

УДК 551.583:551.506.5

UDC 551.583:551.506.5

25.00.00 Науки о Земле

Earth Sciences

ФОРМИРОВАНИЕ СНЕЖНОГО ПОКРОВА В РАЙОНЕ КРАСНОЙ ПОЛЯНЫ (СОЧИ) ЗИМОЙ 2016-2017 ГГ. ЧАСТЬ 2. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И ЛАВИННАЯ ОБСТАНОВКА

FORMATION OF THE SNOW COVER IN THE REGION OF KRASNAYA POLYANA (SOCHI) IN THE WINTER OF 2016-2017. PART 2. METEOROLOGICAL CONDITIONS AND AVALANCHE SITUATION

Рыбак Олег Олегович
Д.физ.-мат.н.

Rybak Oleg Olegovich
Doctor of Science (physics and mathematics), senior scientist

SPIN-код 9678-9709

SPIN-code 9678-9709

1. Сочинский научно-исследовательский центр РАН, г. Сочи, Россия, гл.н.сотр.
2. Филиал Института природно-технических систем г. Сочи, Россия, заведующий лабораторией
1. 354000 г. Сочи, ул. Театральная, 8-а
2. 354024 г. Сочи, Курортный проспект, 99/18
orybak@vub.ac.be

1. Scientific Research Center of the Russian Academy of Sciences, Sochi, Russia
2. Branch of the Institute of Natural and Technical Systems, Sochi, Russia; laboratory head
1. 354000 Sochi, Theatralnaya, 8-a
2. 354024 Sochi, Kurortny Avenue, 99/18
orybak@vub.ac.be

Рыбак Елена Алексеевна
К.физ.-мат.н., ведущий научный сотрудник

Rybak Elena Alekseevna
Candidate of Science (physics and mathematics), leading scientist

SPIN-код 9833-6628

SPIN-code 9833-6628

1. Сочинский научно-исследовательский центр РАН, г. Сочи, Россия, вед.н.сотр.
2. Филиал Института природно-технических систем г. Сочи, Россия

1. Scientific Research Center of the Russian Academy of Sciences, Sochi, Russia; lead scientist
2. Branch of the Institute of Natural and Technical Systems, Sochi, Russia

1. 354000 г. Сочи, ул. Театральная, 8-а
2. 354024 г. Сочи, Курортный проспект, 99/18

1. 354000 Sochi, Theatralnaya, 8-a
2. 354024 Sochi, Kurortny Avenue, 99/18

Поповнин Виктор Владимирович
К.г.н., доцент
Московский государственный университет им М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра криолитологии и гляциологии, 119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, дом 1

Popovnin Victor Vladimirovich
Candidate of Science (geography), associate professor
Lomonosov Moscow State university, Department of Geography, group of cryolithology and glaciology
119991, GSP-1, Moscow, Leninskie Gory, 1

Сергиевская Яна Евгеньевна
Аспирант
Московский государственный университет им М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра криолитологии и гляциологии, 119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, дом 1

Sergiyevskaya Yana Yevgenyevna
Postgraduate student
Lomonosov Moscow State university, Department of Geography, group of cryolithology and glaciology;
19991, GSP-1, Moscow, Leninskie Gory, 1

Лысенко Павел Игоревич
Студент
Московский государственный университет им М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра криолитологии и гляциологии, 119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, дом 1

Lysionok Pavel Igorevich
Student
Lomonosov Moscow State university, Department of Geography, group of cryolithology and glaciology;
19991, GSP-1, Moscow, Leninskie Gory, 1

В статье рассмотрены климатические условия

In the article, we consider climatic conditions during

зимнего периода в районе горного кластера Сочи. Проанализирована изменчивость рядов температуры воздуха и сумм осадков на метеостанции Красная Поляна. Показано, что в последние тридцать лет наблюдался рост среднесуточной температуры в зимний период при одновременном уменьшении суточной амплитуды. Зима 2016/17 года отличалась ранним началом процесса снегонакопления из-за сравнительно низких среднесуточных температур в декабре 2016 г. Это послужило причиной того, что снег, в целом, был сравнительно более плотным. Это привело к увеличению количества лавин

Ключевые слова: СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ, КЛИМАТ, ЗАПАДНЫЙ КАВКАЗ, ЧЕРНОМОРСКОЕ ПОБЕРЕЖЬЕ КАВКАЗА, ТУРИЗМ, ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА, ЛАВИНЫ

the cold period of the year in the mountain cluster of Sochi. We have analyzed variability of time series of air temperature and precipitation sums at meteorostation Krasnaya Polyana. We have established, that average daily temperature in the cold period was growing during the last thirty years. This process was accompanied by decreasing of daily temperature amplitudes. Winter of the year 2016/17 is characterized by early beginning of snow accumulation because of comparatively low temperatures in December 2016. This was the reason in general for comparatively more dense snow cover and to more frequent avalanches

Keywords: SNOW COVER, CLIMATE, WESTERN CAUCASUS, BLACK SEA COAST OF CAUCASUS, TOURISM, ENVIRONMENT, AVALANCHES

Doi: 10.21515/1990-4665-131-045

Введение

В первой части настоящей работы [1] нами были рассмотрены особенности стратиграфии снежного покрова и водозапаса в районе горного кластера Сочи (Красная Поляна) зимой 2016/17 гг. Во второй части статьи приводятся результаты исследования метеорологической обстановки в регионе и связанной с ними лавинной опасности. Лавины являются фактором, который в значительной степени определяет режим рекреационной активности [2]. Являясь сложными динамическими системами, снежные лавины требуют постоянного уточнения территорий их развития. Нормальная хозяйственная и рекреационная деятельность в горной части Северо-Западного Кавказа и дальнейшее её развитие будут затруднены без правильной оценки настоящей и будущей лавинной активности и связанной с ней лавинной опасности¹.

¹ Частота лавин в России составляет 2,5% от общего количества опасных стихийных явлений [3].

Район Красной Поляны характеризуется частой повторяемостью аномально снежных зим – зим избыточного снегонакопления [4], что не может не накладывать определенные ограничения на рекреационную активность из-за повышения риска схода лавин. Фактически, снежный покров является своего рода природным ресурсом для развития местной рекреационно-ориентированной экономики, а зимние виды спорта, естественно, самые «снегозависимые» [5]. Для средне- и долгосрочного планирования туристско-рекреационной деятельности в зимний сезон необходимо своевременно получать прогностические оценки лавинной опасности, которая, в свою очередь, определяется складывающимися климатическими условиями. Чтобы оперативно разгружать склоны от лишних и опасных осадков, на горнолыжных трассах проводится круглосуточный мониторинг параметров окружающей среды и снежного покрова. Информация, поступающая с метеостанций, из Росгидромета обрабатывается в аналитическом центре. При подготовке к Зимней олимпиаде 2014 г. в регионе был создан кадастр лавинных очагов, а также база данных обо всех спущенных лавинах. В этом «банке» хранится информация, позволяющая изучать динамику развития лавинных процессов на конкретных участках и прогнозировать уровень опасности.

Условия формирования и характеристики снежного покрова в значительной степени зависят от антропогенного вмешательства. В частности, вырубка лесов при строительстве олимпийских объектов, привела к изменению общей лавинной ситуации. Там, где до начала строительства существовали залесенные участки со стабильным снежным покровом, в настоящее время территории открыты. На них существенным образом изменились условия перераспределения снега: усилился активный метелевый перенос, стало более активным перемещение снега вниз по склону. На таких

преобразованных участках имеет место изменение стратиграфического строения толщи снега по сравнению с нетронутыми участками.

Нами были проанализированы климатические условия в регионе и тенденции их изменения за последние десятилетия (раздел 1). Сами характеристики снежного покрова зимой 2016/17 г. были сопоставлены с аналогичными характеристиками 2011/12 г. (раздел 2). Метеоусловия зимы 2016/17 г. и их влияние на формирование снежного покрова и лавинной обстановки рассматриваются в разделе 3.

1. Климатические условия в регионе горного кластера в холодный период года

Климатические условия региона рассматриваются нами, прежде всего, с точки зрения их влияния на формирование важнейшего зимнего рекреационного ресурса – снежного покрова, без которого, собственно, функционирование горного кластера Сочи в зимних условиях теряет смысл.

Нами были проанализированы данные нескольких гидрометеорологических станций (гмс) в окрестностях горного кластера Сочи (табл. 1). Данные с гмс Красная Поляна являются наиболее полными, а ряды наблюдений самыми длительными из шести проанализированных. В связи с этим изменения климатических условий в последние десятилетия исследованы нами, в основном, с использованием рядов метеонаблюдений на гмс Красная Поляна. Разумеется, в связи с тем, что район исследования расположен в сложных физико-географических условиях, где протяжении нескольких километров наблюдаются значительные изменения параметров климата под влиянием абсолютной высоты над уровнем моря и форм рельефа (ориентации и крутизны склонов, относительных превышений, ширины и формы долин и т.д.), микроклимат будет существенно неоднородным.

Таблица 1 – Характеристики метеорологических станций, данные которых были использованы в работе

№№	Название	Абс. высота, м над у.м.
1	Красная Поляна	567
2	Гузерибль	671
3	Ачишхо	1886
4	Аибга	2238
5	Джуга	2000
6	Роза Хутор	1600

Поскольку достаточно детальное микроклиматическое районирование было проведено ранее [6], в настоящей работе мы ограничимся рассмотрением тенденций климатических изменений. В своем анализе будем исходить из того, что, несмотря на существенные микроклиматические различия, можно допустить, что изменения климатических условий происходили равномерно.

На гмс Красная Поляна последние заморозки отмечаются в среднем 10-20 апреля, а первые - 1-10 ноября. Безморозный период продолжается 190-220 суток. Непродолжительный (менее 180 суток) вегетационный период наблюдался в 1925, 1926, 1941, 1948, 1949, 1956, 1964, 1969, 1976 и 1977 гг. Режим зимних температур в значительной степени определяется географическим положением региона. Так, на гмс Гузерибль, расположенной на северном макросклоне Главного Кавказского хребта, средняя продолжительность безморозного периода значительно меньше, чем на гмс Красная Поляна, расположенной на сопоставимой высоте (табл. 1), составляет 140-170 суток. Последние заморозки отмечаются здесь в период с 25 апреля по 5 мая, а первые – с 25 сентября по 5 октября. Наиболее короткие безморозные периоды (<120 суток) наблюдались в 1943, 1949 и 1952 гг. Суточные амплитуды температуры на обеих метеостанциях достаточно большие: зимой они достигают 11°C, а в августе-сентябре – 14-15°C.

Внутригодовое распределение месячных норм температуры воздуха для южного и северного макросклонов имеет изохронный характер. Разность температур обуславливается географическим и высотным положением пунктов наблюдений. При близких абсолютных отметках местности гмс Красная Поляна и гмс Гузерипль превышение температур на южном склоне в весенне-летние месяцы составляет 1,5-1,8°C, в зимние – 1,5-3°C. Средние температуры зимнего периода ведут себя схожим образом (рис. 1). Так как обе метеостанции находятся относительно невысоко, холодный период ограничивается здесь пятью месяцами (ноябрь-март), когда средние температуры опускаются ниже нуля. На гмс Красная Поляна средnezимние температуры могут превышать аналогичные на гмс Гузерипль на 3°C. В целом, на обеих метеостанциях в течение всего периода наблюдений наблюдался незначительный рост средnezимних температур воздуха (около 0,4°C за 95 лет). Разумеется, в отдельные годы наблюдались существенные отклонения температуры от средних многолетних, как положительные, так и отрицательные. Тем не менее, тенденция роста средnezимних значений должна приниматься во внимание при планировании развития горного кластера как горнолыжного центра.

Для исследования тенденций в изменении зимних температур воздуха и зимних осадков в последние десятилетия нами были использованы данные Европейского проекта по сбору и анализу климатических данных (European Climate Assessment & Dataset project, ECA&D) [7, 8]. Исходным материалом для анализа являются ежедневные данные, которые осредняются за интересующий период времени – год, сезон или месяц. В настоящей работе нами были рассмотрены два типа данных – за условно холодное полугодие (октябрь-март) и за три зимних месяца (декабрь-февраль). Анализируемые ряды показаны на рис. 2-4. Сглаженные значения (кривые красного цвета)

получены методом построения локальных аппроксимирующих функций (LOWESS) [9, 10] и наглядно свидетельствуют о текущих тенденциях изменения климатических переменных.

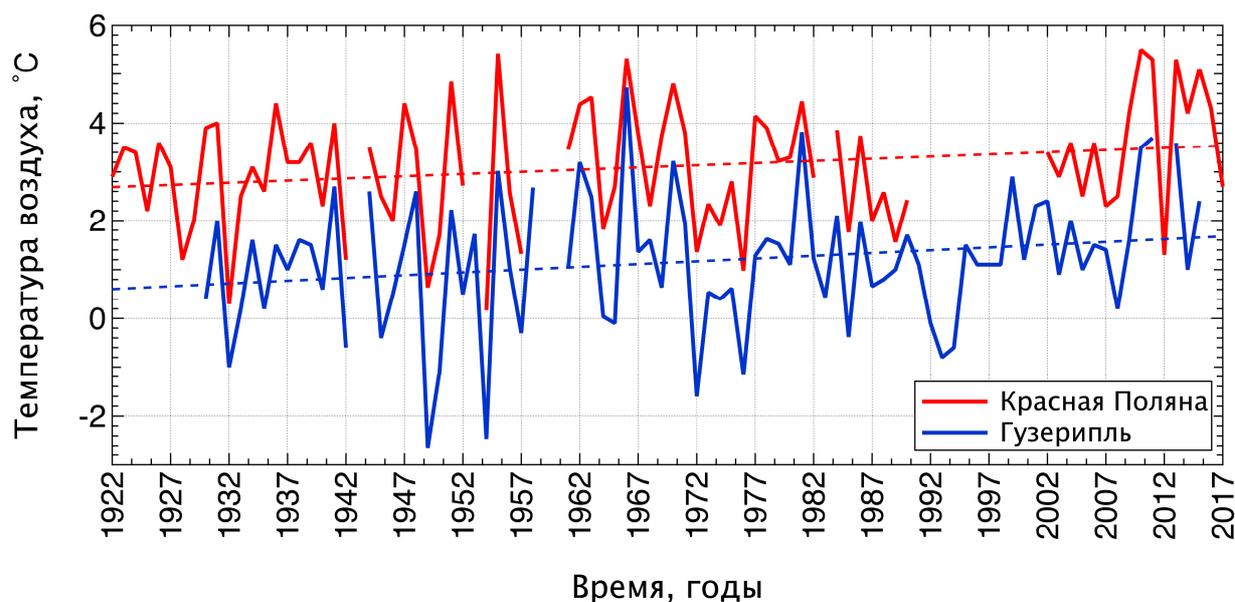


Рисунок 1 – Температура воздуха в зимние месяцы на метеостанциях Красная Поляна и Гузерипль и соответствующие линейные тренды

Анализ метеорологических данных в холодный период года (октябрь-март) свидетельствует о том, что с начала 1980-х годов на гмс Красная Поляна наблюдался рост среднесуточной температуры воздуха приблизительно на $1,8^{\circ}\text{C}$ (рис. 2а). При этом рост на величину около 2°C наблюдался в течение трех зимних месяцев (рис. 2б). Что характерно, на сопоставимые величины выросли также минимальная и максимальная температуры (рис. 2в, г). Аналогичные изменения наблюдались и в Южном Федеральном округе в целом. Та, по исследованиям [11], за период с 1998 по 2007 гг. в зимний период в 67% случаев наблюдались положительные аномалии. Отметим, что, несмотря на положительные тенденции изменения температуры воздуха, в разных частях Евразии, в том числе и в российских

регионах, в начале XXI в. наблюдались аномально холодные зимы (2003, 2006, 2010, 2011 гг.) [12]. При этом до 1980-х годов такие аномалии среднезимней температуры наблюдались с такой же частотой.

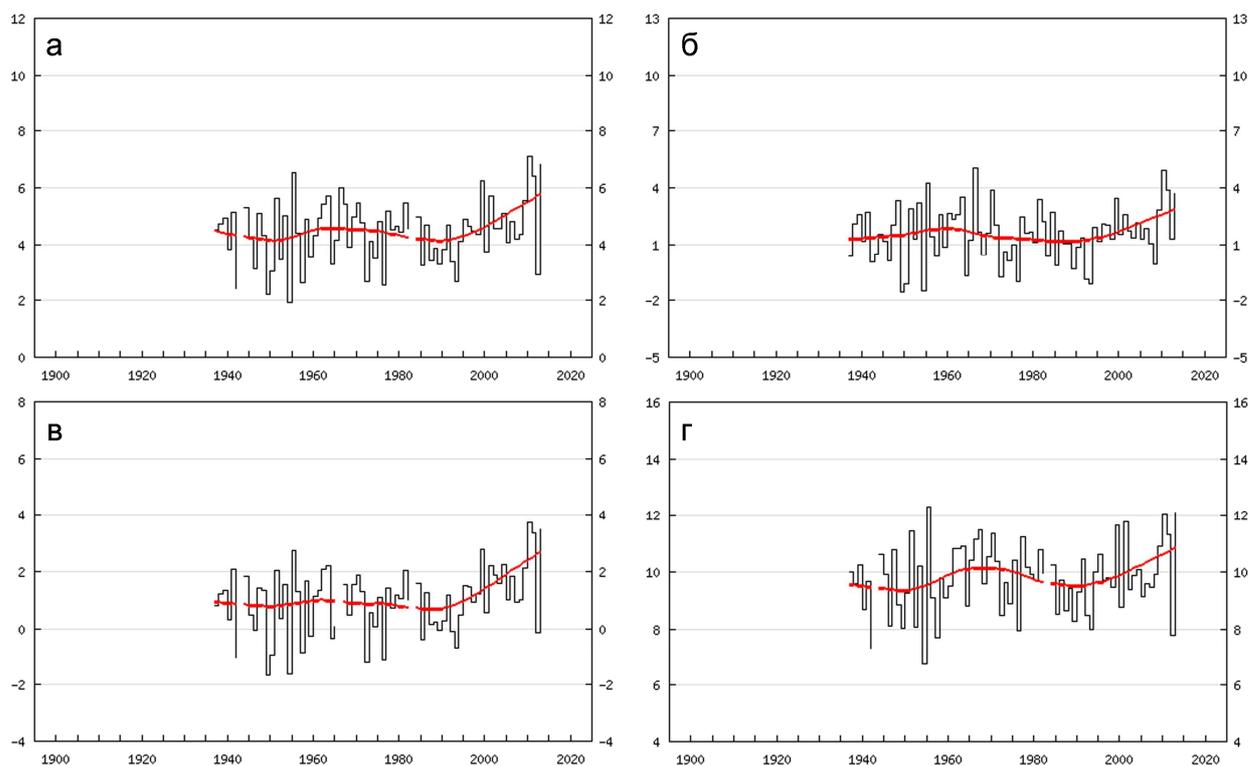


Рисунок 2 – Температура воздуха на гмс Красная Поляна, °С: а – среднесуточная (холодная половина года), б – среднесуточная (зима), в – средняя минимальная (холодная половина года), г – средняя максимальная (холодная половина года).

С середины 1960-х годов наметилась тенденция к сокращению суточных амплитуд температуры воздуха в холодную половину года (примерно 1°С за 50 лет – рис. 3а). Сокращение амплитуд сопровождалось резким ростом (с середины 1980-х годов) количества градусо-дней с температурой воздуха более 4°С (рис. 3б). Это обстоятельство вместе с двукратным сокращением числа градусо-дней с отрицательной температурой (рис. 3в) благоприятствует усилению таяния выпавшего снега. Заметим, что

число градусо-дней с максимальной отрицательной температурой практически не изменилось.

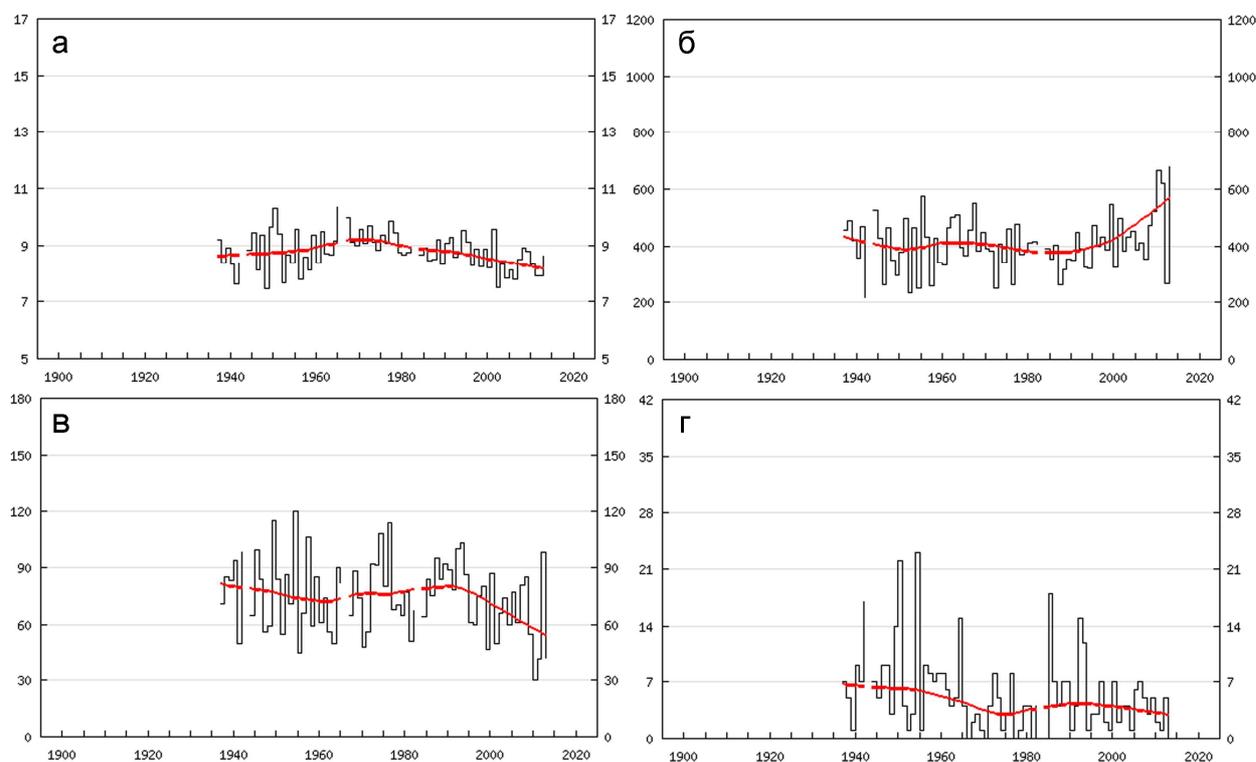


Рисунок 3 – Термические характеристики на гмс Красная Поляна в холодную половину года: а – среднесуточная амплитуда температуры воздуха, °С; б – количество градусо-дней со среднесуточной температурой > 4°С; в – количество градусо-дней с минимальной температурой < 0°С; г – количество градусо-дней с максимальной температурой < 0°С.

Зимние осадки в целом по России довольно устойчиво растут с 1970-х годов; тренд положительный и составляет 2.3%/10 лет [13].

Средний режим осадков в холодную половину года при значительном уровне межгодовой изменчивости (приблизительно от 800 до 1800 мм/год) практически не изменился (рис. 4а). При этом наметилась тенденция к незначительному снижению сумм осадков в три зимних месяца (рис. 4б). В тоже время за последние 20 лет увеличилось количество дней с осадками (52-54% против 45% по средним многолетним данным).

Статистические особенности снегонакопления и особенности среднемноголетнего распределения характеристик снежного покрова детально рассмотрены в работах [14-16], в связи с чем мы приводим лишь краткие сведения, необходимые для анализа снежной обстановки зимой 2016/17 г.

За период 1929/30-2016/17 гг. на южном макросклоне (гмс Красная Поляна) наблюдалось в среднем 60-80 дней с устойчивым снежным покровом. Более 100 суток снежный покров держался в 1934, 1953, 1975, 1976 и 1983 годах. Полностью бесснежные зимы наблюдались в 1951, 1952, 1960 и 1966 годах.

На северном макросклоне Западного Кавказа средние температуры воздуха в январе отрицательные, до $-10 - -15^{\circ}\text{C}$ в высокогорье. Вторжения атлантических и средиземноморских циклонов вызывают резкие повышения температуры воздуха до оттепелей в среднегорье и выпадение осадков, а прорывы арктических воздушных масс сопровождаются понижением температуры воздуха до $-20 - -25^{\circ}\text{C}$, что отражается в стратиграфии снежного покрова и режиме лавинной деятельности.

Для сравнения, на северном макросклоне (гмс Гузерипль) устойчивый снежный покров держится 30-60 суток и очень редко (1929, 1943, 1976 гг.) более 80 с выпадением твердых осадков, из них 90% приходится на слабые снегопады интенсивностью менее 10 мм/сут. Осадки интенсивностью от 20 до 30 мм/сут выпадают здесь практически каждую зиму в течение 2-3 раз. Их повторяемость выше в ноябре и апреле. До 2 раз за зиму, чаще всего в декабре, могут случаться осадки интенсивностью от 30 до 40 мм/сут. Один раз в 3 зимы имеют повторяемость осадки интенсивностью более 40 мм/сут. Как правило, такие осадки единичны в течение зимы. Наиболее часто они случаются в январе.

Последние полностью бесснежные зимы наблюдались в 1958-1960 годах. С увеличением абсолютной высоты доля твёрдых осадков увеличивается: на высоте до 2500 м она составляет около 15–20%, на высоте 2500–3000 м – 20–30%, а выше 3000 м – 40–70% годовой суммы [17].

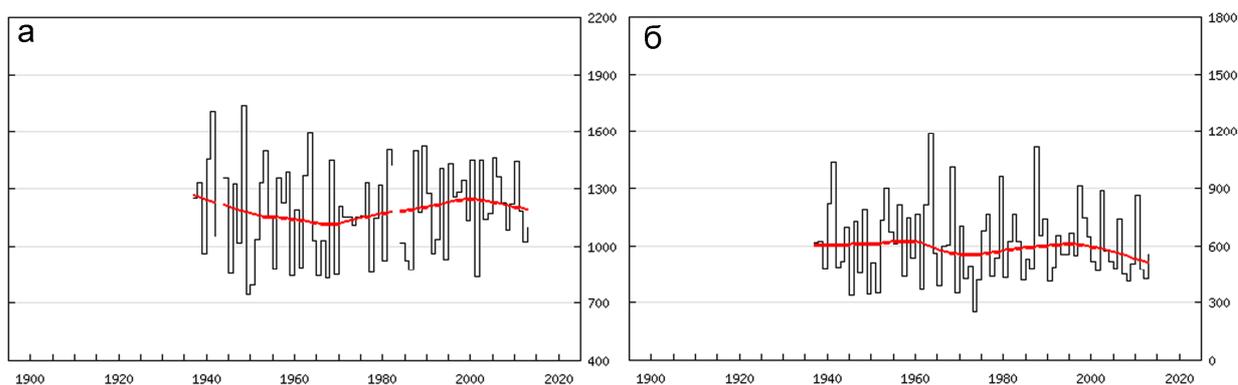


Рисунок 4 – Сумма осадков (мм) на гмс Красная Поляна: а – холодная половина года, б – зима.

Результаты наблюдений за снежным покровом на гмс Красная Поляна репрезентативны для днища долины и нижних частей склонов, и оценка снежности зим по её данным имеет преимущественно рекреационную направленность [14]. Изучение снежности зим является одной из актуальных проблем горного снеговедения. Снежность зим определяет динамику и активность снежных лавин и является одним из наиболее информативных географических показателей в горных районах. В условиях субтропического климата в районе Красной Поляны формирование многоснежных зим зависит от температурного фактора и в 90% случаев наблюдается при температуре холодного периода ниже 0°C. По статистике многоснежные зимы наблюдаются один раз в 10 лет [14-16]. Максимальная декадная толщина снега в многоснежные зимы составляет 111–172 см при рекордных

максимумах до 350–450 см [16]. Продолжительность периода со стабильным залеганием снежного покрова в нижнем ярусе гор увеличивается в аномально снежные зимы в среднем на 1 месяц.

Наибольших значений средняя многолетняя толщина снежного покрова в районе горного кластера Сочи достигала на гмс Ачишхо [14, 18]. Зимой 1986/87 г. толщина снега здесь достигла 7,96 м. [14]. К сожалению, станция перестала функционировать на рубеже 90-х годов прошлого столетия, однако анализ наблюдений, которые проводились на ней в течение нескольких десятилетий и данные последних лет, полученные дистанционными методами [15], позволяют сделать вывод о том, что район хребта Аибга является самым многоснежным на территории горного кластера Сочи. Так, среднедекадная толщина снежного покрова на хр. Аибга колеблется от 100 см в ноябре-декабре до 450 см в феврале-марте [19]. В тоже время, на гмс Джуга – от 3 см (ноябрь-декабрь) до 145 см в марте.

По мнению [20], изменение режима зимних осадков и снежного покрова – комплексный индикатор климата холодного сезона, отражающий изменения режима температуры, осадков, частоты оттепелей и т.д.

Воспользуемся данными об осадках за холодный период, и разделим зимы на три группы: с обильными осадками, с нормой осадков и с дефицитом осадков. Далее, используя данные о температурах воздуха, определим типы зим по методу [21]. Для расчета безразмерных аномальных величин A используем сумму осадков за холодный период: $\sum X$, где X – величина осадков конкретной зимы, \bar{X} – средняя многолетняя величина осадков за рассматриваемый период. Для расчета аномалий был выбран период с ноября по март. Среднее количество этих осадков в период 1929/30-2016/17 гг. составило 924 мм. Примем величину аномалии равной 30%, т.е. от +0,3 до -0,3, как границу нормы, и тогда зимы с аномалией более +0,3 будут

определены как обильные на осадки, а с аномалией меньше $-0,3$ как дефицитные (рис. 5). Отметим, что положительные аномалии, выходящие за 30%-ную границу были отмечены 13 раз, а отрицательные – 8.

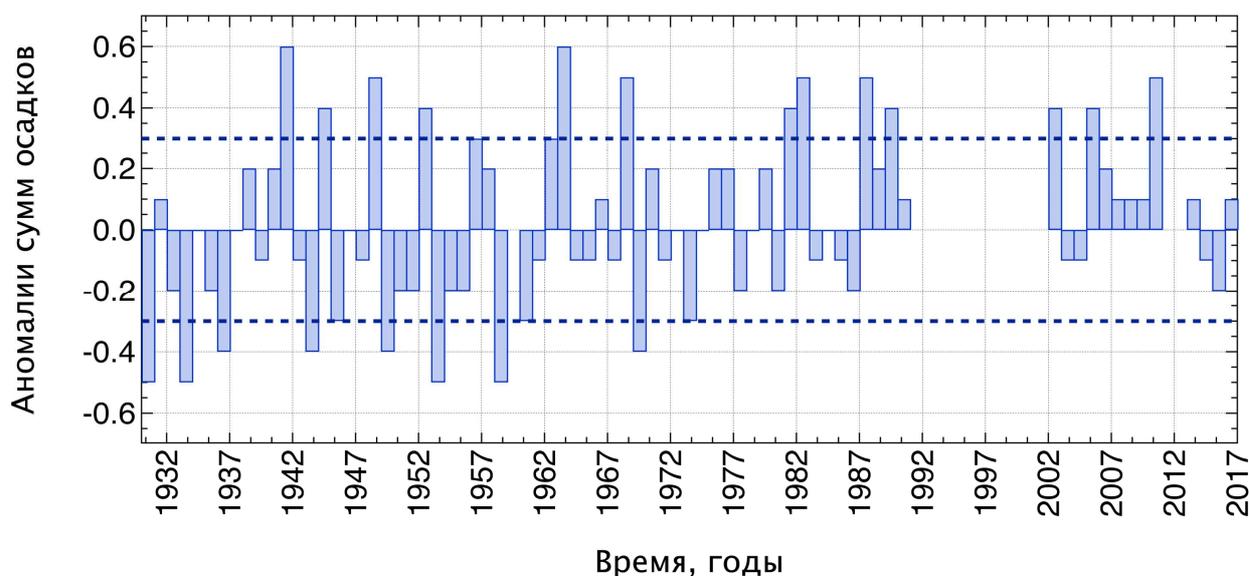


Рисунок 5 – Аномалии сумм осадков в холодный период на м/с Красная Поляна. Пунктиром показаны аномалии $\pm 30\%$.

2. Сопоставление характеристик снежного покрова в районе горного кластера Сочи в 2011/12 и 2016/2017 гг.

Результаты снегосъемки января-февраля 2017 г. были сопоставлены с результатами аналогичной работы, поведенной в это же время в 2012 г. Целью сопоставления, было выявить отличия в распределении и свойствах снежного покрова и дать объяснение причин этих отличий: вызваны ли они чисто естественной изменчивостью метеорологических условий или антропогенным вмешательством в ходе подготовки к проведению Олимпийских игр.

Метеорологические условия в зимы (в первую очередь, количество осадков и температура воздуха), разумеется, непосредственно влияют на

процессы, происходящие в снежной толще. Зима 2012 г. характеризовалась высоким уровнем снежности [1]. В результате дневного промачивания и ночного промерзания снежной толщи в шурфах 2012 года наблюдалось образование большего количества смерзшихся горизонтов, в том числе ледяных корок. Для снежной толщи было характерно четкое деление на снега на горизонты с увеличением размера кристаллов. Это было показателем того, что развитие снежной толщи происходило по типу деструктивного метаморфизма. В толще снега 2017 г. встречалось лишь небольшое количество инсоляционных и ветровых корок [1], однако сами снежные пласты были гораздо плотнее, чем в 2012 г. К периоду проведения полевых работ 2012 г. в целом выпало больше снега: так, его толщина на метеостанции горнолыжного курорта (ГЛК) «Роза-Хутор» достигала 240 см в феврале 2012 г. и 150 см в феврале 2017 г.

Шурф №2 был заложен на склоне ГЛК «Газпром»/«Лаура» в 2017 г. [1]. Он расположен примерно в таких же высотных и ландшафтных условиях, что и шурф 2012 г. В нем зафиксированы некоторые отличия плотности снега и общей мощности снежного покрова по сравнению с 2012 г. Высота снежного покрова была незначительно больше (160 см в 2012 г. и 151 см в 2017 г.), однако в 2012 г. снег был существенно более рыхлым: интегральная по вертикали плотность снежного покрова была лишь $0,20 \text{ г/см}^3$, в то время как в 2017 г. она составила $0,29 \text{ г/см}^3$. Из-за этого водозапас снежного покрова в 2017 г. (438 мм слоя воды) превысил аналогичный показатель 2012 г. (320 мм). Отчасти такая инверсия в соотношениях между высотой снежного покрова и его водозапасом объясняется наличием сильно смерзшейся, толстой ледяной корки в нижних слоях шурфа и преобладанием в 2017 г. плотного смерзшегося мелкозернистого снега.

На ГЛК «Горная Карусель»/«Горки-Город» шурфование на высоте 1318 м над уровнем моря (шурф №4) [1] показало, что при глубине снега в 185 см и интегральной плотности, равной $0,23 \text{ г/см}^3$, водозапас снежного покрова составил 426 мм вод. экв. В 2012 г. на этой высоте шурфов заложено не было, но они были выкопаны на высотах 1000 и 1510 м над уровнем моря. Интерполяция результатов измерений по ним для уровня 1318 м показывает, что в 2012 г. толщина снега здесь составила 147 см, что при измеренной плотности $0,18 \text{ г/см}^3$ эквивалентно 260 мм вод. экв. Таким образом, и на ГЛК «Горная Карусель»/«Горки-Город» рассчитанный снегозапас 2017 г. превышал аналогичный показатель 2012 г. на 63%.

Несмотря на то, что согласно данным метеонаблюдений зима 2016/17 г. уступает зиме 2011/12 г. по снежности, на даты проведения измерений снегонакопление было выше именно в 2017 г., хотя толщина снежного покрова была в целом меньше по сравнению с 2012 г. Главная причина этого парадокса – большая плотность снежного покрова в 2017 году. Это может быть связано с более ранним началом снегонакопления, из-за чего процесс метаморфизма (уплотнения) снега шел значительно дольше. Последнее обстоятельство имело прямые последствия для лавинной обстановки. Увеличение плотности снежного покрова, которое было зафиксировано в шурфах, было, по-видимому, причиной более частого схода лавин в 2017 году.

3. Метеорологические условия на южном макросклоне Кавказа зимой 2016/17 г., их влияние на процесс снегонакопления и лавинную ситуацию

Зимний сезон 2016/17 г. отличался от предшествующих некоторыми характерными особенностями. Зима 2016/17 г. началась с обильных

снегопадов. В частности, 12 декабря 2016 г. в районе Красной Поляны выпало около 1 м снега. Заметим, что снег выпал также и на Черноморском побережье в районе Сочи. В итоге декабрь был самым обильным на осадки (332 мм) и самым холодным месяцем зимнего сезона 2016/17 г (табл. 2). Однако (в основном из-за относительно низких значений в декабре 2016 г.), сумма осадков в итоге оказалась ниже значений последних лет и составила в результате только 1005 мм (ср. с красной кривой на рис. 4а). В то же время, сумма осадков ноября-марта незначительно отличалась от среднего за 80-летнюю историю наблюдений.

В период проведения исследований температура в ночные часы опускалась до -10°C и ниже (табл. 2), а днем воздух прогревался до $+3^{\circ}\text{C}$. Преобладали ливневые осадки, чаще жидкие, что являлось причиной промачивания снежной толщи и сокращение ее толщины. В целом зима 2016/17 г. была холоднее, чем в ограниченный период проведения снегосъемок: температура в ночные часы опускалась до ниже -11°C .

Полезно сопоставить среднемесячные данные на гмс Красная Поляна с аналогичными данными на гмс Гузерипль. Сравнение данных по температуре воздуха наглядно демонстрирует результат различий в метеорологических механизмах формирования термического режима. Если максимальные значения суточной температуры воздуха на обеих станциях достаточно близки, то среднемесячные температуры на гмс Гузерипль ниже на $1-3^{\circ}\text{C}$, а разница минимальных температур могла превышать 7°C (табл. 2 и 3.). При этом южный макросклон получал вдвое больше осадков, что способствовало более раннему установлению устойчивого снежного покрова и его значительно большей толщине.

В связи с тем, что горный кластер расположен в значительном диапазоне высот (приблизительно 500-2300 м), распределение зимних

температур имеет четко выраженную высотную поясность. Долина реки Мзымты характеризуется застоем холодного воздуха, большим числом штилей, малыми скоростями ветра, инверсионным распределением температуры воздуха.

Таблица 2 – Температура воздуха (T), °С, месячные суммы осадков, P , мм, и высота снежного покрова, S , см, на гмс Красная Поляна в течение холодной половины года 2016/2017 гг. по данным [23].

	T , средняя	T , мин.	T , макс.	P	S
Октябрь	11,2	0,5	25,5	160	0
Ноябрь	6,3	-2,6	21,9	145	1,5
Декабрь	-0,9	-10,3	8,2	332	65,3
Январь	0,2	-11,2	9,5	79	53,9
Февраль	1,0	-11,2	15,0	187	55,8
Март	6,4	-1,1	19,5	102	5,5

Таблица 3 – Температура воздуха (T), °С, месячные суммы осадков, P , мм, и высота снежного покрова, S , см, на гмс Гузерипль в течение холодной половины года 2016/2017 гг. по данным [23].

	T , средняя	T , мин.	T , макс.	P	S
Октябрь	8,2	-2,4	25,1	80	0
Ноябрь	4,7	-7,9	24,8	67	0
Декабрь	-3,3	-18,0	8,9	181	30,2
Январь	-1,3	-17,8	11,4	34	4,9
Февраль	0,0	-18,3	15,0	87	7,8
Март	5,4	-3,4	19,1	н/д	н/д

Типичное распределение температуры с высотой выглядит следующим образом. Наиболее теплый воздух располагается в слое инверсии на высотах 1100-1500 м с максимумом температуры на высоте 1300-1400 м. Выше уровня 1500 м начинается понижение температуры с высотой. Ниже уровня 1000 м находится слой холодного воздуха [22]. Указанное распределение является схематичным, и, по всей видимости, наблюдается не всегда. На рис. 6 показаны ряды срочных наблюдений за температурой воздуха в январе-феврале 2017 г. на двух метеостанциях (Красная Поляна и Роза Хутор

(автоматическая)), разница по высоте между которыми составляет около 1 км.

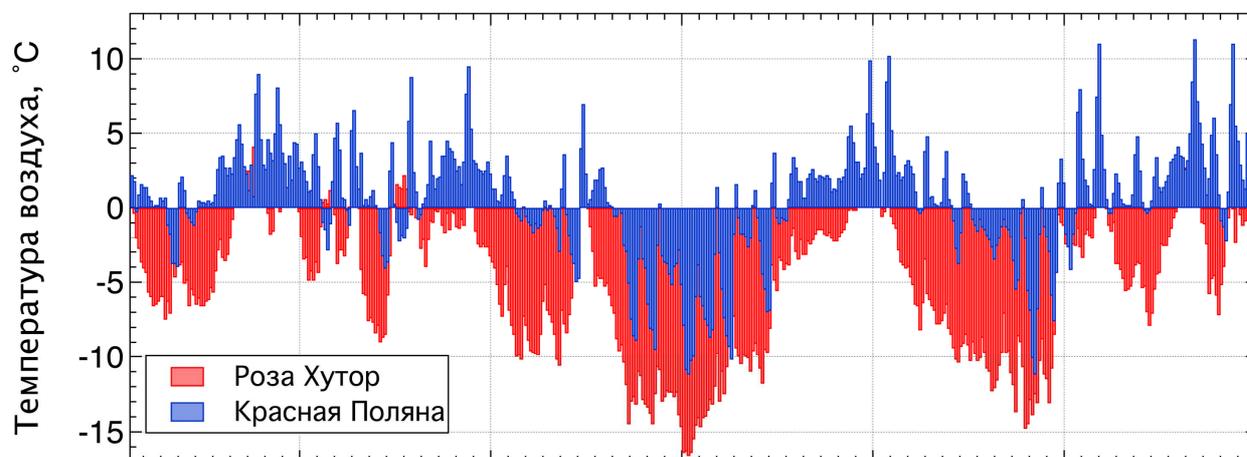


Рисунок 6 – Температура воздуха, °С, на гмс Роза Хутор и Красная Поляна (по данным [23]), срочные наблюдения 1 января 2017 г. – 28 февраля 2017 г., °С.

Средняя температура на м/с Красная Поляна составляет $0,6^{\circ}\text{C}$, а на автоматической м/с Роза Хутор $-4,7^{\circ}\text{C}$. Высотный градиент, таким, образом, составил $5,1^{\circ}\text{C}/\text{км}$, что меньше, чем в свободной атмосфере.

Чем дольше существует снежный покров, тем продолжительнее условия, благоприятствующие лавинообразованию. С другой стороны, выпавший снег под воздействием температуры и других факторов претерпевает изменения, в результате которых лавинная опасность может резко меняться, то есть увеличиваться или уменьшаться.

Наибольшее влияние на возникновение лавин оказывает температурный режим в приземном слое воздуха и внутри снежного покрова [24]. Возможность прогноза лавинной ситуации и аккуратности таких прогнозов ведутся до настоящего времени. Некоторые исследователи считают, что при всей привлекательности прогнозов лавин на основе динамики климатических параметров, способствующих их формированию, очевидных связей между изменениями климата и лавинной активностью в

настоящее время не обнаружено [25]. Более того, определенные вопросы вызывает постановка учета случаев схода лавин [26]. В этих условиях содержание термина «лавиная ситуация» носит качественный и оценочный характер. В частности, возможно, установить причинно-следственные связи между естественными и антропогенными изменениями в природной среде и частотой схода лавин. Так, к настоящему времени на территории горного кластера появились новые лавинные очаги, а в ранее существовавших лавиносборах, по расчетным данным, дальность выброса лавин из-за сокращения территории, занятой лесом, может увеличиться. В целом, антропогенное влияние, вероятно, имеет значительно больший вес в динамике лавин, чем естественные изменения природной среды и климата [25]. Есть также понимание того, какие метеорологические факторы в теории способствуют возникновению лавин, в том числе катастрофических. В частности, Важным индицирующим признаком периодов острой лавинной опасности служит превышение месячных или зимних норм осадков [27].

Первая половина зимы 2016/17 г. выдалась многоснежной и холодной, что является, в целом, нетипичным для исследуемой территории. Отрицательные температуры преобладали на всей территории горного кластера Сочи, в том числе и в самих поселках Эсто-Садок и Красная Поляна. При этом жидких осадков практически не наблюдалось, и большинство осадков выпало именно в виде снега, что напрямую повлияло на лавинную ситуацию. Установление устойчивого снежного покрова произошло раньше, чем в предшествующие годы: уже 12 ноября производились первые активные противолавинные мероприятия – стрельба в лавинные очаги. К середине февраля на территории горного кластера было зарегистрировано более 1000 лавин, в том числе на ГЛК «Роза-Хутор» - 493 лавины, из которых 380 было спущено принудительно. Не исключено, что указанное количество

спустившихся лавин занижено, так как активные воздействия на них производились в основном ночью, во время снегопадов и метелей, поэтому некоторые спущенные лавины не были должным образом зарегистрированы. Лавинные конуса разравниваются ратраками, что также мешает дешифрированию некоторых лавин. Последние два обстоятельства косвенно подтверждают выводы [26], свидетельствуя, что на Кавказе и в Альпах существуют сходные методологические проблемы учета лавин. Подавляющее большинство лавин сходит в результате активных воздействий, что подтверждает эффективность работы лавинной службы курортов. Объемы лавин, сошедших зимой 2016/17 г., исчисляются от первых кубометров до нескольких тысяч кубометров. Согласно классификации [28], большинство сошедших лавин были сингенетического генезиса (мягкие ветровые доски или лавины из свежеснегавшего снега). Лавины, связанные с перекристаллизацией снега на глубине (глубинной изморозью) на территории горного кластера является относительно редким явлением, однако сход таких лавин, разумеется, возможен. Эпигенетических лавин практически не наблюдалось. По данным лавинной службы ГЛК «Роза-Хутор» был подтвержден сход лишь одной эпигенетической лавины в декабре: при еще небольшой глубине снега сформировался ослабленный скелетный горизонт, вызвавший сход лавины.

В весенний период преобладали мокрые поверхностные лавины, сходящие из точки и основные лавины, регистрируемые на склонах юго-восточной экспозиции, подвергающихся наиболее сильному нагреву, а также грунтовые лавины, возникающие при сильных дождях и интенсивном прогреве от подстилающей, чаще всего скальной, поверхности. Весна является самым лавиноопасным временем года, особенно если учитывать климатические особенности региона. Количество солнечной радиации

велико, влажность высокая, снег быстрее насыщается водой и начинает ползти. Предсказать сход мокрых лавин гораздо сложнее, чем сход сухих, поэтому этой весной в разы больше самосходящих лавин (рис. 7, 8), угрожающих безопасности эксплуатации курортов горного кластера. Благодаря усилиям лавинной службы, чаще всего «самосходы» несут в себе не очень большую опасность (малые объемы и т.д.), так как склоны все время подвергаются активному воздействию.



Рисунок 7 – Отложения мокрой лавины (фотография предоставлена лавинной службой ГЛК «Роза Хутор»).



Рисунок 8 – Самосход мокрой лавины на склоне ГЛК «Роза Хутор» (фотография предоставлена лавинной службой ГЛК «Роза Хутор»).

Заключение

В ходе полевых работ в конце января-начале февраля 2017 г. были выявлены и изучены лавиноопасные склоны вдоль хребтов, окружающих Красную Поляну. На пустошах антропогенного происхождения изменился режим снегонакопления. Образованные открытые пространства являются причиной усиления дефляции: здесь понижены снеготпасы, которые вследствие метелевого перераспределения переносятся на опушки и в зоны леса. У вершин гор и вдоль оси хребтов создаются очаги пониженной снежности, которые могут создать проблемы рекреантам в годы отрицательных аномалий зимних осадков. Зима 2016/17 г. таковой не оказалась несмотря на то, что в целом холодный сезон по сумме осадков был близок к средним многолетним значениям. Уступая по высоте снежного

покрова зиме 2011/12 г., сезон 2016/17 г. к концу января превзошел зиму пятилетней давности по итоговому водозапасу.

Причиной этому послужила повышенная плотность снежного покрова, обусловленная ранним временем установления устойчивого снежного покрова. На некоторых полигонах она была на треть больше, чем зимой 2012 г. Не исключено, что уменьшение доли леса в площади кластера Красной Поляны привело к усилению ветровой деятельности в районе, из-за чего уплотнение снега стало происходить быстрее. Тем не менее, распределение снега в бассейне Мзымты все еще главным образом предопределяется природными, а не антропогенными причинами.

О.О. Рыбак, Е.А. Рыбак и В.В. Поповнин для выполнения исследования получили поддержку гранта РФФИ 15-05-00567. Авторы выражают благодарность группе студентов младших курсов и магистрантов географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, принявших участие в экспедиции 2017 г. и выполнивших большой объем трудоемких полевых работ в сложных горных условиях.

Литература

1. Рыбак О.О. Формирование снежного покрова в районе Красной Поляны (Сочи) зимой 2016-2017 гг. Часть 1. Стратиграфия снежного покрова и водозапасы / Рыбак О.О., Рыбак Е.А., Поповнин В.В., Сергиевская Я.Е., Лысенко П.И. // Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2017. - №129(05) – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2017/05/pdf/59.pdf>
2. Вивчар А.Н. Влияние снежных лавин на рекреационное освоение бассейна реки Мзымта (Западный Кавказ) [Текст] // Автореферат дисс. на соиск. уч. степени канд. геогр. наук. М., МГУ, 2011, 26 с.
3. МЧС России. Официальный сайт. [Электронный ресурс]. URL http://www.mchs.gov.ru/activities/stats/CHrezvichajnie_situacii (дата обращения 10.07.2017)
4. Вивчар А.Н. Снежный покров и положение орографической снеговой линии в долине реки Мзымта (Западный Кавказ) в условиях современных климатических изменений [Текст] // Криосфера Земли. 2010. Т. 14. №4. С.80-88.
5. Сократов С.А. Оценка экономического риска для горнолыжных курортов,

связанного с изменением продолжительности залегания снежного покрова / Сократов С.А., Селиверстов Ю.Г., Шныпарков А.Л. [Текст] // Лед и Снег. 2014. №3(127). С. 100-106.

6. Пигольцина Г.Б. Микроклиматическое районирование территории проведения зимних Олимпийских игр 2014 г. с учетом строящихся олимпийских объектов / Пигольцина Г.Б., Зиновьева Н.А. [Текст] // Труды ГГО им. Воейкова. Специальный выпуск. 2010. С. 3-11.

7. ECA&D // [Электронный ресурс] URL <http://eca.knmi.nl/dailydata> (дата обращения 01.07.2017).

8. EURMET/ECSN optional programme: 'European Climate Assessment and Dataset (ECA&D)'. Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD). Version 10.5 // [Электронный ресурс] URL <http://eca.knmi.nl/documents/atbd.pdf> (дата обращения 01.07.2017).

9. Cleveland W.S. Robust locally weighted regression and smoothing scatterplots [Текст] // Journal of American Statistical Association. 1979. V. 74. P. 829-836.

10. Cleveland W.S. LOWESS: A program for smoothing scatterplots by robust locally weighted regression [Текст] // The American Statistician. 1981. V. 35. P. 54.

11. Хованова Н.В. Температурные аномалии на территории Южного федерального округа (1998-2007 гг.) [Текст] // Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2009. № 2. С. 69-71.

12. Мохов И.И. Погодно-климатические аномалии в российских регионах и их связь с глобальными изменениями климата/Мохов И.И., Семенов В.А. [Текст] // Метеорология и гидрология. 2016. № 2. С. 16-28.

13. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2016 год. – Москва. 2017. 137 с.

14. Олейников А.Д. Снежные ресурсы района Красной Поляны [Текст] // Лед и Снег. 2013. №4(124). С. 83-94.

15. Олейников А.Д. Мифы и реальность о снежности зим района Красной Поляны [Текст] // Геориск. 2013. №1. С. 44-54.

16. Олейников А. Д. Многоснежные зимы в районе Красной Поляны (Западный Кавказ) [Текст] // Материалы гляциологических исследований. 2012. №1. С. 25–30.

17. География лавин. Под ред. Мягкова С.М., Канаева Л.А. Изд-во МГУ. 1992. 331 с.

18. Rybak E.A. Complex Geographical Analysis of the Greater Sochi Region on the Black Sea Coast/ Rybak E.A., Rybak O.O., Zasedatelev Y. V. [Текст] // GeoJournal. 1994. V. 34. P. 507-513.

19. Изменение климата. Информационный бюллетень. 2016. № 66. 27 с.

20. Ашабоков Б.А. Сравнительный анализ динамики количества экстремальных характеристик снежного покрова на Юге России/ Ашабоков Б.А., Ташилова А.А., Кешева Л.А. [Текст] // Материалы Всеросс. конф. «Устойчивое развитие: проблемы, концепции, модели». 16.05-19.05. 2017 г. Нальчик. С. 118-120.

21. Олейников А. Д. Снежные лавины на Большом Кавказе в условиях общего потепления климата [Текст] // Материалы гляциологических исследований. 2002. Вып. 93. С. 67–72.

22. Пигольцина Г.Б. Микроклиматические особенности территории проведения зимних Олимпийских игр «Сочи-2014» и методы их оценки / Пигольцина Г.Б. Зиновьева Н.А. [Текст] // Труды ГГО им. Воейкова. Вып. 559. 2009. С. 58-76.

23. Расписание погоды [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rp5.ru>

24. Тушинский Г.К. Ледники, снежники, лавины Советского Союза. М., Географгиз, 1963, 311 с.

25. Сократов С.А. Антропогенное влияние на лавинную и селевую активность / Сократов С.А., Селиверстов Ю.Г., Шныпарков А.Л., Колтерманн К.П. [Текст] // Лед и Снег. 2013. №2(122). С. 121-128.

26. Laternser M. Temporal trend and spatial distribution of avalanche activity during the last 50 years in Switzerland / Laternser M., Schneebeli M. [Текст] // Natural Hazards. 2002. V. 27. № 3. P. 201–230.

27. Володичева Н.А. Катастрофические лавины и методы борьбы с ними / Володичева Н.А., Олейников А.Д., Володичева Н.Н. [Текст] // Лед и Снег. 2014. №4(128). С. 63-71.

28. Дзюба В.В. Географические принципы разработки методик прогноза лавиноопасных периодов для малоисследованных районов [Текст]. Автореф. дисс. на соиск. уч. степ. канд. геол.-мин. наук. Москва, МГУ, 1983, 23 с.

References

1. Rybak O.O. Formirovanie snezhnogo pokrova v rajone Krasnoj Polyany (Sochi) zimoy 2016-2017 gg. CHast' 1. Stratigrafiya snezhnogo pokrova i vodozapasy / Rybak O.O., Rybak E.A., Popovnin V.V., Sergievskaya YA.E., Lysenok P.I. // Nauchnyj zhurnal KubGAU [Elektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2017. - №129(05) – Rezhim dostupa:<http://ej.kubagro.ru/2017/05/pdf/59.pdf>

2. Vivchar A.N. Vliyanie snezhnyh lavin na rekreacionnoe osvoenie bassejna reki Mzymta (Zapadnyj Kavkaz) [Tekst] // Avtoreferat diss. na soisk. uch. stepeni kand. geogr. nauk. M., MGU, 2011, 26 s.

3. MCHS Rossii. Oficial'nyj sajt. [Elektronnyj resurs]. URL http://www.mchs.gov.ru/activities/stats/CHrezvichajnie_situacii (data obrashcheniya 10.07.2017)

4. Vivchar A.N. Snezhnyj pokrov i polozhenie orograficheskoy snegovoj linii v doline reki Mzymta (Zapadnyj Kavkaz) v usloviyah sovremennyh klimaticheskikh izmenenij [Tekst] // Kriosfera Zemli. 2010. T. 14. №4. S.80-88.

5. Sokratov S.A. Ocenka ehkonomicheskogo riska dlya gornolyzhnyh kurortov, svyazannogo s izmeneniem prodolzhitel'nosti zaleganiya snezhnogo pokrova / Sokratov S.A., Seliverstov YU.G., SHnyparkov A.L. [Tekst] // Led i Sneg. 2014. №3(127). S. 100-106.

6. Pigol'cina G.B. Mikroklimaticheskoe rajonirovanie territorii provedeniya zimnih Olimpijskih igr 2014 g. s uchetom stroyashchihsya olimpijskih ob"ektov / Pigol'cina G.B., Zinov'eva N.A. [Tekst] // Trudy GGO im. Voejkova. Specal'nyj vypusk. 2010. S. 3-11.

7. ECA&D // [EHlektronnyj resurs] URL <http://eca.knmi.nl/dailydata> (data obrashcheniya 01.07.2017).

8. EURMET/ECSN optional programme: 'European Climate Assesment and Dataset (ECA&D)'. Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD). Version 10.5 // [EHlektronnyj resurs] URL <http://eca.knmi.nl/documents/atbd.pdf> (data obrashcheniya 01.07.2017).

9. Cleveland W.S. Robust locally weighted regression and smoothing scatterplots [Tekst] // Journal of American Statistical Association. 1979. V. 74. P. 829-836.

10. Cleveland W.S. LOWESS: A program for smoothing scatterplots by robust locally weighted regression [Tekst] // The American Statistician. 1981. V. 35. P. 54.

11. Hovanova N.V. Temperaturnye anomalii na territorii YUzhnogo federal'nogo okruga (1998-2007 gg.) [Tekst]// Izvestiya VUZov. Severo-Kavkazskij region. Estestvennye nauki. 2009. № 2. S. 69-71.
12. Mohov I.I. Pogodno-klimaticheskie anomalii v rossijskikh regionah i ih svyaz' s global'nymi izmeneniyami klimata / Mohov I.I., Semenov V.A. [Tekst]// Meteorologiya i gidrologiya. 2016. № 2. S. 16-28.
13. Doklad ob osobennostyah klimata na territorii Rossijskoj Federacii za 2016 god. – Moskva. 2017. 137 s.
14. Olejnikov A.D. Snezhnye resursy rajona Krasnoj Polyany [Tekst] // Led i Sneg. 2013. №4(124). S. 83-94.
15. Olejnikov A.D. Mify i real'nost' o snezhnosti zim rajona Krasnoj Polyany [Tekst] // Georisk. 2013. №1. S. 44-54.
16. Olejnikov A. D. Mnogosnezhnye zimy v rajone Krasnoj Polyany (Zapadnyj Kavkaz) [Tekst] // Materialy glyaciologicheskikh issledovanij. 2012. №1. S. 25–30.
17. Geografiya lavin. Pod red. Myagkova S.M., Kanaeva L.A. Izd-vo MGU. 1992. 331 s.
18. Rybak E.A. Complex Geographical Analysis of the Greater Sochi Region on the Black Sea Coast/ Rybak E.A., Rybak O.O., Zasedatelev Y. V. [Tekst] // GeoJournal. 1994. V. 34. P. 507-513.
19. Izmenenie klimata. Informacionnyj byulleten'. 2016. № 66. 27 s.
20. Ashabokov B.A. Sravnitel'nyj analiz dinamiki kolichestva ehkstremaal'nyh harakteristik snezhnogo pokrova na YUge Rossii/ Ashabokov B.A., Tashilova A.A., Kesheva L.A. [Tekst]// Materialy Vseross. konf. «Ustojchivoe razvitie: problemy, koncepcii, modeli». 16.05-19.05. 2017 g. Nal'chik. S. 118-120.
21. Olejnikov A. D. Snezhnye laviny na Bol'shom Kavkaze v usloviyah obshchego potepleniya klimata [Tekst] // Materialy glyaciologicheskikh issledovanij. 2002. Vyp. 93. S. 67–72.
22. Pigol'cina G.B. Mikroklimaticheskoe osobennosti territorii provedeniya zimnih Olimpijskikh igr «Sochi-2014» i metody ih ocenki / Pigol'cina G.B. Zinov'eva N.A. [Tekst] // Trudy GGO im. Voejkova. Vyp. 559. 2009. S. 58-76.
23. Raspisanie pogody [EHlektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <https://rp5.ru>
24. Tushinskij G.K. Ledniki, snezhniki, laviny Sovetskogo Soyuza. M., Geografiz, 1963, 311 s.
25. Sokratov S.A. Antropogennoe vliyanie na lavinnuyu i selevuyu aktivnost' / Sokratov S.A., Seliverstov YU.G., SHnyparkov A.L., Koltermann K.P. [Tekst] // Led i Sneg. 2013. №2(122). S. 121-128.
26. Laternser M. Temporal trend and spatial distribution of avalanche activity during the last 50 years in Switzerland / Laternser M., Schneebeli M. [Tekst] // Natural Hazards. 2002. V. 27. № 3. P. 201–230.
27. Volodicheva N.A. Katastroficheskie laviny i metody bor'by s nimi / Volodicheva N.A., Olejnikov A.D., Volodicheva N.N. [Tekst] // Led i Sneg. 2014. №4(128). S. 63-71.
28. Dzyuba V.V. Geograficheskie principy razrabotki metodik prognoza lavinoopasnyh periodov dlya maloissledovannyh rajonov [Tekst]. Avtoref. diss. na soisk. uch. step. kand. geol.-min. nauk. Moskva, MGU, 1983, 23 s.