

А.А. МУЗЫЧЕНКО, В.А. ЛОБКИНА

## Изучение параметров снежных полигонов с помощью беспилотного летательного аппарата

*Систематическое удаление снега с улиц Южно-Сахалинска и его складирование на снежных полигонах привело к образованию антропогенных снежников, которые не характерны для южного Сахалина. По результатам проведенных нами измерений максимальный объем снега, собранного на полигонах в окрестностях города, за зимний сезон 2017/18 г. составлял более 3 млн м<sup>3</sup>. Описан опыт применения методов дистанционного зондирования, в частности беспилотного летательного аппарата, для определения параметров снежных полигонов.*

*Ключевые слова:* Сахалин, снежные полигоны, БПЛА, 3D-модели.

**Use of drone aircraft for study anthropogenic snow patches.** A.A. MUZYCHENKO, V.A. LOBKINA (Sakhalin department of the Far East Geological Institute, FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk).

*The systematic snow removal from the Yuzhno-Sakhalinsk streets and its storage on anthropogenic snow patches, led to anthropogenic snowfields formation, which are not typical for southern Sakhalin. Based on our measurements results, the maximum volume of snow collected at the snow storageareas, in the city vicinity, during the winter season 2017/18 was more than 3 mln m<sup>3</sup>. The paper describes the remote sensing methods using experience, in particular, drone aircraft in the study of snow polygons on the southern Sakhalin.*

*Key words:* Sakhalin, snow storageareas, drone, aircraft, 3D model.

### Введение

В зимний период на о-ве Сахалин выпадает большое количество снега. Поэтому практически в каждом более или менее крупном населенном пункте приходится обустривать полигоны для складирования снега. Такие полигоны есть в городах Южно-Сахалинск, Корсаков, Невельск, Анива, Холмск и др. [3]. Вместе с тем ни одна площадка для складирования снега не имеет официального статуса, что связано с пробелами в российском законодательстве относительно технических и природоохранных требований к эксплуатации подобных объектов. Одна из причин отсутствия этих требований – недостаточный объем сведений о снежных полигонах и особенностях протекания в них процессов в течение всего времени их существования. Установлено, что в некоторых местах снежные полигоны не тают до конца. Это характерно как для Сахалина, так и для других субъектов России (<https://samarski-kray.livejournal.com/631275.html>; <https://www.kirov.kp.ru/daily/25818/2796566>; <http://vestiprim.ru/2016/03/29/v-ussuriyske-snezhnyy-poligon-mozhet-zatopit-doma-na-neskolkih-ulicah.html>; <http://www.tyumen-city.ru/sobitii/society/yr2016/mn1/dy14/37098>). Период эксплуатации снежных полигонов на юге острова начинается

\*МУЗЫЧЕНКО Александра Александровна – младший научный сотрудник, ЛОБКИНА Валентина Андреевна – кандидат географических наук, старший научный сотрудник (Сахалинский филиал Дальневосточного геологического института ДВО РАН, Южно-Сахалинск). \*E-mail: nestral@yandex.ru

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-35-00127.

в третьей декаде ноября и заканчивается в первой декаде апреля, а период существования снего-ледового образования на месте полигона может быть круглогодичным, как, например, на полигоне в северной части Южно-Сахалинска, где складированный снег не успевает полностью стаять в течение теплого периода года [3, 5, 7].

Вместе со снегом на полигоны попадают противогололедные химические реагенты и бытовой мусор. В процессе таяния территории полигонов превращаются в опасные для городской среды объекты, представляющие собой смесь снега, льда, песко-грунта и бытового мусора, из которого формируются новые полигоны бытовых отходов.

Проведение различного рода замеров на снежных полигонах зимой опасно в связи с круглосуточной работой там тяжелой техники. Не менее рискованно это делать и в весенне-летний период, поскольку исследователь может упасть в трещину или провал, возникающие в снего-ледовом щите при таянии снега. Измерительные работы на снежных полигонах безопаснее всего проводить с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). В последние годы они широко применяются для решения многих научных и прикладных задач. Их использование позволяет сократить сроки сбора морфометрических характеристик объектов и перевести получаемую информацию в 2D- и 3D-модели [1, 2, 6].

Нами БПЛА использовался для наблюдения за динамикой изменения снежных полигонов на юге Сахалина: в городах Южно-Сахалинск и Корсаков. Цель данной работы – с применением БПЛА определить параметры снежных полигонов (высоту, площадь) и рассчитать объем складированной снежной массы для проведения дальнейших работ по оценке скорости снеготаяния, от которой зависит ожидаемый срок существования снежного полигона и последствия воздействия на расположенные вблизи с полигоном здания и объекты инфраструктуры.

## **Методы исследования**

Для видео- и фотофиксации изменения параметров снежных полигонов применялись квадрокоптер DJI Phantom 4 и комплекс программ для выполнения полетного задания, последующей обработки данных и построения 3D-модели.

Исследования с помощью квадрокоптера велись в течение зимнего сезона 2017/18 г. Полетное задание строилось в программе Pix4Dcapture, которая позволяет задать нужную высоту и скорость полета квадрокоптера, а также процент перекрытия фотографий. Одного заряда батареи хватает на 30 мин работы квадрокоптера, за это время он делает около 350 фотографий с высоты 50 м.

Полученные фотографии обрабатывались в Agisoft Photoscan – программе для фотограмметрической обработки цифровых изображений, создания геопривязанных 3D-моделей, ортофотопланов и цифровых моделей местности. В основе обработки фотографий лежит принцип фотограмметрии, т.е. сделанные квадрокоптером фотографии накладываются друг на друга с большим процентом перекрытия, так же объединяется информация о географических координатах. Далее в несколько этапов строится 3D-модель снежного полигона. На первом этапе программа выравнивает фотографии путем поиска общих точек и элементов взаимного ориентирования снимков и формирует разреженное облако точек. На втором этапе программа создает плотное облако точек, на основании которого строится 3D-модель, ортофотоплан, карта высот и т.д.

Построенные 3D-модели снежных полигонов позволяют отслеживать динамику изменения их объема во времени и определять прочие параметры полигонов (высоту, занимаемую площадь и др.).

## Результаты исследования

Особенно актуальна проблема вывоза и складирования снега в г. Южно-Сахалинск. Площадь города составляет 182,2 км<sup>2</sup> (без учета пригородов), средняя продолжительность залегания устойчивого снежного покрова – 150 сут (максимальная до 180 сут). Количество твердых осадков, по данным ГМС «Южно-Сахалинск», составляет в среднем 263 мм/год [4]. В городе работают два снежных полигона «Северный» и «Южный». К началу периода снеготаяния на них накапливается более 1,5 млн м<sup>3</sup> снега [5].

В результате программной обработки 3D-модели каждого полигона получены их характеристики.

**Полигон «Северный».** Площадь полигона 6 га. Для его полного облета потребовался 1 ч (700 фото) работы квадрокоптера в воздухе. По состоянию на 16.01.2018 г. здесь было складировано 304,4 тыс. м<sup>3</sup> снега, максимальная мощность снежных отложений достигла 13 м.

До максимального размера полигон вырос к концу марта (рис. 1). По данным съемки 22.03.2018 г., объем складированного здесь снега составил 998,3 тыс. м<sup>3</sup>, а максимальная мощность отложений – 37 м. За два месяца объем снежной массы на полигоне увеличился почти на 700 тыс. м<sup>3</sup>.

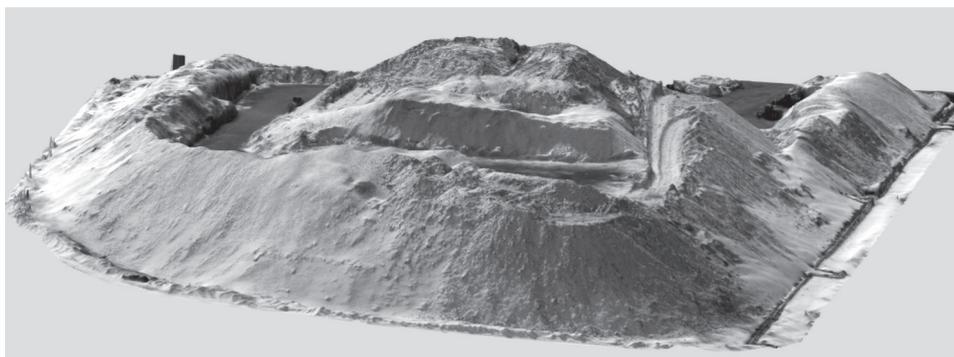


Рис. 1. 3D-модель полигона «Северный» в г. Южно-Сахалинск, 22.03.2018 г.

Результаты облета полигона 24.04.2018 г. свидетельствуют, что после месяца снеготаяния объем отвала уменьшился на 25 % (примерно на 250 тыс. м<sup>3</sup>). Данные по полигонам Южно-Сахалинска приведены в таблице.

Параметры снежных полигонов г. Южно-Сахалинск в зимний сезон 2017/18 г.

Полигон	Дата съемки	Объем снежной массы, тыс. м <sup>3</sup>	Площадь поверхности полигона, га	Средняя мощность, м	Максимальная мощность, м
Северный	16.01.2018	304,4	6,01	5	13
	22.03.2018	998,3	8,63	13	37
	24.04.2018	748,6	7,58	12	33
Южный	02.02.2018	1 000,0	40,21	5	15
	30.03.2018	2 010,3	45,06	5	15
	24.04.2018	1 310,0	43,54	4	13
	23.05.2018	510,0	30,70	3	9

На рис. 2 представлены ортофотопланы полигона «Северный», построенные по результатам облетов 22.03.2018 г. и 24.04.2018 г. На рис. 2а видна дорога, по которой грузовыми машинами к вершине полигона доставляется снег. Там экскаваторами снег разравнивается



Рис. 2. Ортофотоплан полигона «Северный» по состоянию на: *a* – 22.03.2018 г; *б* – 24.04.2018 г. Горизонтالي нанесены через 2,5 м

по территории полигона. Облет 24.04.2018 г. совершен после окончания эксплуатации полигона, когда произошло частичное вытаивание поверхностного снежного слоя и начинает формироваться изолирующий слой, состоящий из песка, грунта и мусора антропогенного происхождения (рис. 2б). Таким образом происходит консервация ледяного ядра полигона и замедляется его таяние. Образовавшиеся в зимние сезоны 2010/11, 2014/15, 2015/16, 2016/17 гг. снежные полигоны не стаивали за теплый период и представляли собой антропогенные снежники-перелетки.

Как отмечалось выше, полигон «Северный» за зимний сезон 2017/18 г. накопил примерно 1 млн м<sup>3</sup> снега, что в пересчете на водный эквивалент, при замеренной средней плотности снего-ледовой массы 500 кг/м<sup>3</sup>, соответствует запасу воды в самом крупном водохранилище Южно-Сахалинска на р. Рогатка – 550 тыс. м<sup>3</sup>. При активном снеготаянии в случае совпадения сроков перехода к положительным температурам с интенсивными дождями возможны подтопления зданий и сооружений на прилегающих к снежному полигону территориях (в том числе ТЭЦ г. Южно-Сахалинск), а также подмыв, затопление и активизация суффозионных процессов на участке автодорожного полотна федеральной трассы Оха–Южно-Сахалинск, расположенного в 150 м от снежного полигона.

**Полигон «Южный»** в зимнем сезоне 2017/18 г. занимал площадь 40 га, что в 5 раз больше площади полигона «Северный». Для полного облета полигона потребовалось 3 ч работы квадрокоптера в воздухе. За это время сделано 2300 фотоснимков.

Максимальная площадь основания полигона (40 га) зафиксирована во время облета 30.03.2018 г. Площадь поверхности полигона на эту дату составляла 45 га, объем складированного снега чуть больше 2 млн м<sup>3</sup>. Средняя мощность снеговых отложений 5 м, максимальная – 15 м. Данные об изменении параметров полигона приведены в таблице.

За месяц снеготаяния объем снега на полигоне уменьшился на 700 тыс. м<sup>3</sup> и к концу апреля составил 1,31 млн м<sup>3</sup>, к концу мая – 510 тыс. м<sup>3</sup>. Такое существенное сокращение объема снега связано с большой площадью, занимаемой полигоном, и незначительной средней высотой тела полигона. Площадь полигона «Южный» зимой 2017/18 г.

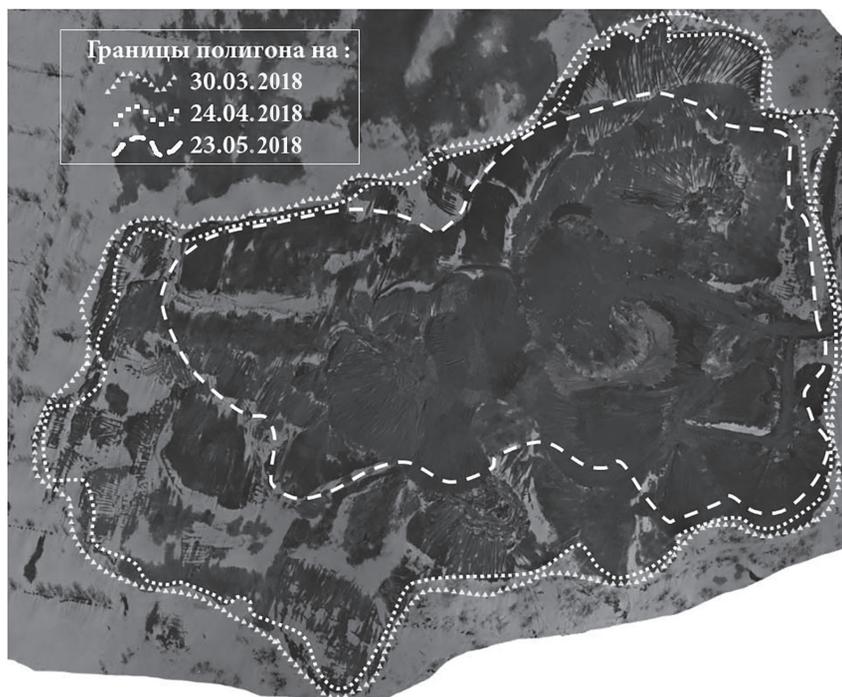


Рис. 3. Ортофотоплан полигона «Южный» с указанием его границ на 30.03.2018 г., 24.04.2018 г., 23.05.2018 г.

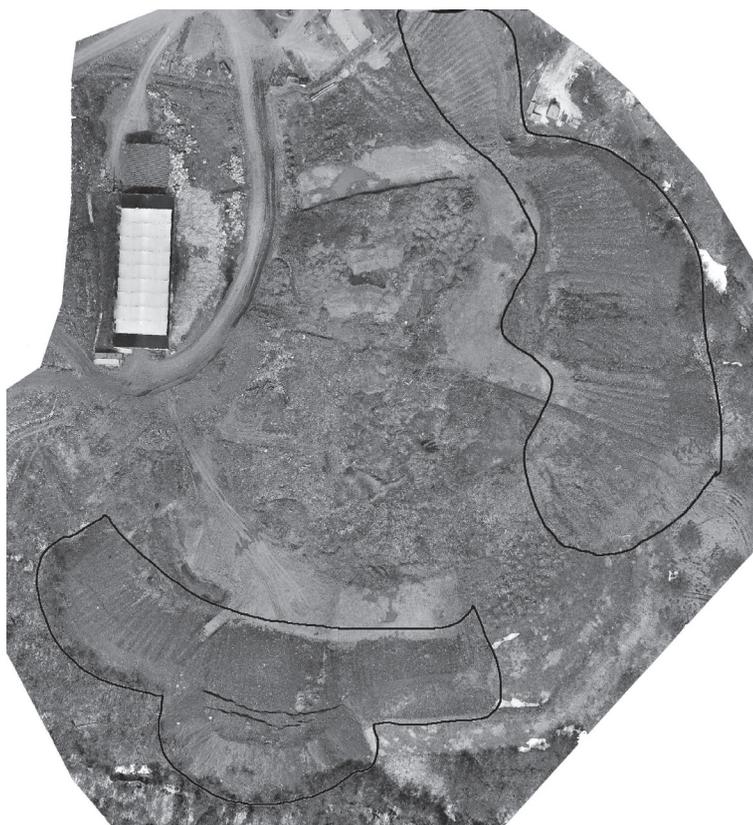


Рис. 4. Ортофотоплан участков, занятых под складирование снега на территории полигона ТБО г. Корсаков, 24.04.2018 г.

увеличилась в 2 раза по сравнению с зимним сезоном 2016/17 г. При активном снеготаянии, также как и на полигоне «Северный», происходит подтопление прилегающих территорий. На ортофотоплане (рис. 3) показано изменение границ полигона «Южный» в разные периоды его существования.

Систематическое удаление снега с улиц и его складирование на снежных полигонах в окрестностях Южно-Сахалинска привели к формированию антропогенных снежников-перелетков, не характерных для юга Сахалина.

**Полигон «Корсаковский»** (рис. 4) расположен в окрестностях г. Корсаков на полигоне ТБО. Суммарный объем снега, вывезенного с территории города в зимний сезон 2017/18 г., составил 271,3 тыс. м<sup>3</sup>. Во время облета 24.04.2018 г. установлено, что снежные массы занимают два участка общей площадью 2,4 га, суммарный объем снега достигал 118 тыс. м<sup>3</sup>.

## Выводы

Применение квадрокоптера и комплекса программного обеспечения для оценки параметров снежных полигонов позволяет получить точные количественные данные параметров изучаемого объекта.

Наблюдения, проводимые зимой 2017/18 г., показывают, что суммарный объем снега, складированного на снежных полигонах г. Южно-Сахалинск, к началу апреля составил более 3 млн м<sup>3</sup>, что в 2 раза больше среднемноголетних значений. Такой объем снега на полигонах связан с большим количеством осадков – 368 мм, по данным ГМС «Южно-Сахалинск» (140 % нормы), и их распределением в течение зимнего сезона.

Рост объема снега, вывезенного на снежный полигон, отмечается и для г. Корсаков. Общий объем снега, складированного на полигоне зимой 2017/18 г., составил 271,3 тыс. м<sup>3</sup>, в то время как зимой 2016/17 г. на полигон было вывезено всего 11 тыс. м<sup>3</sup> снега.

Несмотря на то, что снежные полигоны расположены вблизи населенных пунктов и к ним именуются подъездные пути, проведение натурных наблюдений за ними без использования современных дистанционных методов затруднено и опасно. БПЛА позволяют снизить риски для исследователей, сократить время полевых работ и камеральной обработки, а также получить более точные данные о параметрах снежных полигонов, в том числе в графическом виде.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гагарин Л.А., Волгушева Н.Э. Количественная оценка смещения оползня на участке федеральной автодороги А-360 «Лена» в южной Якутии // Применение беспилотных летательных аппаратов в географических исследованиях: материалы Всерос. науч.-практ. конф. Иркутск: Изд-во Ин-та географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2018. С. 48–51.
2. Ерофеев А.А., Ябаркин А.Ю., Еремеев В.Ф. Первые результаты аэрофотосъемки горно-ледникового бассейна Актру с использованием БПЛА // Применение беспилотных летательных аппаратов в географических исследованиях: материалы Всерос. науч.-практ. конф. Иркутск: Изд-во Ин-та географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2018. С. 68–73.
3. Казакова Е.Н., Лобкина В.А. Снегоопасность о. Сахалин. Владивосток: Дальнаука, 2016. 112 с.
4. Климат Южно-Сахалинска. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 256 с.
5. Лобкина В.А., Генсиоровский Ю.В., Ухова Н.Н. Геоэкологические проблемы участков, занятых снежными полигонами в городах (на примере г. Южно-Сахалинск) // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геоэкология. 2016. № 5. С. 328–338.
6. Применение данных аэрофотосъемки с БПЛА DJI Phantom 4 для высокдетального ландшафтного картирования болотных геосистем (на примере болота Аргулад, о-в Большой Шантар) // Применение беспилотных летательных аппаратов в географических исследованиях: материалы Всерос. науч.-практ. конф. Иркутск: Изд-во Ин-та географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2018. С. 89–93.
7. Podolskiy E.A., Lobkina V.A., Gensirovsky Y.V., Thibert E. Evaluating ablation and environmental impact of anthropogenic snow patches (Yuzhno-Sakhalinsk, Russia) // Cold Regions Science and Technology. 2015. Vol. 114. P. 44–60.