

Условия питания и изменчивость ледников архипелага Северная Земля по результатам наблюдений 2014–2015 гг.

© 2016 г. Д.Ю. Большианов^{1,2*}, В.Т. Соколов¹, И.С. Ёжиков¹, Р.К. Булатов^{1,2},
А.Н. Рачкова¹, Г.Б. Федоров^{1,2}, А.С. Парамзин¹

¹Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург;

²Санкт-Петербургский государственный университет

^{1,2*}bolshiyarov@aari.ru

Conditions of the alimentation and the variability of glaciers of the Severnaya Zemlya Archipelago from observations of 2014–2015

D.Yu. Bolshiyarov^{1,2*}, V.T. Sokolov¹, I.S. Yozhikov¹, R.K. Bulatov^{1,2}, A.N. Rachkova¹, G.B. Fedorov^{1,2},
A.S. Paramzin¹

¹Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia; ²St. Petersburg State University, Russia

^{1,2*}bolshiyarov@aari.ru

Received February 15, 2016

Accepted April 14, 2016

Keywords: *positive glacier mass balance, surge of the Vavilov Glacier.*

Summary

Glaciological investigations on the Severnaya Zemlya archipelago were resumed in 2013 when a new research station «Ice base Cape Baranova» had been organized by Arctic and Antarctic Research Institute in the North-West of the Island Bolshhevik. In 2014–2015, the glaciological polygon named after Leonid Govorukha was established on glaciers Mushketov and Semenov-Tyan-Shanskiy. Two years of observations on the glaciers allowed us to estimate the mass balance of the Mushketov Glacier, which was positive in the 2013–2015. By the end of the melting periods, a superimposed ice was formed on the glacier with thickness of 4 cm in 2014 and 17 cm in 2015, on the average. A snow-firn mass with its vertical thickness exceeding 3 m had been found on the upper part of the Semenov-Tyan-Shanskiy Glacier. Based on analyses of summer air temperatures and precipitation at the meteorological station «The Golomyanny Island», we assumed that in 2013–2015 the mass balance was also positive on the other glaciers of the archipelago, located to the North of the studied glaciers on the Island of Bolshhevik. Data of remote sensing of the catastrophic advancing of the outlet glacier from the Vavilov Ice Cap, obtained in 2013–2016, testify that for much longer period, i.e. during 25 years, conditions for the ice mass accumulation were favorable on the southern and eastern slopes of the Vavilov Ice Cap.

Поступила 15 февраля 2016

Принята к печати 14 апреля 2016 г.

Ключевые слова: *подвижка ледника Вавилова, положительный баланс ледников.*

Гляциологические исследования ААНИИ продолжены работами 2014–2015 гг. на ледниках о. Большевик (архипелаг Северная Земля): Мушкетова высотой 560 м и Семенова-Тян-Шанского высотой 725 м. Работы на полигоне показали положительный баланс массы ледника Мушкетова, питающегося наложенным льдом, и наличие мощной (более 3 м) снежно-фирновой толщи в вершинной части ледника Семенова-Тян-Шанского. Данные метеостанции «Ледовая база «Мыс Баранова» и автоматической метеостанции на леднике Мушкетова позволили определить условия накопления льда. Катастрофическая подвижка на запад выводного ледника из ледникового купола Вавилова обусловлена более чем 25-летним периодом преобладания накопления льда, подлёдным рельефом и всплыванием ледника на глубине моря около 40 м.

Введение

Со времени закрытия гляциологического стационара Арктического и Антарктического научно-исследовательского института (ААНИИ) на архипелаге Северная Земля («Купол Вавилова»), проработавшего в круглогодичном режиме 15 лет (1976–1989 гг.) и ставшего станцией комплексных исследований природной среды Арктики [1], прошло 26 лет. С тех пор систематические иссле-

дования ледников Российской Арктики не проводятся и арктическая наука лишена данных о таком важнейшем компоненте ландшафтов арктических островов, как ледники. Их режим (баланс массы, температура) – чуткое отражение климатических колебаний Арктики. Исследования российских арктических ледников иностранными учёными (в том числе ледников архипелага Северная Земля) с помощью дистанционных методов (спутниковая съёмка, спутниковая аль-

тиметрия) показывают возможную связь режима арктических ледников не только с атмосферой, но и с геофизическими полями Земли [2]. Эти интереснейшие и важные заключения можно проверить и дополнить только путём непосредственных наблюдений на ледниках.

Площадь распространения ледников, время их зарождения и продолжительность существования — важнейшие гляциологические вопросы, на которые помогут ответить новые данные. Парадоксальные выводы о чрезвычайной молодости покровных ледников Северной Земли получены немецкими исследователями в результате российско-германских работ по бурению крупнейшего покровного ледника архипелага — ледника Академии Наук в 1999–2001 гг. Его 3100-летняя история, предполагаемая по результатам изотопно-кислородных исследований керна льда [3], не подтверждается данными исследования перигляциала Северной Земли [4] и находится в явном противоречии с данными российских исследований той же толщи льда этого ледника [5, 6]. Новые исследования ледников Северной Земли должны разрешить это противоречие.

Распад к осени 2012 г. шельфового ледника Матусевича [7] и выдвигание в море на запад ледникового языка из ледникового купола Вавилова — новые свидетельства изменчивого режима ледников. Практическое значение исследования арктических покровных ледников заключается в изучении расходной части баланса ледников в виде айсбергов. Их количество, место, механизм образования и направление дрейфа приобретают важнейшее значение в связи с освоением шельфа Российской Арктики.

Постановка работ и методика исследований

В 2013 г. после 22 лет консервации возобновил работу научно-исследовательский стационар АНИИ «Ледовая база «Мыс Баранова» [8] в северо-западной части о. Большевик архипелага Северная Земля (координаты 79°16' с.ш., 101°45' в.д.). По мере его насыщения необходимой аппаратурой и специалистами начались комплексные исследования климата, толщи морской воды, ледяного покрова пролива Шокальского, геофизические исследования, гляциологические наблюдения, изучение перигля-

циальной области (гидрология, геоморфология, палеогеография [9]) и экологической обстановки. Стационар превратился в гидрометеорологическую обсерваторию. Гляциологические наблюдения [10] начались в 2014 г. с разбивки снегомерного полигона на ближайшем к стационару леднике Мушкетова. Это — небольшой ледниковый купол площадью около 89 км², высотой до 560 м и толщиной льда около 160 м, который залегают на поверхности выравнивания верхнего денудационного уровня на высоте 400–420 м [4]. К настоящему времени он почти распался на два отдельных ледника площадью 75 и 14 км².

В 2015 г. были продолжены исследования на гляциологическом полигоне имени Л.С. Говорухи (рис. 1), где, кроме ледника Мушкетова, находится северный склон ледника Семенова-Тян-Шанского. Последний имеет высоту до 725 м, расположен южнее ледника Мушкетова и отделён от него тектонической впадиной фьорда Спартак. Он представляет собой часть ледника Ленинградского, но выделяется в отдельный ледниковый комплекс с тремя куполами, 11 выводными ледниками, пятью долинными и одним присклоновым ледником [5].

Задачи разворачивающихся гляциологических исследований — определить современные тенденции развития ледников и восстановить историю развития оледенения архипелага Северная Земля. В мае–октябре 2014 г. на леднике Мушкетова были забурены вехи и проведены весенняя и осенняя снегосъёмки, а в апреле–октябре 2015 г. выполнены натурные исследования, предусматривавшие: дооборудование полигона на леднике Мушкетова дополнительными вехами; установку вех на леднике Семенова-Тян-Шанского; высотную привязку снегомерных вех и установку автоматической метеостанции «НОВО U30–NRC» на леднике Мушкетова; снегомерные съёмки по вехам в мае и октябре на леднике Мушкетова и в мае на леднике Семенова-Тян-Шанского. Все виды работ были подчинены основной цели — расчёту баланса массы ледника Мушкетова в 2013–2015 балансовые годы.

18 составных снегомерных вех, установленных в 2014 г., заменены на цельные дюралюминиевые четырёхметровые трубы диаметром 5 см. Но старые вехи не были демонтированы, а оставались на месте для возможно более точного отсчёта во время измерения толщины снега. Теперь по

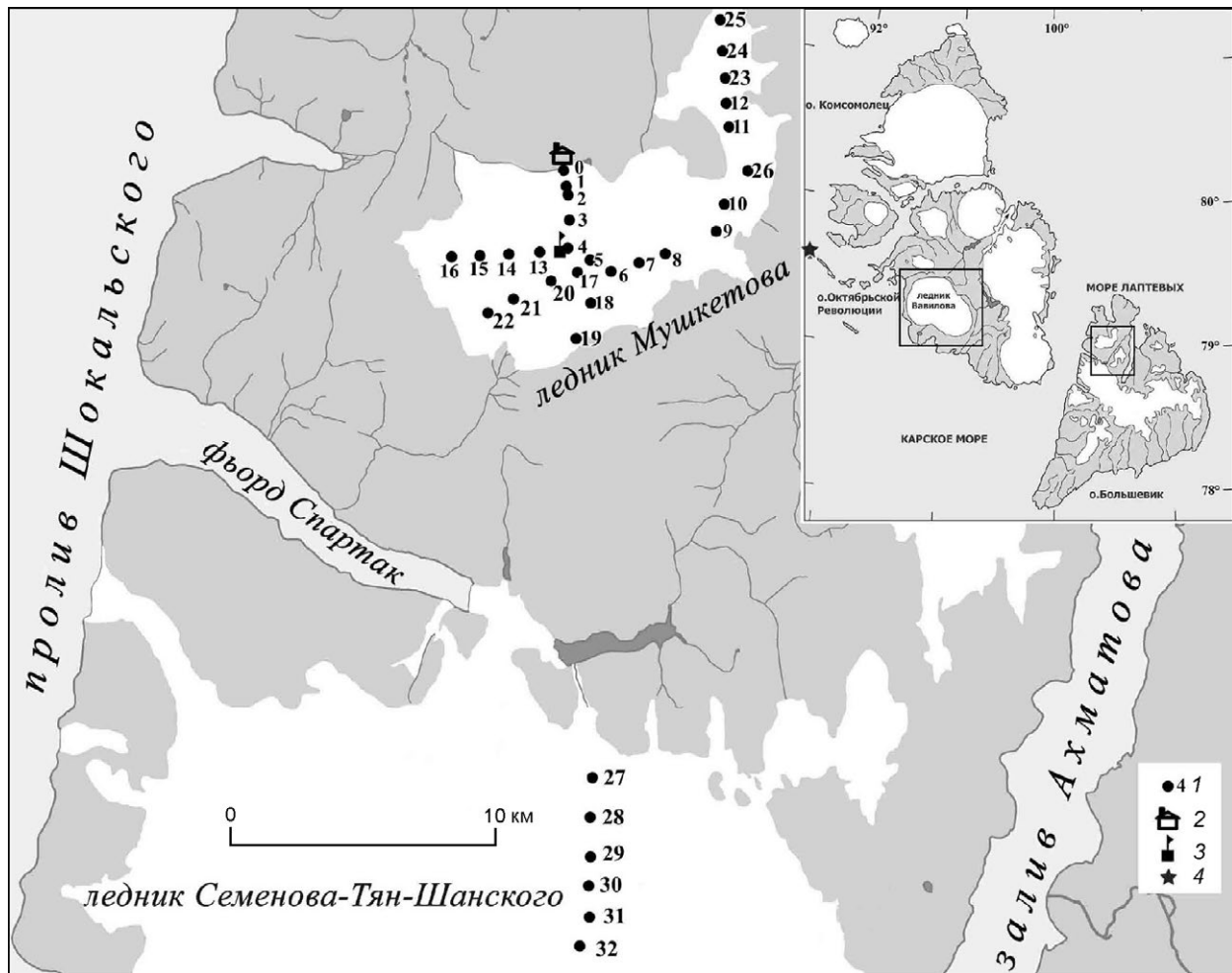


Рис. 1. Карта фактического материала исследованных ледников (ледниковый купол Вавилова на о. Октябрьской Революции и гляциологический полигон имени Л.С. Говорухи на о. Большевик):

1 – снегомерная вежа и её номер; 2 – гляциологический балок; 3 – место установки автоматической метеорологической станции; 4 – метеостанция «Остров Голомянный»

Fig. 1. The map of investigated areas: Vavilov Ice Cap on October Revolution Island and glaciological polygon named after Leonid Govorukha on Bolshevik Island:

1 – snow service mark and its number; 2 – glaciological hat; 3 – automatic meteorological station; 4 – «Ostrov Golomyannyi» meteorostation

каждой из двояных вех берутся отсчёты, на основании которых вычисляется средняя толщина снега по вехе. Они расположены примерно в 5 м друг от друга и имеют маркировки М1/1, М1/2, ... М18/1, М18/2. В числителе – номер вехи, в знаменателе номер старой вехи (1) или нового (2) дубликата. Полигон на леднике Мушкетова дооборудован новыми вехами. Новый юго-западный створ оснащён вехами № 20–22. На южном створе, на краю ледника, установлена веха № 19. Северо-восточный створ дооборудован вехой № 26, а на леднике Мушкетова-малый, отделившемся от основного тела ледника островками каменистой

пустыни, между вехами № 26 и 11 поставлены вехи № 23–25 в северной части, имеющей выход в долину безымянной реки, впадающей в залив Микояна. В настоящее время на леднике Мушкетова установлены 27 вех (М0–М26). В 2015 г. проведены геодезические работы для привязки этих вех по высоте и положению в пространстве. На северном склоне ледника Семенова-Тян-Шанского установлены шесть вех (С27–С32).

К октябрю 2015 г. гляциологический полигон имени Л.С. Говорухи оборудован 33 вехами и одним гляциологическим балком, расположенным у подножия северного склона ледника

Таблица 1. Координаты и высотная привязка снегомерных вех на гляциологическом полигоне имени Л.С. Говорухи, архипелаг Северная Земля

Номер вехи	Координаты и высотные отметки		
	северная широта	восточная долгота	высота верха вехи, м
M0	79°06'23.18416"	101°51'06.42200"	399,91
M1/2	79°06'03.72040"	101°51'19.90511"	441,03
M2/2	79°05'52.87251"	101°51'27.21131"	465,09
M3/2	79°05'22.05521"	101°51'28.55055"	516,13
M4/2	79°04'47.58796"	101°51'08.38560"	540,43
M5/2	79°04'31.99752"	101°53'31.51107"	547,13
M6/2	79°04'16.61576"	101°55'42.71893"	559,75
M7/2	79°04'25.06870"	101°58'44.92499"	531,24
M8/2	79°04'34.82179"	102°01'40.69523"	509,95
M9/2	79°04'58.46074"	102°07'17.14093"	513,14
M10/2	79°05'32.04864"	102°08'18.12571"	467,82
M11/2	79°07'06.69751"	102°09'13.94107"	352,55
M12/2	79°07'35.55607"	102°09'06.77643"	395,68
M13/2	79°04'44.38656"	101°48'05.29134"	534,73
M14/2	79°04'43.85629"	101°44'45.26385"	467,79
M15/2	79°04'43.50967"	101°41'37.03198"	406,57
M16/2	79°04'43.70507"	101°38'32.25234"	328,50
M17/2	79°04'17.38656"	101°52'04.78398"	530,25
M18/2	79°03'38.90283"	101°53'21.85323"	504,80
M19	79°02'56.00117"	101°51'34.52746"	386,82
M20	79°04'08.03147"	101°49'10.40556"	505,78
M21	79°03'48.50683"	101°45'00.57487"	472,11
M22	79°03'32.54055"	101°42'11.05465"	413,48
M23	79°08'06.75937"	102°09'08.33923"	391,51
M24	79°08'39.86282"	102°09'01.19511"	413,13
M25	79°09'18.71498"	102°08'57.62484"	363,97
M26	79°06'10.92007"	102°11'02.79016"	416,43
C27*	78.89868°	101.85038°	570
C28*	78.88526°	101.84275°	654
C29*	78.87175°	101.83965°	704
C30*	78.86183°	101.83437°	732
C31*	78.85115°	101.83293°	726
C32*	78.84148°	101.81328°	704

*Вехи ледника Семенова-Тян-Шанского (С27–С32) имеют привязку, выполненную портативным GPS-приёмником, и сравнительно невысокую точность. Все остальные вехи привязаны к спутниковой геодезической сети ААНИИ в системе координат и высот World Geodetic System 1984 (WGS84).

Мушкетова. Вехи имеют географическую и высотную привязку (табл. 1). Работы на полигоне выполнялись в конце периода накопления снега (май) и при окончании таяния (август–сентябрь). Измерялась высота вех надо льдом, весной проводилось описание снежной толщи около вех с измерением плотности снежного покрова весовым снегомером.

Создание спутниковой геодезической сети ААНИИ (СГС ААНИИ) на стационаре и исследованных объектах велось методом спутниковой геодезии с применением спутникового геодезического оборудования Sokkia GRX–2. СГС ААНИИ построена на референц-эллипсоиде и системе координат и высот World Geodetic System 1984 (WGS84), так как на момент работ у исполнителей в распоряжении не было координат и высот пунктов в российских системах координат и Балтийской системе высот. За исходный принят пункт государственной геодезической сети (ГГС) № 5776, расположенный в 5 км к востоку от стационара.

Результаты исследований

Снегосъёмки в конце периода накопления снега (май–июнь) и в конце периода абляции (сентябрь–октябрь) 2014 и 2015 г. позволили подсчитать баланс массы ледника Мушкетова. Балансовые характеристики приведены в табл. 2. Для расчёта баланса, накопления и абляции использованы данные по всем вехам, кроме вех № 0, 11, 12, 23–25. Нулевая веха расположена у подножия северного склона ледника и не даёт представления о соотношении аккумуляции и расхода массы, так как установлена в пределах канала стока ледниковых вод. Вехи 11, 12, 23–25 находятся в пределах ледникового купола Мушкетова-малый, который в настоящее время почти отделился от основного ледника. Баланс отделившейся части ледника будет подсчитываться отдельно.

Ледник Мушкетова, максимальная высота которого у вехи № 6 составляет 558 м по данным геодезических измерений 2015 г., а площадь менее 90 км² [11], находится в условиях, когда в период лета весь снег на леднике стает. Но далеко не вся образовавшаяся вода стекает к подножию ледника. В летнее время в условиях частого перехода температуры воздуха через 0 °С формируется наложенный лёд, толщина которого и определяется в конце периода таяния. В 2014 г. по данным 16 вех на леднике в среднем накопилось 3,9 см наложенного льда, что эквивалентно слою воды толщиной 35,5 мм. В период таяния воды стекло 193,4 мм. В 2015 г. по данным 21 вехи наложенного льда накопилось в среднем 171 мм (в слое воды), а стекло – 123 мм. В 2014 г. область пита-

Таблица 2. Балансовые характеристики ледника Мушкетова в 2014–2015 гг. (римские цифры – месяцы)

Номер вехи	2014 г.				2015 г.			
	Толщина снега, см, V	Снег в слое воды, мм, V	Слой льда, см**, V–X	Слой воды, мм**, V–X	Толщина снега, см*, V	Снег в слое воды, мм*, V	Слой льда, см*, V–IX	Лёд в слое воды, мм*, V–IX
M0		0	17	156	97	407	7	64
M1	65	214,5	–9	–83	72	274	–2	–18
M2	72	237,6	0	0	77	300	6,5	60
M3	64	185,6	–11	–101	76	236	28	257
M4	78	249,6	12	110	93	381	37,5	344
M5	74	236,8	13	119	79,5	302	39	358
M6	70	224	25	229	75	278	34,5	316
M7	77	223,3	26	238	68,5	253	31	284
M8	74	251,6	20	183	69	255	30	275
M9	52	156	10	92	69,5	278	32,5	298
M10	71	241,4	10	92	75	308	25	229
M11	65	195	–23	–211	80	240	–8,5	–78
M12	71	234,3	–8	–73	87,5	341	18,5	170
M13	86	283,8	14	128	71	185	15	138
M14	84	243,6	–11	–101	83	340	9,5	87
M15	78	234	–9	–83	75	308	–8	–73
M16	75	232,5	–15	–138	86	353	–5	–46
M17	70	224	7	64	74,5	298	28	257
M18	70	224	–20	–183	83	332	28,5	261
M19	–				69	228	–19	–174
M20					81	308	29	266
M21					91,5	348	24	220
M22					85,5	308	2	18
M23					71	220	18	165
M24					80,5	298	34	312
M25					80	304	19	174
M26					81	300	25	229
Среднее по всем вехам***	72,5	228,9	3,9	35,5	77,9	293,8	18,6	170,7

*Для вех M1–M18 – средние значения по двум вехам. **Отрицательное значение слоя льда и воды соответствует стаиванию, положительное – намерзанию. ***Средние значения по вехам приведены без учёта вех № 0, 11, 12, 23–25.

ния охватила только вершину ледникового купола (нижняя граница от 450 до 510 м), а в 2015 г. – его основную часть (рис. 2). При этом нижняя граница питания снизилась до 440 м. Отделяющийся ледниковый купол Мушкетова-малый в 2014 г. находился полностью в условиях абляции, а в 2015 г. его вершина выше отметок 390 м попала в область аккумуляции и там накопилось 171 мм наложенного льда в водном эквиваленте.

Ряды данных гидрометеорологической станции «Ледовая база «Мыс Баранова» и автоматической метеостанции, установленной на леднике в период абляции, позволили получить гляциоклиматические характеристики современного ледника Мушкетова. Несмотря на большее количество осадков, выпавших на базе в 2013–2014 балансовом

году по сравнению с 2014–2015 балансовым годом (табл. 3), снега на леднике к июню 2015 г. накопилось больше по сравнению с июнем 2014 г., что способствовало большому запасу осадков на леднике к началу сезона абляции (299 мм в 2015 г. против 229 мм в 2014 г., см. табл. 2). Лето 2015 г. выдалось значительно более тёплым по сравнению с 2014 г. Средняя температура воздуха в июне–августе на базе составила 0,9 °С, а на леднике –0,5 °С. Лето 2014 г. на базе характеризовалось средней температурой 0,1 °С (см. табл. 3).

Сумма положительных температур воздуха в 2015 г. на леднике оказалась на 300 °С меньше по сравнению с аналогичным показателем ряда гидрометеорологической на «Ледовой базе «Мыс Баранова» (табл. 4). Этого атмосферного тепла

Таблица 3. Количество осадков, мм (числитель) и средне-месячная температура воздуха, °С (знаменатель) по данным гидрометеороbservатории «Ледовая база «Мыс Баранова» за 2013–2015 балансовые годы

Год, месяц	Осадки, мм/ температура, °С	Год, месяц	Осадки, мм/ температура, °С
2013, IX	—	2014, IX	14,3/–1,7
2013, X	24,0/–11,6	2014, X	24,2/–9,3
2013, XI	38,2/–16,3	2014, XI	8,1/–22,9
2013, XII	18,6/–23,1	2014, XII	7,5/–21,8
2014, I	24,3/–29,2	2015, I	20,0/–27,2
2014, II	58,5/–22,6	2015, II	39,1/–23,4
2014, III	56,2/–18,3	2015, III	53,8/–21,3
2014, IV	69,3/–17,5	2015, IV	14,9/–14,6
2014, V	36,8/–8,1	2015, V	5,9/–11,2
2014, VI	21,3/–2,0	2015, VI	12,0/0,1
2014, VII	51,9/0,8	2015, VII	18,8/1,5
2014, VIII	40,1/0,8	2015, VIII	29,2/1,2

выводной язык. С 1952 по 1985 г. он продвинулся на 400 м [4]. С середины 1980-х годов до августа 2013 г. выдвигание составило 3,2 км. На рис. 4 представлена динамика продвижения выводного языка в последние годы по данным космических съёмки. С августа 2013 г. по май 2014 г. фронт ледника выдвинулся на 650 м и продвижение почти прекратилось до сентября 2014 г. С сентября 2014 г. по сентябрь 2015 г. продвижение фронта в сторону моря составило 4600 м, а с сентября 2015 г. по январь 2016 г. — ещё 3000 м.

Таблица 4. Суммы положительных температур воздуха по данным гидрометеороbservатории «Ледовая база «Мыс Баранова» (23 м над ур. моря) в 2014 и 2015 гг., а также автоматической метеостанции на леднике Мушкетова (540 м над ур. моря) в 2015 г. в сезон абляции*

Месяцы	Суммы положительных температур воздуха, °С	
	2014 г.	2015 г.
VI	23,7	141,2/105,7*
VII	231,7	403,3/399,6*
VIII	308	344,3/195,3*
IX	21,3	135,1/21,5*
VI–IX	584,7	1023,9/722,1

Обсуждение результатов

Непосредственные наблюдения на гляциологическом полигоне показали благоприятные условия питания ледников Мушкетова и Семенова-Тян-Шанского в 2013–2015 гг. Первые результаты пока не позволяют детализировать процессы питания—абляции на изучаемых ледниках, и эта задача — ближайших сезонов исследований. На вершине ледника Мушкетова в последние два года преобладают процессы, характерные для инфильтрационно-конжеляционной зоны питания с образованием наложенного льда в течение летних сезонов. На карте типов ледников и зон льдообразования Атласа Арктики [12] ледник Семенова-Тян-Шанского отмечен только ледяной

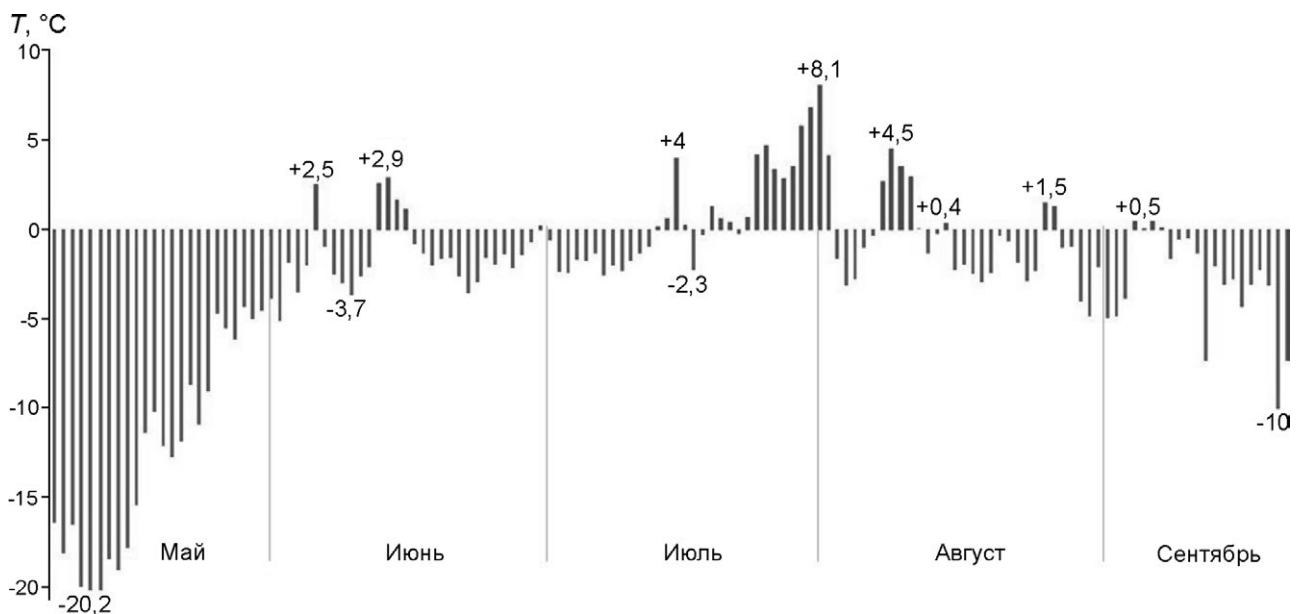


Рис. 3. Среднесуточные температуры воздуха на леднике Мушкетова в сезон абляции 2015 г.

Fig. 3. The average daily air temperature on Mushketov Glacier for the ablation season of 2015

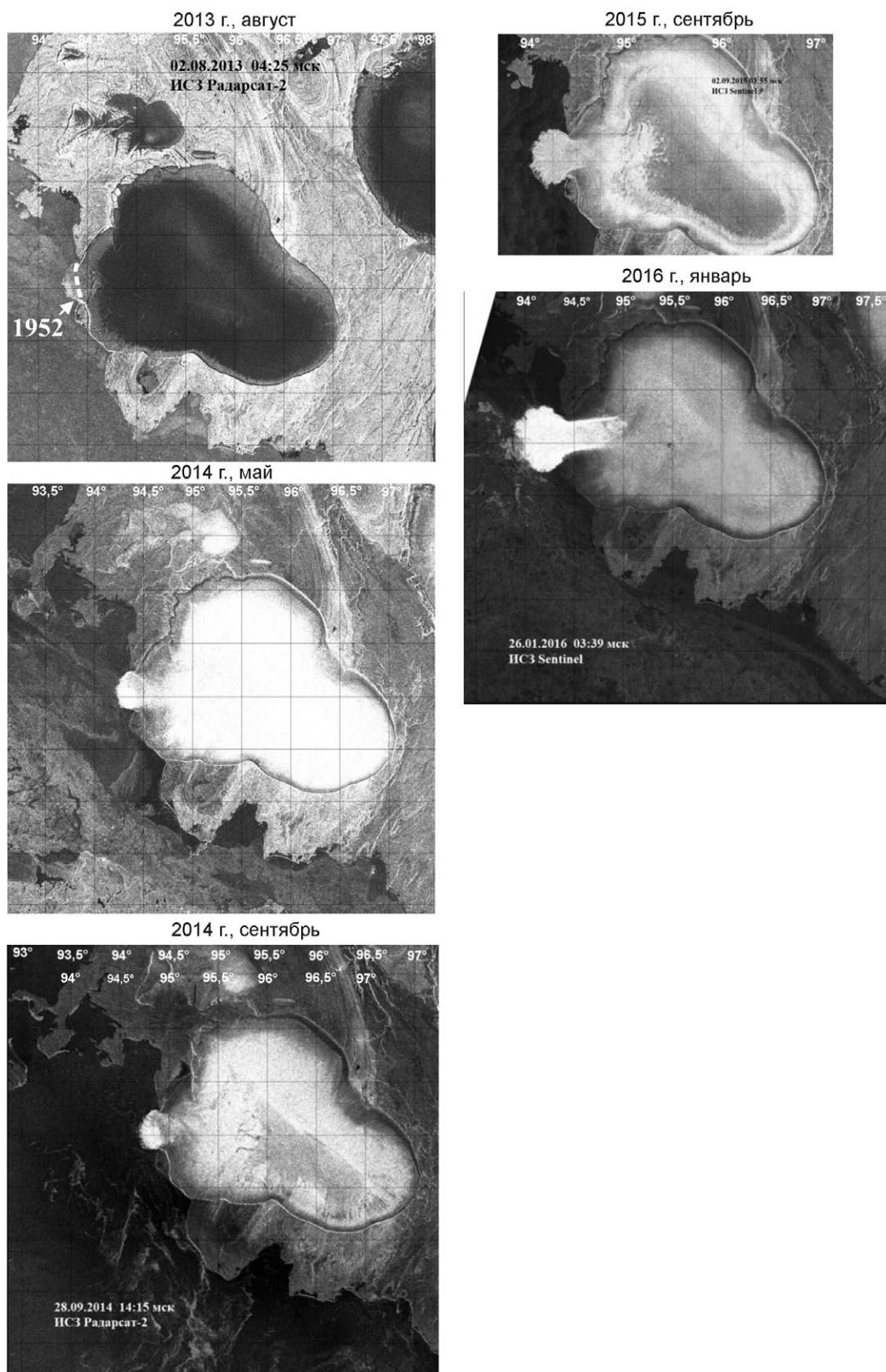


Рис. 4. Динамика катастрофической подвижки ледника Вавилова
Fig. 4. Dynamic of outlet glacier surge from Vavilov Ice Cap

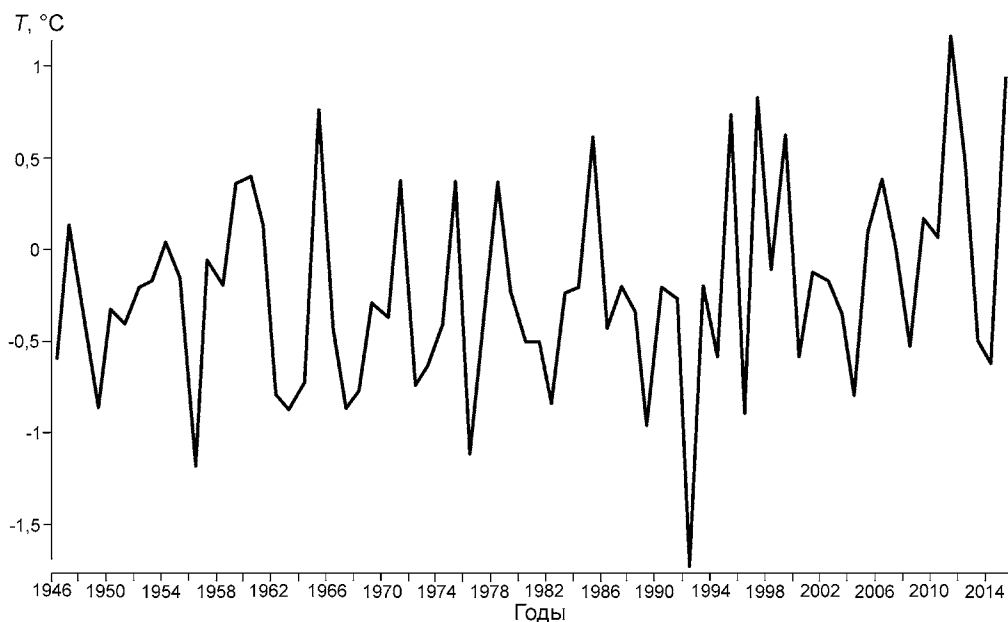


Рис. 5. Средние летние (июнь–август) температуры воздуха по данным полярной станции «Остров Голомянный»
Fig. 5. The average summer (June–August) air temperatures according to the data of the polar station «Ostrov Golomyannyi»

зоной питания, однако в настоящее время на его вершине существует и фирново-ледяная зона питания. Ледник Мушкетова на той же карте полностью находится в области абляции, но сейчас (по крайней мере, в 2014–2015 гг.) на нём аккумулируется с положительным балансом наложенный лёд.

Так как ледники о. Большевик локализованы в зоне наиболее высокого расположения снеговой границы и представляют собой наиболее южные ледники архипелага, можно предположить, что условия питания ледников на островах Октябрьской Революции, Комсомолец и Пионер в 2014–2015 гг. также были благоприятными. В эти годы летом отмечалась очень разная температура (данные прибрежной метеостанции «Остров Голомянный»): 2014 г. – отрицательная ($-0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$); 2015 г. – положительная ($0,9\text{ }^{\circ}\text{C}$) (см. рис. 1 и 5). Однако на высоте более 400 м, даже при сравнительно тёплом лете 2015 г., условия для таяния снега и льда были неблагоприятны – стаявший снег переходил в наложенный лёд (см. рис. 3). По наблюдениям на стационаре ледника Вавилова показано, что интенсивность таяния снега, фирна и льда на поверхности арктических ледников тесно связана с суммой положительных температур воздуха [4]. Судя по довольно низким летним температурам воздуха ($-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$) на прибрежной метеостанции, и в 2013 г. таяние на ледниках в области питания способствовало не стоку воды, а её замерзанию. Таким образом, в прошедшие три года после аномально тё-

плых, дождливых, ветреных летних сезонов 2011 и 2012 гг., когда разрушился шельфовый ледник Матусевича [7] и, вероятно, заметно стаяли ледниковые купола, обстановка с накоплением снега и льда на ледниках архипелага изменилась в сторону их стабилизации и накопления массы.

Чрезвычайно интересны результаты дистанционных исследований ледников Северной Земли за период с 1981 по 2008 г. [2]. По мнению авторов этого исследования, снегонакопление на архипелаге связано с резкими перепадами аномалий силы тяжести. Исследуемые зоны приурочены к полосе, протягивающейся с юго-востока (от ледника Кропоткина на о. Большевик) на северо-запад (ледниковый купол о. Шмидта). В эту зону попадают ледники Вавилова, Альбанова и Академии Наук. Именно эти ледники в ближайшие годы могут двинуться, особенно на контакте с морем (ледник о. Шмидта, юго-западная часть ледника Академии Наук).

Что касается выдвигания в море языка ледникового купола Вавилова на о. Октябрьской Революции, то этот процесс, хотя и возник довольно быстро (2013–2016 гг.) и продолжает развиваться, но был подготовлен значительным накоплением массы ледника Вавилова в его юго-западной части. Снегомерные данные 1988–1990 балансовых годов показали повышенное накопление снега на юго-западном склоне ледника [4]. Прекращение работы гляциологического стационара ААНИИ «Купол Вавилова» не позволило по-

лучить количественные данные по накоплению массы, вызвавшей столь интересное явление, как выдвигание ледникового языка в море. Однако «выстрел» выводного ледника на запад несомненно был обусловлен накоплением массы в южной и западной частях ледника Вавилова в течение последних лет, а начало этого процесса было зафиксировано последними снегомерными съёмками 1988–1990 гг., выполненными на гляциологическом стационаре [4].

Несмотря на мозаичность поведения поперечности ледника Вавилова, которая установлена спутниковыми альтиметрическими наблюдениями в период 1981–2008 гг., в целом ледник увеличивал свою высоту [2], а следовательно, и массу. Этому способствовал и значимый положительный тренд количества осадков с 1980-х годов до настоящего времени по данным метеостанций на побережье Карского моря [13]. Кроме того, место выдвигания ледникового языка связано с подлёдным рельефом. Общий уклон рельефа подлёдного ложа с северо-востока на юго-запад способствует стеканию льда именно в юго-западном направлении, а переуглубление под ледниковым языком ниже уровня моря точно определило место выхода ледниковых масс в море. С 1952 по 1985 г. положение этой части ледника (фронт шириной до 9 км) было более или менее стабильным с медленным движением (400 м за 35 лет), и этот край налегал на морское дно, глубина которого составляла около 20 м. Однако накапливавшиеся на южных и западных склонах ледника снег и лёд в течение последних двух–трёх десятилетий должны были найти выход из границ ледника, практически полностью лежащего на суше. На юг и запад ледник наступает, но медленно ввиду невозможности быстрого движения при отрицательных температурах на ложе и примерзания ледника к нему. Выход льда стал возможен только на западе, где ледник при расширении границ частично всплыл. И этот момент ознаменовался катастрофически быстрым выбросом льда в море. До августа 2013 г. кромка медленно выдвигавшегося ледника находилась на глубине около 35 м. В сентябре 2014 г. она залегала на глубине 38–40 м. Именно в этот момент случился выброс, и ледник за год, с сентября 2014 по сентябрь 2015 г., продвинулся на 4,6 км, достигнув фронтом глубины 50 м. К январю 2016 г. свободно плавающая на глубинах около 60 м фронтальная часть

ледника выдвинулась ещё на 3 км, и в ближайšie год–два она заметно продвинется к западу, формируя значительное число айсбергов. Предсказать точное положение фронта ледника в ближайшем будущем трудно из-за отсутствия данных о массе накопившегося льда. Однако благоприятные условия для накопления массы ледников в 2014–2015 гг., установленные по данным наблюдений на леднике Мушкетова, позволяют предположить, что и последние два года накопленные массы ледника дадут этому движению на запад дополнительный импульс. В тёплый период 2016 г. и в последующие годы описанный выводной ледник будет активно разрушаться и продуцировать большое число айсбергов вокруг всего архипелага и в его проливах. Эти события позволяют предположить, что и в прошлом именно в этом месте (западная кромка ледника) происходили подобные события, а ледник Вавилова можно отнести к пульсирующим ледникам.

Выводы

В 2014 и 2015 г. баланс массы ледника Мушкетова был положительным, что обеспечивалось достаточным запасом снега, выпавшего в зимние сезоны, и низкой температурой воздуха летом. Частые переходы температуры воздуха через 0 °С привели к замерзанию части воды из растаявшего на леднике снежного покрова и преобразованию её в наложенный лёд. На леднике Мушкетова выпадение и распределение осадков по площади и во времени значительно отличается от количества осадков, фиксируемого на ближайшей метеостанции (гидрометеообсерватория «Ледовая база «Мыс Баранова»). На вершине ледникового купола Семенова-Тян-Шанского обнаружена фирново-ледяная зона питания с мощностью фирна и снега не менее 3 м.

В целом метеорологические факторы на архипелаге Северная Земля в 2014–2015 гг. были благоприятными для накопления массы снега и льда на ледниковых куполах. Катастрофическое выдвигание на запад выводного ледника ледникового купола Вавилова обусловлено длительным накоплением массы льда на южном и западном склонах купола, начало которого зафиксировано в 1988–1990 гг., а также подлёдным рельефом, перекрытым ледниковым куполом.

Литература

References

1. *Говоруха Л.С.* Исследования Североземельского гляциологического стационара // Тр. ААНИИ. 1981. Т. 367. С. 5–8.
2. *Sharov A.I., Tyukavina A.Yu.* Mapping and interpreting glacier changes in Severnaya Zemlya with the aid of differential interferometry and altimetry // Proc. of the International Workshop “Fringe 2009 Workshop”, Frascati, Italy, 30 November–4 December 2009 (ESA SP–677, March 2010).
3. *Opel T., Fritzsche D., Meyer H.* Eurasian Arctic climate over the past millennium as recorded in the Akademii Nauk ice core (Severnaya Zemlya) // *Climate of the Past*. 2013. № 9. P. 2379–2389. doi 10.5194/cp–9–2379–2013.
4. *Большаинов Д.Ю., Макеев В.М.* Архипелаг Северная Земля – оледенение, история развития природной среды. СПб.: Гидрометеоздат, 1995. 217 с.
5. *Клементьев О.Л., Николаев В.И., Потапенко В.Ю., Саватюгин Л.М.* Внутреннее строение и термодинамическое состояние ледников Северной Земли // МГИ. 1992. Вып. 73. С. 103–109.
6. *Котляков В.М., Николаев В.И., Коротков И.М., Клементьев О.Л.* Климатостратиграфия голоцена ледниковых куполов Северной Земли // *Стратиграфия и корреляция четвертичных отложений Азии и Тихоокеанского региона*. М., 1991. С. 100–112.
7. *Sharov A., Nikolskiy D., Troshko K., Zaprudnova Z.* Interferometric control for mapping and quantifying the 2012 breakup of Matusevich Ice Shelf, Severnaya Zemlya // Proc. of the International Workshop Fringe 2015, Esrin, Frascati, Italy. ESA SP–731, 9 p. doi 10.13140/RG.2.1.2444.9121.
8. *Макштан А.П., Соколов В.Т.* Научно-исследовательский стационар «Ледовая база «Мыс Баранова» – летний полевой сезон 2014 г. // *Российские полярные исследования*. 2014. № 3 (17). С. 10–12.
9. *Федоров Г.Б.* Возобновление палеогеографических исследований на Северной Земле // *Российские полярные исследования*. 2015. № 1 (19). С. 7–9.
10. *Большаинов Д.Ю., Булатов Р.К.* Возобновление гляциологических исследований на архипелаге Северная Земля // *Российские полярные исследования*. 2014. № 3 (17). С. 14–17.
11. Каталог ледников СССР. Т. 16. Ч. 1 Северная Земля. Ч. 2. Горы Бырранга (п-ов Таймыр). Ч. 7. Остров Ушакова. Л.: Гидрометеоздат, 1980. 80 с.
12. Атлас Арктики. М.: изд. ГУГК, 1985. С. 105.
13. Обзор гидрометеорологических процессов в Северном Ледовитом океане 2014. СПб.: изд. ААНИИ, 2015. С. 32.
1. *Govorukha L.S.* Investigations of Severnaya Zemlya glaciological station. *Trudy AANII*. Annals of the AARI. 1981. 367: 5–8. [In Russian].
2. *Sharov A.I., Tyukavina A.Yu.* Mapping and interpreting glacier changes in Severnaya Zemlya with the aid of differential interferometry and altimetry. Proc. of the International Workshop ‘Fringe 2009 Workshop’, Frascati, Italy, 30 November – 4 December 2009 (ESA SP–677, March 2010).
3. *Opel T., Fritzsche D., Meyer H.* Eurasian Arctic climate over the past millennium as recorded in the Akademii Nauk ice core (Severnaya Zemlya). *Climate of the Past*. 2013, 9: 2379–2389. doi 10.5194/cp–9–2379–2013.
4. *Bolshiyarov D.Yu., Makeev V.M.* *Arhipelag Severnaya Zemlya: oledeniye, istoriya razvitiya priroidnoy sredy*. Severnaya Zemlya Archipelago: glaciations, environment history. St.-Petersburg: Hydrometeoizdat, 1995: 217 p. [In Russian].
5. *Klementiev O.L., Nikolaev V.I., Potapenko V.Yu., Savatuygin L.M.* Internal structure and thermodynamic condition of Severnaya Zemlya glaciers. *Materialy glytsiologicheskikh issledovaniy*. Data of Glaciological Studies. 1992, 73: 103–109. [In Russian].
6. *Kotlyakov V.M., Nikolaev V.I., Korotkov I.M., Klementiev O.L.* Holocene climate stratigraphy of Severnaya Zemlya ice caps. *Stratigrafiya i korrelyatsiya chetvertichnykh otlozheniy Azii i Tikhookeanskogo regiona*. Stratigraphy and correlation of Quaternary deposits in Asia and in Pacific Ocean region. Moscow, 1991: 100–112. [In Russian].
7. *Sharov A, Nikolskiy D, Troshko K., Zaprudnova Z.* Interferometric control for mapping and quantifying the 2012 breakup of Matusevich Ice Shelf, Severnaya Zemlya. Proc. of the International Workshop Fringe 2015, Esrin, Frascati, Italy. ESA SP–731, 9 p. doi: 10.13140/RG.2.1.2444.9121
8. *Makhtas A.P., Sokolov V.T.* “Cape Baranov Ice base” scientific station in summer season of 2014. *Rossiyskie polyarnye issledovaniya*. Russian Polar Investigations. 2014, 3 (17): 10–12. [In Russian].
9. *Fedorov G.B.* Revival of paleogeographical investigations on Severnaya Zemlya Archipelago. *Rossiyskie polyarnye issledovaniya*. Russian Polar Investigations. 2015, 1 (19): 7–9. [In Russian].
10. *Bolshiyarov D.Yu., Bulatov R.K.* Revival of glaciological investigations on Severnaya Zemlya Archipelago. *Rossiyskie polyarnye issledovaniya*. Russian Polar Investigations. 2014, 3 (17): 14–17. [In Russian].
11. *Katalog lednikov SSSR*. USSR Glacier Inventory. V. 16. Pt. 1 Severnaya Zemlya. Pt. 2 Byrranga Mountains. Pt. 7 Ushakov Island. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1980: 80 p. [In Russian].
12. *Atlas Arktiki*. Atlas of the Arctic. Moscow: Main Administration of Geodesy and Cartography, 1985: 204 p. [In Russian].
13. *Obzor gidrometeorologicheskikh protsessov v Severnom Ledovitom okeane 2014*. Review of hydrometeorological processes in the Arctic Ocean in 2014. Saint–Petersburg: AARI, 2015: 32. [In Russian].