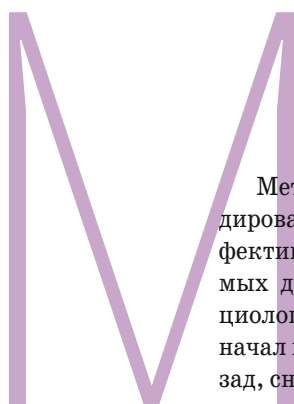


Радиолокационные измерения толщины ледников Арктики

Рассматриваются особенности применения метода радиолокационного зондирования для исследования ледников Арктики. Приводятся основные результаты исследований толщины и подлёдного рельефа ледников на архипелагах Шпицберген, Земля Франца-Иосифа, Северная и Новая Земля, полученные экспедициями Института географии АН СССР/РАН в 1974–2012 гг.



Метод радиолокационного зондирования – один из наиболее эффективных и широко используемых дистанционных методов гляциологических исследований. Он начал применяться более 50 лет назад, сначала для измерения толщины ледниковых покровов Гренландии и Антарктиды, а затем для изучения их внутреннего строения и условий на ложе [Богородский и др., 1983; Мачерет, 2006]. Позднее область применения метода расширилась: его стали использовать для исследования ледников Арктики в горных районах, а также для изучения гидротермического состояния ледников [Глазовский, Мачерет, 2007]. Серьёзными преимуществами метода по сравнению с другими геофизическими методами – сейсмическим, гравимет-

рическим и электрометрическими – являются возможность непрерывных или дискретных дистанционных измерений толщины льда с движущегося наземного и воздушного транспорта и высокая (2...3%) точность измерений. Одним из важных направлений применения метода стало определение объёма, картирование подлёдного рельефа и оценка возможного вклада ледников в повышение уровня Мирового океана. В частности, в период 1974–2012 гг. Институтом географии АН СССР/РАН был предпринят ряд экспедиций для изучения толщины и подлёдного рельефа ледников на архипелагах Шпицберген, Земля Франца-Иосифа, Северная и Новая Земля. Основные результаты этих исследований приведены далее.

А.Ф. Глазовский,
кандидат географических наук

Ю.Я. Мачерет,
доктор географических наук

Институт географии РАН,
Москва

Ключевые слова: арктические исследования; гляциология; ледник; радиолокационное зондирование

Аппаратура и методика измерений

Для воздушных и наземных измерений использовались 2 основных типа радиолокаторов: импульсные и моноимпульсные с аналоговой (на фотоплёнку) и цифровой (на электронные носители) регистрацией радарных и навигационных данных. Основные параметры локатора – рабочая частота, длительность зондирующего импульса, энергетический потенциал, тип антенн – определяют глубину зондирования, разрешение по дальности, а их выбор зависит от особенностей объектов исследований и типа носителя.

На Шпицбергене в 1974–1975 гг. для измерений с вертолёт Ми-4 применялись самолётные радиовысотомеры РВ-10 и РВ-17 с несущей частотой 440 МГц [Мачерет, Журавлёв, 1980] и аналоговой регистрацией, но их максимальная глубина зондирования не превышала 200...300 м и оказалась достаточной лишь для измерений толщины льда в нижних частях ледников. Поэтому с 1977 г. стал применяться специально разработанный и изготовленный в Марийском политехническом институте (МПИ) локатор РЛС-620 с несущей частотой 620 МГц, устанавливаемый на вертолёт Ми-8. Его глубина зондирования достигала 600 м [Мачерет и др., 1992]. Этот локатор, но с другими антеннами (рис. 1), применялся также в 2005–2008 гг. для аэрозондирования ледников на Земле Франца-Иосифа и Новой Земле и измерения толщины крупных айсбергов [Глазовский и др., 2006; Kubyshkin et al., 2009], но его максимальная глубина зондирования также была ограничена 200...250 м, хотя и оказалась достаточной для измерения толщи-



Рис. 1

Антенны типа двойной квадрат с рефлектором, применявшиеся в 1997 г. на Северной Земле при измерениях с вертолёт Ми-8: использовался локатор SPRI на частоте 100 МГц; антенны крепились на специальной ферме

ны льда в краевых частях выводных ледников, продуцирующих айсберги.

В 1980–1986 гг. на Шпицбергене английские коллеги применяли локатор SPRI-Mk-IV с несущей частотой 60 МГц. Его глубинность зондирования также достигала 600 м, однако на этой частоте она слабее зависела от летнего таяния на поверхности ледников. С вертолёт были измерены 44 ледника острова Шпицберген и ледниковые купола Аустфонна и Серфоннана на Северо-восточной Земле и островах Баренц, Эдж и Квит [Dowdeswell et al., 1984, 1986; Bamber, 1989; Dowdeswell, Bamber 1995]. Тем не менее, как и на частоте 620 МГц, в областях питания шпицбергенских ледников информативность съёмки была низкой из-за сильного рассеяния радиоволн на неоднородностях и включениях воды в снежно-фирновой и ледяной

толще. Этот эффект значительно меньше проявлялся на Северной Земле, где весной 1997 г. применялся локатор SPRI с несущей частотой 100 МГц, позволявший зондировать с вертолёт Ми-8 ледники толщиной до 800 м [Даудсвелл и др., 1998; Dowdeswell et al., 2000].

Для уменьшения интенсивности рассеяния, особенно при зондировании теплых ледников, было предложено [Watts, England, 1976] применять моноимпульсные локаторы декаметрового диапазона, использующие для излучения и приёма резистивно-нагруженные антенны, длина которых зависит от частоты и может составлять несколько десятков метров, что затрудняет их размещение на воздушных носителях.

На Шпицбергене в 1984 и 1988 г. для наземных измерений применялся локатор МПИ-8 с центральной частотой 8 МГц и приёмной

РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ТОЛЩИНЫ ЛЕДНИКОВ АРКТИКИ

и передающей антеннами длиной по 8 м каждая [Василенко и др., 1987; Глазовский, Москалевский, 1988; Glazovsky et al., 1991]. С его помощью на плато Амундсена с теплым фирновым питанием была измерена толщина льда 750 м. Регистрация отражений велась с экрана осциллографа на фотопленку.

В дальнейшем толщины ледников измерялись в основном моноимпульсным локатором ВИРЛ-6 с центральной частотой 20 МГц, цифровой регистрацией радарных и навигационных данных [Василенко и др. 2001, 2003; Vasilenko et al., 2002; Martin-Espaniol et al., 2012] и глубиной зондирования до 600 м [Гловацки и др., 2008]. Как и в локаторе МПИ-8, приёмно-регистрирующее и передающее устройства вместе с антеннами и источниками питания монтировались на 2 санях, транспортируемых снегоходом, но синхронная работа устройств обеспечивалась не сигналом от передающей антенны, а по оптоволоконному кабелю, что улучшало стабильность работы регистрирующей аппаратуры. Регистрация отражений велась в автоматическом режиме либо с интервалом 0,1...0,2 с, либо после каждого оборота одометра с интервалом 1,8 м. Система циф-

ровой регистрации позволяла одновременно записывать на электронный носитель времена запаздывания отражённых сигналов и плановое и высотное положения точек измерений, определяемые с помощью GPS-приёмника. Для визуализации радарных данных и их последующей количественной обработки использовался пакет программ компании Deco Geophysics RadExPro [Кульницкий и др., 2000], который позволял оцифровывать (пикировать) время запаздывания τ отражений от ложа и по нему вычислять толщину ледника h . На записи хорошо выделяются отражения не только от ложа, но и от внутренних неоднородностей, таких как раздел холодного и тёплого водосодержащего льда, что даёт основание относить зондируемые ледники к тому или иному гидротермическому классу: тёплому, холодному или двухслойному (политермическому). Для определения толщины ледника h использовалось соотношение

$$h = V\tau/2,$$

где V – скорость распространения радиоволн в леднике. В первом приближении она принималась постоянной и равной 168 м/мкс – скорости в холодном льду с плотностью



Рис. 2
Маршруты полётов совместной экспедиции Института географии АН СССР и Института полярных исследований Скотта на Северной Земле в 1997 г. [Даудсвел и др., 1998]

917 кг/м³, хотя зависела от особенностей строения и гидротермического состояния ледника.

Для определения средней скорости V_{cp} в леднике выполнялось наклонное зондирование – измерялось время запаздывания отражений от ложа при разнесении приёмной и передающей антенн на одинаковое расстояние L относительно фиксированной центральной точки (метод общей глубинной точки). Скорость V_{cp} вычислялась по графику

Таблица 1. Аэроадиолокационные исследования ледников в Арктике

Год	Локатор	Частота, МГц	Носитель	Район	Источник данных
1974–1975	РВ-10, РВ-17	440	Вертолёт Ми-4	Шпицберген	Мачерет, Журавлёв, 1980
1977–1979, 1984	РЛС-620	620	Вертолёт Ми-8	Шпицберген	Мачерет, Журавлёв, 1985
1994	РЛС-620	620	Вертолёт Ми-8	Земля Франца-Иосифа	Мачерет и др., 1999; Dowdeswelletal., 1999
1997	SPRI	100	Вертолёт Ми-8	Северная Земля	Даудсвел и др., 1998; Dowdeswelletal., 2002
2005	РЛС-620*	620	Вертолёт Ми-8	Земля Франца-Иосифа, Новая Земля	Результаты исслед.: Глазовский, Мачерет, 2005 (неопубл.)
2007	РЛС-620*	620	Вертолёт Ми-8	Новая Земля	Глазовский и др., 2006; Kubyshekinetal., 2009
2008	РЛС-620*	620	Вертолёт Ми-8	Новая Земля	Результаты исслед.: Глазовский, Мачерет, 2008 (неопубл.)

* С антеннами типа тройной квадрат.

$\tau^2 = f(L^2)$. В политермических ледниках она зависела главным образом от толщины слоёв холодного и тёплого льда и содержания воды в тёплом льду и была меньше, чем в холодном льду (160...165 м/мкс).

Аэрорадиолокационные измерения проводились на Шпицбергене, Земле Франца-Иосифа, Северной Земле и Новой Земле (табл. 1). Часть маршрутов полётов показана на рис. 2.

Наземные измерения. В период с 1974-го по 2013 г. с участием Института географии АН СССР/РАН наземные измерения были выполнены в общей сложности на 20 ледниках, на 18 из них были проведены площадные съёмки, позволившие построить карты толщины льда и подлёдного рельефа и определить объём ледников (табл. 2).

В 1999–2013 гг. на Земле Норденшельда с применением 20-мегагерцового лоатора ВИРЛ-6 площадные съёмки были выполнены в общей сложности на 13 ледниках (рис. 3). Профили измерений на ледниках показаны на рис. 4.

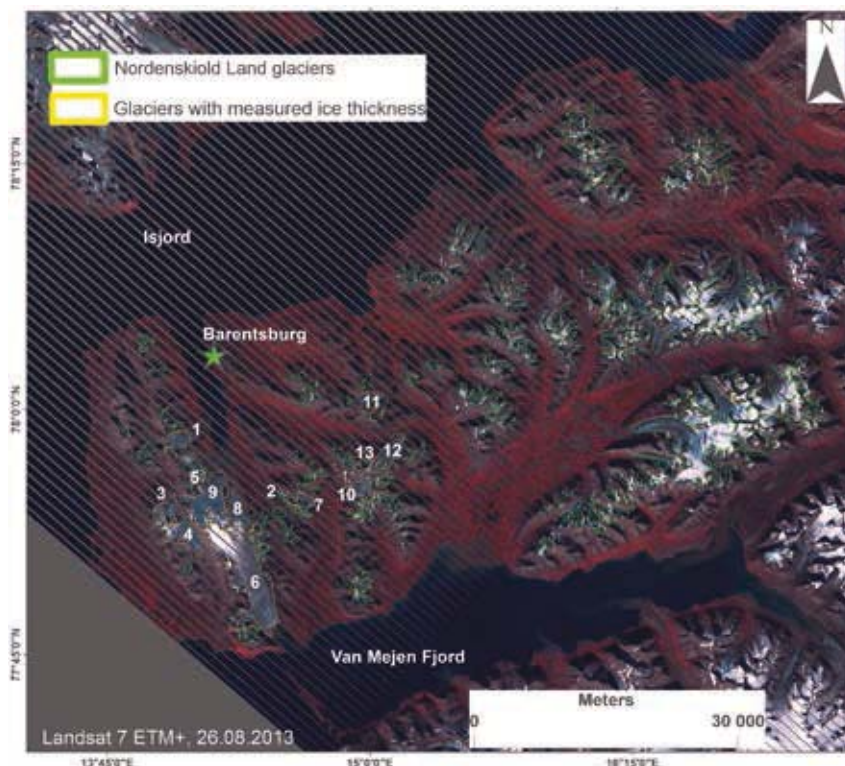


Рис. 3

Ледники на Земле Норденшельда, где в 1999-м и 2010–2013 гг. были выполнены наземные измерения толщины ледников Альдегонда (1), Баальсруд (2), Дальфонна (3), Эрдман (4), Западный Грёнфьорд (5), Фритьоф (6), Гледичфонна (7), Восточный Грёнфьорд (8), Западный Грёнфьорд (9), Манстрвандер (10), Пассфьель Восточный и Западный (11), Тавле (12), Тунге (13): зелёные линии показывают границы ледников по данным [Arendt et al., 2012]

Таблица 2. Наземные измерения ледников Арктики

Год	Локатор	Частота, МГц	Район, ледник	Измерения	Источник данных
1974	РВ-17	440	Шпицберген, Вост.Бреггер, Веринг	Площадная съёмка	Мачерет, Журавлев, 1981
			Фритьоф	На отдельных профилях	Мачерет, Журавлев, 1985
1975	РВ-17	440	Фритьоф	На отдельных профилях	Мачерет, Журавлев, 1985
1978	РЛС-620		Фритьоф	На отдельных профилях	Неопубл.
1979	РЛС-620		Фритьоф	На отдельных профилях	Мачерет, Журавлев, 1985
1983	РЛС-620		Бертиль	Площадная съёмка	Журавлев и др., 1983
1984	МПИ-8	8	Ледниковое плато Амундсена	На отдельных профилях	Василенко и др., 1987
1988	МПИ-8	8	Ханс, Фритьоф	Площадная съёмка	Glazovsky et al., 1991; Мачерет и др., 1992.; Глазовский, Москалевский, 1988; Glazovsky et al., 1991; Глазовский и др., 1991; Мачерет и др., 1992; Murray et al., 2012
1991, 1992	ТГУ-700	700	Земля Франца-Иосифа, купол Лунный	На отдельных профилях	Мачерет и др., 1993
1999	ВИРЛ-2	40	Шпицберген, Альдегонда	Площадная съёмка	Василенко и др., 2001; Navarro et al., 2005

РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ТОЛЩИНЫ ЛЕДНИКОВ АРКТИКИ

Окончание табл. 2

2003	RAMAC, ВИРЛ-6	20	Ханс	На отдельных профилях	Яния и др., 2005; Janiaetal, 2005
2003	ВИРЛ-2	40	Новая Земля, Шокальского	На отдельных профилях	Глазовский и др., 2005; Glazovsky et al., 2004, 2006
2004	ВИРЛ-6	20	Шпицберген, Ханс	На отдельных профилях	Яния и др., 2005; Jania et al. 2005
2004, 2006	ВИРЛ-6	20	Ледниковое плато Амундсена	Площадная съёмка	Гловацки и др., 2008
2005	ВИРЛ-6	20	Фритьоф	На отдельных профилях	Василенко и др., 2006; Glazovsky et al., 2006
2007	ВИРЛ-6	20	Тавле	Площадная съёмка	Лаврентьев и др., 2011
	Шведский локатор	350			
2010	ВИРЛ-6	20	Зап. Грёнфьорд, Тавле	Площадная съёмка	Martin-Espaniol et al., 2012
	RAMAC	100, 200	Вост. Грёнфьорд		
2011	ВИРЛ-6	20	Тунге, Гледичфонна, Фритьоф	Площадная съёмка и на отдельных профилях	Martin-Espaniol et al., 2012
2012	ВИРЛ-6	20	Дальфонна, Эрдмана, Фритьоф	Площадная съёмка	Martin-Espaniol et al., 2012
2013	ВИРЛ-6	20	Блекум	Площадная съёмка	Неопубл.

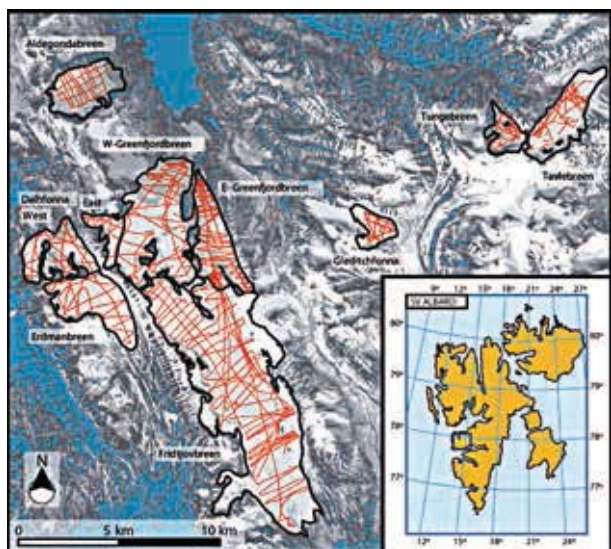


Рис. 4

Наземные измерения в 1999 и 2011–2012 гг. на ледниках Земли Норденшельда [Martin-Espanioletal., 2013; SvalGlaReport, 2013]

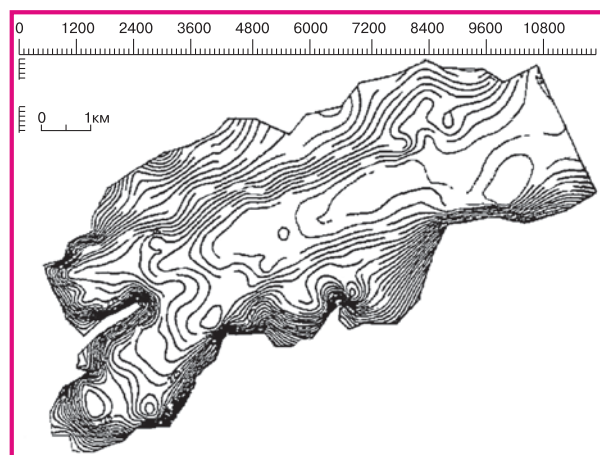


Рис. 5

Подлёдный рельеф ледника Фритьоф по данным наземного радиозондирования 1988 г. на частоте 8 МГц [Глазовский и др., 1991]

Толщина льда и подлёдный рельеф

Шпицберген. По данным аэроадиозондирования получены сведения о толщине, подлёдном рельефе нескольких десятков ледников

Шпицбергена. Наибольшие толщины льда измерены на леднике Ветеран (600 м), ледниковом плато Хольтедаля (530 м) и ледниковом куполе Аустфонна (570 м). Результаты измерений показывают, что ложа многих ледников на значительном про-

тяжении лежат вблизи или даже ниже уровня моря; ложа приливных (оканчивающихся в море) ледников у фронтов опираются на дно. То же показали и данные наземных измерений 1988 г. на леднике Фритьоф (рис. 5). Результаты измерений ука-

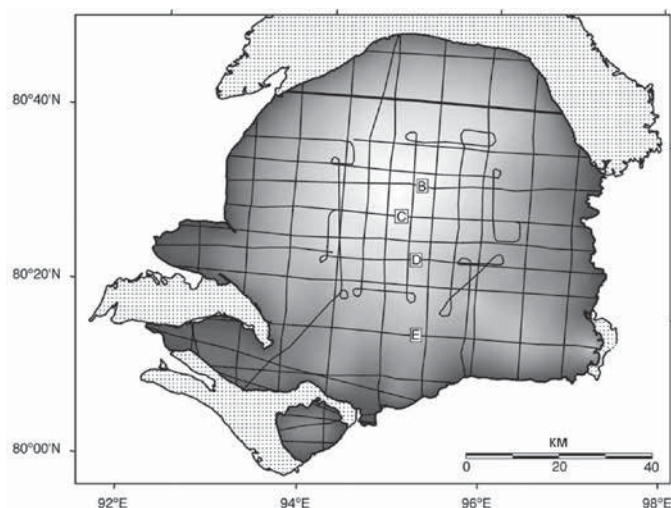


Рис. 6
Толщина ледникового купола Академии наук на о. Комсомолец по данным аэрорадиозондирования 1997 г. на частоте 100 МГц: 1 – край ледникового купола; 2 – маршруты полётов; 3 – изолинии толщины льда [Dowdeswell et al., 2002]

зывают, что при отступании ледников перед их фронтами могут возникать обширные заливы и ледники могут терять большие объёмы льда.

Земля Франца-Иосифа. По данным аэрорадиозондирования толщина ледниковых куполов на островах Ла-Ронсьер и Ева-Лив дости-

гает 300 м, а их ложа частично лежат ниже уровня моря. На островах Грэм-Белл и Галя толщина льда достигает соответственно 450 м и 275 м. На Земле Вильчека – ложе крупного выводного ледника. Ледник Знаменитый лежит ниже уровня моря: на отметках до –150 м.

Северная Земля. На Северной Земле наибольшая толщина льда (812 м) измерена в центре ледникового купола Академии наук на острове Комсомолец (рис. 6). По данным измерений толщины льда и спутниковой радиоинтерферометрии (рис. 7) оценены скорость течения 4 основных выводных ледников и расход льда из них в море (табл. 3).

Таблица 3. Скорость движения и расход льда из выводных ледников на ледниковом куполе Академии наук (о. Комсомолец, Северная Земля), по данным спутниковой радиоинтерферометрии и результатам измерений толщины льда [Dowdeswell et al., 2002]

Выводной ледник	Скорость движения, м/год	Расход льда в море, км³/год
A	60	0,10
B	60	0,03
C	120	0,37
D	85	0,12
Всего		0,62

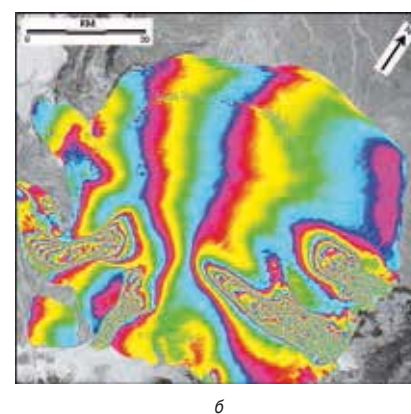
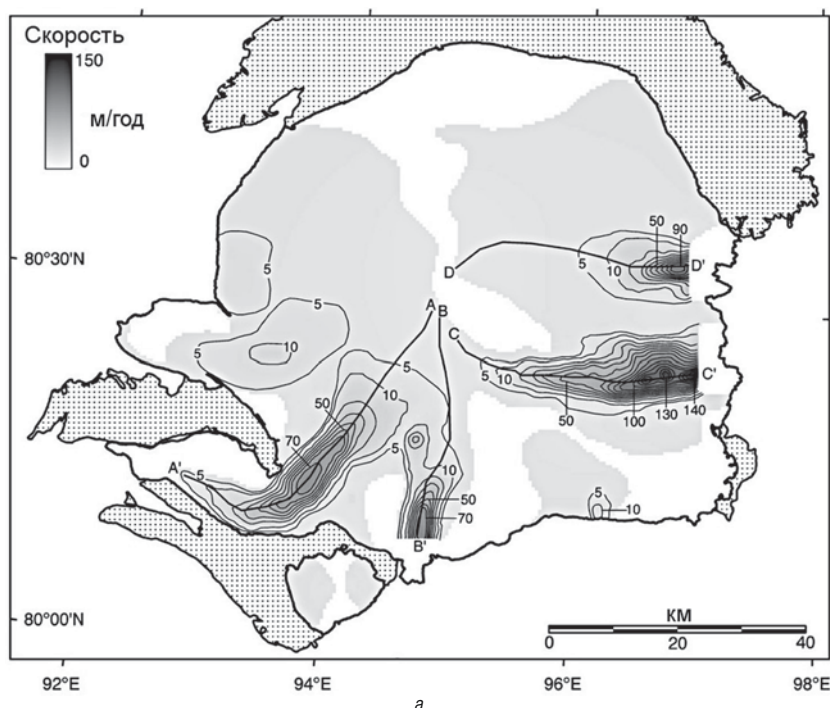


Рис. 7
Радиоинтерференционное изображение ледникового купола Академии наук на о. Комсомолец (Северная Земля), по данным съёмки 23 и 24 сентября 1995 г. (а) и определённая по нему скорость движения выводных ледников A, B, C и D (б) [Dowdeswell et al., 2002]

РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ТОЛЩИНЫ ЛЕДНИКОВ АРКТИКИ

Объём и запасы льда в ледниках

Шпицберген. Данные измерений толщины 23 ледников горного и сетчатого типа с отрицательными формами подлёдного рельефа и 8 ледниковых плато и ледниковых куполов с положительными формами под-

между их объёмом V и площадью S [Мачерет, Журавлёв, 1985] в виде показательной функции

$$V = kS. \quad (1)$$

В отношении ледниковых куполов Земли Франца-Иосифа для получения такой зависимости ис-

рабочей аппроксимации поверхности и ложа на поперечных профилях с нулевыми толщинами льда на их краях и измеренной толщиной льда на профиле.

Объём ледниковых куполов Шпицбергена оценивался по методу Богородского [Богородский, 1978] по данным измерений толщины льда

Таблица 4. Значения коэффициентов k и p в соотношении (1) для ледников Шпицбергена и Земли Франца-Иосифа разных морфологических типов

Район	Морфологический тип ледников	Количество	V	Коэффициенты в уравнении (1)		Источник данных
				k	p	
Шпицберген	Горные и сетчатые с отрицательными формами подлёдного рельефа	23	10^6 м^3	$37,068 \pm 1,026$	$1,357 \pm 0,067$	Мачерет, Журавлёв, 1975
	Ледниковые плато и купола с положительными формами подлёдного рельефа	8		$41,323 \pm 1,022$	$1,235 \pm 0,0064$	Мачерет, Журавлёв, 1985
Земля Франца-Иосифа	Группа 1 (ледниковые купола с хорошо выраженными выводными ледниками)	6	км^3	0,0395	1,245	Macheret et al., 2000
	Группа 2 (ледниковые купола без хорошо выраженных выводных ледников)	6	км^3	0,0395	1,295	Macheret et al., 2000

Таблица 5. Объём ледников на архипелаге Шпицберген [Мачерет, Журавлёв, 1985]

Район	Объём льда, км^3	Удельный объём льда по отношению к архипелагу в целом, %
Остров Западный Шпицберген	3724	49,2
Северо-западный район	1015	13,4
Северо-восточный район	1844	24,4
Южный район	722	9,5
Центральный район	143	1,9
Северо-восточная Земля	3333	44
Западное ледяное поле	753	10
Восточное ледяное поле	2502	33
Другие ледники	78	1
Остров Эдж	374	5,8
Остров Баренца	98	1,3
Остров Белый	22	0,3
Земля Принца Карла	11	0,14
Остальные острова	5	0,06
ВСЕГО	7567	100

лёдного рельефа были использованы для оценки объёма ледников на архипелаге Шпицберген с применением корреляционных соотношений

Таблица 6. Изменение площади S и объёма V ледниковых куполов на Земле Франца-Иосифа за период 1953–1993 гг. [Мачерет и др., 1999; Macheret et al., 1999]

	$S, \text{ км}^2$ (1993 г.)	$S, \text{ км}^2$ (1953 г.)	$V_1, \text{ км}^3$ (1993 г.), измер.	$V_2, \text{ км}^3$ (1993 г.), измер.	$V_1, \text{ км}^3$ (1993 г.), вычисл.	$V_2, \text{ км}^3$ (1993 г.), вычисл.	$V_1, \text{ км}^3$ (1953 г.), вычисл.	$V_2, \text{ км}^3$ (1953 г.), вычисл.
Всего в группе	13459,2	13668,2	397,6	771,4	448,1	1657,9	456,8	1691,0
Итого			1169,0		2106,0		2147,8	
Измене- ние	-209,0		-41,8					

Примечания:

- 1) для оценки объёмов V_1 и V_2 использованы соотношения из табл. 4;
- 2) индекс 1 обозначает ледниковые купола с хорошо выраженными выводными ледниками, индекс 2 – простые ледниковые купола.

пользовалась также тесная корреляционная связь между их средней $h_{\text{ср}}$ и максимальной измеренной h_{max} толщиной [Macheret et al., 2000] (табл. 4).

При этом для оценки объёма долинных и выводных ледников Шпицбергена использовались данные измерений толщины льда вдоль продольных осей ледников с применением метода трёх точек путем па-

вдоль отдельных профилей. Полученные оценки приведены в табл. 5.

Земля Франца-Иосифа. Изменение площади S и объёма V ледниковых куполов на Земле Франца-Иосифа за период 1953–1993 гг. было оценено с помощью найденных эмпирических связей, по картам толщины льда 1997 г., аэрофотосъемки 1953 г. и космическим снимкам 1993 г. (табл. 6).



Рис. 8
Вертолёт с моноимпульсным локатором ВИРЛ-6 на подвеске, Шпицберген



Рис. 9
Трещины у конца выводного ледника Павлова на Новой Земле

Получение новых данных о толщине, объёме и подлёдном рельефе ледников Арктики, особенно в районах восточнее Новой Земли (в настоящее время таких данных нет), по-прежнему остаётся актуальным. Перспективными представляются измерения с лёгких вертолетов

с применением моноимпульсных локаторов типа ВИРЛ-6, монтируемых на специальной ферме, подвешиваемой на тросе под фюзеляжем вертолёта. Успешный опыт применения такого локатора уже получен при зондировании ледников Шпицбергена [устное сообщение Е. Василенко, 2011 г.] и Кавказа [Кутузов и др., в печати] (рис. 8).

Это может оказаться особенно полезным при зондировании сильно трещиноватых ледников, оканчивающихся в море, на которых сильное рассеяние радиоволн затрудняет выделение отражений от ложа на более высоких частотах и которые являются основным источником образования айсбергов в прибрежных районах (рис. 9).

Литература

- Богородский В., Бентли Ч., Гудмандсен П. Радиогляциология. – Л.: Гидрометеиздат, 1983.
- Василенко Е. В., Громыко А. Н., Мачерет Ю. Я. Опыт применения низкочастотной радиолокационной аппаратуры для зондирования ледников Тянь-Шаня и Шпицбергена // Материалы гляциологических исследований. – 1987. – Вып. 60. – С. 193–199.
- Василенко Е. В., Глазовский А. Ф., Мачерет Ю. Я., Наварро Ф. Х., Токарев М. Ю., Калашников А. Ю., Мирошниченко Д. Е., Резников Д. С. Радиофизические исследования ледника Альдегонда в 1999 г. // Материалы гляциологических исследований. – 2001. – Вып. 99. – С. 86–99.
- Василенко Е. В., Глазовский А. Ф., Мачерет Ю. Я., Наварро Ф. Х., Соколов В. Г., Ширавва Т. Георадар ВИРЛ для зондирования ледников // Материалы гляциологических исследований. – 2003. – Вып. 94. – С. 225–234.
- Вильчинский А. В., Чугунов А. В., Глазовский А. Ф., Мачерет Ю. Я. Моделирование течения выводных ледников Земли Вильчека, Земли Франца-Иосифа // Материалы гляциологических исследований. – 1998. – Вып. 85. – С. 178–186.
- Глазовский А. Ф., Москалевский М. Ю. Исследования ледника Фритъоф на Шпицбергене в 1988 году // Материалы гляциологических исследований. – 1989. – Вып. 65. – С. 148–153.
- Глазовский А. Ф., Константинова Т. Н., Москалевский М. Ю., Боброва Л. И., Санкина Л. В. Толщина и подлёдный рельеф ледника Фритъоф по данным наземной радиолокационной съёмки // Материалы гляциологических исследований. – 1991. – Вып. 72. – С. 161–166.

РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ТОЛЩИНЫ ЛЕДНИКОВ АРКТИКИ

Глазовский А. Ф., Василенко Е. В., Мачерет Ю. Я. Наземное радиозондирование ледника Шокальского на Новой Земле // Материалы гляциологических исследований. – 2005. – Вып. 99. – С. 35–38.

Глазовский А. Ф., Мачерет Ю. Я. Гидротермическое состояние и режим ледников // Оледенение Северной Евразии в недавнем прошлом и ближайшем будущем / Под ред. В. М. Котлякова. – М.: Наука, 2007. – С. 57–108.

Гловацки П., Василенко Е. В., Глазовский А. Ф., Мачерет Ю. Я., Наварро Ф. Х., Д. К. Мур, Й.-У. Хаген. Строение и гидротермическая структура ледникового плато Амундсена по данным наземного радиозондирования // Материалы гляциологических исследований. – 2008. – Вып. 105. – С. 97–104.

Даудсвел Д. Э., Горман М. Р., Уильямс М., Глазовский А. Ф., Мачерет Ю. Я., Василенко Е. В., Хуббертен Г. В., Миллер Г., Саватюгин Л. М. Воздушные радиолокационные исследования ледниковых куполов на Северной Земле, апрель–май 1997 г. // Материалы гляциологических исследований. – 1998. – Вып. 84. – С. 213–217.

Журавлёв А. Б., Мачерет Ю. Я., Боброва Л. И. Радиолокационные исследования на полярном леднике с зимним стоком // Материалы гляциологических исследований. – 1983. – Вып. 46. – С. 143–149.

Кубышкин Н. В., Андреев О. М., Бородулин В. В., Глазовский А. Ф., Мачерет Ю. Я., Скютин А. А. Экспедиционные исследования айсбергов и ледников западного сектора Российской Арктики по программе Международного полярного года (2007–2008 гг.) // Труды ЦНИИ им. акад. Крылова. – 2010. – № 51. – С. 169–180.

Курузов С. С., Лаврентьев И. И., Василенко Е. В., Мачерет Ю. Я., Петраков Д. А., Попов Г. В. Оценка объёма ледников Большого Кавказа по данным радиозондирования и моделирования. Криосфера Земли (в печати).

Кульницкий Л. М., Гофман П. А., Токарев М. Ю. Математическая обработка данных георадиолокации и система RADEXPRO // Разведка и охрана недр. – 2001. – № 3. – С. 6–11.

Лаврентьев И. И., Мачерет Ю. Я., Холмланд П., Глазовский А. Ф. Гидротермическая структура и подледниковая дренажная сеть ледника Тавле на Шпицбергене // Лёд и Снег. – 2011. – № 3 (115). – С. 41–46.

Мачерет Ю. Я., Журавлёв А. Б. Радиолокационное зондирование ледников Шпицбергена с вертолёта // Материалы гляциологических исследований. – 1980. – Вып. 37. – С. 109–131.

Мачерет Ю. Я., Журавлёв А. Б. Детальная радиолокационная съёмка толщины льда и подлёдного рельефа горных ледников // Материалы гляциологических исследований. – 1981. – Вып. 41. – С. 115–133.

Мачерет Ю. Я., Журавлев А. Б. Толщина, объём и строение ледников // Гляциология Шпицбергена / Под. ред. В. М. Котлякова. – М.: Наука, 1985. – С. 7–35.

Мачерет Ю. Я., Глазовский А. Ф., Игнатъева И. Ю., Красс М. С., Константинова Т. Н., Ларина Т. Б., Москалевский М. Ю. Строение, гидротермическое состояние и режим субполярных ледников // Режим и эволюция полярных ледниковых покровов. – СПб.: Гидрометеиздат, 1992. – С. 48–115.

Мачерет Ю. Я., Синькевич С. А., Боброва Л. И., Санкина Л. В. Толщина и гидротермическое состояние ледникового купола Лунный на Земле Франца-Иосифа по данным радиозондирования // Материалы гляциологических исследований. – 1993. – Вып. 77. – С. 97–104.

Мачерет Ю. Я., Глазовский А. Ф., Даудсвел Д. А., Горман М. Р. Изменение объёма льда на архипелаге Земля Франца-Иосифа за последние 40 лет // Материалы гляциологических исследований. – 1999. – Вып. 86. – С. 107–115.

Мачерет Ю. Я., Глазовский А. Ф., Игнатъева И. Ю., Красс М. С., Константинова Т. Н., Ларина Т. Б., Москалевский М. Ю. Строение, гидротермическое состояние и режим субполярных ледников // Режим и эволюция полярных ледниковых покровов / Под. ред. В. М. Котлякова. – СПб.: Гидрометеиздат, 1992. – С. 48–115.

Мачерет Ю. Я. Радиозондирование ледников. – М.: Научный мир, 2006.

Яния Я., Глазовский А. Ф., Гловацки П., Василенко Е. В., Наварро Ф. Х., Мачерет Ю. Я. Вариации гидротермической структуры ледника Ханс на Шпицбергене // Материалы гляциологических исследований. – 2005. – Вып. 99. – С. 75–88.

Bamber J. L. Ice/bed interface and englacial properties of Svalbard ice masses from airborne radio-echo sounding // Journal of Glaciology. – 1989. – V. 35, 3, № 119. – P. 30–37.

Dowdeswell J. A., Drewry D. J., Liestol O., Orheim O. Airborne radio-echo sounding of subpolar glaciers in Spitsbergen // Norsk Polarinstitutt Skrifter. – 1984. – № 182.

Dowdeswell J. A., Drewry D. J., Cooper A. P. R., Gorman M. R., Liestol O., Orheim O. Digital mapping of the Nordaustlandet ice caps from airborne geophysical investigations // Annals of Glaciology. – 1986. – V. 8. – P. 51–58.

Dowdeswell J. A., Gorman M. R., Glazovsky A. F., Macheret Yu. Ya. Airborne radio-echo sounding of the ice caps in Franz Josef Land // Материалы гляциологических исследований. – 1996. – Вып. 80. – С. 248–255.

Dowdeswell J. A., Bamber J. L. On glaciology of Edjoja and Barentsoya // Polar Research. – 1995. – V. 14, № 2. – P. 105–122.

Macheret Yu. Ya., Glazovsky A. F., Gorman M. R. Ice cap volume change on Franz Josef Land during the last 40 years // Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie. – 1995. – Bd. 35, H. 2. – P. 103–116.

Dowdeswell J. A., Bassford R. P., Gorman M. R., Williams M., Glazovsky A. F., Macheret Yu. Ya., Vasilenko E. V., Savatyugin L. M., Hubberten H. W., Miller H. Form and ice flow of the Academy ice cap, Severnaya Zemlya, Russian High Arctic // Journal of Geophysical Research. – 2002. – V. 107, 10.1029/2000/JB00129.

Glazovsky A. F., Macheret Yu. Ya., Vasilenko E. V. Iceberg discharge from an outlet glacier in Novaya Zemlya, High Russian Arctic // XXX Miedzynarodowe Sympozjum, 23–25 wrzesnia, 2004. – Gdynia, 2004. – P. 51–53.

Jania J., Macheret Yu. Ya., Navarro F. J., Glazovsky A. F., Vasilenko E. V., Lapazaran J., Głowacki P., Migala K., Balut A., Piwowar B. A. Temporal changes in radiophysical properties of a polythermal glacier in Spitsbergen // Annals of Glaciology. – 2005. – V. 42. – P. 125–134.

Kubyshev N. V., Andreev O. M., Borodulin V. V., Gudoshnikov Yu. P., Zubskiy G. K., Skutin A. A., Glazovsky A. F., Macheret Yu. Ya. Characteristics of icebergs in their calving sites in Russian Arctic: results of airborne and direct studies during IPY 2007/08 // Proceedings of the International Offshore and Polar Engineering Conference 19th (2009). – Osaka: International Offshore and Polar Engineering Conference, 2009. – P. 539–543.

Martin-Espanol A., Vasilenko E. V., Navarro F. J., Otero J., Lapazaran J. J., Lavrentiev I. I., Macheret Y. Y., Machio F. Radio-echo sounding and ice volume estimates of western Nordenskiöld Land glaciers, Svalbard // Annals of Glaciology. – 2013. – V. 54, № 64. – P. 168–178.

Navarro F. J., Glazovsky A. F., Macheret Yu. Ya., Vasilenko E. V., Corcuera M. I., Cuadrado M. L. Ice volume changes (1936–1990) and structure of Aldegondabreen, Spitsbergen // Annals of Glaciology. – 2005. – V. 42. – P. 158–162.

Murray T., James T. D., Macheret Y., Lavrentiev I., Glazovsky A. F., Stykes H. Geometric Changes in a tidewater glacier in Svalbard // Arctic, Antarctic and Alpine Research. – 2012. – V. 44, № 3 6. – P. 359–367.

Navarro F. J., Glazovsky A. F., Macheret Yu. Ya., Vasilenko E. V., Corcuera M. I., Cuadrado M. L. Ice volume changes (1936–1990) and structure of Aldegondabreen, Spitsbergen // Annals of Glaciology. – 2005. – V. 42. – P. 158–162.

Vasilenko E. V., Sokolov V. G., Macheret Yu. Ya., Glazovsky A. F., Cuadrado M. L., Navarro F. J. A digital recording system for radioglaciological studies // Bulletin of Royal Society of New Zealand. – 2002. – V. 35. – P. 611–618.

Watts R. D., England A. W. Radio-echo sounding of temperate glaciers: properties and sounder design criteria // Journal of Glaciology. – 1976. – V. 17, № 75. – P. 39–48.

**С 2014 ГОДА
В «КРОКУС-ЭКСПО»**

Одновременно с / Alongside with

mash
МОСКОВ
Обработка металлов и
композитов

PCVEXPO
Насосы, компрессоры,
арматура, приводы

**Aerospace Industrial
Testing & Control**

28–30.10.2014
МОСКВА, МВЦ «КРОКУС ЭКСПО»



Ваш билет на www.testing-control.ru

11-я Международная выставка испытательного
и контрольно-измерительного оборудования
Aerospace Testing & Industrial Control

Организатор:

ITE Москва
+7 (495) 935 7350
control@ite-expo.ru

При поддержке:

Министерство
промышленности
и торговли РФ

Федеральное агентство
по техническому
регулированию
и метрологии

Федеральное
космическое
агентство