

Изменение гидрогеологических характеристик толбачанской свиты в пределах шахтных полей трубок «Мир» и «Интернациональная»

Алексей Михайлович ЯННИКОВ^{1*}

Светлана Александровна ЯННИКОВА^{1,2}

¹Институт «Якутнипроалмаз» ПАО АК АПРОСА, Мирный, Республика Саха (Якутия), Россия

²Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия

Аннотация

Актуальность. Толбачанская свита формирует гидрогеологические условия отработки глубоких горизонтов коренных месторождений алмазов Мирнинского кимберлитового поля. Коллекторы толбачанской свиты формируют более 60 % притока насыщенных природных хлоридно-кальциевых рассолов и более 80 % от объема выделения углеводородных газов в пределах шахтных полей трубок «Мир» и «Интернациональная».

Цель работы – сравнение гидрогеологических условий в пределах шахтных полей трубок «Интернациональная» и «Мир» для выявления закономерностей изменения основных гидрогеологических характеристик, используемых в проектировании подземных горных выработок.

Методология исследования. Изучение гидрогеологических условий в интервале коллекторов толбачанской свиты выполнялось при бурении скважин различного назначения. Определение основных фильтрационных параметров осуществлялось по общепринятым методикам динамики подземных вод. Для дополнительной стратификации разреза и выделения проницаемых интервалов было выполнено поинтервальное определение расходов пластовых флюидов с применением пакерных установок и пластоиспытателей. Дополнительно по части скважин был выполнен газовый каротаж.

Результаты. В интервале толбачанской свиты трубки «Мир» число пластов-коллекторов сложной флюидной насыщенности увеличивается до 17. Также отмечается увеличение мощности обводненной толщи и значения коэффициента водопроницаемости.

Заключение. Отличия гидрогеологических условий в отметках толбачанской свиты относительно трубки «Интернациональная» потребуют при отработке месторождения трубки «Мир» сооружения более сложной системы опережающей дегазации, а также применения обсадных и фильтровых колонн, обеспечивающих беспрепятственную разгрузку массива без создания дополнительных зон, характеризующихся пониженной проницаемостью или способных обеспечивать дополнительную пригрузку дегазируемого массива.

Ключевые слова: Сибирская платформа, Мирнинское кимберлитовое поле, трубка «Интернациональная», трубка «Мир», толбачанский водоносный комплекс, карбонатные коллекторы.

Введение

Уникальные параметры алмазоносности трубок «Интернациональная» и «Мир» делают рентабельной их отработку до глубин, превышающих 1000 м от дневной поверхности. Ведение добычных работ на таких глубинах, как правило, возможно только подземным способом. Отработка глубоких горизонтов месторождений сопряжена с серьезными проблемами промышленной безопасности, связанными с возможными гидродинамическими процессами, притоками подземных флюидов, обладающими высокими напорами [1]. Поэтому при подземном способе отработки необходимо изучение гидрогеологических характеристик вмещающих пород, так как недостаточная степень изученности горно-геологических условий создает угрозу принятия неверных управленческих решений и, как следствие, применение неоптимальных технологических схем добычи.

Потенциальные проблемы при добыче полезных ископаемых шахтным способом включают: чрезмерный приток грунтовых вод в шахту, провалы грунта [2], воз-

действие горизонтальных напряжений и другие неблагоприятные последствия [3, 4].

Вмещающие породы рассматриваемых месторождений в интервале глубин 1000–1400 м представлены карбонатными, галогенными и терригенно-карбонатными разностями нижнекембрийских отложений, объединяемых в толбачанскую свиту.

В настоящее время добыча полезных ископаемых на месторождении трубки «Интернациональная» ведется на глубинах свыше 1200 м от дневной поверхности. В результате гидрогеологических наблюдений на месторождении в период 2006–2018 гг. были выделены основные характеристики толбачанской свиты, осложняющие подземную отработку, такие как наличие коллекторов, насыщенных природными рассолами, нефтями и мальтами, а также содержащих углеводородные газы [5, 6].

При возобновлении добычных работ на месторождении трубки «Мир» необходимо учитывать изменения гидрогеологических характеристик по сравнению с место-

✉ yannikov90@mail.ru

рождением трубки «Интернациональная» как при проектировании системы подземных горных выработок, так и при ведении проходческих и добычных работ в интервале толбачанской свиты.

Характеристика объекта исследования

Трубки «Мир» и «Интернациональная» – крупные коренные месторождения алмазов, расположенные в пределах Мирнинского кимберлитового поля Якутской алмазодобывающей провинции. Трубки прорывают субгоризонтально залегающие галогенно-карбонатные и терригенно-карбонатные отложения нижнего палеозоя. С поверхности они перекрыты маломощной (до 9,2 м) толщей нижнемезозойских отложений. Вмещающими породами месторождений в интервале глубин 1000–1400 м являются нижнекембрийские отложения, объединяемые в толбачанскую свиту, согласно залегающую на породах эльгянской и перекрытую породами олекминской свиты нижнего кембрия. Мощность свиты составляет 360–380 м [7–9].

Литологический состав толбачанской свиты в пределах шахтных полей трубок «Мир» и «Интернациональная» по основным литотипам идентичен. Свита представлена карбонатными, терригенно-карбонатными, а в верхней части толщи – галогенно-карбонатными отложениями. Для разреза характерно переслаивание ангидритов, доломитов в различной степени пелитоморфности с подчиненными прослоями доломитов известковистых, доломитов глинистых, участками окремненных с ангидритом; известняков, известняков доломитизированных, глинистых, с подчиненными прослоями мергелей.

Выделяемый в рамках толбачанской свиты толбачанский газодобывающий комплекс, как правило, состоит из 15–17 коллекторов. Несмотря на высокие показатели пластовых давлений, в целом комплекс характеризуется незначительной водообильностью, например, суммарный приток природных рассолов к системе опережающей дегазации рудника «Интернациональный» за всю историю наблюдений (более 7 лет) не превышал 5 м³/ч. По химическому составу воды комплекса хлоридно-кальциевые с минерализацией до 520 г/л [5, 6].

Материалы и методы

Изучение гидрогеологических условий в интервале коллекторов толбачанской свиты в пределах шахтных полей трубок «Интернациональная» и «Мир» выполнялось при бурении скважин различного назначения. Определение основных фильтрационных параметров проводилось по общепринятым методикам динамики подземных вод [10], как правило, на стадии проведения опытных откачек. Для дополнительной стратификации разреза и выделения проницаемых интервалов при бурении опытных скважин было выполнено поинтервальное определение расходов пластовых флюидов с применением пакерных установок и пластоиспытателей. Произведен отбор проб газов и природных рассолов для определения их химического состава. Дополнительно для выделения газонасыщенных пластов по скважинам был выполнен газовый каротаж, позволяющий определить количество углеводородных газов в пластах [11–13].

Гидрогеологическая характеристика толбачанской свиты в пределах шахтного поля трубки «Интернацио-

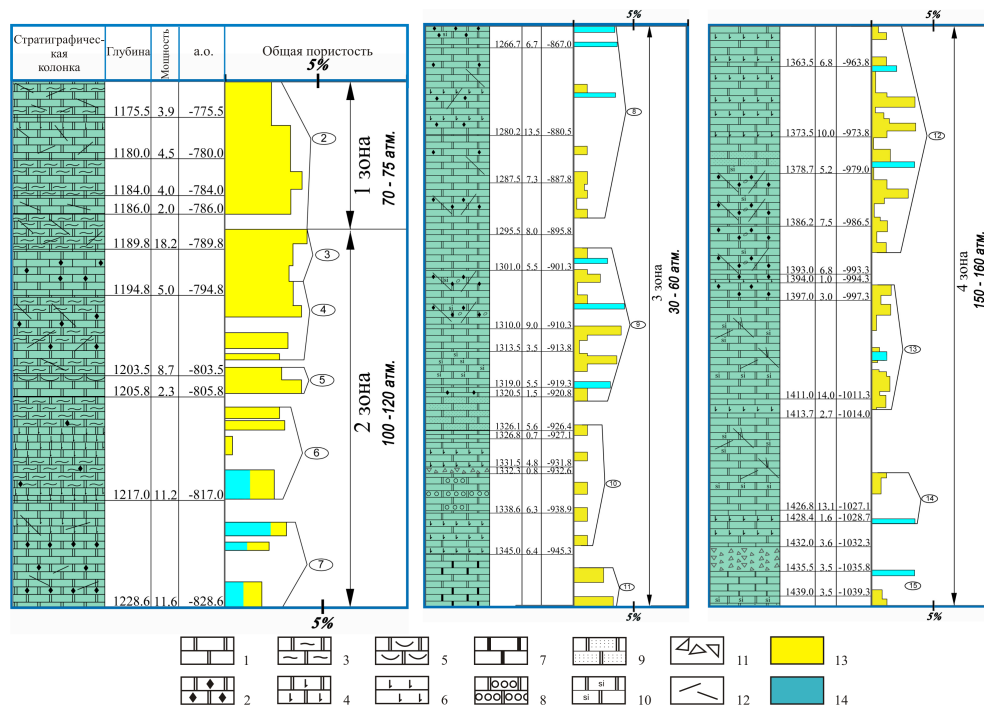


Рисунок 1. Сводная схема коллекторов толбачанской свиты трубки «Интернациональная»: 1 – доломиты; 2 – доломиты известковистые; 3 – известняки глинистые; 4 – доломиты ангидритистые; 5 – доломиты органогенно-обломочные; 6 – ангидриты; 7 – известняки доломитистые; 8 – доломиты запесоченные; 9 – доломиты алевритистые; 10 – окремненные доломиты; 11 – карбонатные брекчии; 12 – зоны трещиноватости; 13 – газ; 14 – вода

Figure 1. Consolidated scheme of reservoirs of the Tolbachanskaya suite of the pipe Internatsionalnaya: 1 – dolomites; 2 – calcareous dolomites; 3 – clayey limestones; 4 – anhydrite dolomites; 5 – organogenic-detrital dolomites; 6 – anhydrites; 7 – dolomitic limestones; 8 – sandy dolomites; 9 – silty dolomites; 10 – silicified dolomites; 11 – carbonate breccias; 12 – fracture zones; 13 – gas; 14 – water

нальная» выполнена по материалам, полученным в процессе бурения опытных скважин № 306 и № 307, а также сети скважин различного назначения, сооруженных из подземных горных выработок рудника.

Гидрогеологические условия месторождения трубки «Мир» в отметках залегания пород толбачанской свиты были изучены в процессе бурения скважин № 309 (юго-восточный борт карьера) и № 310 (северный борт карьера), обе опытные скважины находятся в радиусе 1 км от первой бермы карьера. Необходимо подчеркнуть, что в процессе выполненных исследований была получена новая информация, так как ранее скважин, находящихся

в пределах шахтного поля и вскрывающих толбачанскую свиту на всю глубину, не бурилось.

Результаты и их обсуждение

Месторождение трубки «Интернациональная». В результате качественной интерпретации и апробации проведенных исследований по указанным скважинам (ГИС и постановки пластоиспытателей) в породах толбачанской свиты всего было выделено 4 зоны, состоящих из 15 коллекторов, из которых 8 – рассолосодержащие (№ 6, 7, 8, 9, 12, 13, 14, 15) (рис. 1). Каждая выделенная зона характеризуется сложным строением и состоит из нескольких характеристических интервалов, подробно рассмотренных в работах [5, 6].

Таблица 1. Характеристика коллекторов толбачанской свиты в пределах шахтного поля трубки «Интернациональная»
Table 1. Characteristics of reservoirs of the Tolbachanskaya suite within the mine field of the pipe Internatsionalnaya

Номер коллектора	Интервал, м	Мощность, м	Литология, пористость $K_{п.общ}, \%$	Номер коллектора	Интервал, м	Мощность, м	Литология, пористость $K_{п.общ}, \%$
Скважина № 306				Скважина № 307			
<i>Толбачанская свита (Є, tb)</i>							
				1	1175.0–1177.0 –775,3/–777,3*	2.0** 2,0	Доломиты*** 2,7
2	1175.7–1189.8 –775,7/–789,8*	14.1** 14,1	Доломиты*** 6,1	2	1195.0–1197.5 –795,3/–797,8	2.5 2,5	Доломиты 2,4
3	1189.8–1194.8 –789,8/–794,8	5.0 5,0	Доломиты 5,3	3	1198.5–1200.0 –798,8/–800,3	1.5 1,5	Доломиты 3,6
4	1194.8–1202.3 –794,8/–801,2	7.5 5,5	Доломиты 5,6	4	1211.8–1213.0 –812,1/–813,3	1.2 1,2	Доломиты 11,6
5	1203.0–1205.5 –803,0/–805,5	2.5 2,5	Доломиты 4,2	5	1221.0–1225.5 –821,3/–825,8	4.5 4,5	Доломиты 5,8
6	1206.8–1215.6 –805,7/–814,5	8.8 7,0	Доломиты 4,8	6	1237.8–1238.8 –838,1/–839,1	1.0 1,0	Доломиты 11,7
7	1217.8–1225.9 –816,7/–824,8	8.1 4,5	Доломиты 5,4	7	1243.0–1244.4 –843,3/–844,4	1.4 1,4	Доломиты 11,3
8	1242.5–1267.1 –841,4/–866,0	24.6 20,0	Доломиты 5,3	8	1264.0–1292.0 –864,3/–892,3	28.0 12,9	Доломиты 7,4
9	1269.0–1290.3 –867,9/–889,2	21.3 13,8	Доломиты 5,2	9	1296.5–1321.8 –896,8/–922,1	25.3 18,1	Доломиты 7,0
10	1295.4–1298.8 –894,3/–897,7	3.4 2,4	Доломиты 4,1	10	1324.5–1345.0 –924,8/–945,3	20.5 12,0	Доломиты 3,6
11	1309.2–1313.8 –908,1/–912,7	4.6 2,2	Доломиты 4,0	11	1347.0–1354.5 –947,3/–954,8	7.5 5,0	Доломиты 6,4
12	1331.7–1346.2 –930,6/–945,1	14.5 6,3	Доломиты 4,7	12	1359.0–1390.5 –959,3/–990,8	31.5 29,0	Доломиты 4,7
13	1353.0–1356.8 –951,9/–955,7	3.8 3,8	Доломиты 3,2	13	1395.0–1412.0 –995,3/–1012,3	17.0 13,0	Доломиты 4,6
14	1359.4–1376.8 –958,3/–975,7	17.4 3,9	Доломиты 5,2	14	1422.0–1429.0 –1022,3/–1029,3	7.0 3,7	Доломиты 6,5
15	1394.5–1406.5 –973,4/–1005,4	32.0 4,9	Доломиты 6,7	15	1435.6–1440.0 –1035,9/–1040,3	4.4 2,8	Доломиты 6,5

Примечание: *знаменатель – абсолютная отметка; **числитель – суммарная мощность, знаменатель – эффективная; *** – числитель – литология, знаменатель – пористость.

Зона № 1 сложена пластами каменных солей и подчиненных (менее мощных) слоев доломитов. На этом интервале во вмещающих породах выделяются газонасыщенные коллекторы № 1 и № 2. Зона № 2 сложена известняками органогенными и доломитами с маломощными прослоями солей. На этом интервале во вмещающих породах выделяются коллекторы № 3, 4, 5, 6, 7. Зона № 3 состоит из неравномерного переслаивания карбонатных пород. На этом интервале во вмещающих породах выделяются коллекторы № 8, 9, 10, 11. Зона № 4 представлена преимущественно доломитами известковистыми, известняками доломитовыми и маломощными прослоями доломитов глинистых. На этом интервале во вмещающих породах выделяются коллекторы № 12, 13, 14, 15.

Эффективная мощность водонасыщенных коллекторов от 2,0 до 20,0 м. Породы в интервале коллекторов представлены доломитами тонко-мелкозернистыми темно-коричневого цвета, слаботрещинистыми. Каждый коллектор содержит от 3 до 10 проницаемых пластов-коллекторов, разделенных между собой глинистыми доломитами, доломито-ангидритами. Мощность пропластов-коллекторов от 0,6 до 4,5 м (табл. 1). Тип пористости – межзерновой и кавернозно-межзерновой. Коэффициент общей пористости варьирует от 3,7 до 6,8 %. Более высокие значения коэффициента общей пористости (до 6,8 %) отмечаются в коллекторах № 7, 8, 14, 15. Общая эффективная мощность коллекторов толбачанского газодонасного комплекса в пределах шахтного поля трубки «Интернациональная» составила около 95,9–110,6 м. Причем мощность рассолонасыщенных коллекторов составляет примерно 40 м.

В интервале толбачанского водонасыщенного комплекса по скважине № 306 выполнено четыре постановки пластоиспытателя; по скважине № 307 – шесть. Результаты постановок пластоиспытателей КИИ-95 и КИИ-65 приведены в табл. 2. Рассчитанный коэффициент водопроницаемости, полученный графоаналитическим методом для месторождения трубки «Интернациональная», – $0,36-0,99 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{сут}$ [6].

Месторождение трубки «Мир». В результате качественной интерпретации и апробации проведенных исследований в породах толбачанской свиты в пределах шахтного поля трубки «Мир» выделено 17 флюидонасыщенных (природный рассол, углеводородные газы, нефть) коллекторов (табл. 3). Из них:

- 6 газонасыщенных коллекторов № 1, 2, 3, 4, 5, 6;
- 11 коллекторов газодонасыщенных № 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17.

По скважине № 310 количество выделенных коллекторов не меняется, но отмечаются различия насыщения, мощности и наблюдаемых дебитов. По флюидонасыщенности выделяется:

- 3 газонасыщенных коллектора № 1, 12, 14;
- 14 коллекторов газодонасыщенных № 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 15, 16, 17.

В интервале толбачанского водонасыщенного комплекса по скважине № 309 выполнено семь постановок пластоиспытателя; по скважине № 310 – восемь. Результаты постановок приведены в табл. 4.

Каждый коллектор свиты содержит от 3 до 7 проницаемых пластов-коллекторов, разделенных между собой глинистыми доломитами, доломитоангидритами. Суммарная мощность коллекторов составляет от 86,9 (скв. № 310) до 244,9 м (скв. № 309), при этом эффективная мощность коллекторов от 74,9 (скв. № 310) до 122,4 м (скв. № 309). Тип пористости – межзерновой и кавернозно-межзерновой. Коэффициент общей пористости варьирует от 5,1 до 28,2 %.

При анализе флюидонасыщенности толбачанской свиты в пределах шахтного поля трубки «Мир» обращает на себя внимание неравномерное газонасыщение разреза, что, в свою очередь, для обеспечения необходимой де-

Таблица 2. Характеристика коллекторов толбачанской свиты в пределах шахтного поля трубки «Интернациональная» (по результатам постановок пластоиспытателей)

Table 2. Characteristics of reservoirs of the Tolbachanskaya suite within the mine field of the pipe Internatsionalnaya (based on the results of formation testers)

Номер испытания	Интервал, м	Номер коллектора	Результаты постановок				Замеренное пластовое давление, МПа
			Время открытого периода, мин	Время закрытого периода, мин	Дебит пластовых вод, м ³ /сут	Дебит пластовых газов, м ³ /сут	
<i>Скважина № 306</i>							
12	1212,1–1286,3 (–811,0/–885,2)*	7,8	241	367	1,27	2,86	11,0
13	1271,2–1326,7 (–870,1/–925,6)	9–11	240	360	0,15	0,03	1,5
14	1314,1–1377,5 (–913,0/–976,4)	12–14	241	258	0,68	1,38	12,5
15	1373,2–1450,0 (–973,2/–1050,0)	15	244	364	5,37	–	12,9
<i>Скважина № 307</i>							
3	1114,5–1190,0 (–714,8/–790,3)	1	140	255	0,07	0,00	7,4
4	1190,0–1230,0 (–790,3/–830,3)	2–5	120	120	1,63	0,30	11,1
5	1231,8–1280,0 (–832,1/–880,3)	6–8	120	120	7,68	1,20	10,9
6	1280,0–1320,0 (–880,3/–920,3)	8–9	240	240	17,04	0,99	13,6
7	1320,0–1390,0 (–920,3/–990,3)	10–12	390	240	240,00	0,00	–
8	1388,8–1452,0 (–989,1/–1052,3)	13–15	240	240	27,84	2,00	15,4

Примечание: * в скобках – абсолютная отметка.

Таблица 3. Характеристика коллекторов толбачанской свиты в пределах шахтного поля трубки «Мир»
Table 3. Characteristics of reservoirs of the Tolbachanskaya suite within the mine field of the pipe Mir

Номер коллектора	Интервал, м	Мощность, м	Литология, пористость $K_{п. общ}, \%$	Номер коллектора	Интервал, м	Мощность, м	Литология, пористость $K_{п. общ}, \%$
Скважина № 306				Скважина № 307			
<i>Толбачанская свита (Е, тб)</i>							
1	<u>1044.0–1049.0</u> –705,3/–710,3*	<u>5.0**</u> 2,8	<u>Доломиты***</u> 5,1	1	<u>1105.6–1108.6</u> –749,7/–752,7*	<u>3.0**</u> 3,0	<u>Доломиты***</u> 7,2
2	<u>1049.0–1057.0</u> –710,3/–718,3	<u>7.0</u> 4,7	<u>Доломиты</u> 8,3	2	<u>1183.0–1189.8</u> –827,1/–833,9	<u>6.8</u> 6,8	<u>Доломиты</u> 13,7
3	<u>1057.0–1072.0</u> –718,3/–733,3	<u>15.0</u> 9,8	<u>Доломиты</u> 7,9	3	<u>1194.6–1196.0</u> –838,7/–840,1	<u>1.4</u> 1,4	<u>Доломиты</u> 7,2
4	<u>1072.0–1088.0</u> –733,3 /–749,3	<u>16.0</u> 5,0	<u>Доломиты</u> 12,6	4	<u>1200.8–1206.0</u> –844,9/–850,1	<u>5.2</u> 4,8	<u>Доломиты</u> 12,2
5	<u>1090.0–1110.5</u> –751,3 /–771,8	<u>20.5</u> 16,2	<u>Доломиты</u> 9,6	5	<u>1211.0–1212.0</u> –855,1/–856,1	<u>1.0</u> 1,0	<u>Доломиты</u> 9,0
6	<u>1120.0–1143.5</u> –781,3 /–804,8	<u>23.5</u> 7,8	<u>Доломиты</u> 6,7	6	<u>1214.8–1217.4</u> –858,9/–861,5	<u>2.6</u> 2,6	<u>Доломиты</u> 19,0
7	<u>1162.0–1179.0</u> –823,3 /–840,3	<u>17.0</u> 7,8	<u>Доломиты</u> 19,6	7	<u>1221.0–1222.0</u> –865,1/–866,1	<u>1.0</u> 1,0	<u>Доломиты</u> 8,2
8	<u>1184.5–1208.8</u> –845,8 /–870,1	<u>24.3</u> 13,6	<u>Доломиты</u> 19,2	8	<u>1223.0–1224.3</u> –867,1/–868,4	<u>1.3</u> 1,3	<u>Доломиты</u> 5,4
9	<u>1218.8–1240.0</u> –880,1/–901,3	<u>21.2</u> 11,8	<u>Доломиты</u> 10,4	9	<u>1227.5–1232.0</u> –871,6/–876,1	<u>4.5</u> 4,5	<u>Доломиты</u> 15,2
10	<u>1241.2–1254.8</u> –902,5/–916,1	<u>13.6</u> 9,5	<u>Доломиты</u> 11,2	10	<u>1235.0–1240.0</u> –879,1/–884,1	<u>5.0</u> 5,0	<u>Доломиты</u> 11,8
11	<u>1262.6–1280.2</u> –923,9/–941,5	<u>17.6</u> 8,2	<u>Доломиты</u> 17,6	11	<u>1247.4–1249.0</u> –891,5/–893,1	<u>1.6</u> 1,6	<u>Доломиты</u> 10,6
12	<u>1291.8–1300.8</u> –953,1/–962,1	<u>9.0</u> 5,4	<u>Доломиты</u> 11,0	12	<u>1256.0–1273.0</u> –900,1/–917,1	<u>17.0</u> 13,6	<u>Доломиты</u> 7,6
13	<u>1316.0–1326.8</u> –977,3/–988,1	<u>10.8</u> 5,0	<u>Доломиты</u> 10,1	13	<u>1279.4–1291.4</u> –923,5/–935,5	<u>12.0</u> 9,9	<u>Доломиты</u> 13,6
14	<u>1336.0–1346.8</u> –997,3/–1008,1	<u>10.8</u> 8,0	<u>Доломиты</u> 21,6	14	<u>1349.5–1354.0</u> –993,6/–998,1	<u>4.5</u> 3,8	<u>Доломиты</u> 6,8
15	<u>1354.2–1355.6</u> –1015,5/–1016,9	<u>1.4</u> 1,4	<u>Доломиты</u> 19,3	15	<u>1382.5–1383.8</u> –1026,6/–1027,9	<u>1.3</u> 1,3	<u>Доломиты</u> 9,9
16	<u>1373.0–1379.4</u> –1034,3/–1040,7	<u>6.4</u> 1,6	<u>Доломиты</u> 19,8	16	<u>1399.4–1412.8</u> –1043,5/–1056,9	<u>13.4</u> 10,2	<u>Доломиты</u> 10,3
17	<u>1385.4–1395.0</u> –1046,7/–1056,3	<u>9.6</u> 3,8	<u>Доломиты</u> 28,2	17	<u>1417.5–1422.8</u> –1061,6/–1066,9	<u>5.3</u> 3,1	<u>Доломиты</u> 5,8

Примечание: *знаменатель – абсолютная отметка; **числитель – суммарная мощность, знаменатель – эффективная; *** – числитель – литология, знаменатель – пористость.

тальности исследований требует выделения зональности в разрезе. Характеристику выделенных зон коллекторов приведем по каждой зоне раздельно (рис. 2).

1. Зона № 1 выделяется в интервале 1044–1057 м (абс. отм. –705,3/–718,3 м), характеризуется наименьшим пластовым давлением 3,9 МПа, включает коллекторы № 1 и № 2. Эффективная мощность этих коллекторов 13,0 м. Средний коэффициент общей пористости 2,5–3,4 %. Несмотря на низкую пористость в зонах динамического влияния тектонических нарушений, в данной зоне возможно

накопление микрозалежей пластовых газов, обусловленное наличием открытой трещиноватости.

2. Зона № 2 выделяется в интервале 1057–1179 м (абс. отм. –718,3/–840,3 м). Пластовое давление в пределах зоны изменяется от 4,9 до 11,8 МПа. Причем наиболее напорным является коллектор № 7, так как он имеет смешанную рассольно-газовую насыщенность. Зона включает коллекторы № 3, 4, 5, 6, 7. Эффективная мощность этих коллекторов 122,0 м. Средний коэффициент общей пористости 2,2–19,0 %. Несмотря на невысокую пористость в

Таблица 4. Характеристика коллекторов толбачанской свиты в пределах шахтного поля трубки Мир (по результатам постановок пластоиспытателей)

Table 4. Characteristics of reservoirs of the Tolbachanskaya suite within the mine field of the pipe Mir (based on the results of formation testers)

Номер испытанья	Интервал, м	Номер коллектора	Результаты постановок					
			Время открытого периода, мин	Время закрытого периода, мин	Дебит пластовых вод, м ³ /сут	Дебит пластовых газов, м ³ /сут	Замеренное пластовое давление, МПа	
<i>Скважина № 309</i>								
15	1031,2–1101,0 (–692,5/–762,3)*	1–5	150	300	0,0	Н/о	4,3	
16	1085,3–1144,5 (–746,6/–805,8)	5–6	150	300	0,0	Н/о	9,5	
17	1124,7–1197,0 (–786,0/–858,3)	7–8	150	300	~2,0	72,30	14,1	
18	1182,2–1249,0 (–843,5/–910,3)	9–10	150	300	~2,0	136,50	12,0	
19	1244,7–1301,0 (–906,0/–962,3)	10–12	150	300	~2,0	134,00	14,7	
20	1297,7–1349,3 (–959,0/–1010,6)	12–14	150	300	~1,0	20,50	13,6	
21	1344,8–1401,3 (–1006,1/–1062,6)	14–17	150	300	~3,0	136,50	14,1	
<i>Скважина № 310</i>								
14	1054,1–1108,7 (–698,2/–752,8)	1	390	540	0,00	0,04	0,1	
15	1104,1–1160,7 (–748,2/–804,8)	1	390	540	0,00	0,12	0,4	
16	1151,0–1205,0 (–795,1/–849,1)	2–4	390	540	0,45	2627,40	11,7	
17	1202,5–1257,0 (–846,6/–901,1)	4–12	6,5	421	10,10	74 911,40	12,6	
18	1252,0–1302,0 (–896,1/–946,1)	11–13	390	540	0,10	2,40	3,2	
19	1300,0–1351,6 (–944,1/–995,7)	14	390	540	0,40	3,60	4,6	
20	1349,6–1396,6 (–993,7/–1040,7)	14–15	391	541	0,70	9,10	12,5	
21	1394,0–1445,6 (–1038,1/–1089,7)	16–17	391	540	0,60	2,90	13,1	

Примечание: * в скобках – абсолютная отметка; н/о – не определено.

зонах динамического влияния тектонических нарушений, в данной зоне также возможно формирование «дополнительной емкости» и, как следствие, объемов пластового газа и природного насыщенного рассола. Впрочем, данное замечание справедливо и для последующих зон.

3. Зона № 3 в интервале 1184,5–1280,2 м (абс. отм. –845,8/–941,5 м). Пластовое давление в пределах зоны составляет 11,8–14,7 МПа. Зона включает коллекторы № 8, 9, 10, 11.

Эффективная мощность этих коллекторов 60,1 м. Средний коэффициент общей пористости 10–22 %. Данная зона является более газо- и водообильной, чем предыдущие зоны № 1 и № 2. Отличительной особенностью отложений толбачанской свиты в пределах околотрубного пространства месторождения «Мир» по сравнению с трубкой «Интернациональная» является отсутствие «сухих» коллекторов. Коллекторы № 10 и № 11 имеют смешанный тип насыщения и пластовое давление, превышающее коллекторы-аналоги (на трубке «Интернациональная») в 4 раза.

4. Зона № 4 выделена в интервале 1285,2–1407,3 м (абс. отм. –946,5/–1068,6 м). Пластовое давление в пределах зоны составляет 13,6–14,0 МПа. Зона включает коллекторы № 12, 13, 14, 15, 16, 17. Эффективная мощность этих коллекторов 45,2 м. Средний коэффициент общей пористости 6–28 %. Газонасыщенность данной зоны сопоставима с зоной № 3, водонасыщенность несколько выше, на 20–30 %.

Результаты, полученные по скважине № 310 (рис. 2), также позволяют разделить толбачанскую свиту на

4 зоны, но из-за отличий в отметках, притоках флюидов и параметров пластового давления в пределах выделяемых зон от представленных по скважине № 309 выполним их более подробное описание.

1. Зона № 1 выделяется в интервале 1054,1–1160,7 м (абс. отм. –698,2/–804,8 м), характеризуется наименьшим пластовым давлением 0,1–0,4 МПа и притоками пластовых газов (не превысивших 0,12 м³/сут). В указанных отметках выделяется только один коллектор. Полученные давления и притоки являются аномально низкими для указанных отметок. Данный факт, по мнению авторов, может быть объяснен совокупностью факторов:

- вертикальной миграцией накопленных ранее флюидов в геологические периоды тектонической активизации территории (пермь–триас, кайнозойская активизация);
- формированием зон повышенной трещиноватости и, как следствие, недонасыщенности;
- особенностями миграции углеводородных газов с нижележащих продуктивных горизонтов и т. д.

2. Зона № 2 выделяется в интервале 1160,7–1257,0 м (абс. отм. –804,8/–901,1 м). Пластовое давление в пределах зоны изменяется от 11,7 до 12,7 МПа. Притоки пластовых газов аномальны по факту вскрытия (2627,4–74911,4 м³/сут) с последующей стабилизацией в течение суток в районе 1000 м³/сут. Зона включает коллекторы № 2–12. В целом зафиксированное пластовое давление является характерным для коллекторов толбачанской свиты, однако наложение структурно-тектонических и литолого-фациальных факторов привело к формированию аномального скопления углеводородных газов.

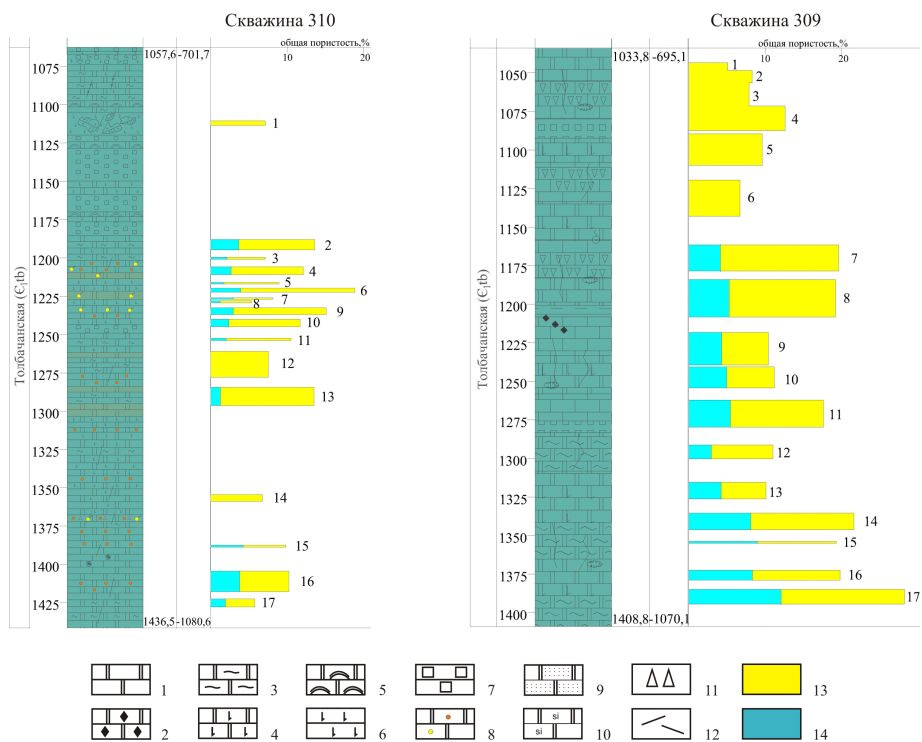


Рисунок 2. Схема коллекторов толбачанской свиты, выделенных по скважинам № 310 и № 309: 1 – доломиты; 2 – доломиты известковистые; 3 – известняки глинистые; 4 – доломиты ангидритистые; 5 – доломиты органогенно-обломочные; 6 – ангидриты; 7 – соли; 8 – органогенные известняки; 10 – кремненные доломиты; 11 – карбонатные брекчи; 12 – зоны трещиноватости; 13 – газ; 14 – вода

Figure 2. Scheme of the reservoirs of the Tolbachanskaya suite identified by well no. 310 and no. 309: 1 – dolomites; 2 – calcareous dolomites; 3 – clayey limestones; 4 – anhydrite dolomites; 5 – organogenic-detrital dolomites; 6 – anhydrites; 7 – salts; 8 – organogenic limestones; 10 – silicified dolomites; 11 – carbonate breccias; 12 – fracture zones; 13 – gas; 14 – water

3. Зона № 3 в интервале 1257,0–1351,6 м (абс. отм. –901,1/–995,7 м). Пластовое давление в пределах зоны составляет 3,2–4,6 МПа. Зона включает коллекторы № 13, 14. Притоки пластовых газов составили 2,4–3,6 м³/сут, природных рассолов – 0,1–0,4 м³/сут.

4. Зона № 4 выделена в интервале 1351,6–1436,5 м (абс. отм. –995,7/–1080,6 м). Пластовое давление в пределах зоны составляет 12,6–13,1 МПа. Зона включает коллекторы № 15, 16, 17. Притоки пластовых газов составили 2,9–9,1 м³/сут, природных рассолов – 0,6–0,7 м³/сут.

Одним из основных параметров, который используется в гидрогеологических расчетах, является коэффициент водопроводимости, определение которого было выполнено на основании обработки результатов опытно-фильтрационных работ по скважинам № 309 и № 310. Были проведены откачки с понижением от 900 до 1100 м. Расход по скважинам изменялся значительно в процентном соотношении (500 %), но незначительно в абсолютном – 16,6 м³/сут по скважине № 310 и 3,3 м³/сут по скважине № 309. Коэффициент водопроводимости также отличался и составлял от 0,02 (скважина № 309) до 0,1 (скважина № 310).

Заключение

Проведенные исследования, а также их качественная интерпретация позволяют сделать ряд выводов о различии гидрогеологических условий обрабатываемых коренных месторождений алмазов. Исходя из представленных в статье данных, наиболее значительные притоки флюидов в толбачанском водоносном комплексе на руднике

«Мир» можно ожидать в интервале –800,0/–1040,0 м, что вполне сопоставимо с рудником «Интернациональный» (–832/–1042 м). Необходимо отметить, что в результате режимных наблюдений по сети скважин, пробуренных из подземных горных выработок горизонта –790 м рудника «Интернациональный», ранее были выявлены некоторые закономерности, обусловленные литологическими, структурно-фациальными особенностями коллекторов толбачанской свиты [5, 6]. Главной особенностью являлась резко изменяемая интенсивность притока рассолов по режимным скважинам. Максимальные водопритокки, как правило, фиксировались на момент вскрытия водонасыщенных коллекторов. Для скважин были характерны непостоянство расходов (дебитов) наблюдаемых водопритокков и их малодебитность (фиксируемые притоки редко превышали 250–300 л/ч). Самоизлив вод, как правило, был непродолжителен, эпизодичен, за фиксируемыми в ходе натурных наблюдений «всплесками активности» (продолжительностью от 2–5 до 15–25 дней) следовали долговременные периоды с полным отсутствием каких-либо водопроявлений. У каждой скважины (из числа тех, на которых отмечалось наличие притоков пластовых вод) был сформирован свой режим, вероятно, обусловленный ее расположением относительно участка сложного структурно-тектонического строения, приуроченного к малоамплитудному тектоническому нарушению, фиксируемому по наличию сближенных кимберлитовых жил, ступенчатых сбросов и флексурным перегибам слоев вмещающих пород.

При сопоставительном анализе толбачанского водоносного комплекса, впервые изучаемого в пределах шахтного поля трубки «Мир», с полученными ранее данными по трубке «Интернациональная» авторами были выявлены следующие отличия, вызванные литолого-фациальной и структурной изменчивостью коллекторов свиты:

- увеличение количества коллекторов с 15 (трубка «Интернациональная») до 17 шт.;

- увеличение коллекторов со смешанной флюидной насыщенностью. В районе трубки «Интернациональная» было выделено 8 рассолосодержащих коллекторов, а в шахтном поле трубки «Мир» от 11 (скважина № 309) до 14 (скважина № 310);

- увеличение мощности обводненной толщи с 40 (трубка «Интернациональная») до 62,4 (скважина № 310) и 76 м (скважина № 309).

- рассчитанный коэффициент водопроницаемости значительно выше полученного графоаналити-

ческим методом для месторождения трубки «Интернациональная».

Выявленные закономерности, несомненно, будут учитываться как при проектировании системы подземных горных выработок, так и при ведении проходческих и добычных работ в интервале толбачанской свиты. Отличия гидрогеологических условий в отметках толбачанской свиты, а именно отсутствие «сухих коллекторов», увеличенные относительно трубки «Интернациональная» емкостные и фильтрационные параметры потребуют при отработке месторождения «Мир» сооружения более сложной системы опережающей дегазации [14], состоящей из большего количества скважин, а также применения обсадных и фильтровых колонн, обеспечивающих беспрепятственную разгрузку массива без создания дополнительных зон, характеризующихся пониженной проницаемостью или способных обеспечивать дополнительную пригрузку дегазируемого массива.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гладков А. С., Дроздов А. В., Кошкарёв Д. А., Потехина И. А., Афонькин А. М. Оценка структурно-тектонического строения глубоких горизонтов трубки «Айхал» для постановки гидрогеомеханического мониторинга // *Известия Сибирского отделения РАН. Геология, поиски и разведка рудных месторождений*. 2015. № 2. С. 46–56.
2. Andrews K., Keim S. Underground mine stream crossing assessment: A multi-disciplinary approach // *International Journal of Mining Science and Technology*. 2021. Vol. 31. Issue 1. P. 59–65. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2020.12.011>
3. Stoeckl L., Banks V., Shekhunova S., Yakovlev Y. The hydrogeological situation after salt-mine collapses at Solotvyno, Ukraine // *Journal of Hydrology: Regional Studies*. 2020. Vol. 30. Article number 100701. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2020.100701>
4. Александров И. Н., Шмырко А. Н., Шубин Г. В., Кирышин Д. И. Создание безопасных условий отработки сверхглубоких карьеров Якутии (на примере доработки карьера трубки «Удачная»). Новосибирск: Наука, 2005. 180 с.
5. Янников А. М. Газодинамическая характеристика коллекторов во внешнем контуре месторождения трубка «Интернациональная» // *Вестник Воронежского государственного университета. Сер. «Геология»*. 2018. № 4. С. 98–101. <https://doi.org/10.17308/geology.2018.4/1672>
6. Янников А. М. Гидрогеология Мирнинского кимберлитового поля (Республика Саха (Якутия)) / под общ. ред. А. В. Толстова. Мирный: АПРОСА, 2021. 238 с.
7. Гиниятулин И. М., Блажкун Д. В., Ивашина Е. И., Коробков Г. В. Материалы к легенде Ботубинской серии листов геологических карт масштаба 1 : 50 000. Мирный, 1989. 70 с.
8. Гидрогеология СССР. Т. XX. Якутская АССР. М.: Недра, 1970. 384 с.
9. Дроздов А. В., Иост Н. А., Лобанов В. В. Криогидрогеология алмазных месторождений Западной Якутии. Иркутск: Изд-во ИргТУ, 2008. 507 с.
10. Pouladi B., Bour O., Longuevergne L., Bernardie J. de La, Simon N. Modelling borehole flows from Distributed Temperature Sensing data to monitor groundwater dynamics in fractured media // *Journal of Hydrology*. 2021. Vol. 598. Article number 126450. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126450>
11. Крайча Я. Газы в подземных водах: их свойства, разведка и использование. М.: Недра, 1980. 343 с.
12. Nakata K., Hasegawa T., Solomon D. K., Miyakawa K., Tomioka Y., Ohta T., Matsumoto T., Hama K., Iwatsuki T., Ono M., Marui A. Degassing behavior of noble gases from groundwater during groundwater sampling // *Applied Geochemistry*. 2019. Vol. 104. P. 60–70. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2019.03.007>
13. Manning A. H., Solomon D. K., Sheldon A. L. Applications of a total dissolved gas pressure probe in ground water studies // *Ground Water*. 2003. Vol. 41. Issue 4. P. 440–448. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.2003.tb02378.x>
14. Соколов И. В., Антипин Ю. Г., Никитин И. В. Принципы формирования и критерий оценки геотехнологической стратегии освоения переходных зон рудных месторождений подземным способом // *ГИАБ*. 2017. № 9. С. 151–160. <https://10.25018/0236-1493-2017-9-0-151-160>

Статья поступила в редакцию 31 января 2022 года

Changes in the hydrogeological characteristics of the Tolbachan suite within the minefields of the pipes Mir and Internatsionalnaya

Aleksey Mikhailovich YANNIKOV¹
Svetlana Aleksandrovna YANNIKOVA^{1,2}

¹Institute "Yakutniproalmaz" PJSC AK ALROSA, Mirny, Republic of Sakha (Yakutia), Russia

²Voronezh State University, Voronezh, Russia

Abstract

Relevance. The Tolbachan suite forms the hydrogeological conditions for mining deep horizons of primary diamond deposits in the Mirninskoye kimberlite field. The reservoirs of the Tolbachany suite form more than 60% of the influx of saturated natural calcium chloride brines and more than 80% of the volume of hydrocarbon gases released within the minefields of the pipes Mir and Internatsionalnaya.

The purpose of the work – a comparison of hydrogeological conditions within the minefields of the pipes Internatsionalnaya and Mir to identify change patterns in the main hydrogeological characteristics used in the design of underground mine workings.

Research methodology. The study of hydrogeological conditions in the reservoir interval of the Tolbachan suite was carried out during the drilling of wells of different purpose. The determination of the main filtration parameters was carried out according to generally accepted methods of groundwater dynamics. For additional stratification of the section and identification of permeable intervals, interval determination of formation fluid flow rates was performed using packer installations and formation testers. In addition, gas logging was performed on some of the wells.

Results. In the interval of the Tolbachan suite of the Mir pipe, the number of reservoir beds with complex fluid saturation increases to 17. An increase in the thickness of the watered strata and the value of the water conductivity coefficient is also noted.

Conclusion. Differences in hydrogeological conditions in the marks of the Tolbachan suite relative to the Internatsionalnaya pipe will require, during the development of the Mir pipe deposit, the construction of a more complex advanced degassing system, as well as the use of casing and filter columns, ensuring smooth offloading of the rock mass without creating additional zones characterized by reduced permeability or capable of providing additional overload of the degassed rock mass.

Keywords: Siberian Platform, Mirninskoye kimberlite field, pipe Internatsionalnaya, pipe Mir, Tolbachan aquifer system, carbonate reservoirs.

REFERENCES

- Gladkov A. S., Drozdov A. V., Koshkarev I. A., Potekhina I. A., Afon'kin A. M. 2015, Evaluation of the structural-tectonic structure of the deep horizons of the Aikhal pipe for setting up hydrogeomechanical monitoring. *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya RAEN. Geologiya, poiski i razvedka rudnykh mestorozhdenii* [Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences RANS. Geology, Exploration and Development of Mineral Deposits], no. 2, pp. 46–56. (*In Russ.*)
- Andrews K., Keim S. 2021, Underground mine stream crossing assessment: A multi-disciplinary approach. *International Journal of Mining Science and Technology*, vol. 31, issue 1, pp. 59–65. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2020.12.011>
- Stoeckl L., Banks V., Shekhunova S., Yakovlev Y. 2020, The hydrogeological situation after salt-mine collapses at Solotvyno, Ukraine. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, vol. 30, article number 100701. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2020.100701>.
- Alexandrov I. N., Shmyrko A. N., Shubin G. V., Kiryushin D. I. 2005, Creation of safe conditions for mining ultra-deep open pits in Yakutia (on the example of finalizing the open pit of the Udachnaya pipe). Novosibirsk, 180 p. (*In Russ.*)
- Yannikov A. M. 2018, The gasdynamic characteristic of the collectors in external circuit of field the "tube International". *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya* [Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology], no. 4, pp. 98–101. (*In Russ.*) <https://doi.org/10.17308/geology.2018.4/1672>
- Yannikov A. M. 2021, Hydrogeology of the Mirny kimberlite field (Republic of Sakha (Yakutia)). Ed. A. V. Tolstov. Mirny, 238 p. (*In Russ.*)
- Giniyatulin I. M., Blazhkun D. V., Ivashina E. I., Korobkov G. V. 1989, Materials for the legend of the Botuobinsky series of sheets of geological maps at a scale of 1 : 50,000. Mirny, 70 p. (*In Russ.*)
- Hydrogeology of the USSR. Vol. XX. Yakut ASSR. 1970, Moscow, 384 p. (*In Russ.*)
- Drozdov A. V., Iost N. A., Lobanov V. V. 2008, Cryohydrogeology of diamond deposits in Western Yakutia. Irkutsk, 507 p. (*In Russ.*)
- Pouladi B., Bour O., Longuevergne L., Bernardie J. de La, Simon N. 2021, Modelling borehole flows from Distributed Temperature Sensing data to monitor groundwater dynamics in fractured media. *Journal of Hydrology*, vol. 598, article number 126450. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126450>
- Kraja J. 1980, Gases in groundwater. Their properties, exploration and use, 343 p. (*In Russ.*)
- Nakata K., Hasegawa T., Solomon D. K., Miyakawa K., Tomioka Y., Ohta T., Matsumoto T., Hama K., Iwatsuki T., Ono M., Marui A. 2019, Degassing behavior of noble gases from groundwater during groundwater sampling. *Applied Geochemistry*, vol. 104, pp. 60–70. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2019.03.007>
- Manning A. H., Solomon D.K., Sheldon A. L. 2003, Application of a total dissolved gas pressure probe in ground water studies. *Ground Water*, vol. 41, pp. 440–448.
- Sokolov I. V., Antipin Yu. G., Nikitin I. V. 2017, Basic principles and assessment criteria of technological strategy for underground mining in transition zones. *Gornyi informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tehnicheskii zhurnal)* [Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal)], no. 9, pp. 151–160. (*In Russ.*) <https://10.25018/0236-1493-2017-9-0-151-160>

The article was received on January 31, 2022