

УДК 528.489

ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ БПЛА С ЦЕЛЬЮ ОБНАРУЖЕНИЯ ГАЗОГИДРАТОВ

Медведев А. А.¹⁾, Волох Е. Д.²⁾, Алексеенко Н. А.^{1),2)}

¹⁾Институт географии РАН, Старомонетный переулок, 29, стр. 4, 119017, г. Москва, ²⁾Московский государственный университет, Ленинские горы, 1 119991, РФ, Москва, Российская Федерация a.a.medvedeff@gmail.com, evolokh000@gmail.com, valtuz@mail.ru

С целью разработки алгоритма обнаружения газогидратов было предпринято две экспедиции на озеро Байкал для сбора данных. В рамках экспедиций проводилась съемка участка с подтвержденными запасами газогидратов, в камеральных условиях проводилась фотограмметрическая обработка снимков, полученных с БПЛА и фотокамеры с четырнадцати высотных эшелонов. Результатом стал разработанный алгоритм выявления газогидратов по скоплениям пузырей метана во льду.

Ключевые слова: газогидраты; Байкал; фотограмметрическая обработка; облака точек.

PHOTOGRAMMETRIC PROCESSING OF UAV DATA FOR THE PURPOSE OF GAS HYDRATE DETECTION

Medvedev A. A.¹⁾, Volokh E. D.²⁾, Alekseenko N. A.^{1),2)}

¹⁾Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Staromonetniy lane. 29, 119017, Moscow, Russian Federation ²⁾Moscow State University, Leninskie Gory, 1 119991, Russian Federation, Moscow a.a.medvedeff@gmail.com, evolokh000@gmail.com, valtuz@mail.ru

In order to develop an algorithm for detecting gas hydrates, two expeditions were undertaken to Lake Baikal to collect data. As part of these expeditions, a survey of an area with confirmed reserves of gas hydrates was carried out, and photogrammetric processing of images obtained from a UAV and a camera from fourteen altitude levels was carried out under office conditions. The result was an algorithm for identifying gas hydrates based on accumulations of methane bubbles in ice.

Keywords: gas hydrates; Baikal; photogrammetric processing; point clouds.

Запасы нефти и газа относятся к иссякаемым невозобновимым природным ресурсам, поэтому внимание мирового сообщества на сегодняшний день приковано к различным альтернативным источникам энергии. В

том числе таким источником энергии могут являться газогидраты, представляющие заключенные в молекулы воды (их водородную структуру) соединения низкомолекулярных газов [1-5].

В рамках работы была поставлена следующая цель: разработка алгоритма обнаружения скоплений газогидратов с помощью комбинации аэрофотосъемки и обработки данных на базе фотограмметрического программного обеспечения. В качестве исходных материалов использованы данные съемки БПЛА *DJI Phantom 4* (разрешение камеры 20 МП), *DJI Mavic 2 Pro* (разрешение камеры 48 МП) с различных высотных эшелонов. Обработка данных производилась на базе программного обеспечения *Agisoft Metashape 1.5.5*, *Global Mapper 22.1*, *ArcGIS 10.5*.

Газогидраты сохраняют стабильность только при определенных термобарических условиях, частое нарушение которых характерно для рифтовой зоны оз. Байкал. При дестабилизации гидраты распадаются на газ и воду [6]. Пузыри газа поднимаются к поверхности водной толщи и в период ледостава вмерзают в лед.

В рамках сбора данных для разработки алгоритма организовано 2 экспедиции на озеро Байкал в 10 километрах к югу от устья реки Голоустная, где донные отложения содержат подтвержденные исследованиями сотрудников Лимнологического института СО РАН запасы газогидратов [7]. В феврале 2018 г. была произведена съемка первого из исследуемых участков на 3 высотных эшелонах: 375, 440, 460 м. Суммарно было получено 930 снимков. Повторная экспедиция была предпринята в феврале 2021 г., съемка с БПЛА проводилась на тех же участках, но с большим диапазоном высотных эшелонов: 10 м, 20 м, 50 м, 100 м, 150 м, 200 м, 300 м, 350 м, 400 м, 500 м. Для каждого из снимаемых участков были зафиксированы координаты 3 точек с точностью 3-5 м с использованием GPS-приемника. При последующей фотограмметрической обработке эти точки использовались для привязки разреженных и плотных облаков точек.

Более того, с земли были отсняты различные типы пузырей: скопления мелких пузырьков, наиболее крупные пузыри, «многоэтажные» пузыри. Съемка проводилась с использованием зеркального фотоаппарата Canon 550D с фокусным расстоянием в 35 мм с целью минимизации дисторсии объектива. Таким образом, в результате наземной и воздушной съемки получено более 7000 снимков, подлежащих дальнейшей фотограмметрической обработке и анализу.

Для каждого из высотных эшелонов съемки 2021 г. также были построены плотные облака точек (рис. 1), анализ которых производился по

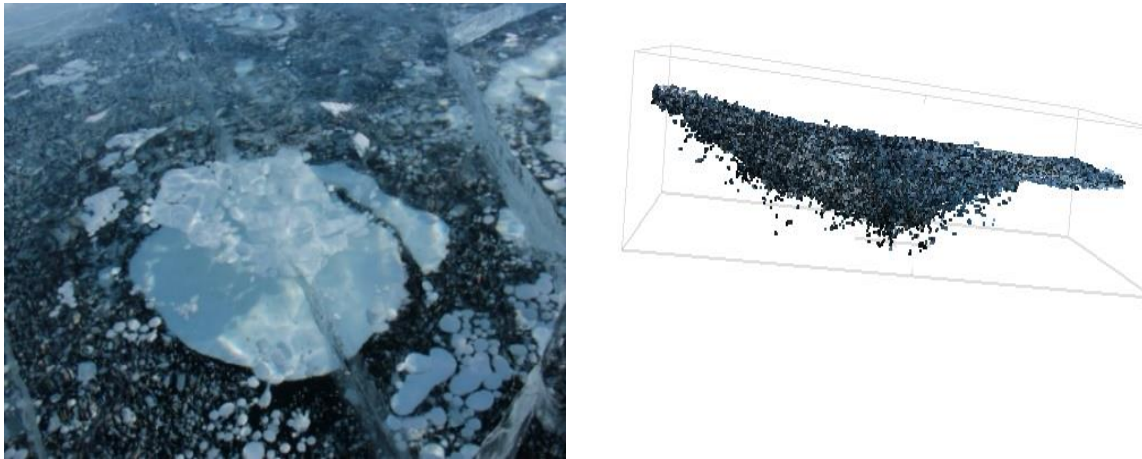


Рис. 1. Пузырь метана (слева) и построенное для него облако точек (справа)

следующим параметрам: глубина перспективы, плотность точек, а также их цвет. Первый параметр представляет собой «выбросы» в местах скопления гидратов на плотном облаке точек. Для анализа второго параметра на базе ПО *Global Mapper* каждое из полученных облаков точек классифицировалось с точки зрения плотности (рис. 2). Стоит отметить, что цвет не является абсолютной характеристикой, так как зависит от погодных условий во время съемки, а также от размера и конфигурации пузырей, вмержших в лед. Тем не менее, при классификации по цвету скопления пузырей можно отличить от заснеженной поверхности, торосов, трещин и открытого льда. Для каждого из высотных эшелонов также построены цифровые модели рельефа (рис. 3) и ортофотопланы, по которым выполнялось сравнение. Всего построено семьдесят одно плотное облако точек, и восемнадцать цифровых моделей местности и ортофотопланов, подвергнутых дальнейшему анализу.

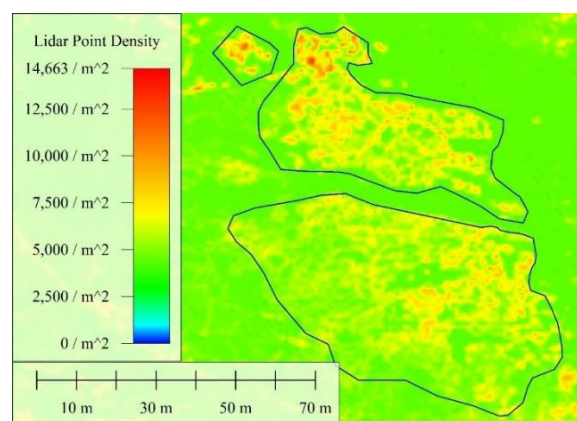


Рис. 2. Классификация по плотности облака точек, построенного по данным съемки с высоты 50 м с разрешением 20 МП

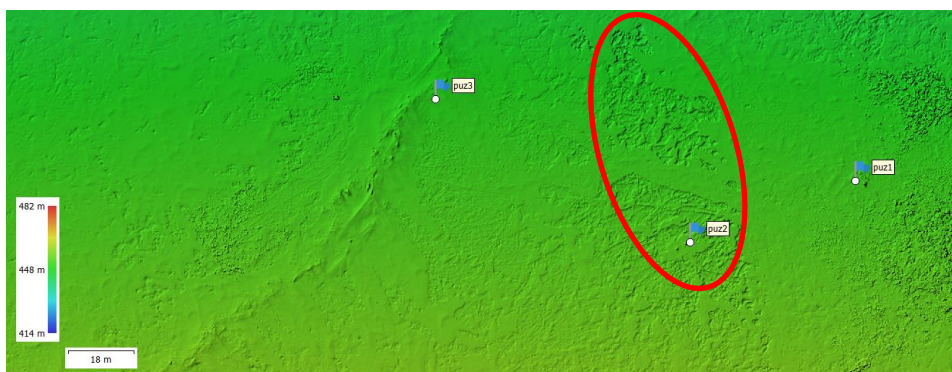


Рис. 3. Локальные понижения, соответствующие скоплениям пузырей метана, на ЦМР, полученной по данным съемки с высоты 100 м с разрешением 20 МП

Таким образом, процесс идентификации залежей газогидратов по вмерзшим в лед пузырькам метана состоит из следующих этапов:

- сначала необходимо произвести съемку исследуемой территории с высоты от 300 до 500 м в зависимости от необходимого охвата и имеющегося оборудования (чем больше площадь исследуемой территории, тем больше высота съемки);
- на базе полученных данных последовательно строятся разреженное и плотное облака точек, цифровая модель рельефа и ортофотоплан;
- далее на базе полученного ортофотоплана производится кластеризация, позволяющая выделить следующие классы: открытую ледовую поверхность, заснеженные участки и промежуточный класс, к которому относятся наледи, трещины, а также скопления пузырей метана (в данной работе этот этап выполнялся на базе ПО ArcGIS 10.5, но для его выполнения может использоваться любое программное обеспечение, поддерживающее обработку растровых изображений). Таким, образом, выделив данный промежуточный класс, можно сократить площадь исследуемой территории до площади участков, попавших в него. Наличие данных о выделенных участках из других источников может помочь сократить их количество или повысить внимание к некоторым;
- на следующем этапе необходимо провести съемку участков, выделенных ранее, с более низких высотных эшелонов (50 м, 100 м (в случае слишком большого количества участков));
- по полученным с высоты 100 м данным также необходимо последовательно построить плотные облака точек и цифровые модели местности;
- при наличии на участке локальных понижений (позволяет отсечь участки с наледями, выделенные на предыдущем участке, описанных в предыдущем параграфе, необходимо классифицировать плотное облако точек, полученное с высоты 50 м по плотности. Если одним и тем же

участкам соответствуют максимальная плотность облака точек, полученного по данным, снятым с высоты 50 м, а также наличие локальных понижений на цифровых моделях местности, полученных по данным съемки с высот 50 и 100 м, можно говорить о запасах газогидратных отложений на рассмотренных участках.

В результате проведенного анализа, созданы карты идентификации залежей газогидратов к югу от устья реки Голоустная, а также определен оптимальный алгоритм обнаружения запасов газогидратов, который может впоследствии применяться в комплексе с другими методами на начальных этапах поиска гидратных отложений в тектонических озерах, таких, как Рица и Байкал. Результаты исследования могут быть полезны как для топливной промышленности, так как запасы газогидратов Байкала содержат около 1 трлн м³ газа [7], так и при изучении глобального потепления или контроля за разрушающимися склонами водных объектов.

Библиографические ссылки

1. *R. Leon, L. Somoza, C.J. Gimenez-Moreno et al.* A predictive numerical model for potential mapping of the gas hydrate stability zone in the Gulf of Cadiz // Elsevier. Marine and Petroleum Geology. 2009 г. Т. 26 С. 1564-1579.

2. *L. Liu, B. Ryu, Zh. Sun et al.* Monitoring and research on environmental impacts related to marine natural gas hydrates: Review and future perspective // Elsevier. Journal of Natural Gas Science and Engineering. 2019 г. Т. 65 С. 82-107.

3. *E. Attias, K. Weitemeyer, S. Holz u др.*, High-resolution resistivity imaging of marine gas hydrate structures by combined inversion of CSEM towed and ocean-bottom receiver data [Журнал]// Geophysical Journal International. 2018 г. С. 1-33.

4. *M. Engram, K. W. Anthony, F. J. Meyer u др.*, Synthetic aperture radar (SAR) backscatter response from methane ebullition bubbles trapped by thermokarst lake ice [Журнал]// Canadian Journal of Remote Sensing. 2012 г. Т. 38 № 6 С. 667-682.

5. *P. R. Lindgren, G. Grosse, K. M. Walter Anthony u др.*, Detection and spatiotemporal analysis of methane ebullition on thermokarst lake ice using high-resolution optical aerial imagery [Журнал]// Biogeosciences. 2016 г. Т. 3 С. 27-44.

6. Neftegaz.ru [Электронный ресурс]. URL: <https://neftegaz.ru/science/petrochemistry/332034-gazovye-gidraty/>; (Дата обращения: 15.02.2024).

7. *О. М. Хлыстов* (Лимнологический институт СО РАН), Результаты поиска и изучения Байкальских газовых гидратов [Доклад] – Москва 2017 г.