

# ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ, МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЕ И ГРУНТОВЕДЕНИЕ

УДК 624.131.38

## Литологическая и инженерно-геологическая характеристика пород толбачанской свиты в пределах шахтного поля трубки Мир

А.М. Янников<sup>а</sup>, С.А. Янникова<sup>а</sup>, М.Ю. Овчинникова<sup>а, б</sup>, А.Ю. Корепанов<sup>а</sup>

<sup>а</sup>Институт «Якутнипроалмаз» АК АЛРОСА ПАО

678174, Мирный, ул. Ленина, 39, Республика Саха (Якутия).

E-mail: yannikov90@mail.ru

<sup>б</sup>Воронежский государственный университет

394018, Воронеж, Университетская пл., 1.

(Статья поступила в редакцию 17 января 2022 г.)

Толбачанская свита формирует сложные горно-геологические условия отработки коренного месторождения алмазов Мир на глубинах от 1000 до 1400 м от дневной поверхности. Возобновление добычных работ на месторождении требует всестороннего изучения вмещающих пород, особенно в интервалах формирования высоконапорных коллекторов смешанной флюидной насыщенности. Изучение литологических особенностей и определение основных физико-механических параметров свиты производилось в 2020–2021 гг. по стандартным методикам на основе керновых проб, отобранных в процессе бурения опытных скважин. В результате проведенных исследований описаны основные литологические типы пород толбачанской свиты, выполнена стратификация толщи по физико-механическим свойствам. Проведенные исследования позволяют охарактеризовать горно-геологические условия строительства подземных горных выработок, а также спрогнозировать основные негативные факторы, влияющие на ведение горных работ на месторождении.

Ключевые слова: *трубка Мир, толбачанская свита, карбонатные породы, газонасыщенность.*

DOI: 10.17072/psu.geol.21.1.34

### Введение

В результате затопления действующего подземного рудника трубки Мир из-за негативных гидрогеомеханических процессов дальнейшая отработка месторождения связана с возобновлением добычи полезных ископаемых на глубинах 1000–1400 м от дневной поверхности. Изучение литологического состава и определение основных физико-механических характеристик вмещающих пород является важной составляющей определения горно-геологических условий отработки месторождений, т.к. в ходе специализированных исследований определяются основные показатели и параметры, необходимые не только для проектирования, но и для разработки технических решений, направ-

ленных на обеспечение безопасной отработки месторождения. Наибольшее внимание горно-геологическим условиям целесообразно уделять при переходе на подземный способ отработки, требующий существенного повышения детальности проводимых исследований. К таким исследованиям относится литологическое и инженерно-геологическое изучение вмещающих толщ, включающее литолого-фациальную характеристику пород, лабораторные определения их физических и механических свойств, схематизацию и стратификацию отложений по определенным параметрам (Александров и др., 2005). Кроме того, важной задачей является определение газоносности вмещающих кимберлитовую трубку пород, т.к. данный фактор обуславливает отнесение подземного рудни-

ка к опасным по газонефтепроявлениям (Янникова и др., 2021). В связи с этим проходка подземных выработок в мощных карбонатных пластах осуществляется после обустройства массива пород перед забоем выработок опережающими дегазационными скважинами (Дроздов и др., 2008, 2012; Соколов и др., 2012).

Целью представленной статьи является литологическая и инженерно-геологическая характеристика пород толбачанской свиты в пределах шахтного поля месторождения трубка Мир, что необходимо для возобновления отработки месторождения и безопасной проходки системы подземных горных выработок рудника. Достижение поставленной цели осуществлялось при помощи полевого изучения кернового материала, лабораторных определений основных физических и механических свойств пород.

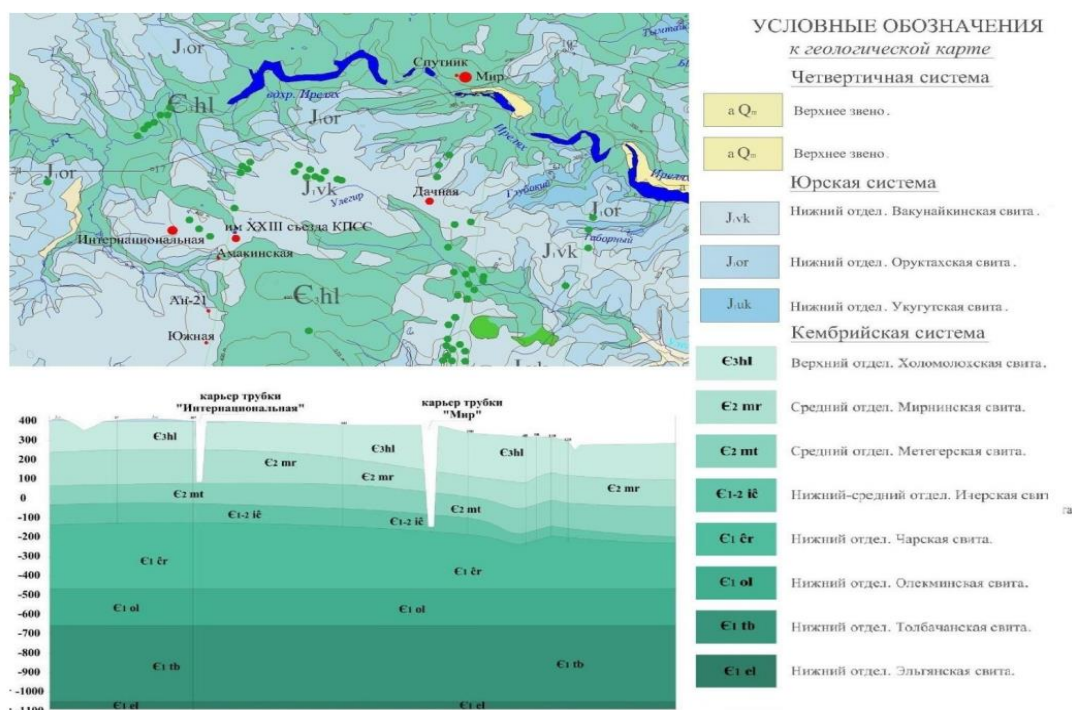
### Характеристика объекта исследований

Трубка Мир – коренное месторождение алмазов, расположенное в пределах Мирнинского кимберлитового поля, относящегося к Якутской алмазоносной провинции. Трубка прорывает субгоризонтально залегающие галогенно-карбонатные и терригенно-

карбонатные отложения нижнего палеозоя. С поверхности она перекрыта маломощной (до 9,2 м) толщей нижнемезозойских отложений (Гидрогеология..., 1970; Харьков и др., 1998; Подчасов и др., 2004). Нижне-среднекембрийские отложения развиты на всей территории Сибирской платформы. Они стратиграфически залегают на вендских образованиях и перекрыты красноцветными породами среднего – верхнего кембрия (Мельников и др., 2009).

В отметках -690/-1300 м вмещающие породы представлены толбачанской, эльгянской, нелбинской и юрегинской свитами. Толбачанская свита (Є1tb) выделена и охарактеризована в 1945 г. А.К. Бобровым (Бодунов и др., 1986). В пределах шахтного поля трубки Мир впервые вскрыта на всю мощность в 2020–2021 гг. опытными скважинами №309 и №310. Скважина №309 расположена на юго-восточном борту карьера Мир, скважина №310 – на северном борту карьера, обе опытные скважины находятся в радиусе 1 км от первой бермы карьера.

Толбачанская свита согласно залегают на породах эльгянской, перекрыта породами олекминской свиты нижнего кембрия. Мощность свиты составляет 360–380 м (рис. 1).



**Рис. 1.** Геологическая карта изучаемого участка (составлена по материалам Ботубинской и Мирнинской ГРЭ) (Янникова, 2019, 2021)

Свита сложена ритмично переслаивающимися пачками карбонатных (известняки, доломиты, известковистые доломиты) и карбонатно-сульфатно-глинистых пород (мергелей, аргиллитов, ангидритов) (Кузнецов и др., 2000).

### Материалы и методы

Изучение кернового материала выполнялось в полевых и лабораторных условиях по стандартным и утверждённым методикам (Акишев и др., 2012; Ваганов, 2000; Коноваленко, 2012). В полевых условиях велось литологическое и инженерно-геологическое описание керновых проб с последующим поинтервальным отбором представительных образцов. Отбиралось по 1 образцу длиной до 0,5 м с интервала в 10 м. В случае, если интервал был сложен несколькими литологическими разностями пород, количество проб соразмерно увеличивалось. В последующем минералогический состав части отобранных проб изучался в прозрачно-полированных шлифах на световом микроскопе. Всего по скважине №309 отобрано 37 проб, а по скважине №310 – 36. Определение физико-механических свойств горных пород выполнялось лабораторией геомеханики института «Якутнипроалмаз» АК АЛРОСА (ПАО).

### Результаты исследований и их обсуждение

*Литолого-фациальные особенности пород толбачанской свиты.* Изучение литологических типов толбачанской свиты и их взаимоотношений необходимо для выяснения степени однородности и возможной изменчивости строения, состава и свойств толщи, так как это оказывает влияние и на физико-механические характеристики пород.

В пределах шахтного поля трубки Мир опытными скважинами №309 и №310 был вскрыт полный разрез толбачанской свиты. Скважина №309 вскрыла отложения свиты в интервале 1033,0–1408,8 м от дневной поверхности (абс. отм. -694,3/-1070,1 м), скважина №310 в интервале 1057,6–1436,5 м от дневной поверхности (абс. отм. -701,7/-1080,6 м). По литологическому признаку свита разделяется на 2 пачки. Верхняя со-

стоит из карбонатных (доломиты) и галогенных (галит, ангидрит) пород. Мощность пачки от 182 м (скважина №309) до 187 м (скважина №310). Нижняя состоит из ритмичного переслаивания карбонатных (доломиты и известняки) и терригенно-карбонатных (мергели) пород. Мощность пачки от 192 м (скважина №310) до 193 м (скважина №309) (рис. 2).

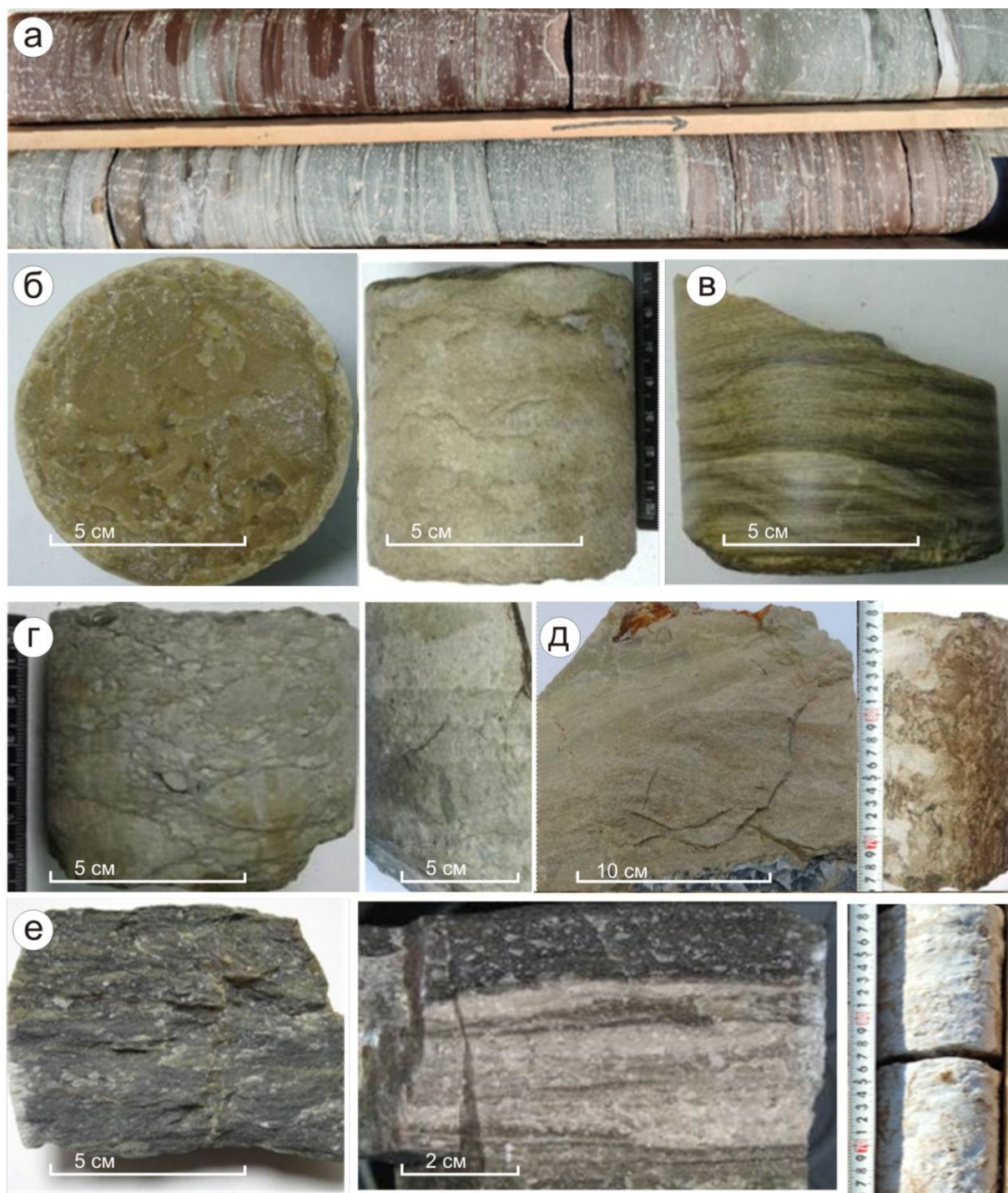
В результате полевых и лабораторных исследований в толще толбачанской свиты были выделены следующие основные литологические разности: каменная соль; ангидриты; пестроцветные мергели различной степени доломитистости; строматолитовые известняки; известняки и доломиты различной степени магниальности и глинистости; доломиты; окремненные доломиты; карбонатные брекчии (рис. 3). Галогенные породы рыжевато-коричневые до бурых, на некоторых участках бежевые и полупрозрачные, средне-крупнокристаллические, с примесью терригенно-карбонатного материала и маломощными прослойками (до 0,07 м) серых доломитов и бурых аргиллитов. В разрезе толбачанской свиты по скважине №309 выделяется 9 пластов каменной соли в интервалах: 1033–1036,2 (-694,3/-697,5); 1038,1–1041,9 (-699,4/-703,2); 1090,6–1096,0 (-751,9/-757,3); 1099,3–1103,0 (-760,6/-764,3); 1104,1–1109,2 (-765,4/-770,5); 1109,2–1118,5 (-770,5/-779,8); 1128,2–1140,2 (-789,5/-801,5); 1142,9–1156,2 (-804,2/-817,5); 1209,5–1215,0 (-870,8/-876,3). По скважине №310 выделяется 8 пластов каменной соли в интервалах: 1057–1060,6 (-701,4/-704,7); 1062,2–1065,7 (-706,3/-709,8); 1114,9–1119,4 (-759/-763,5); 1122,8–1127,8 (-766,9/-771,9); 1129,2–1144,9 (-773,3/-789); 1153,8–1165 (-797,9/-809,1); 1167,4–1180,5 (-811,5/-824,6); 1238,7–1244,2 (-882,8/-888,3). Сравнительная характеристика соленасыщенности представлена в табл. 1. Ангидриты в разрезе представлены отдельными прослоями мощностью от 0,1 до 1,0 м и занимают подчиненное положение. Терригенно-карбонатные породы, как правило, представлены тонко-ритмичными пестроцветными мергелями, реже глинистыми алевролитами, причём мощность ритмов не превышает 3 м. В процентном соотношении терригенно-карбонатные породы составляют порядка 10% разреза.



Рис. 2. Литолого-стратиграфическая колонка, составленная по скв. №309 и №310 в интервале от -690 м до -1670 м

Таблица 1. Соленасыщенность толбачанской свиты в районе трубки Мир (скв. №309 и №310)

№ п/п	Параметр	Скважина №309	Скважина №310
1	Вскрытая мощность свиты, м.	375,0	379,5
2	Суммарная мощность пластов соли, м.	61,3	61,8
3	Соленасыщенность, %	16,3	16,3
4	Количество пластов соли, шт.	9	8
5	Минимальная мощность пласта соли, м.	3,2	3,3
6	Максимальная мощность пласта соли, м.	13,3	15,7



**Рис. 3.** Литологические типы пород толбачанской свиты (скв. №309 и №310): а) доломитовые мергели и глинистые доломиты; б) известняки; в) известняки доломитистые и доломиты известковистые; г) карбонатные брекчии; д) кремнённые доломиты; е) ангидриты и ангидритовые породы

Карбонатные породы занимают доминирующее положение, выделяются как чистые доломиты и строматолитовые известняки, так и разности с различным соотношением Са и Mg. Породы от светло- до темно-коричневато-серых, плотные массивные или слоистые, неравномерно перекристаллизованы, от мелко- до скрытокристаллических.

Чистые доломиты содержат кальцит и глинистую примесь до 5%. В глинистых доломитах содержание примеси до 30%. Выделяются значительные по мощности (до 5–10 м) прослои кремнённых доломитов. Карбонатные брекчии фиксируются только в зонах динамического воздействия разрывных нарушений, связанных с процессами текто-

нической активизации территории на протяжении отдельных периодов. Необходимо отметить, что к подошве свиты начинают преобладать известковистые разности карбонатных пород.

Установлено, что практически все литологические типы пород подвержены эпигенетическим изменениям, менее 10% пород не несут существенных метаморфических или метасоматических изменений. Данный факт объясняется существенным влиянием базитового и ультрабазитового магматизма на вмещающие породы, что обусловлено не только высокими температурами расплавов и многостадийностью (многофазовостью) внедрений, но и последующими гидротермальными процессами и вертикальным массопереносом, в процессе которых происходило насыщение ювенильными флюидами (Колганов и др., 2012). Изменение вмещающих пород связано, прежде всего, со следующими процессами: перекристаллизация (обнаруживается в 49% пород); выщелачивание галита (обнаруживается в 36% пород); доломитизация (обнаруживается в 31% пород); миграция углеводородов (обнаруживается в 11% пород); выщелачивание ангидрита (обнаруживается в 9% пород); окварцевание (обнаруживается в 7% пород); флюоритизация (обнаруживается в 1% пород).

Тектонические и седиментационные условия в бассейне осадконакопления обусловили четкую зональность в составе отложений толбачанского времени. Отложения формировались в условиях обширной соленодной лагуны (Мельников и др., 2009, 2018). Анализ разреза свиты, охарактеризованный образцами из скважин №309 и №310, позволяет говорить о цикличности осадконакопления, проявленной в смене пород в ряду известняк → доломит → каменная соль, обусловленной эвапоритовым типом седиментации. Последовательность нарушается незавершенностью циклов, развитием процессов метасоматической доломитизации, обусловленной миграцией рассолов по геологическому разрезу, а также осложняется периодическим опреснением, проявленным в привносе в бассейн глинистого материала (Мельников, 2009). Отмечено, что доломитизация более масштабна на интервалах разреза с небольшой мощностью флюидоупоров

(мергелей, глинистых доломитов и ангидритов), выщелачивание галита проявляется в доломитах, в том числе пространственно тяготеющих к пластам каменной соли, а окварцевание отмечается чаще всего во вторичных доломитах в 10–20 м ниже пачек каменных солей.

Исходя из литологического состава пород, к хрупкому разрушению под действием сил напряжения и пластовых давлений коллекторов будут склонны именно карбонатные разности разреза, особенно кремнистые и окварцованные разности, приуроченные к вторично доломитизированным строматолитовым известнякам.

*Инженерно-геологические особенности пород толбачанской свиты.* Немаловажным фактором, требующим изучения для безопасного ведения проходческих работ, является определение газоносности и физико-механических свойств вмещающих пород.

В результате проведенных исследований породы толбачанской свиты в пределах шахтного поля трубки Мир могут быть разделены на 11 групп по параметру газоносности. Краткая характеристика выделенных групп представлена в табл. 2. Из осадочных пород наименьшей газоносностью характеризуются галогенные породы (галит и ангидрит).

Наибольшая газоносность соотносится с карбонатными разностями, особенно приуроченным к зонам опережающих разрывных нарушений, характеризующихся повышенным модулем открытой трещиноватости.

Отложения толбачанской свиты в пределах шахтного поля трубки Мир, как отмечалось ранее, представлены галогенно-карбонатными породами, преимущественно: галитом, доломитами, доломитами глинистыми и доломитами известковистыми, реже мергелями и ангидритами. Породы плотные, весьма плотные, крепкие, участками кремнистые. Выход керна 90–100%.

Массив отложений толбачанской свиты по физико-химическим свойствам условно можно разделить на три зоны: верхняя зона по абсолютным отметкам -694/-817 м – галогенно-карбонатная с соленасыщенностью до 50%; средняя зона по абсолютным отметкам -817/-870 м – карбонатная; нижняя зона по абсолютным отметкам -870/-1070 м – карбо-

Таблица 2. Газоносность пород толбачанской свиты

№ группы	Краткое литологическое описание	Газоносность по связанным газам, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>		
		мин.	ср.	макс.
1	Каменная соль		0,03	
2	Ангидрит	0,06	0,07	0,08
3	Доломит ангидритовый	0,06	0,07	0,08
4	Мергель доломитовый и доломит глинистый	0,08	0,11	0,14
5	Известняк строматолитовый	0,09	0,14	0,20
6	Известняк доломитовый	0,08	0,15	0,21
7	Доломит известковый	0,12	0,14	0,16
8	Доломит	0,10	0,13	0,16
9	Доломит перекристаллизованный	0,13	0,19	0,26
10	Галит-доломитовая порода	0,07	0,18	0,25
11	Битуминизированные доломиты	0,07	0,16	0,25

натная с прослоем каменной соли, мощностью порядка 6 м.

По степени трещиноватости породы в верхней зоне сильнотрещиноватые (класс трещиноватости III, IV и V) за счёт засоления по трещинам и расланцевания и практически слабо трещиноватые в нижней зоне, но за счёт переслаивания с глинистыми разностями различной мощности прочность массива ослабевает.

По результатам механических испытаний, отложения характеризуются высокими прочностными свойствами. Наиболее прочными породами являются карбонатные разности – доломиты и известняки. Результаты испытаний приведены в табл. 3 и 4. Величина прочности на сжатие колеблется в пределах от 12 МПа до 146 МПа. Средние величины прочности на сжатие для доломитов – 69,2 МПа. Значение прочности на растяжение в породах толбачанской свиты варьирует в пределах от 2,6 МПа до 11,4 МПа. Средние величины прочности на растяжение для доломитов – 6,8 МПа. Каменная соль (галит) характеризуется низкими прочностными свойствами: предел прочности при одноосном сжатии варьирует в пределах от 12,2 до 27,5 МПа (среднее значение – 18,4 МПа); предел прочности при растяжении от 0,72 до 0,94 МПа (среднее – 0,83 МПа).

Средние величины объёмной и удельной масс карбонатных разностей мало чем отличаются друг от друга. Общая пористость ва-

рьирует в пределах от 1,5 до 15,5%. Повышенные средние величины общей пористости отмечаются в доломитах (12–13%) и доломитах окремненных (15,5%). Для доломитов известковистых средняя величина общей пористости составляет 7,2–8,4%.

## Выводы

Проведённые исследования позволяют сделать вывод о сложных горно-геологических условиях отработки месторождения трубки Мир в интервале толбачанской свиты. В результате выполненных работ породы изучаемой свиты были разделены не только по литологическим признакам, но и по параметру газоносности на 11 групп.

Было установлено, что практически все литологические типы пород были подвержены эпигенетическим изменениям, менее 10% пород не несли существенных метаморфогенных или метасоматических изменений. Из осадочных пород наименьшей газоносностью характеризуются галогенные породы. Наибольшая газоносность характерна карбонатным трещиноватым разностям в зонах опережающих разрывных нарушений.

Инженерно-геологическое изучение пород толбачанской свиты позволило выделить и охарактеризовать три отличных зоны. По степени трещиноватости породы сильно трещиноватые в верхней зоне (класс трещиноватости III, IV и V) и практически слабо

**Таблица 3.** Средние значения физических свойств основных литологических разностей нижнепалеозойских отложений толбачанской свиты в районе трубки Мир

Литологические разности	Влажность, %	Объёмная масса, г/см <sup>3</sup>	Удельная масса, г/см <sup>3</sup>	Общая пористость, %
<i>Толбачанская свита</i>				
Карбонатные и терригенно-карбонатные n=152	<u>0,19–4,19</u> <b>1,56</b>	<u>2,53–2,82</u> <b>2,67</b>	<u>2,73–2,93</u> <b>2,84</b>	<u>3,4–15,5</u> <b>7,4</b>
Каменная соль (галит) n=10	<u>0,65–1,13</u> <b>0,83</b>	<u>2,14–2,16</u> <b>2,15</b>		
<i>Характеристика зон массива отложений толбачанской свиты по скважинам №309 и №310:</i>				
Верхняя зона -694/-817 м	<u>0,12–1,74</u> <b>0,87</b>	<u>2,14–2,91</u> <b>2,49</b>	<u>2,80–2,98</u> <b>2,89</b>	<u>1,3–10,6</u> <b>6,2</b>
Средняя зона -817/-870 м	<u>0,69–21,13</u> <b>0,95</b>	<u>2,15–2,77</u> <b>2,53</b>	<u>2,83–2,89</u> <b>2,86</b>	<u>3,7–13,52</u> <b>8,9</b>
Нижняя зона -870/-1070 м	<u>0,18–4,19</u> <b>1,51</b>	<u>2,63–2,84</u> <b>2,65</b>	<u>2,68–3,06</u> <b>2,85</b>	<u>1,2–16,1</u> <b>7,48</b>

**Таблица 4.** Средние значения прочностных свойств основных литологических разностей нижнепалеозойских отложений толбачанской свиты в районе трубки Мир

Литологические разности	Предел прочности при одноосном сжатии, МПа	Предел прочности при растяжении, МПа	Угол внутреннего трения, град,	Условное сцепление, МПа
<i>Толбачанская свита</i>				
Карбонатные и терригенно-карбонатные n=152	<u>12,0–146,0</u> <b>69,2</b>	<u>2,6–11,4</u> <b>6,8</b>	<u>28,6–39,8</u> <b>36,7</b>	<u>10,9–27,1</u> <b>19,6</b>
Каменная соль (галит) n=10	<u>12,2–27,5</u> <b>18,4</b>	<u>0,7–0,9</u> <b>0,8</b>		
<i>Характеристика зон массива отложений толбачанской свиты по скважинам №309 и №310:</i>				
Верхняя зона -694/-817 м	<u>34,2–56,6</u> <b>45,1</b>	<u>4,1–6,5</u> <b>5,4</b>	<u>28,6–43,1</u> <b>37,3</b>	<u>6,9–22,1</u> <b>16,6</b>
Средняя зона -817/-870 м	<u>45,5–78,4</u> <b>58,9</b>	<u>5,4–8,0</u> <b>6,8</b>	<u>35,0–39,8</u> <b>37,3</b>	<u>17,6–23,0</u> <b>20,7</b>
Нижняя зона -870/-1070 м	<u>48,8–85,5</u> <b>64,8</b>	<u>5,1–7,6</u> <b>6,3</b>	<u>34,1–39,6</u> <b>37,2</b>	<u>12,3–27,1</u> <b>18,2</b>

трещиноватые в нижней зоне, но за счёт переслаивания с глинистыми разностями различной мощности прочность массива ослабевает. По результатам механических испытаний, отложения характеризуются высокими прочностными свойствами. Наиболее прочными породами являются карбонатные разности – доломиты и известняки. К хрупкому разрушению под действием сил напряжения и пластовых давлений коллекторов будут склонны окремнённые и окварцованные разности, приуроченные к вторично до-

ломитизированным строматолитовым известнякам.

Результаты исследований, представленные в данной статье, будут использованы для проектирования и нахождения технических решений, направленных на обеспечение безопасных условий отработки трубки Мир в интервале толбачанской свиты.

#### Библиографический список

Акишев А.Н., Зырянов И.В., Шубин Г.В., Тарасов П.И., Журавлев А.Г. Техничко-техно-



ческий комплекс для доработки запасов на глубинных горизонтах алмазорудных карьеров // Горный журнал. 2012. № 12. С. 39–43.

Акишев А.Н., Лель Ю.И., Глебов И.А. Инновационная технология вскрытия и разработки глубоких кимберлитовых карьеров // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле? 2019. № 3. С. 111–123. DOI: 10.25635/IM.2019.87.37803

Александров И.Н., Шмырко А.Н., Шубин Г.В., Кирюшин Д.И. Создание безопасных условий отработки сверхглубоких карьеров Якутии (на примере доработки карьера трубки «Удачная»). Новосибирск: Наука, 2005. 180 с.

Бодунов Е.И., Белецкий В.Л., Фрадкин Г.С. Геология, гидрогеология и геохимия нефти и газа южного склона Анабарской антеклизы. Якутск: Изд. ЯФ СО АН СССР, 1986. 176 с.

Ваганов В.И., Голубев Ю.К., Минорин В.Е. Оценка и разведка коренных месторождений алмазов. М.: ЦНИГРИ, 2000. 196 с.

Гидрогеология СССР. Т. 20. Якутская АССР. М.: Недра, 1970. 384 с.

Дроздов А.В., Иост Н.А., Лобанов В.В. Криогидрогеология алмазных месторождений Западной Якутии. Иркутск: Изд-во ИГТУ, 2008. 507 с.

Дроздов А.В., Крамсков Н.П., Дойников Ю.А., Сороченко М.К. К вопросу о предотвращении газодинамических явлений при проходке горных выработок на руднике «Удачный» // Горный журнал? 2012. № 12. С. 27–20.

Колганов В.Ф., Акишев А.Н., Дроздов А.В. Горно-геологические особенности коренных месторождений алмазов Якутии. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015. 576 с.

Коноваленко В.А. Справочник физико-механических свойств горных пород алмазных месторождений Якутии. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. 276 с.

Кузнецов В.Г., Илюхин Л.Н., Постникова О.В., Бакина В.В., Горина А.Б., Дмитриевский С.А., Скобелева Н.М., Тихомирова Г.И., Сухы В., Фомичева Л.П. Древние карбонатные

толщи Восточной Сибири и их нефтегазоносность. Москва: «Научный мир», 2000. 104 с.

Мельников Н.В., Асташкин В.А., Килина В.И., Шишкин Б.Б. Палеогеография Сибирской платформы в раннем кембрии // Палеогеография фанерозоя Сибири. Новосибирск, 1989. С. 10–17.

Мельников Н.В. Венд-кембрийский соленосный бассейн Сибирской платформы (Стратиграфия, история развития). Новосибирск: СО РАН, 2018. 148 с.

Подчасов В.М., Минорин В.Е., Богатых И.Я., Голубев Ю.К., Граханов С.А., Кривonos В.Ф., Подвысоцкий В.Т., Харьков А.Д., Эринчек Ю.М., Ягнышев Б.С. Геология, прогнозирование, методика поисков, оценки и разведки коренных месторождений алмазов. Книга 1. Коренные месторождения. Якутск: ЯФ ГУ «Издательство СО РАН», 2004. 548 с.

Соколов И.В., Антипин Ю.Г., Никитин И.В. Принципы формирования и критерий оценки геотехнологической стратегии освоения переходных зон рудных месторождений подземным способом // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2017. № 9. С. 151–160. DOI: 10.25018/0236-1493-2017-9-0-151-160

Харьков А.Д., Зинчук Н.Н., Крючков А.И. Коренные месторождения алмазов мира. М.: Недра, 1998. 555 с.

Янников А.М. Гидрогеология глубоких горизонтов вмещающих толщ трубки «Интернациональная» (республика Саха (Якутия)): автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Институт земной коры СО РАН. Иркутск, 2019. 20 с.

Янников А.М. Гидрогеология Мирнинского кимберлитового поля (республика Саха (Якутия)). Под общ. ред. А.В. Толстова. Мирный: АЛРОСА, 2021. 238 с.

Янникова С.А., Янников А.М. Газодинамическая характеристика вмещающих пород глубоких горизонтов шахтного поля трубки Мир // Науки о Земле и недропользование, 2021. № 3. С. 293–300. DOI: 10.21285/2686-9993-2021-44-3-293-300

## Lithological and Engineering-Geological Characteristics of the Rocks of the Tolbachan Formation within the Mir Pipe Field

A.M. Yannikov<sup>a</sup>, S.A. Yannikova<sup>a</sup>, M.Yu. Ovchinnikova<sup>a, b</sup>, A.Yu. Korepanov<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Institute Yakutniproalmaz PJSC ALROSA

39 Lenina Str., Mirnyy, Republic of Sakha (Yakutia) 678174, Russia

E-mail: yannikov90@mail.ru

<sup>b</sup>Voronezh State University 1 Universitetskaya Sqr., Voronezh 394018, Russia

The Tolbachan suite presents the complex mining and geological conditions for development the Mir primary diamond deposit at depths of 1000 to 1400 meters. The resumption of mining operations at the field requires a comprehensive study of host rocks, especially in the formation intervals of high-pressure reservoirs of mixed fluid saturation. The study of lithological features and determination of the main physical and mechanical parameters of the formation were carried out in 2020–2021 using standard methods based on core samples of experimental wells. As a result of the studies, the main lithological types of rocks of the Tolbachan Formation were described, and the stratification of the strata according to physical and mechanical properties was performed. The conducted studies allow characterizing the mining and geological conditions for the construction of underground mine workings, as well as to predict the main negative factors affecting the mining operations at the deposit.

Key words: *Mir pipe; Tolbachan suite; carbonate rocks; gas saturation.*

## References

- Akishev A.N., Zyryanov I.V., Shubin G.V., Tarasov P.I., Zhuravlev A.G.* 2012. Tekhniko-tekhnologicheskii kompleks dlya dorabotki zapasov na glubinnnykh gorizontakh almazorudnykh karyerov [Technical and technological complex for refining reserves at deep horizons of diamond ore quarries]. *Gornyi zhurnal*. 12:39–43. (in Russian)
- Akishev A.N., Lel Yu.I., Glebov I.A.* 2019. Innovatsionnaya tekhnologiya vskrytiya i razrabotki glubokikh kimberlitovykh karyerov [Innovation technology of recovering and development of deep kimberlite quarries]. *Izvestiya Tulsogo gosudarstvennogo univ. Nauki o Zemle*. 3:111–123. doi: 10.25635/IM.2019.87.37803 (In Russian)
- Aleksandrov I.N., Shmyrko A.N., Shubin G.V., Kiryushin D.I.* 2005. Sozdanie bezopasnykh usloviy otrabotki sverkhglubokikh karyerov Yakutii (na primere dorabotki karera trubki «Udachnaya») [Development of safe operation conditions for super deep qarries]. Novosibirsk, Nauka. p. 180. (in Russian)
- Bodunov E. I., Beletskii V. L., Fradkin G. S.* 1986. Geologiya, gidrogeologiya i geokhimiya nefiti i gaza yuzhnogo sklona Anabarskoi antiklizi [Geology, hydrogeology and geochemistry of oil and gas on the southern slope of the Anabar anticline]. Yakutsk, Izd. YaF SO AN SSSR. p 176. (In Russian)
- Vaganov V.I., Golubev Yu.K., Minorin V.E.* 2000. Otsenka i razvedka korennykh mestorozhdeniy almazov [Evaluation and exploration of primary diamond deposits]. Moskva, TsNIGRI. p 196. (in Russian)
- Gidrogeologiya SSSR. Tom XX. Yakutskaya ASSR.* [Hydrogeology of the USSR. Volume XX. Yakut ASSR]. Moscow, Nedra, 1970, p. 384. (in Russian)
- Drozdov A.V., Iost N.A., Lobanov V.V.* 2008. Kriogidrogeologiya almaznykh mestorozhdeniy Zapadnoy Yakutii [Cryohydrogeology of diamond deposits in Western Yakutia]. Irkutsk, Izd. IGTU, p 507. (in Russian)
- Drozdov A.V., Kramskov N.P., Doinikov Yu.A., Sorochenko M.K.* 2012. K voprosu o predotvrashchenii gazodinamicheskikh yavleniy pri prokhodke gornykh vyrabotok na rudnike «Udachnyi» [On the issue of preventing gas-dynamic phenomena during tunneling at the Udachnyy mine]. *Gornyy zhurnal*. 12:27–20. (in Russian)
- Kolganov V.F., Akishev A.N., Drozdov A.V.* 2015. Gorno-geologicheskie osobennosti korennykh mestorozhdeniy almazov Yakutii [Mining and geological features of primary diamond deposits in Yakutia]. LAP LAMBERT Academic Publishing. p. 576 (in Russian)
- Konovalenko V.A.* 2012. Spravochnik fiziko-mekhanicheskikh svoystv gornykh porod almaznykh mestorozhdeniy Yakutii [Handbook of physical and mechanical properties of rocks of diamond deposits in Yakutia]. Novosibirsk, Izd. SO RAN, p. 276. (in Russian)
- Kuznetsov V.G., Ilyukhin L.N., Postnikova O.V., Bakina V.V., Gorina A.B., Dmitrievskiy S.A., Skobeleva N.M., Tikhomirova G.I., Sukhy V., Fomichesva L.P.* 2000. Drevnie karbonatnye tolshchi Vostochnoy Sibiri i ikh neftegazonosnost [Ancient carbonate strata of Eastern Siberia and their oil and gas potential.]. Moskva, Nauchnyi mir, p. 104. (in Russian)
- Melnikov N.V., Astashkin V.A., Kilina V.I., Shishkin B.B.* 1989. Paleogeografiya Sibirskoy platformy v rannem kembrii [Paleogeography of the Siberian Platform in the Early Cambrian]. In: Paleogeografiya fanerozoia Sibiri. Novosibirsk, pp. 10–17. (in Russian)
- Melnikov N.V.* 2018. Vend-kembriiskiy solenosnyy basseyn Sibirskoy platformy (Stratigrafiya, istoriya razvitiya) [Vendian-Cambrian saline basin of the Siberian platform (Stratigraphy, history of development).] Novosibirs, SO RAN, p. 148. (in Russian)
- Podchasov V.M., Minorin V.E., Bogatykh I.Ya., Golubev Yu.K., Grakhanov S.A., Krivonos V.F., Podvysotskii V.T., Kharkiv A.D., Erinchek Yu.M., Yagnyshev B.S.* 2004. Geologiya, prognozirovanie, metodika poiskov, otsenki i razvedki korennykh mestorozhdeniy almazov. Kniga 1. Korennyye mestorozhdeniya [Geology, forecasting, methods of prospecting, evaluation and exploration of primary dia-

mond deposits. Book 1. Primary deposits]. Yakutsk, YaF GU, SO RAN, p. 548. (in Russian)

*Sokolov I.V., Antipin Yu.G., Nikitin I.V.* 2017. Printsipy formirovaniya i kriterii otsenki geotekhnologicheskoy strategii osvoeniya perekhodnykh zon rudnykh mestorozhdeniy podzemnym sposobom [Principles of formation and evaluation criterion of the geotechnological strategy for the development of transition zones of ore deposits by underground method]. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal). 9:151–160. doi: 10.25018/0236-1493-2017-9-0-151-160 (in Russian)

*Kharkiv A.D., Zinchuk N.N., Kryuchkov A.I.* 1998. Korennye mestorozhdeniyaalmazov mira [Primary diamond deposits of the world]. Moskva, Nedra, p. 555. (in Russian)

*Yannikov A.M.* 2019. Gidrogeologiya glubokikh gorizontov vmeshchayushchikh tolshch trubki «In-

ternatsional'naya» (respublika Sakha (Yakutiya)) [Hydrogeology of deep horizons of the host strata of the pipe Mezhdunarodnaya (Republic Sakha (Yakutia))]. Dis. cand geol.-min. nauk. Institut zemnoi kory SO RAN. Irkutsk. (in Russian)

*Yannikov A.M.* 2021. Gidrogeologiya Mirninskogo kimberlitovogo polya (respublika Sakha (Yakutiya)) [Hydrogeology of the Mirnyy kimberlite field (Republic of Sakha (Yakutia)). Ed. A.V. Tolstov. Mirnyy, ALROSA, p. 238. (in Russian)

*Yannikova S.A., Yannikov A.M.* 2021. Gazodinamicheskaya kharakteristika vmeshchayushchikh porod glubokikh gorizontov shakhtnogo polya trubki Mir [Gas-dynamic characteristics of host rocks of deep horizons of the Mir pipe mining field]. Nauki o Zemle i nedropolzovanie. 3:293–300. doi: 10.21285/2686-9993-2021-44-3-293-300 (in Russian)