

3. Madarász L. et al. In-line particle size measurement based on image analysis in a fully continuous granule manufacturing line for rapid process understanding and development // International Journal of Pharmaceutics. 2022. Vol. 612. P. 121280. doi: 10.1016/j.ijpharm.2021.121280.

4. Liang L. et al. A review of the modern characterization techniques for flocs in mineral processing // Minerals Engineering. 2015. Vol. 84. P. 130–144.

5. Saxena K., Brighu U. Comparison of floc properties of coagulation systems: Effect of particle concentration, scale and mode of flocculation // Journal of Environmental Chemical Engineering. Elsevier Ltd, 2020. Vol. 8, № 5.

6. Duan X. et al. Simulation of the hydrate blockage process in a water-dominated system via the CFD-DEM method // Journal of Natural Gas Science and Engineering. Elsevier B.V., 2021. Vol. 96.

7. Yao Y., Su J.-W., Luo Z.-H. CFD-PBM modeling polydisperse polymerization FBRs with simultaneous particle growth and aggregation: The effect of the method of moments // Powder Technology. 2015. Vol. 272. P. 142–152. doi: 10.1016/j.powtec.2014.11.037.

8. Lvov V., Chitalov L. Semi-Autogenous Wet Grinding Modeling with CFD-DEM // Minerals. 2021. Vol. 11, № 5. P. 485. doi: 10.3390/min11050485.

УДК 550.8.028

ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗОЛИРОВАННЫХ ПОДЛЕДНИКОВЫХ ОЗЕР АНТАРКТИДЫ TECHNOLOGIES AND TECHNICAL MEANS FOR STUDYING ISOLATED SUBGLACIAL LAKES OF ANTARCTICA

Ракитин И.В., студент, Санкт-Петербургский Горный университет,
механико-машиностроительный факультет, кафедра машиностроения,
Горные машины и оборудование, ilja.rakitin@mail.ru
Rakitin I.V., Student, St. Petersburg Mining University, Faculty of Mechanical Engineering,
Department of Mechanical Engineering, Mining Machinery and Equipment, 6th year student,
ilja.rakitin@mail.ru

Аннотация. За последние 60 лет исследований материка Антарктида было обнаружено свыше 400 подледниковых водоемов [1] – источников ценной научной информации [2, 3], многие из которых скрыты от поверхности слоем льда на протяжении уже более миллиона лет. Приведен краткий обзор проектов исследования подледниковых озер Антарктиды, в частности применяемых технологий бурения скважин доступа и технических средств отбора проб донных отложений.

Ключевые слова: Антарктида; бурение ледников, подледниковые озера; вскрытие, отбор проб, подледниковые отложения.

Abstract. Over the past 60 years of research on the Antarctic continent, more than 400 subglacial reservoirs have been discovered [1], which are sources of valuable scientific information [2, 3], and many of which have been hidden from the surface by a layer of ice for more than a million years. A brief review of projects for the study of subglacial lakes in Antarctica, in particular, the technologies used for drilling access wells and technical means for sampling bottom sediments, is given.

Key words: Antarctica; drilling of glaciers, subglacial lakes; opening, sampling, subglacial deposits.

Введение. На сегодняшний день в Антарктиде обнаружено более 400 подледниковых озер. Всех их можно классифицировать на изолированные (не связанные с гид-

росистемой под ледником) и открытые. Среди первых можно выделить четыре тектонически связанных озера: Восток, Чжуншань, 90E, и Советское [4], образованные тектонической активностью материка. Среди открытых наиболее известны озера Элсворт, Уилланс, и Мерсер. Все озера обнаружены в результате работы многих стран на протяжении не одного десятка лет [5]. Применялись следующие методы идентификации: радиолокационный, сейсмическое зондирование, картографирование гравитационного поля, обнаружение аномалий изменения высоты или рельефа поверхности ледника. Подледниковые озера, в особенности изолированные, являются источниками ценной научной информации [2, 3], но для того чтобы эту информацию получить, нужно провести отбор проб материала озера при помощи специальных технических средств, приспособленных для работы в крайне осложненных условиях Антарктиды. Опыт применения современных устройств для исследования подледниковых озер показывает их несовершенство, многие проекты так и не были реализованы [6]. В связи с этим требуется проанализировать недостатки существующих технологий и технических средств, а также обозначить дальнейшие пути их развития.

Существующие технологии и технические средства исследования подледниковых озер. Основные технологии проникновения в озера принципиально разделяются на бурение горячей водой и бурение снарядами на грузонесущем кабеле.

Первый способ обеспечивает относительно быстрый доступ к озеру при большом диаметре скважины и высокой затрачиваемой мощности на бурение (таблица 1), а также отсутствии мероприятий по противодействию горному давлению, постепенно приводящему к разрушению скважины. К минусам также можно отнести тепловое загрязнение среды при циркуляции нагретой жидкости, а также высокую аварийность при достижении глубин свыше 2000 м [7]. Технология была использована во всех существующих зарубежных проектах по исследованию подледниковых озёр, таких как: Ellsworth [6], WISSARD [8], SALSA [9]. На сегодняшний день наибольшая глубина, успешно достигнутая с помощью бурения горячей водой, составляет около 2450 м. В проекте IceCube установкой EHWD (Enhanced Hot Water Drill) мощностью 4,7 МВт за 21 рабочий месяц было пробурено 86 скважин диаметром 600 мм со средней скоростью 52 м/ч [10]. Пробуренные скважины использовались для размещения астрофизических детекторов частиц, способных улавливать нейтрино.

Второй способ разделяется на бурение механическим и тепловым способом. Наибольших успехов в этом направлении достигли русские ученые, дважды получившие доступ к крупнейшему водному объекту Антарктиды – озеру Восток [11]. Технология отличается малыми энергозатратами и относительно низкой скоростью бурения (таблица 1), но при этом обеспечивается целостность скважины, что позволяет получать долговременный доступ к озеру, что особенно важно при исследовании изолированных озёр, находящихся под более чем трехкилометровой толщей ледника. Анализ современного состояния технологии бурения скважин в ледниках снарядами на грузонесущем кабеле свидетельствует о низкой эффективности и высокой аварийности при проходке глубоких горизонтов ледниковых покровов, для которых характерно увеличение размеров кристаллов и наличие температур, близких к точке плавления льда. Также способ не удовлетворяет экологическим нормам введенным комитетом антарктических исследований SCAR для исследований подледниковых озер.

Таблица 1 – Сравнительная таблица технологий бурения

Проекты	Элсворт	Уилланс	Мерсер	IceCube	Восток
Пробуренная глубина, м	300	800	1087	2450	3769
Мощность бурового снаряда	1,35МВт	1,2–1,5 МВт	1,5МВт	4,7МВт	3 кВт

Все существующие на данный момент устройства отбора проб донных отложений подледниковых отложений Антарктиды представлены колонковыми пробоотборниками, которые можно классифицировать по принципу действия следующим образом [12]:

- гравитационные и гравитационно-поршневые;
- ударные;
- поршневые;
- самосинхронизирующиеся вибрационные;
- динамически-уравновешенные.

С помощью гравитационных и ударных пробоотборников были успешно получены керны донных отложений из озер Уилланс и Мерцер, длина наибольшего из кернов составляет 1760 мм при диаметре 110 мм.

Несмотря на экспериментально установленные достоинства того или иного колонкового пробоотборника друг перед другом все они имеют единый недостаток – за одну спуско-подъемную операцию на поверхность доставляется проба, отобранная непосредственно под скважиной. Также известно, что любая информация считается достоверной только в том случае, если выборка является репрезентативной. Следовательно, образцы, полученные пробоотборниками без устройства, способного расширить район исследования, не могут дать полного представления о донной поверхности.

Заключение. Применяемая в настоящее время технология вскрытия подледниковых озер горячей водой, при всех своих достоинствах, неприменима в условиях Восточной Антарктиды – области нахождения наиболее древних озер, так как она не обеспечивает долговременное проведение исследовательских работ. В этой связи дальнейшее развитие технических средств механического бурения снарядами на грузонесущем кабеле является важной научно-технической задачей. Анализ имеющихся на данный момент технологий отбора проб донных отложений показывает, что все они являются устройствами точечного отбора, что не позволяет сложить достоверного представления об исследуемом объекте. Агрессивные внешние факторы и зачастую большая мощность ледника обуславливают необходимость создания простого, надежного, и эффективного устройства пробоотбора, способного за одну спускоподъемную операцию, достигающую порой нескольких часов, предоставить спектр репрезентативных образцов, которые позволят дать ответ на многие вопросы, интересующие мировое научное сообщество [13–15].

ЛИТЕРАТУРА

1. Siegert M. J. A 60-year international history of Antarctic subglacial lake exploration // Geological Society, London, Special Publications. – 2018. – Vol. 461 – P. 7–21, DOI: 10.1144/SP461.5, 2018.

2. Васильев Н.И. Перспективы получения образцов донных отложений подледникового озера Восток // Записки Горного института. – 2017. – Т. 224 – С. 199–208. DOI: 10.18454/PMI.2017.2.199.

3. Bulat S.A., Marie D., Petit J. Prospects for life in the subglacial lake Vostok, East Antarctica // Ice and Snow. 2012. №4 (120) – P. 92–96. DOI: 10.15356/2076-6734-2012-4-92-96.

4. Robin E. Bell, Michael Studinger, Mark A. Fahnestock, Christopher A. Shuman. Tectonically controlled subglacial lakes on the flanks of the Gamburtsev Subglacial Mountains, East Antarctica // Geophysical Research Letters. 2006. 33. DOI: 10.1029/2005GL025207.

5. Попов С.В. Шесть десятилетий радиолокационных и сейсмических исследований в Антарктиде // Лёд и Снег. 2021; 61(4) – С. 587–619.

6. Siegert M., Clarke R., Mowlem M. Clean access, measurement, and sampling of Ellsworth Subglacial Lake: A method for exploring deep Antarctic subglacial lake environments // Reviews of Geophysics. 2012. 50(1). DOI: 10.1029/2011RG000361.

7. Talalay P.G. Thermal Ice Drilling Technology // Singapore: Springer Geophysics. – 2020. – 292 p. DOI: 10.1007/978-981-13-8848-4.
8. Tulaczyk S., Mikucki J., Siegfried M. WISSARD at Subglacial Lake Whillans, West Antarctica: Scientific operations and initial observations // Annals of Glaciology. – 2014. 55 – P. 51–58. DOI: 10.3189/2014AoG65A009.
9. Priscu J., Kalin J., Winans J. Scientific access into Mercer Subglacial Lake: scientific objectives, drilling operations and initial observations // Annals of Glaciology. – 2021. – Vol. 62. – Iss. 85–86 – P. 340–352. DOI: 10.1017/aog.2021.10.
10. Benson T., Cherwinka J., Duvernois M. et al. IceCube Enhanced Hot Water Drill functional description // Annals of Glaciology. – 2014. 55(68) – P. 105–114. DOI: 10.3189/2014AoG68A032.
11. Васильев Н.И., Дмитриев А.Н., Липенков В.Я. Результаты бурения скважины 5Г на российской станции «Восток» и исследования кернов льда // Записки Горного института. – 2016. – Т. 218 – С. 161–171.
12. Gong Da, Fan Zhun, Talalay Pavel and others. 2019. Coring of Antarctic Subglacial Sediments. Journal of Marine Science and Engineering. 7. 194. DOI:10.3390/jmse7060194.

УДК 338.1

**УТИЛИЗАЦИЯ ПНГ: ВЫСОКАЯ ДОБАВЛЕННАЯ СТОИМОСТЬ
В СОВРЕМЕННЫХ ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ
APG UTILIZATION: HIGH ADDED VALUE IN MODERN ECONOMIC SYSTEMS**

Рядинская А.П., аспирант, Санкт-Петербургский горный университет,
Санкт-Петербург, arina_german@mail.ru
Riadinskaia A.P. Post-graduate student, Saint-Petersburg mining university,
Saint-Petersburg, arina_german@mail.ru

Аннотация. Климатические изменения в мире стимулируют активное развитие различных проектов в нефтегазовом секторе, которые направлены на снижение негативного эффекта на окружающую среду. Одной из возможностей снижения выбросов в атмосферу является утилизация попутного нефтяного газа (ПНГ). В исследовании проанализированы возможности нефтегазовых российских компаний по производству высокой добавленной стоимости за счет утилизации ПНГ.

Abstract. Climate changes in the world stimulate the active development of various projects in the oil and gas sector, which are aimed at reducing the negative effect on the environment. One of the ways to reduce emissions into the atmosphere is the utilization of associated petroleum gas (APG). The study analyzes the capabilities of Russian oil and gas companies to produce high added value through the utilization of APG.

Введение. В научной литературе активно обсуждается вопрос важности снижения выбросов в окружающую среду [1, 2], в частности, делается упор на изучение этого вопроса в нефтегазовом секторе [3]. На нефтегазовый сектор приходится порядка 42 % мировых выбросов парниковых газов [4]. На сегодняшний день существуют различные варианты снижения выбросов в атмосферу, но не все они являются эффективными с экономической точки зрения. Приоритетом нефтегазовых компаний является внедрение таких технологий, которые бы максимизировали экономическую выгоду и минимизировали негативный экологический эффект.

С этой точки зрения, полезное использование попутного нефтяного газа (ПНГ) – это возможность производства продукции с высокой добавленной стоимостью вместо