

# Прикладные проблемы

УДК 528.88

## Аэрофотосъёмка районов российских антарктических станций Мирный и Прогресс в сезон 2014/15 г.

© 2015 г. С.С. Пряхин<sup>1</sup>, С.В. Попов<sup>2</sup>, Н.В. Сандалюк<sup>3</sup>, В.Л. Мартьянов<sup>1</sup>, С.П. Поляков<sup>1</sup><sup>1</sup>Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург;<sup>2</sup>Полярная морская геологоразведочная экспедиция, Санкт-Петербург;<sup>3</sup>Институт наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета

spopov67@yandex.ru

## Aerial photography of Russian Antarctic stations Mirny and Progress in summer of 2014/15

S.S. Pryakhin<sup>1</sup>, S.V. Popov<sup>2</sup>, N.V. Sandalyuk<sup>3</sup>, V.L. Mart'yanov<sup>1</sup>, S.P. Polyakov<sup>1</sup><sup>1</sup>Arctic and Antarctic Research Institute, St.-Petersburg; <sup>2</sup>Polar Marine Geosurvey Expedition, St.-Petersburg;<sup>3</sup>Institute of Earth Sciences, St. Petersburg State University

Статья принята к печати 29 мая 2015 г.

*Аэрофотосъёмка, Восточная Антарктида, обнаружение трещин, станция Мирный, станция Прогресс.**Aerial photography, crevasse detection, East Antarctica, Mirny Station, Progress Station.*

В результате работ летом 2014/15 г. составлен фотоплан района станции Мирный размером 3,5×3,5 км с детальностью 16 пиксель/см; он станет основой при планировании здесь нового аэродрома. Аналогичная работа выполнена в районе станции Прогресс на участке протяжённостью около 35 км вдоль трассы «Прогресс – Восток». Установлено, что трещины, опасные для людей и транспортной техники, на этой территории отсутствуют.

Aerial photographing performed during the field season of 60<sup>th</sup> Russian Antarctic Expedition (2014/2015) made possible to construct a photoplan of the Mirny station. Its size is 3,5×3,5 km with resolution of 16 pixels/cm, and it will be used as a basis for designing of new airport. Similar work had been done over the Progress station along the route "Progress – Vostok", about 35 km long. It was found that any crevasses dangerous for people and transport were absent on this area.

### Введение

Использование средств визуального анализа – важный инструмент при исследовании крупномасштабных явлений и процессов на поверхности планеты. Наряду со спутниковыми данными к одному из основных источников визуальной информации об объектах относится аэрофотосъёмка. Её применение позволяет решать широкий спектр фундаментальных и прикладных задач в различных областях. Ключевая особенность современных методов аэрофотосъёмки – получение фотопланов с высокой степенью детализации, которая необходима при комплексном мониторинге поверхности нашей планеты, что, в частности, играет важную роль при изучении эволюции ледников. Установлено, что приповерхностные структуры, как правило, отражаются в морфологии самой поверхности. Это утверждение справедливо и применительно к ледникам. Именно анализ

высот дневной поверхности, выполненный по данным спутниковой альтиметрии, позволил впервые высказать предположение о наличии обширного подледникового водоёма, получившего название озера Восток, в центральной части Восточной Антарктиды [4]. Другой пример. Современная геоморфология сформировалась как наука в результате изучения и осмысления строения поверхности нашей планеты в конце XIX – начале XX вв. Фундаментальный труд немецкого учёного Вальтера Пенка [3] открыл новые горизонты и позволил сделать первый шаг к изучению закономерностей облика Земли, её строения и эволюции. Всё это показывает, что изучение поверхности как таковой, даже с помощью обычных средств визуального анализа, – весьма информативный и перспективный метод исследования.

Аэрофотосъёмка имеет огромное прикладное значение, особенно в Антарктиде. В частности, на протяжении многих лет для логисти-

ческого обеспечения отечественных станций используются воздушные суда разного типа и класса, регулярные рейсы которых выполняются со взлётно-посадочных полос, расположенных на ледниках. Изучение их динамики определяет успешность функционирования аэродромов, так как относительно большая скорость течения ледника может привести к образованию трещин. Их наличие делает территорию потенциально опасной и для людей, и для транспортной техники. Так, крупные трещины есть на станции Мирный и в её окрестностях, а также на участке трассы следования санно-гусеничных походов между станциями Прогресс и Восток. В ходе летнего полевого сезона 60-й Российской антарктической экспедиции (2014/15 г.) была выполнена аэрофотосъёмка в районе станций Мирный и Прогресс. Используемой методике и результатам этих работ посвящена настоящая публикация.

#### Методические рекомендации для выполнения аэрофотосъёмки

Опыт показывает, что подготовка к выполнению данного вида работ в современных условиях включает в себя: расчёт аэрофотосъёмочных маршрутов; расстановку специальных опознаков или выбор объектов, которые могут ими быть; максимально точное определение планового положения опознаков, что позволяет нанести географическую сетку на окончательный фотоплан. Для этого опознаки должны быть равномерно распределены по всему району съёмки. В качестве опознаков можно использовать объекты, контрастно выделяющиеся на фотоснимке. Это необходимо для их уверенной идентификации при последующей обработке.

Для выполнения площадной аэрофотосъёмки прокладываются параллельные маршруты с заданным продольным (по длине маршрута) и поперечным перекрытием фотоснимков. Специфика работ в прибрежной части Антарктиды — наличие кatabатического ветра, направленного в сторону побережья. По данным метеорологической службы станции Мирный, его скорость в период антарктического лета за весь период наблюдений не опускалась ниже 10 м/с (В.В. Шестериков, 2015, частное сообщение). Постоянно дующий сильный боковой ветер приводит к

тому, что съёмочный вертолёт может отклониться от маршрута. Кроме того, воздушный поток способен развернуть воздушное судно, которое начинает «лететь боком» (рысканье). Опыт предыдущих работ [2] показал, что из-за влияния кatabатического ветра на воздушное судно продольное и поперечное перекрытия между соседними фотоснимками следует увеличить до 45 и 65% соответственно.

Основной параметр, определяющий методику выполнения аэрофотосъёмки, — масштаб фотоснимка  $1/m$ . Согласно [1], он находится как

$$1/m = f/H, \quad (1)$$

где  $f$  — фокусное расстояние камеры;  $H$  — относительная высота полёта (радиовысота) воздушного судна.

Затем, исходя из выбранного масштаба, размер фотоснимка на местности определяется как  $L = 10^{-3}\xi m$ , где  $\xi$  соответствует стороне датчика изображения, выраженной в миллиметрах. Ключевой параметр, обеспечивающий качество аэрофотосъёмки, — временной интервал между кадрами  $T$ . Для его расчёта предварительно вычисляется так называемый *базис фотографирования*  $B$  — расстояние на местности между пунктами, в которых проводятся две последовательные экспозиции. Время  $T$  находится исходя из заданного продольного перекрытия  $P$  (выражено в процентах) и масштаба съёмки как  $B = m(100 - P)\xi_y \cdot 10^{-5}$ , где  $\xi_y$  — длина датчика изображения, мм. В этом случае  $T$  определяется как

$$T = B/V_a,$$

где  $V_a$  — путевая скорость воздушного судна, м/с.

Расстояние между двумя смежными маршрутами  $A$  вычисляется аналогичным образом исходя из заданного поперечного перекрытия  $D$ , как  $A = m(100 - D)\xi_x \cdot 10^{-5}$ , где  $\xi_x$  — сторона, соответствующая ширине датчика изображения, мм. При выполнении аэрофотосъёмки с использованием цифровой фотоаппаратуры важный параметр, от которого зависит масштаб фотоснимка на местности, — соотношение  $e/R$ . Оно означает, что заданному количеству пикселей  $e$  на изображении соответствует размер на местности  $R$ , выраженный в миллиметрах. Величина  $R$  такова, что  $R = m/\zeta$ , где  $\zeta$  — количество пикселей в 1 мм датчика изображения.

Для получения качественных исходных материалов аэрофотосъёмки необходимо, чтобы крен и тангаж воздушного судна в процессе выполнения работ не превышали  $3^\circ$ . Превышение этой величины приводит к перспективным искажениям фотоснимка (дисторсии) [1]. Постоянная скорость позволяет избежать потерь исходного материала из-за недостаточного интервала между последовательными экспозициями. По опыту работ [2], скорость ветра более 20 м/с приводит к недопустимым наклонам воздушного судна относительно плоскости съёмки.

Важный аспект, влияющий на выполнение аэрофотосъёмки, – метеорологические условия. Такие атмосферные явления, как осадки или туман, вызывают оптические искажения (световые аберрации), затрудняющие последующую обработку фотоснимков. Аэрофотосъёмку следует выполнять при ясной погоде в вечернее или утреннее время, так как одна из ключевых характеристик – условия освещённости. Солнце, расположенное под углом менее  $45^\circ$  относительно горизонта, формирует боковое освещение объектов. Это позволяет получать более контрастные фотоснимки и выделять объекты, не различимые при более высоком положении Солнца. Данный подход улучшает информативность съёмки, что соответственно влияет и на качество конечного результата.

Отметим, что при пологом падении солнечных лучей на поверхность ледника наблюдается эффект «подсветки» трещин за счёт преломления лучей на границе раздела сред. Причём на возможность их идентификации значительно влияет запорошенность снегом. Свежевыпавший снег, пожалуй, основной фактор, камуфлирующий объекты непосредственного поиска. Он выравнивает и деформирует микрорельеф, что увеличивает вероятность ошибок и пропуска трещин. Практически это означает, что после снегопада выполнять данный вид работ не рекомендуется.

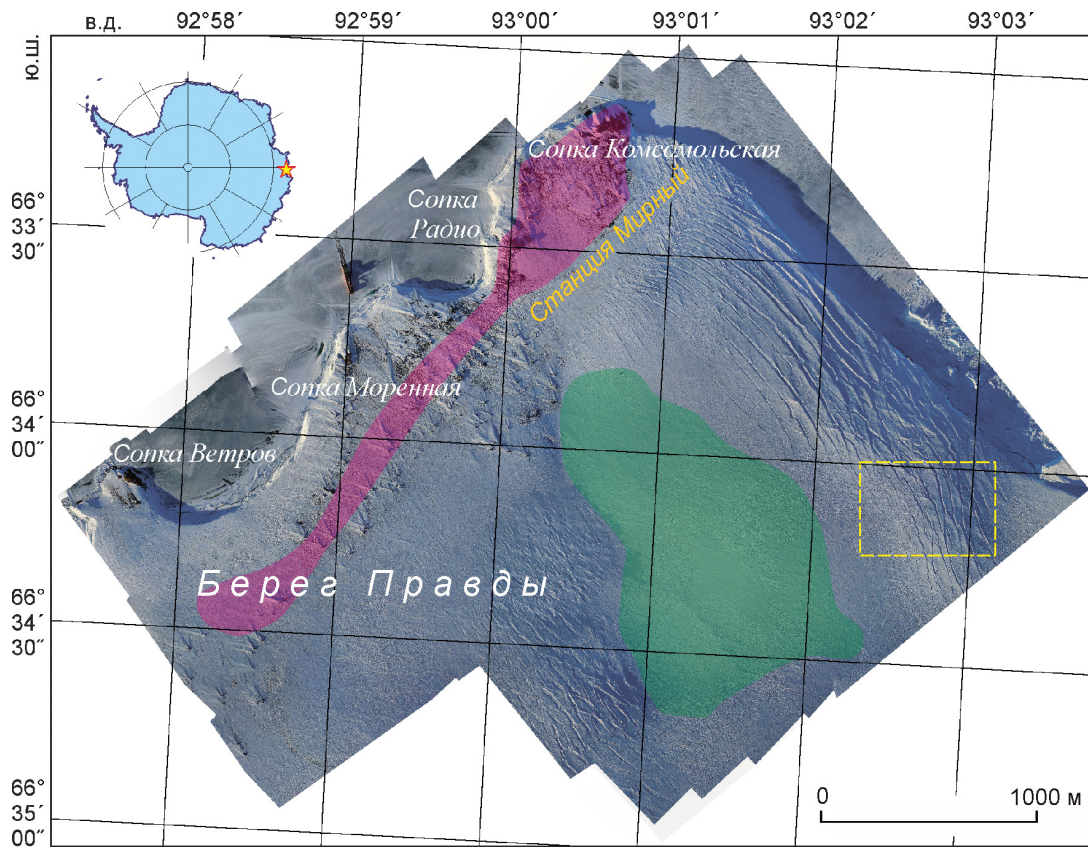
### **Работы на станции Мирный**

Аэрофотосъёмка станции Мирный, её окрестностей и предполагаемого места строительства взлётно-посадочной полосы проведена 11 января 2015 г. на вертолёте Ка-32 (борто-

вой номер RA-31021). Работы выполнялись по 14 маршрутам с межмаршрутным расстоянием 280 м и общей протяжённостью 52,5 км, что обеспечило составление фотоплана с детальностью 16 пиксель/см. Всего получено 219 фотоснимков. Статистические расчёты, выполненные по 14 опознакам, показали, что точность нанесения географической сетки составила 17 м. Фотоплан, построенный по результатам аэрофотосъёмки, представлен на рис. 1.

Данная работа выполнялась с целью картирования исследуемой территории на текущий момент, а также получения оперативной информации для последующей рекогносцировки и планирования работ. Размер полигона –  $3,5 \times 3,5$  км, что позволило включить в фотоплан территорию, расположенную вокруг предполагаемой взлётно-посадочной полосы, для получения представления о гляциологических особенностях района. Опыт предыдущих аналогичных работ показал, что детализация фотоплана, соответствующая 16 пиксель/см, достаточна для идентификации и локализации трещин значимого размера, а также нанесения оперативной ситуации, связанной с природным и антропогенным воздействиями [2]. Аэрофотосъёмка выполнена согласно приведённым ранее методическим указаниям.

В работах использовалась цифровая зеркальная камера Canon 650D со следующими техническими характеристиками: размер датчика изображения –  $22,3 \times 14,9$  мм; объектив Canon EF 40 mm 1:2,8 STM; эффективное количество пикселей 18,4 млн; размер и тип изображения  $5184 \times 3456$  пикселей, jpeg. Съёмка выполнялась покадрово, с выдержкой 1/1600 с при чувствительности ISO 100. В ходе анализа полученного фотоплана визуально идентифицированы структурные объекты, включая трещины. Последние в качестве непосредственного объекта поиска имеют одинаковый или практически одинаковый цвет с основным фоном. Однако ввиду того, что они формируют специфический микрорельеф, съёмка при ярко выраженном боковом освещении позволила выявить их как линейные структуры различной протяжённости и простираения. Результаты выполненной работы показывают, что ширина трещин в этом районе превышает 15 м (рис. 2).

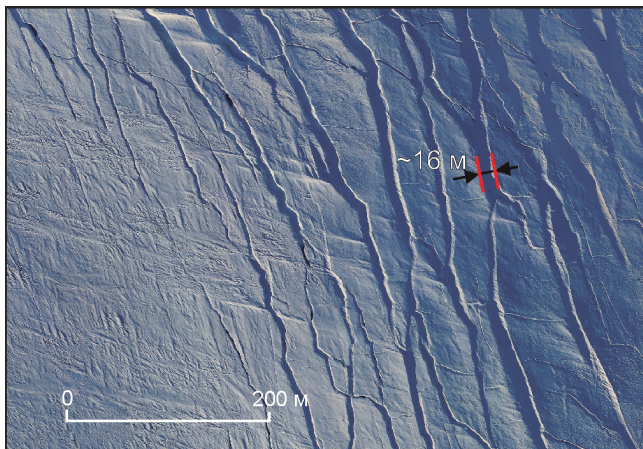


**Рис. 1.** Фотоплан станции Мирный.

Зелёным цветом показана область, внутри которой трещины видимых размеров отсутствуют; розовым цветом – границы станции Мирный; жёлтым прямоугольником – положение фрагмента фотоплана, представленного на рис. 2

**Fig. 1.** Photographic plan of Mirny Station.

Area where crevasses have not detected is depicted by green; Mirny Station border is shown by pink; fragment shown in the Fig. 2 is depicted by green rectangle



**Рис. 2.** Фрагмент фотоплана станции Мирный в районе зоны трещин.

Положение фрагмента дано на рис. 1

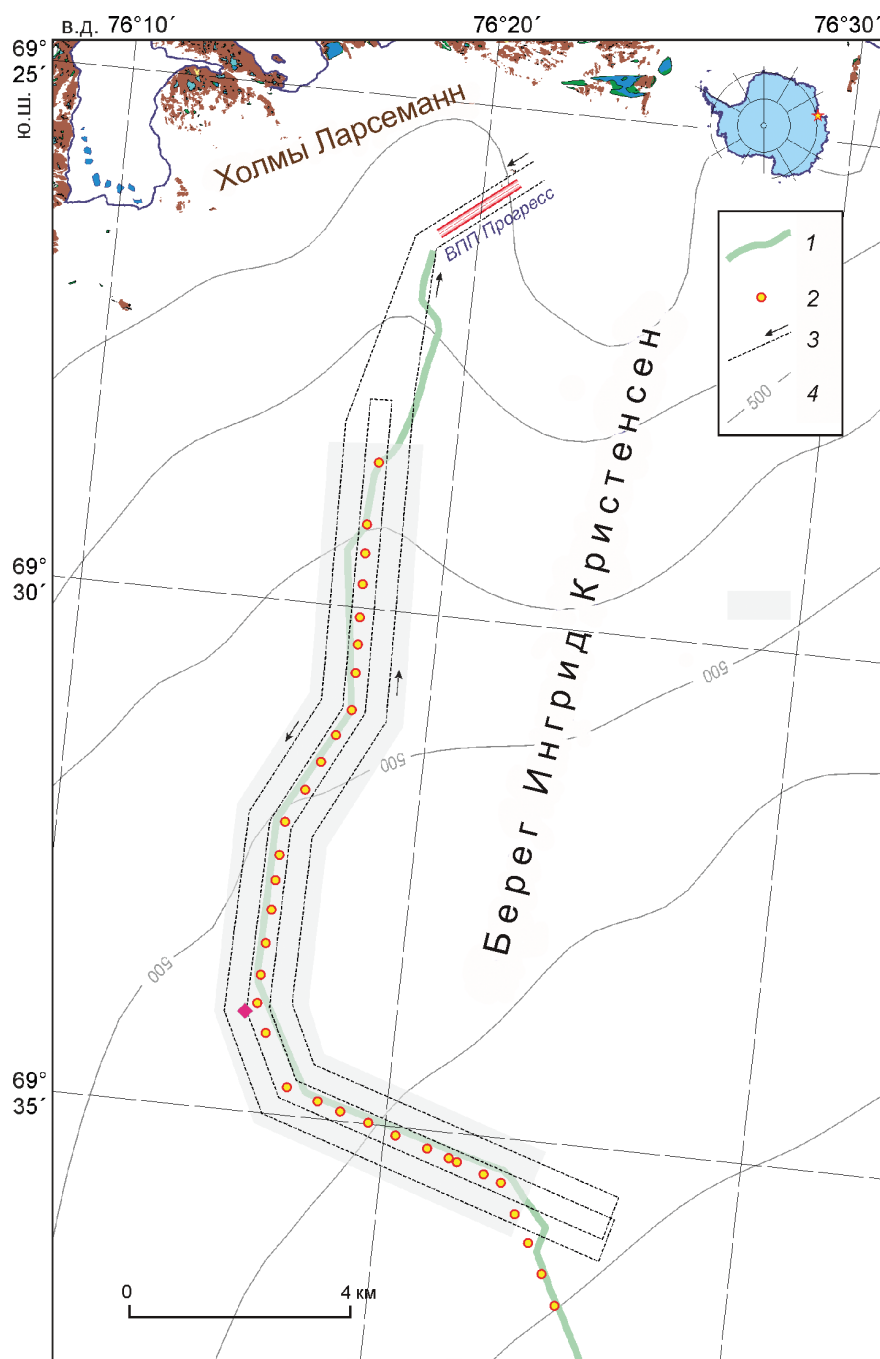
**Fig. 2.** Fragment of the Mirny Station photographic plan at the crevasse area.

See location in the Fig. 1

### Работы в районе станции Прогресс

После перемещения базы санно-гусеничных походов со станции Мирный на станцию Прогресс последняя превратилась в единственный пункт обеспечения жизнедеятельности внутриконтинентальной станции Восток. На сегодняшний день, как и полвека назад, её обеспечение невозможно представить себе иным способом. Существующая трасса следования санно-гусеничных походов проходит через зону трещин, что делает её небезопасной для людей и транспортной техники. В связи с этим поиск пути пересечения этой зоны с минимальным риском, а также выявление трещин в районе трассы – приоритетные задачи как для сотрудников РАЭ, так и для сотрудников санно-гусеничных походов.

Для выяснения наличия приповерхностных трещин на одном из наиболее ответствен-



**Рис. 3.** Схема аэрофотосъёмки в районе трассы следования санно-гусеничного поезда «Прогресс – Восток».

1 – трасса следования санно-гусеничного поезда «Прогресс – Восток»; 2 – опознаки; 3 – маршруты аэрофотосъёмки и их направление; 4 – изогипсы дневной поверхности, м; сечение изолиний 100 м; красный ромб – положение трещины, представленной на рис. 4

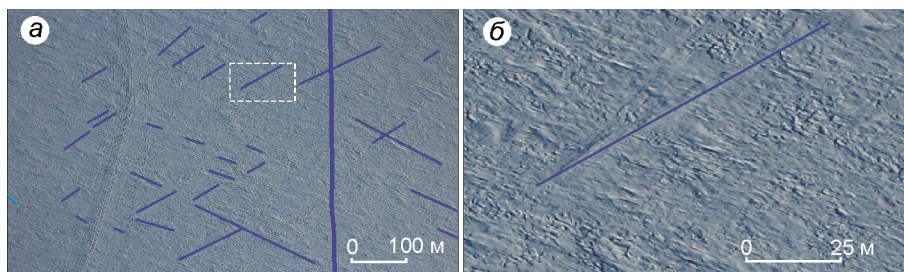
**Fig. 3.** Location of the aerial photography at the area of the «Progress – Vostok» logistic traverse:

1 – logistic traverse route; 2 – topobeacons; 3 – aerial photography flights; 4 – ice surface elevation m; contour interval is 100 m; crevasse shown in Fig. 4 is depicted by red rhomb

ных участков трассы следования санно-гусеничных походов протяжённостью около 35 км (рис. 3) вечером 1 февраля 2015 г. была выполнена аэрофотосъёмка. Методика её выполнения изложена выше. Всего пройдено четыре маршрута общей протяжённостью 90,25 км, расположенных параллельно трассе следования санно-гусеничного похода. Для координирования фотоснимков по трассе было расставлено 34 опознака. Степень детализации фотосним-

ков составила 16 см/пиксель, что вполне достаточно для идентификации и локализации трещин большого размера [2].

Трещины возникают в областях относительно быстрого движения ледника в том случае, когда напряжения в нём достигают предельных значений. Они представляют собой достаточно протяжённые линейные участки, расположенные ортогонально линии тока, открытые либо перекрытые снежными мостами разной толщи-



**Рис. 4.** Аэрофотоснимок (а), выполненный в районе трассы следования санно-гусеничного похода «Прогресс – Восток», и его фрагмент (б).

Основные линеаменты нанесены голубыми линиями; утолщённая линия связана с трещиной в теле ледника; границы укрупнённого фрагмента (секция б) показаны белым прямоугольником

**Fig. 4.** Aerial photograph over at the area of «Progress – Vostok» logistic traverse (а) and its fragment (б).

The major lineaments are depicted by blue lines; section б is located by white rectangle

ны. Практически это означает, что трещины на аэрофотоснимке выявляются в виде протяжённых линейных отрицательных форм рельефа.

Обратимся к фрагменту аэрофотосъёмки, представленному на рис. 4, а, поскольку он весьма показателен в плане идентификации трещин. Выявим на нём все линеаменты неантропогенного генезиса (в отличие от трассы следования санно-гусеничных походов). На рис. 4, а они нанесены голубыми линиями. Установлено, что имеются три основных азимута простираения выявленных линеаментов:  $60^\circ$ ,  $120^\circ$  и  $0^\circ$  в координатах фотоснимка. Объекты, связанные с первыми двумя значениями, характеризуются относительно небольшой длиной (первые сотни метров) и схожестью формы. Это, в свою очередь, косвенно указывает на их одинаковый генезис. Разумеется, классическая геоморфология предостерегает от ошибок подобного обобщения и отмечает, что похожие формы рельефа не всегда сформировались под действием одних и тех же процессов. Однако в нашем примере есть все основания предполагать, что обсуждаемые объекты сформированы под действием процессов ветровой эрозии. Укрупнённый фрагмент одного из них, представленный на рис. 4, б, однозначно указывает, что это – эоловая форма рельефа снежной поверхности.

Иначе обстоит дело с линеаментом, характеризующимся простираением близким к  $0^\circ$ . Это – весьма протяжённая отрицательная форма рельефа. Её внешний облик полностью соответствует тому, как должна выглядеть трещина на аэрофотоснимке [2]. Характеризуя участок в обсуждаемом аспекте в целом, отметим, что трещин значимого размера, пересекающих трас-

су, обнаружено не было. Однако на расстоянии всего 200 м от трассы есть множество трещин, способных нанести существенный вред людям и транспортной технике.

Проведённая аэрофотосъёмка показала, что на момент её выполнения нет оснований предполагать наличие трещин, опасных для людей и транспортной техники, расположенных на обследованном участке как самой трассы «Прогресс – Восток», так и в непосредственной близости от неё.

### Заключение

На основе разработанных авторами методических рекомендаций при проведении аэрофотосъёмки на Антарктическом ледниковом покрове получены фотопланы высокого разрешения. Они позволили установить и локализовать приповерхностные трещины, а также определить их размеры. В настоящее время результаты аэрофотосъёмки используются при проектировании аэродрома на станции Мирный, а также для оценки безопасности трассы следования санно-гусеничного похода.

**Благодарности.** Авторы признательны экипажу борта RA-31021 вертолёта КА-32 под командованием В.В. Щербинина (ЗАО «Авиалифт Владивосток») за качественное выполнение маршрутов аэрофотосъёмки и сотрудникам аэродромного отряда Е.Г. Грузинову, С.В. Кашину, А.И. Куцурубe, Ю.И. Нездeрову и А.Л. Новикову за помощь в выполнении работ.

## Литература

1. Волков Н.А. Руководство по производству ледовой авиаразведки. Л.: Гидрометеиздат, 1981. 241 с.
2. Черноглазов Ю.Б., Попов С.В., Мартыанов В.Л. Проведение аэрофотосъемки на российской станции Прогресс в Восточной Антарктиде в 2004–2005 гг. // МГИ. 2006. Вып. 100. С. 160–164.
3. Penck W. Die Morphologische Analyse. Stuttgart: Verlag von J. Engelhorn's nachf. in Stuttgart, 1924. 283 с.
4. Ridley J.K., Cudlip W., Laxon S.W. Identification of subglacial lakes using ERS-1 radar altimeter // Journ. of Glaciology. 1993. V. 39. № 133. P. 625–634.

## Summary

Results of aerial photographing performed during the field season of 60<sup>th</sup> Russian Antarctic Expedition (2014/2015) over the Russian stations Mirny and Progress are presented. These works were aimed at detecting and localizing of crevasses for the reason of

safety for the personnel and transport vehicles. Totally, 219 photographs were made. Photographic plan of the Mirny station had been constructed for the area of  $3.5 \times 3.5$  km with resolution of 16 pixels/cm. Standard error of the mapping calculated from 14 coordinated markers was 17 m. Analysis of the photographic data had shown that width of crevasses near Mirny station reached 15 m. This photographic plan will be used as a basis for designing of new airport (snow runway) at this station. Similar work was carried out near the Progress Station over the route of 35 km long along the way of the sleigh-caterpillar train moving from Mirny to the inland station Vostok. The aerial photographic data were collected here along four profiles performed in parallel to the traverse route; its total length was 90.25 km. The lineaments revealed on the photos were mostly related to the eolian landforms, however some of them were crevasses located about 200 meters apart from the traverse route. It was found that any crevasses dangerous for people and transport were absent on this area.

## XVI ГЛЯЦИОЛОГИЧЕСКИЙ СИМПОЗИУМ ПЕРВЫЙ ЦИРКУЛЯР

С 24 по 29 мая 2016 г. в г. Санкт-Петербург состоится XVI Гляциологический симпозиум под девизом «**Прошлое, настоящее и будущее криосферы Земли**». Он проводится Гляциологической ассоциацией совместно с Институтом географии РАН и Арктическим и Антарктическим научно-исследовательским институтом.

### Научная программа

Симпозиум охватит широкий круг вопросов криологии Земли. Предполагается заслушать доклады с результатами исследований последних лет по широкому спектру ключевых проблем гляциологической науки. Для каждого устного доклада, вместе с дискуссией, отводится около 20 минут. Предполагаются также стендовые доклады. Рабочие языки симпозиума – русский и английский (без синхронного перевода).

Подробная информация о проведении Симпозиума, регистрации и приеме тезисов будет дана на сайте журнала «Лёд и Снег» <http://ice-snow.igras.ru> и на сайте симпозиума [www.glac2016.igras.ru](http://www.glac2016.igras.ru) с осени 2015 г.

**Основные требования для подготовки тезисов:** 1) тезисы представляются на русском или английском языках; 2) заголовок тезисов должен содержать не более 10 слов; 3) текст тезисов не должен превышать 2500 знаков (одна страница в формате А4); 4) заголовок, авторы, организации располагаются вверху страницы посередине отдельных строк; 5) для набора используется Microsoft Word (в форматах \*.doc или \*.rtf), шрифт Times New Roman, 12 pt, однострочный интервал, абзацный отступ – 1,25 см. **Срок представления тезисов – до 15 февраля 2016 г.**

Доклады Симпозиума, прошедшие рецензирование, будут опубликованы в журнале «Лёд и Снег». Их тексты, **оформленные по правилам этого журнала**, следует прислать **до 15 апреля 2016 г.** электронной почтой ([khronika@mail.ru](mailto:khronika@mail.ru)) на имя О.В. Рототаевой. Объем текста доклада – 10–15 страниц (шрифт Times New Roman, 12 pt, через 1,5 интервала), плюс необходимое количество иллюстраций (как правило, не более шести) в компьютерном исполнении. Окончательная программа симпозиума будет составлена на основе представленных текстов докладов.

Для демонстрации докладов должна быть использована компьютерная презентация. Предварительная программа симпозиума будет вывешена на сайте около 15 марта 2016 г.

Программа симпозиума предполагает приезд участников в Санкт-Петербург в понедельник 23 мая. Планируются четыре дня заседаний и два дня экскурсий в городе и его окрестностях. В один из вечеров будет организован банкет. Стоимость банкета, стоимость и содержание экскурсий будут объявлены позже на сайте симпозиума.

### Регистрация

Индивидуальный регистрационный взнос на проведение симпозиума составляет 2500 рублей. Он включает в себя папку участника с тезисами докладов симпозиума и другими информационными материалами, годичную (1000 рублей на 2017 год) подписку на журнал «Лёд и Снег», где будут публиковаться материалы симпозиума, а также кофе-брейки во время работы симпозиума.

Все желающие участвовать в симпозиуме (независимо от того, будете ли Вы делать доклад или нет) должны **до 15 февраля 2016 г.** зарегистрироваться на сайте симпозиума, заполнив следующие блоки.

1. Персональная информация (фамилия, имя, отчество; учёное звание; место работы и должность; контактная информация; обязательно e-mail). Просим Вас в поле «комментарии» указать название доклада.

2. Проживание (указать даты приезда и отъезда). Заказ и размещение в гостиницах города делается самостоятельно (самое простое – через сайт [booking.com](http://booking.com)).

3. Тезисы доклада.

4. Желание участвовать в экскурсиях.

### Адреса для переписки:

119017 Москва, Старомонетный пер. 29. Институт географии РАН, Оргкомитет XVI Гляциологического симпозиума.

Телефон: +7 (495) 959-0032. Факс: +7 (495) 959-0033.

Сайт: [www.glac2016.igras.ru](http://www.glac2016.igras.ru)

E-mail: [glac2016@igras.ru](mailto:glac2016@igras.ru)

**Надеемся увидеть Вас среди участников симпозиума с новыми научными результатами, полученными в последние годы. Второй циркуляр о симпозиуме будет размещён на сайте в феврале-марте 2016 г.**