

УДК 551.583:551.506.5

UDC 551.583:551.506.5

25.00.00 Науки о Земле

Earth Sciences

ФОРМИРОВАНИЯ СНЕЖНОГО ПОКРОВА В РАЙОНЕ КРАСНОЙ ПОЛЯНЫ (СОЧИ) ЗИМОЙ 2016-2017 ГГ. ЧАСТЬ 1. СТРАТИГРАФИЯ СНЕЖНОГО ПОКРОВА И ВОДОЗАПАСЫ

FORMATION OF THE SNOW COVER IN THE REGION OF KRASNAYA POLYANA (SOCHI) IN WINTER OF 2016-2017. PART 1. STRATIGRAPHY OF THE SNOW COVER AND WATER STORAGE

Рыбак Олег Олегович
Д.физ.-мат.н.
SPIN-код 9678-9709

Rybak Oleg Olegovich
Doctor of Science (physics and mathematics)

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

1. Scientific Research Center of the Russian Academy of Sciences, Sochi, Russia; senior scientist
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.
SPIN-код 9833-6628

Rybak Elena Alekseevna
Candidate of Science (physics and mathematics)

1. Сочинский научно-исследовательский центр РАН, г. Сочи, Россия, вед.н.сопр.
2. Филиал Института природно-технических систем г. Сочи, Россия, ведущий научный сотрудник
1. 354000 г. Сочи, ул. Театральная, 8-а
2. 354000 г. Сочи, ул. Театральная, 8-а

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

Поповнин Виктор Владимирович
К.г.н.

Popovnin Victor Vladimirovich
Candidate of Science (geography)

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

Lomonosov Moscow State university, Department of Geography, group of cryolithology and glaciology; docent
119991, GSP-1, Moscow, Leninskie Gory, 1

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

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

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

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

В работе рассмотрены особенности формирования, структура снежного покрова в районе горнолыжного кластера Сочи (Красная Поляна) зимой 2016-2017 г. Проанализированы закономерности распределения толщины снега, ее

Considered in the study, there are specific features and stratigraphy of the snow cover in the region of the mountain cluster of Sochi (Krasnaya Polyana) during winter of 2016-2017. We have analyzed patterns of snow thickness distribution, its dependence on the

зависимость от абсолютной высоты, экспозиции и крутизны склонов и типов ландшафтов. Сделан вывод о необходимости регулярного исследования структуры и качества снежного покрова для целей развития горнолыжного спорта

absolute elevation, slope exposition and landscape type. Conclusions were made about the necessity of the regular study of the structure and quality of the snow cover for the purpose of mountain skiing development

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

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

Doi: 10.21515/1990-4665-129-059

Введение

В ходе подготовки к XXII Зимним Олимпийским играм 2014 г. в г. Сочи в районе Красной Поляны был фактически с нуля создан современный горноклиматический комплекс. Разумеется, Красная Поляна была известна, как горноклиматический курорт задолго до того, как было принято решение о проведении здесь Олимпиады. Научные изыскания, имеющие целью обоснование строительства здесь горнолыжного центра, были проведены в 60-х годах XX века [1]. Несмотря на положительное заключение специалистов о возможности организации в районе Красной Поляны горнолыжного центра мирового уровня, такой масштабный проект в то время не был реализован. Практические меры по постепенному превращению Красной Поляны в горнолыжный центр стали реализовываться в начале 1990-х годов. Сочи подавал заявки на проведение зимних олимпиад 1998 и 2002 г., однако решение об их проведении в 2014 г. явилось для многих сюрпризом, в том числе и для географов [2]. В их глазах Сочи воспринимался как курорт средиземноморского типа – как, например, Лазурный Берег во Франции или лигурийское побережье в Италии.

Тем не менее, существует ряд факторов, вполне благоприятствующих развитию именно зимних видов спорта в горах Большого Сочи.

Уникальность географического положения объясняет большое

количество зимних осадков, особенно на подветренных склонах [3]. Частые вторжения теплых воздушных масс с юга существенно смягчают термический режим на территории южного макросклона, приносят с собой большое количество влаги, и в годовом ходе формируют зимний максимум осадков. Отличительной особенностью холодной половины года является максимальное развитие циклонической деятельности, а затяжные и интенсивные осадки отмечаются почти в половине всех дней [4]. Абсолютные высоты передовых хребтов Западного Кавказа (свыше 2000 м) достигают снеговой линии и перехватывают основную долю твердых осадков в зимнее время [5]. Кроме того, они играют роль барьера от проникновения холодных масс воздуха с севера и северо-востока.

Очевидно, что функционирование горнолыжного комплекса региона Красной Поляны (горного кластера Сочи, состоящего из курортов «Роза-Хутор», «Горная Карусель», «Альпика-Сервис», «Лаура») критически зависит от продолжительности залегания устойчивого снежного покрова. Индустрия зимнего туризма вообще является одной из наиболее «снегозависимых» [6]. Снежность зим в регионе в каждый конкретный год естественно зависит от особенностей циркуляции атмосферы в данном году. Анализ метеоданных ГМС Красная Поляна указывает на существенную междугодичную изменчивость снежности зим [1].

Стандартный мониторинг за состоянием снежного покрова, не включает детальное изучение структуры снежной толщи. Между тем, для катания на горных лыжах важно не только наличие и толщина снежного покрова, но и его качество. Физико-механические и структурные свойства снежного покрова в долине р. Мзымта характеризуются значительным разнообразием, определяемым частым изменением синоптических условий. Так, с выносом тёплых и влажных масс воздуха в тёплых секторах циклонов

со Средиземного моря, повторяемость которых в холодную половину года составляет 50% всех других синоптических процессов, отмечаются резкие оттепели [5]. Изменение режима зимних осадков и снежного покрова можно рассматривать как индикатор климата холодного сезона, отражающий изменения температурного, влажностного режимов территории. Знание закономерностей формирования структурных свойств снежного покрова актуально для планирования различного рода спортивных мероприятий и предоставления качественных услуг горнолыжникам. В то же время развитие зимних курортов напрямую связано с вопросами обеспечения безопасности, в первую очередь, лавинной. Средняя из максимальных значений толщины снега по всему бассейну р. Мзымта превышает минимально необходимое для возникновения лавин [5]. Для прогноза лавинной опасности необходимы данные об особенностях залегания снега на склонах различной крутизны, равно как и сведения об особенностях стратиграфии снежного покрова.

В настоящей работе приводятся результаты зимней экспедиции, проведенной в феврале 2017 года. В разделе 1 рассматриваются особенности методики проведения снегомерных работ в горах; раздел 2 посвящен стратиграфии и водозапаса́м снежного покрова в долине р. Мзымта зимой 2017 г.; в 3 разделе анализируются факторы, определяющие водозапасы.

1. Методика проведения работ

1.1 Снегомерные работы

Для установления закономерностей формирования и перераспределения снега были выбраны характерные участки, отражающие основные типы распределения снежной толщи в различных условиях. Осуществленные на них снегомерные работы выполнялись по принципу маршрутного профилирования, при котором для максимально объективного

отображения условий снегонакопления промерные пункты профиля размещались приблизительно на одинаковом расстоянии друг от друга. Профили были заложены преимущественно вдоль горнолыжных трасс, представляющих собой просеки в густо заросших лесной растительностью склонах либо относительно доступные открытые участки среди расчлененного горного рельефа, осложненного выступами скал и глубокими эрозионными ложбинами. Это определило протяженность профилей преимущественно вниз по склону, что, в свою очередь, способствовало осуществлению промеров в процессе спуска на горных лыжах, а сами промерные точки размещались поочередно на противоположных сторонах от трассы, формируя зигзагообразные траектории.

Подобная методика позволила установить априорно предполагавшееся относительно равномерное распределение снежной толщи на склонах хребтов Псехако и Аибга, и в целом увеличение толщины снежного покрова с высотой.

Измерения характеристик снежного покрова производились с помощью стандартных гляциологических приемов. Основным определяемым в поле параметром служил водный эквивалент снежного покрова E (водозапас), аккумулярованного к моменту снегосъемки. Величина E измеряется в г/см^2 либо в миллиметрах водного эквивалента (мм вод. экв.), что соответствует системной единице кг/м^2 . Для ее вычисления в каждой промерной точке необходимо знать значения двух переменных: толщины снежного покрова h и его осредненной по вертикали плотности ρ : $E=10\rho h$, где 10 – размерный множитель.

Отсюда вытекает важное методическое требование: снегомерные работы следует сводить не только к определению толщины снега, но и экстраполировать на каждую точку снегосъемки значение плотности из

ближайшего шурфа, где необходимо предпринять денсиметрические измерения (см. разд. 1.3). На местности величина плотности меняется от точки к точке меньше, чем толщина снежного покрова, поэтому главные усилия были сосредоточены на промерах h в большом количестве пунктов, количество которых в несколько раз превышало число шурфов.

Для определения h использовались лавинные щупы, отсчеты по которым снимались с точностью до 5 см. На каждой точке обычно производилось по 2-3 замера толщины снежного покрова в радиусе не более 2 м. При разнице значений между ними, превышающей 5-10 см, проводились дополнительные замеры для последующего осреднения. В процессе съемки фиксировались экспозиция, характерные особенности местности (лесистость, сомкнутость крон) и характер рельефа, географические координаты и высотные отметки в соответствии с данными GPS.

Главная проблема при проведении любых снегомерных измерений – обоснование адекватности густоты промеров и объективной природной изменчивости параметра. Для такого статистического обоснования оперируют тремя основными параметрами: точностью измерения δ_x , среднеквадратическим отклонением σ_x и количеством промерных пунктов N , $\delta_x = N\sigma_x$ [7]. Нужная точность достигалась путем увеличения или уменьшения количества промерных пунктов.

1.2 Методика стратиграфического и денсиметрического описания снежной толщи

Для изучения стратиграфии снежной толщи выбиралась площадка в подходящих ландшафтных условиях. Далее предварительно производилось пять замеров толщины снежного покрова, и в точке со средними значениями закладывался шурф. Передняя стенка шурфа (по которой производятся все

измерения) располагалась вверх по склону и впоследствии не подвергалась никакому воздействию. Угол между подстилающей поверхностью и передней стенкой составлял 90° для проведения измерений по нормали к поверхности. Подготовленную поверхность дополнительно зачищали специальной жесткой щеткой, чтобы увидеть естественную слоистость снежной толщи. Затем с помощью ножа разделяли более плотные и более рыхлые горизонты, и производили их маркировку. Параллельно с описанием слоев производилось измерение температуры и плотности. Производилось качественное послойное описание снега: состав (зернистость), цвет, влажность, наличие ледяных корок, разрыхленных горизонтов, воздушного пространства между почвой и снежным покровом, глубина промерзания. После этого с помощью лупы и палетки проводилось изучение микроструктуры снега: мелкозернистый снег, МЗС (кристаллы менее 0,5 мм диаметре), среднезернистый, СЗС (кристаллы 1,0-2,0 мм), крупнозернистый, КЗС (более 2,0 мм) и выделялись различные типы кристаллов.

Одновременно с описанием стратиграфии снежной толщи и определением температуры в горизонтах послойно производились измерения плотности и прочностных характеристик снега. Плотность снега измерялась с помощью весовых плотномеров двух типов весовых плотномеров - ВС-43 для определения плотности в 40 см слое и для определения плотности в каждом 5 см слое. Для повышения точности определение плотности проводилось несколько замеров в каждом слое, после чего результаты осреднялись. Все денсиметрические показатели рассчитывались с точностью до $0,01 \text{ г/см}^3$.

2. Стратиграфия снежного покрова и оценка влагозапасов в районе исследований

2.1 Склоны долины р. Лаура

Проведенные в ходе экспедиции снегомерные работы на склонах горнолыжного комплекса (ГЛК) «Газпром»/«Лаура» были самыми представительными. Склоны хребта Псехако характеризуются абсолютными высотами 1400-1600 м и покрыты лесом лиственных и хвойных пород. На абсолютных высотах более 1300 м это в основном пихта, ниже смешанный лес, а вершина в настоящее время незалесена из-за произведенных вырубок.

Снегомерные профили были заложены вдоль горнолыжных трасс (рис. 1), зигзагообразно (поочередно с одной стороны трассы на другую) спускаясь с гребня в лощины бассейна Лауры. На склоне северной экспозиции профилирование было предпринято в высотном диапазоне от 1363 м (верхняя точка) до 959 м (нижняя точка), на склонах северо-восточной и северо-западной экспозиции - вдоль трасс G2, G3 и B1 в диапазоне высот от 1609 м (верхняя точка) 1079 м (нижняя точка). Кроме того, промеры толщины снега были выполнены вдоль гребня хр. Псехако по трассе E1 вдоль бугельного подъемника и в лесу. Этот профиль характеризовался самой незначительной крутизной и пролегал на высотах 1490 м (верхняя точка) до 1428 м (нижняя точка). Всего на этом полигоне было совершено 58 промеров толщины. Здесь было заложено три опорных шурфа, каждый из которых характеризовал свой высотный пояс и склон определенной экспозиции. Для перевода мощности снежного покрова произвольной промерной точки в слой воды использовалось значение плотности по шурфу, заложенному на ближайшем гипсометрическом уровне и по возможности совпадающему с промерной точкой по экспозиции.



Рисунок 1 – Район проведения работ

Помимо цели вычисления осредненной по вертикали плотности снежного покрова, шурфы служили объектами изучения стратиграфических свойств отложенного снега. В итоге было проведено исследование строения снежного покрова на склонах разной экспозиции крутизной 4-25° в высотном диапазоне от 1200 до 1600 м.

Шурф №1 был заложен и описан 28.01.2017 г. на склоне северной экспозиции крутизной 15-17° на высоте 1603 м (43°41,85033' с.ш. 40°20,3347' в.д.). Выбранный участок был представлен пихтово-буковым лесом. Общая толщина снега составила 167 см. Описание шурфа происходило в хороших погодных условиях при облачности 4 балла (табл. 1).

На профиле температуры хорошо прослеживается волна холода в верхних 60 см шурфа, после чего по мере приближения к его дну начинает сказываться теплоизолирующее влияние снежного покрова. В условиях, когда температура близка к точке замерзания, в нижней части снежной толщине проходят процессы деструктивного метаморфизма.

Таблица 1 - Стратиграфия снежного покрова в шурфе №1

Расстояние от нижней точки шурфа, см	Строение и структура снега	Температура снега, °С	Плотность снега, г/см ³
167-150	МЗС, свежеснежный, рыхлый без включений	-6,1	0,14
150-143	МЗС, менее плотный	-6,8	0,16
143-114	МЗС, чистый, рыхлый, без включений	-5,1	0,18
114-111	МЗС, чистый, рыхлый, с ледяными включениями	-1,2	0,24
111-82	МЗС, чистый, смерзшийся	-1,0	0,26
82-44	МЗС, смерзшийся, без включений	-0,8	0,28
44-1	СЗС, 1-1,5 мм чистый, без включений	-0,7	0,31
1-0	Ледяная корка	-0,4	0,85

Шурф №2 глубиной 151 см был заложен 29.01.2017 г. на склоне северной экспозиции крутизной 12-14° ниже шурфа №1 на высоте 1405 м (координаты 43°41,9557' с.ш. 40°20,7532' в.д.). Верхний слой (113-151 см) сформировался накануне во время снегопада в ночь с 28 на 29 января, поэтому значения плотности в этом горизонте минимальны. Так же, как и в шурфе №1, наблюдается линейное возрастание температуры от -4,8°С в верхнем слое до -0,1°С у основания. Минимальные значения плотности наблюдаются в верхнем горизонте свежавыпавшего снега (0,23 г/см³), с глубиной ρ снега растет, достигая максимальных значений (0,32 г/см³) в горизонтах, представленных смерзшимся снегом с ледяными включениями (табл. 2).

Таблица 2 - Стратиграфия снежного покрова в шурфе №2

Расстояние от нижней точки шурфа, см	Строение и структура снега	Температура снега, °С	Плотность снега, г/см ³
151-113	МЗС, свежавыпавший, кристаллы до 0,3 мм	-4,8	0,23
113-108	МЗС, рыхлый, кристаллы 0,5 мм	-3,5	0,26
108-102	МЗС, смерзшийся с включениями	-3,0	0,29
102-100	Ледяная корка; СЗС, кристаллы 0,5 мм	-2,0	0,30
100-96	МЗС, рыхлый, кристаллы 0,1 мм	-1,0	0,32
96-86	МЗС, кристаллы 0,1 мм с включениями ледяных фрагментов	-0,9	0,26
86-83	Ледяная корка, МЗС, кристаллы 0,7 мм	-0,7	0,32
83-71	МЗС, смерзшийся, плотный	-0,5	0,28
71-35	СЗС/КЗС, кристаллы 1-3 мм, укрупняющиеся книзу	-0,4	0,30
35-0	МЗС, смерзшийся	-0,1	0,32
	Ледяная корка	-0,1	0,85

Шурф №3 глубиной 140 см был заложен 31.01.2017 г. ниже всех остальных на ГЛК «Лаура», на склоне северо-западной экспозиции на высоте 1305 м (координаты 43°41,56,8' с.ш. 40°18,495' в.д.). Его строение, а также

распределение температуры и плотности было во многом аналогично двум предыдущим шурфам, но в стратиграфической колонке выделялись более частые инсоляционные ледяные корки мощностью до 1 см. Тем не менее, в шурфе №3 была определена минимальная плотность по сравнению с более высоко расположенными шурфами ($0,23 \text{ г/см}^3$) (табл. 3).

Таблица 3 - Стратиграфия снежного покрова в шурфе №3

Расстояние от нижней точки шурфа, см	Строение и структура снега	Температура снега, °С	Плотность снега, г/см^3
140-117	МЗС, рыхлый, без включений	-9,5	0,22
117-97	МЗС, чистый, рыхлый, без включений, гранулы неявные	-5,0	0,29
97-94	Инсоляционная корка	-5,0	0,30
94-90	МЗС, чистый, без включений, смерзшийся в небольшие конгломераты	-4,7	0,26
90-85	МЗС, чистый, без включений, смерзшийся в небольшие конгломераты, более плотный	-4,0	0,30
85-83	Инсоляционная корка	-3,0	0,30
83-81	МЗС, смерзшийся, плотный	-2,5	0,30
81-80	Инсоляционная корка	-2,5	0,22
80-54	МЗС, чистый, смерзшийся, плотный	-2,4	0,22
54-18	СЗС, чистый, смерзшийся, без включений, плотный	-0,4	0,22
18-7	СЗС, чистый, смерзшийся	-0,4	0,20
7-0	СЗС, чистый, смерзшийся, плотный, с включениями льда	-0,4	0,20
	Грунт с опадом		

Изучение стратиграфии в шурфах позволило сделать вывод, что на склонах хр. Псехако снежная толща развивается преимущественно по типу деструктивного метаморфизма: снежинки округляются, и формируется МЗС. Под действием поверхностной энергии кристаллов происходит собирательная перекристаллизация, в результате которой МЗС переходит в категорию СЗС и КЗС. Плотность минимальна для верхних горизонтов, которые представлены

свежевыпавшим снегом. Плотность в других горизонтах распределена равномерно, колебания незначительны. Наблюдается общая для всех трех шурфов тенденция к росту плотности вниз по разрезу. Температурные колебания выражены вблизи поверхности, где ощущается проникновение волны зимнего холода. Ниже температура стремится к точке плавления, но до самого основания все же остается отрицательной. Вся толща при этом развивается по типу оседания и уплотнения.

Значения плотности снега были использованы для расчета водозапаса снежного покрова E в каждом из пунктов измерения толщины снежного покрова. Результаты вычислений E и распределение снегозапаса вдоль каждого профиля приведены на рисунке 2. Из-за высокой залесенности ГЛК «Лаура», 36% промерных пунктов были приурочены к лесным ландшафтам; 31% - к лесным опушкам; 33% - к открытым площадкам.

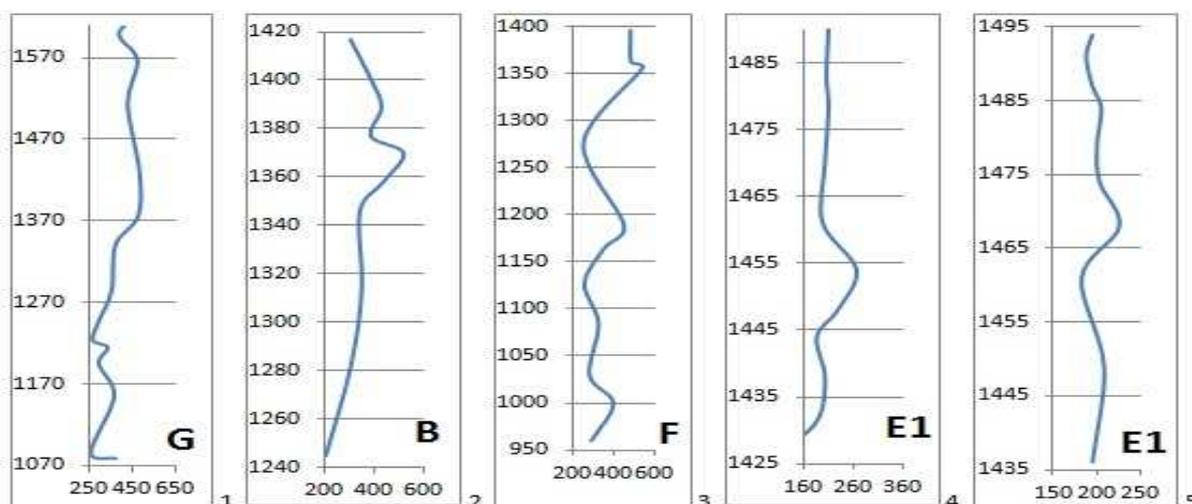


Рисунок 2 – Высотное распределение водозапаса (мм вод. экв.) на северо-восточном (1), северо-западном (2), северном (3) склонах и вдоль гребня хр. Псехако (4, 5). Латинскими буквами подписаны трассы ГЛК «Лаура», к которым были приурочены снегомерные профили.

Толщина накопившегося к концу января снежного покрова варьировалась от 55 до 187 см. Минимальное значение было зафиксировано на открытой площадке в самой нижней точке гребневого профиля, хотя по абсолютным значениям высотная отметка этой точки (1428 м) превосходила большинство снегопунктов полигона на ГЛК «Лаура». Максимум снега был отмечен также в верхнем поясе комплекса (на высоте 1566 м), но на опушке леса в верхнем секторе горнолыжной трассы G2.

Результаты снегомерных работ на ГЛК «Лаура» показывают, что водозапас снежного покрова в целом увеличивается с высотой, хотя эта зависимость далека от строго функциональной. Это, в первую очередь, связано с наибольшей продолжительностью периода снегонакопления (большее количество дней с отрицательными температурами). В нижних частях склонов в лесу снега накапливается меньше и распределение его по склону становится более равномерным. Влияние растительности на распределение снега проявляется в относительно равномерном накоплении снега под пологие лиственные леса из-за одинаковых условий. Под пологие хвойные леса снега накапливается меньше за счет влияния густых крон пихтовых деревьев.

Играет роль и угол наклона поверхности. Примером служат графики вдоль трасс E1 и E2 (рис. 2). Трасса E1 лежит вдоль гребня хр. Псехако и очень полого. Незначительные превышения среднего значения водозапасов приурочены к понижениям, наиболее интенсивно заполняемым снегом. Тем самым главные различия в снегонакоплении объясняются неровностью подстилающей поверхности и различными морфологическими особенностями склонов: снег сносится с вершинных поверхностей и накапливается в понижениях, а основными факторами распределения снежного покрова выступают абсолютная высота, рельеф и растительность.

2.2 Склоны долины р. Мзымта в пределах ГЛК «Горки-Город»/«Горная карусель»

Шурф №4 был заложен и описан 31.01.2017 г. на абсолютной высоте 1318 м на склоне хребта Аибга крутизной 12-14° на расстоянии 15 метров от трассы В13 (координаты 43°26,6150' с.ш. 39°56,4150' в.д.). Общая толщина снежного покрова составила 185 см (табл. 4). Отличительная черта стратиграфической структуры в шурфе №4 – незначительный рост плотности с глубиной крайне (от 0,22 до 0,24 г/см³).

Таблица 4 - Стратиграфия снежного покрова в шурфе №4

Расстояние от нижней точки шурфа, см	Строение и структура снега	Температура снега, °С	Плотность снега, г/см ³
185-164	МЗС, свежесвыпавший, чистый, без включений	-5,4	0,22
164-148	МЗС, плотный	-	-
148-134	МЗС, менее плотный, смерзшийся	-	-
134-132	Инсоляционная корка	-	-
132-126	МЗС-СЗС, плотнее вышележащего	-	-
126-120	МЗС, плотный	-	-
120-97	МЗС, плотнее вышележащего	-	-
97-74	МЗС-СЗС, кристаллы до 2 мм	-	-
74-70	МЗС-СЗС, кристаллы до 2 мм, плотный	-	-
70-0	МЗС	-0,6	0,24

В ходе проведенной снегомерной съемки была измерена толщина снега в 12 точках в диапазоне высот от 1318 до 923 м на склоне северо-восточной экспозиции вдоль трассы В13. Мощность снежного покрова по профилю варьировалась от 185 до 131 см. Величина водозапаса E (табл. 5) закономерно растет с увеличением высоты, но есть исключения, связанные с ландшафтной дифференциацией: на опушках мощность снежного покрова больше, чем в лесу. Это связано с равномерным распределением снежного покрова в

залесенных участках, в чем проявляется регулирующий эффект древесной растительности.

Таблица 5 - Водозапас снежного покрова на ГЛК «Горная карусель»

Абсолютная высота Н, м	Описание ландшафта	Средняя плотность по шурфу, г/см ³	Водозапас, мм вод.эquiv.
1318	Шурф, лес	0,23	159
1279	Лес		391
1253	Лес		387
1223	Лес		383
1047	Лес		383
1164	Опушка		413
1105	Опушка		330
1086	Опушка		376
1018	Опушка		374
996	Поляна		317
975	Лес		301
923	Поляна		341

Наибольшее значение водозаписа отмечено на высоте 1164 м. Это объясняется расположением промерной точки на опушке и в локальном понижении, где снега накапливается больше.

2.3 Район ГЛК «Роза-Хутор»

Шурф №5 был заложен на абсолютной высоте 1983 м на склоне южной экспозиции хребта Аибга, ориентированном в сторону долины р. Псоу, 02.02.2017 г. на опушке (координаты 43°36,9217' с.ш. 40°18,4500' в.д.).

На этой высоте в районе Красной Поляны примерно проходит граница леса. Глубина шурфа - 150 см (табл. 6). Так же, как и в шурфе №4, плотность снега меняется по вертикали крайне незначительно (среднее значение по толще $0,25 \text{ г/см}^3$). Температура снега на нижних горизонтах близка к нулю, поэтому здесь более интенсивно протекают процессы метаморфизма.

Таблица 6 - Стратиграфия снежного покрова в шурфе №5

Расстояние от нижней точки шурфа, см	Строение и структура снега	Температура снега, °С	Плотность снега, г/см^3
150-140	МЗС, свежавыпавший, рыхлый	-4,9	0,24
140-113	МЗС, плотный, чистый, рыхлый	-	-
113-112	Инсоляционная корка	-	-
112-107	МЗС, плотный, рыхлый	-	-
107-95	МЗС, менее плотный, чистый	-	-
95-74	МЗС, более плотный, чистый	-	-
74-66	МЗС, плотнее вышележащего	-	-
66-15	МЗС, плотный	-	-
15-0	МЗС-СЗС, рыхлый, смерзшийся	-0,1	0,26

На склоне южной экспозиции также проведены снегомерные работы (табл. 7). Снегосъемка была проведена в незначительном диапазоне высот 1920-1983 м. Расчеты показали наибольшие значения водозапаса по сравнению с двумя другими курортами Красной Поляны – 460 мм вод. экв. Вероятно, это связано с тем, что пробы отбирались на больших высотах по сравнению с другими горнолыжными курортами района исследования.

Повышенные значения водозапаса связано также с тем, что вся снегосъемка проводилась на открытом пространстве, поскольку граница леса проходит на высоте около 1980 м. Отметим, что в верхнем сегменте профиля происходит уменьшение водозапаса, по всей видимости, из-за сильного воздействия ветра, а также, возможно, антропогенного влияния на склонах,

где практикуется интенсивное внетрассовое катание. Но в целом прослеживается возрастание снегозапасов с высотой, что соответствует естественной гляциологической закономерности [8].

Таблица 7 - Водозапас снежного покрова на ГЛК «Роза Хутор»

Абсолютная высота, м	Описание ландшафта	Плотность, г/см ³	Водозапас, мм вод. экв.
1920	Поляна	0,25	668
1813	Поляна		468
1734	Поляна		444
1647	Поляна		507
1542	Поляна		263
2249	Поляна		403
2216	Поляна		550
1983	шурф, граница леса		375

Наибольший показатель глубины снежного покрова характерен именно для ГЛК «Роза-Хутор», что также напрямую подтверждает высотное распределение снежного покрова. Значительное влияние оказывает орографический фактор: снегосъемка в этом секторе проводилась на склонах южной экспозиции, поступление осадков на которые идет со стороны моря. Наличие ослабленных горизонтов разуплотнения и инсоляционных корок является фактором, благоприятствующих сходу лавин.

3. Закономерности распределения водозапаса в пределах горного кластера Красная Поляна

3.1 Высотный эффект

После проведения снегомерной съемки на склонах различных рекреационных кластеров курорта Красная Поляна нами были оценены факторы, влияющие на распределение снега. Исходя из того, что перепад высот, в которых проводились снегомерные работы в пределах курорта, весьма значителен (более 1,3 км), здесь, казалось бы, в первую очередь, должен быть выражен высотный эффект. Тем не менее, этого не происходит (рис. 3).

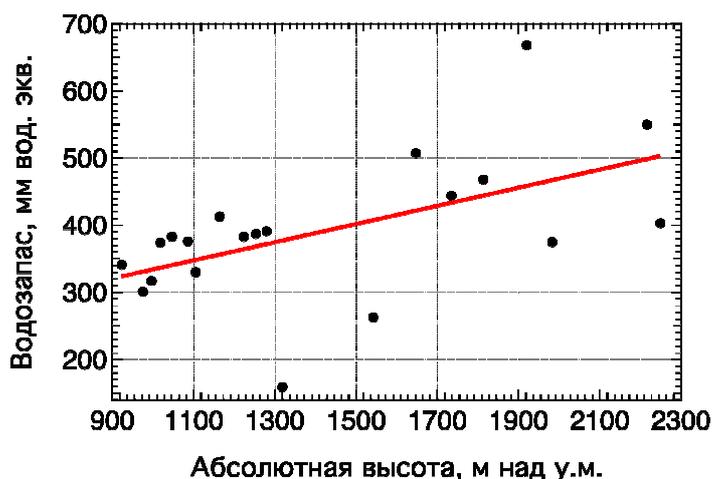


Рисунок 3 - Зависимость водозапаса снежного покрова от абсолютной высоты

3.2 Влияние экспозиции и крутизны склонов

Наибольшее количество осадков выпадает на периферийные склоны горного массива, обращенные навстречу влагонесущим воздушным массам господствующего в том или ином районе направления. Так как в районе исследований преобладает адвекция влагонесущих воздушных масс с южных румбов, в долине р. Мзымта при доминирующем переносе влаги с юго-запада

на северо-восток самое большое количество осадков выпадает на склоны южной и юго-западной экспозиции. Среднее значение водозапаса снежного покрова по данным измерений 2017 г. составляет 444 мм вод. экв.

Обычно, в горах умеренного пояса Северного полушария толщина снежного покрова более мощная на склонах северной экспозиции за счет меньшего притока солнечной радиации, но так как район исследований находится в зоне влажного субтропического климата, гораздо большее влияние на мощность снежного покрова имеет ориентация склона относительно направления влагонесущих воздушных масс. Это также объясняет большое количество снега на склонах юго-западной экспозиции (428 мм вод. экв.). На склонах юго-восточной экспозиции снегомерные работы не проводились, именно поэтому, к сожалению, это направление выпадает из анализа. На склонах северо-западной (361 мм вод. экв.) и северо-восточной (344 мм вод. экв.) экспозиции наблюдается наименьшее количество снега, так как эти склоны являются подветренными. Величина снежного покрова на склонах северной экспозиции больше (395 мм вод. экв.), чем на склонах северо-западной и северо-восточной экспозиции из-за метелевого переноса, так как ветра направлены с юга на север. Усиление ветра вызывает метелевый перенос, вследствие которого изменяются условия формирования снежного покрова.

Наиболее пологие участки снегомерных работ находились на склонах западной экспозиции. Снегомерные работы проводились на пологом участке гребня. Выдувание снежного покрова происходит именно на таких участках, что и обуславливает малую мощность снежного покрова - среднее значение водозапаса составляет 260 мм вод. экв. Отчасти на величину водозапаса могло повлиять и то, что участок достаточно близко расположен к трассам активного катания.

На крутых склонах снег задерживается слабее, часть его смещается вниз, поэтому толщина снежного покрова на крутых склонах в целом будет меньше, чем на более пологих. После проведенных измерений были выявлены некоторые закономерности распределения снежного покрова не только по склонам различных экспозиций, но и по их крутизне. Существует прямая зависимость водозапаса снежного покрова от крутизны склона: на большинстве склонов различных экспозиций снежный покров мощнее всего на пологих участках. Исключение составляют склоны западной экспозиции - как уже было сказано выше, на них преобладает дефляция – снос снега с гребня на близлежащие территории.

3.3 Влияние растительности и степени инженерного вмешательства

Снегомерные работы затрагивали три типа ландшафта: лес, опушку и лишенные растительности пространства, большая часть которых представляет собой лесные вырубki. Пространства, лишенные растительности, имели преимущественно искусственное происхождение: они были представлены горнолыжными трассами; полосами, в пределах которых расположены канатные дороги; площадями, занятыми разнообразными объектами рекреационной инфраструктуры (ресторанами, отелями и др.); пустыми неиспользуемыми окраинами вдоль горнолыжных трасс. При этом если промерные пункты в лесу и на опушках было относительно нетрудно приурочить к участкам, где отложение снега можно было считать незатронутым человеческой деятельностью, то открытые площадки с ненарушенными условиями снегонакопления было найти весьма проблематично. Поэтому в качестве лишенных растительности пространств были выбраны исключительно пространства вдоль трасс. Мы стремились

проводить измерения вдали от отвалов снега при подготовке и укатке трасс ратраками и иных зон антропогенного перераспределения снежного покрова.

В результате анализа средних значений водозапаса снежного покрова в каждом типе ландшафта было выяснено, что на горнолыжном курорте «Газпром» наибольший осредненный водозапас снежного покрова характерен для леса, а наименьший – для открытых пространств. Водозапас снежного покрова в лесу превышает водозапас на открытых пространствах в 1,5 раза, а на опушке он примерно равен водозапасу на открытых пространствах, превышая его всего на 12 мм вод. экв. (табл. 8).

На ГЛК «Горная Карусель» средние водозапасы снежного покрова в лесу и на опушке примерно равны и составляют 379 и 373 мм вод. экв. соответственно. Наименьший средний водозапас характерен для открытых пространств. Он на 13% меньше среднего водозапаса снежного покрова в лесу.

Таблица 8 - Водозапас снежного покрова, осредненный по типам ландшафтов

ГЛК	Средние по типу ландшафта водозапасы снежного покрова, мм вод. экв.		
	Лес	Опушка	Открытые пространства
Газпром	361	250	238
Горная Карусель	379	373	329
Роза-Хутор	-	375	472
Кластер в целом	365	164	300

На ГЛК «Роза-Хутор» снегомерные работы в лесу не проводились, т.к. все промерные пункты, были сосредоточены в самом верхнем

гипсометрическом поясе, выше границы леса. Поэтому средние водозапасы снежного покрова были рассчитаны только для опушек и открытых пространств. На открытых пространствах водозапас снежного покрова на 20% больше, чем на опушках, и составляет 472 мм вод. экв.

Заметим, что из всех горнолыжных курортов больше всего снега на открытых площадках накапливается на ГЛК «Роза-Хутор». С одной стороны, в этом можно усмотреть следствие высотного эффекта, потому что средняя высота над уровнем моря промерных пунктов на этом ГЛК была больше, чем на двух других. С другой, в таком соотношении может быть скрыт и экспозиционный эффект: точки измерений на «Роза-Хутор» находились на склоне южной экспозиции. В то же время, южная экспозиция предопределяет и более интенсивное весеннее таяние на этих склонах, таким образом, несмотря на большее количество снега, продолжительность сезона катания здесь будет та же, что и на других участках горнолыжного кластера Красной Поляны.

На лесных участках осредненное количество снега под деревьями приблизительно соответствует осредненному по всей территории кластера Красной Поляны. Это свидетельствует о том, что никакие факторы вторичного перераспределения снега – ни ветровая дефляция, ни гравитационное перемещение снежных масс, ни даже высотные различия – не могут перевесить регулирующий эффект древостоя.

Наименьшие значения снеготазов зафиксированы на пустошах ГЛК «Газпром». Объясняется это тем, что практически все они возникли в результате выкорчевки первичного леса, который на 95% покрывал склоны хр. Псехако до подготовки Олимпиады, в первую очередь на выположенных пригребневых участках, удобных для инженерного освоения. С таких участков снег легко сдувается и концентрируется на ближайших опушках. В

тех же местах, где пустошь может иметь исконно природное происхождение, как на ГЛК «Горная Карусель», лесная растительность не произрастает в силу естественных причин: там открытые участки тяготеют либо к эрозионным отрицательным формам мезорельефа, либо к зонам отложений мелких лавин. В таких условиях происходит накопление относительно большого количества снега.

В соответствии с расчетами, основной водозапас снежного покрова для трех горнолыжных курортов в целом сосредоточен в лесу и составляет в среднем 365 мм вод. экв., на открытых пространствах на 12% меньше среднего водозаписа в лесу; наименьший средний водозапас характерен для опушек. Он в 2.2 раза меньше, чем средний водозапас снега в лесу. Это подчеркивает роль многофакторности в процессах отложения снега, где его окончательное распределение зависит от комплекса геоморфологических и ландшафтных свойств.

Заключение

В период зимней экспедиции зимой 2017 г. было проведено комплексное исследование снежного покрова на горном кластере Сочи. Оно включало в себя снегомерную съемку, снежные шурфы и пункты отбора проб на изотопный анализ. Результаты последнего в настоящее время конкретизируются и готовятся к публикации. В ходе работ были выявлены основные закономерности распределения снежного покрова в зависимости от ландшафтных и геоморфологических условий. В частности, было подтверждено, что в распределении снежного покрова большую роль играет залесенность. Из-за регулирующей роли древесной растительности ослабляется высотный градиент осадков, распределение снега по вертикали становится более равномерным. На открытых площадках снега меньше, чем

на залесенных участках. К отрицательным последствиям подготовки и проведения Олимпиады можно отнести то обстоятельство, что на пустошах, искусственно созданных человеком, изменился режим снегонакопления. Образованные открытые пространства, ведут к усилению дефляции: здесь понижены снеготолщины, которые вследствие метелевого перераспределения переносятся на опушки и в зоны леса. Примечательно, что вблизи вершин 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, что, вообще говоря, можно рассматривать, как исключение [1]. Предположительно, 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 до сих пор главным образом предопределяется природными причинами, а не хозяйственной деятельностью. Это внушает умеренный оптимизм в плане перспектив горного курорта, даже в условиях постоянного роста числа рекреантов.

Распределение снежного покрова (водозапаса) в целом подчиняется общим закономерностям. Самое большое количество снега выпадает на склонах южной и юго-западной экспозиций из-за направления влагонесущих воздушных масс, меньше всего – на пологой площадке, которая расположена на гребне. Также малое количество снега наблюдается на склонах северо-западной и северо-восточной экспозиции, так как они являются подветренными. Мощный снежный покров наблюдается на пологих склонах всех экспозиций. Самые маломощные снежные толщны расположены на склонах высокой крутизны.

Была подтверждена закономерность высотного распределения снежного покрова (его увеличение с высотой). Было выявлено, что максимальная толщина покрова распространена на территории локальных понижений, расположенных на наветренной стороне склонов, а минимальная толщина снежного покрова была зафиксирована в пределах залесенных участков, не подверженных метелевому переносу.

В целом выводы, сделанные по результатам полевых работ, еще раз подтвердили необходимость проведения наряду со стандартными снегомерными съемками регулярных детальных исследований структуры снежного покрова. Применение комплексных методов оценки влияния хозяйственной деятельности на природную среду [9] наряду с анализом влияния климатических факторов на качество снежного покрова поможет избежать (или, во всяком случае, снизить) отрицательные социально-экономические последствия подготовки и проведения XXII Зимних Олимпийских игр [10].

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. Олейников А.Д. Снежные ресурсы района Красной Поляны [Текст] // Лед и Снег.-2013 – №4(124) – с. 83-94.
2. Scharr K. Sochi/Sочи 2014: Olympic Winter Games between High Mountains and Seaside / Scharr K., Steinicke E., Borsdorf A. // *Revue de Géographie Alpine | Journal of Alpine Research*, 2012-4(100) [Электронный ресурс]. URL: <http://rga.revues.org/1717>. doi: 10.4000/rga.1717.
3. 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.

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

5. 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.

6. 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.

7. Голубев Г.Н. Гидрология ледников [Текст]. Л.: Гидрометеиздат, 1976, 247 с.

8. Калесник С.В. Очерки гляциологии [Текст]. М.: Географгиз, 1963, 551 с.

9. Лукашина Н.С. Основы рекреационной экологии и природопользования/ Лукашина Н.С., Трунев А.П. [Текст] - Сочи, 1999. 273 с.

10. Мишулина С.И. Влияние крупных целевых инвестиционных проектов на уровень социально-экономической безопасности регионов / Мишулина С.И., Матова Н.И. // Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2015. - №113(09) – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2015/09/pdf/81.pdf>

References

1. Olejnikov A.D. Snezhnye resursy rajona Krasnoj Polyany [Tekst] // Led i Sneg.-2013 – №4(124) – s. 83-94.

2. Scharr K. Sochi/Sochi 2014: Olympic Winter Games between High Mountains and Seaside / Scharr K., Steinicke E., Borsdorf A. // Revue de Géographie Alpine | Journal of Alpine DOI: 10.4000/rga.1717.

3. 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.

4. Olejnikov A.D. Mify i real'nost' o snezhnosti zim rajona Krasnoj Polyany [Tekst] // Georisk. – 2013 - №1 – с. 44-54.

5. 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.

6. 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) – с. 100-106.

7. Golubev G.N. Hidrologiya lednikov [Tekst]. L.: Gidrometeoizdat, 1976, 247 s.

8. Kalesnik S.V. Ocherki glyaciologii [Tekst]. M.: Geografgiz, 1963, 551 s.

9. Lukashina N.S. Osnovy rekreacionnoj ehkologii i prirodopol'zovaniya/ Lukashina N.S., Trunev A.P. [Tekst] - Sochi, 1999. 273 s.

10. Mishulina S.I. Vliyanie krupnyh celevykh investicionnyh proektov na uroven' social'no-ehkonomicheskoy bezopasnosti regionov / Mishulina S.I., Matova N.I. // Nauchnyj zhurnal KubGAU [EHlektronnyj resurs]. – Краснодар: KubGAU, 2015. - №113(09) – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2015/09/pdf/81.pdf>