будущего // Десятая Международная конференция по мерзлотоведению (ТКСОР): Ресурсы и риски регионов с вечной мерзлотой в меняющемся мире. Т. 3: Статьи на русском языке / под ред. В.П. Мельникова. Тюмень: Печатник, 2012. С. 25–30.
7. *Бадю Ю.Б.* Карты мощности криогенной толщи газоносных структур // Тезисы конф. «Геокриологическое картографирование: проблемы и перспективы». Москва, 5–6 июня 2013 г. Электрон. текст данных. М.: РУДН, 2013.
8. *Бадю Ю.Б.* Влияние газоносных структур на мощность криогенной толщи Ямала // Криосфера Земли. 2014. Т. XVIII. № 3. С. 11–22.
9. *Бадю Ю.Б.* Льдистость пород криогенной толщи газоносных структур северного Ямала // Криосфера Земли. 2015. Т. XIX. № 3. С. 10–19.
10. *Бадю Ю.Б.* Криосистемный анализ газоносных структур Ямала // Акад. журнал Зап. Сибири. 2016. Т. 12. № 2 (63). С. 8–12.
11. *Бадю Ю.Б., Дубиков Г.И., Макогон Ю.Ф.* Строение и свойства криогенной толщи средней части полуострова Ямал // Исследование состава, строения и свойств мерзлых, промерзающих и оттаивающих пород с целью наиболее рационального проектирования и строительства. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1981.
12. *Бадю Ю.Б., Подборный Е.Е.* Особенности криосферы Бованенковского НГКМ // Криосфера нефтегазоконденсатных месторождений полуострова Ямал: в 3 т. Т. 2: Криосфера Бованенковского нефтегазоконденсатного месторождения / под общ. ред. Ю.Б. Бадю, Н.А. Гафарова, Е.Е. Подборного. М.:

- ООО «Газпром Экспо», 2013. С. 391–411.
13. *Богоявленский В.И., Гарагаш И.А.* Обоснование процесса образования кратеров газового выброса в Арктике математическим моделированием // Арктика: экология и экономика. 2015. № 3 (19). С. 12–17.
  14. *Дегтярев Б.В., Истомин В.А., Баду Ю.Б., Врачев В.В.* Методическое руководство по прогнозированию теплового и механического взаимодействия скважин с мерзлыми породами. М.: ВНИИГАЗ, 1987. 95 с.
  15. *Ермилов О.М., Карогодин Ю.Н., Конторович А.Э. и др.* Особенности геологического строения и разработки уникальных залежей газа Крайнего Севера Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004, 141 с.
  16. *Маслов А.Д.* Особенности криодиагенеза морских осадков Арктического шельфа // Криосфера Земли. 2008. Т. XII. № 4. С. 3–14.
  17. *Мельников В.П., Спесивцев В.И.* Инженерно-геологические и геокриологические условия шельфа Баренцева и Карского морей. Новосибирск: Наука, 1995. 198 с.
  18. *Перльштейн Г.З., Сергеев Д.О., Типенко Г.С., Тумской В.Е., Хименков А.Н., Власов А.Н., Мерзляков В.П., Станисловская Ю.В.* Углеводородные газы и криолитозона шельфа Арктики // Арктика: экология и экономика. 2015. № 2 (18). С. 35–44.
  19. *Подборный Е.Е.* Газопроявления в толще мерзлых пород // Криосфера нефтегазоконденсатных месторождений полуострова Ямал: в 3 т. Т. 2: Криосфера Бованенковского нефтегазоконденсатного месторождения / под общ. ред. Ю.Б. Баду, Н.А. Гафарова, Е.Е. Подборного. М.: ООО «Газпром Экспо», 2013. С. 122–146.
  20. *Полозков А.В., Ясагин А.М., Баду Ю.Б.* Техника и технология строительства скважин в многолетнемерзлых породах // Обзор. инф. «Стр-во скважин». М.: ВНИИОЭНГ, 1989. 54 с.
  21. *Попов А.И.* О пликативных дислокациях и криолитолизе в плейстоценовых отложениях Северной Евразии // Развитие криолитозоны Евразии в верхнем кайнозое. М.: Наука, 1985. С. 90–101.
  22. *Попов А.И.* О субмаринном типе криодиагенеза // Инженерная геология. 1991. № 6. С. 49–55.
  23. *Рокос С.И., Костин Д.А., Длугач А.Г.* Свободный газ и многолетняя мерзлота в осадках верхней части разреза мелководных районов шельфа Печорского и Карского морей // Седиментологические процессы и эволюция морских экосистем в условиях морского перигляциала: сборник научных трудов. 2001. С. 40–52.
  24. *Рокос С.И.* Инженерно-геологические особенности приповерхностных зон аномально высокого пластового давления на шельфе Печорского и южной части Карского морей // Инженерная геология. 2008. № 12. С. 22–28.
  25. *Романовский Н.Н.* Основы криогенеза литосферы. М.: МГУ, 1993. 335 с.
  26. *Трофимов В.Т., Баду Ю.Б., Дубиков Г.И.* Криогенное строение и льдистость многолетнемерзлых пород Западно-Сибирской плиты. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1980. 246 с.
  27. *Шполянская Н.А.* Современные проблемы криолитозоны Арктического шельфа // Известия РАН. Серия географическая. 2005. № 1. С. 102–111.
  28. *Шполянская Н.А.* Особенности криолитозоны Западного сектора Арктики в системе шельф — суша // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2010. № 6. С. 58–65.
  29. *Якушев В.С.* Природный газ и газовые гидраты в криолитозоне. М.: Изд-во ВНИИГАЗ, 2009. 192 с.
  30. *Якушев В.С., Перлова Е.В., Махонина Н.А.* Внутримерзлотные газовые и газогидратные скопления в Западной Сибири // Газовые ресурсы России в XXI веке. М.: ВНИИГАЗ, 2003. С. 171–184.

Читаешь старое?  
Подпишись на новое!

[www.geomark.ru](http://www.geomark.ru)



Саморегулируемая организация  
**Ассоциация  
«Инженерные изыскания  
в строительстве»**

**В СРО «АИИС» входят около 2000 организаций из 83 регионов России, а также компании из Белоруссии, Украины, Норвегии, Англии, Турции и США. Среди организаций-участниц АИИС — ведущие отраслевые вузы и университеты, выпускающие специалистов профильных специальностей, крупные российские компании.**

**Ведется выдача свидетельств о допуске к работам по выполнению инженерных изысканий в строительстве, в том числе к работам на особо опасных, технически сложных и уникальных объектах капитального строительства, объектах использования атомной энергии.**

#### **КРУПНЕЙШАЯ ИЗЫСКАТЕЛЬСКАЯ СРО В РОССИИ**

**Документы на вступление в ассоциацию принимаются в исполнительной дирекции в Москве и в филиалах в следующих городах**

**Санкт-Петербург**, Измайловский проспект, дом 4 (комнаты 222, 414).

Тел.: +7 (812) 575-37-85, +7 (921) 316-61-18. E-mail: spb@oaiis.ru.

**Ростов-на-Дону**, ул. Текучева, дом 234, этаж 5, оф. 504.

Тел.: +7 (863) 201-27-57. E-mail: rostov@oaiis.ru.

**Краснодар**, ул. Котовского, дом 42.

Тел.: +7 (861) 216-82-33; факс: +7 (861) 277-31-69. E-mail: krasnodar@oaiis.ru.

**Самара**, ул. Галактионовская, дом 157, оф. 610.

Тел.: +7 (846) 205-76-03. E-mail: samara@oaiis.ru.

**Уфа**, ул. 50 лет СССР, дом 39, б/ц «Промсвязь», этаж 3, каб. 66.

Тел.: +7 (347) 241-53-44. E-mail: ufa@oaiis.ru.

**Пермь**, ул. Куйбышева, дом 52.

Тел.: +7 (342) 239-33-73, 239-31-12. E-mail: perm@oaiis.ru.

**Тюмень**, ул. Луначарского, дом 28.

Тел.: +7 (3452) 42-23-90. E-mail: tumen@oaiis.ru.

**Томск**, ул. Пушкина, дом 40/1.

Тел.: +7 (3822) 66-05-49. E-mail: tomsk@oaiis.ru.

**Владивосток**, ул. Пограничная, дом 15а.

Тел.: +7 (423) 261-32-24. E-mail: dv@oaiis.ru.

**Воронеж**, ул. Солнечная, дом 31а, оф. 401.

Тел.: +7 (473) 269-57-28. E-mail: voronezh@oaiis.ru.

107076, Москва, ул. Электрозаводская, дом 60.

**Тел./факс:** +7 (495) 228-08-68.

**E-mail:** mail@oaiis.ru. **Web:** www.oaiis.ru, www.аиис.рф





ОБЪЕДИНЕНИЕ ПРОФЕССИОНАЛОВ  
ДЛЯ РАЗВИТИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

**СОЮЗ ИЗЫСКАТЕЛЕЙ**  
при поддержке  
Ассоциации "Инженерные изыскания в строительстве" ("АИИС")

## **ПРОДОЛЖАЕТ НАБОР ИЗЫСКАТЕЛЕЙ**

### **СОЮЗ ИЗЫСКАТЕЛЕЙ СОЗДАН**

- ✓ **ДЛЯ ОБЪЕДИНЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ЛИЦ — СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ**
- ✓ **ДЛЯ СОДЕЙСТВИЯ СВОИМ ЧЛЕНАМ В ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ИХ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**
- ✓ **ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ В РФ**

Выступать могут специалисты-исыскатели, работающие в организациях, входящих в любые СРО. Союз изыскателей открыт для вступления аспирантов и студентов в ряды профессионалов в инженерных изысканиях!

**СОЮЗ ИЗЫСКАТЕЛЕЙ: ОБЪЕДИНЯЯ, СОВЕРШЕНСТВУЕМ!**

Ознакомиться с Уставом и Положением о членстве в Союзе изыскателей можно на сайте

[www.np-si.ru](http://www.np-si.ru)

Контактная информация: тел. 8 926 234 21 05 или 8 926 234 22 07; E-mail: [press@np-si.ru](mailto:press@np-si.ru)  
Фактический адрес: г. Москва, ул. Электrozаводская, д. 60