

Л. М. Севастьянова
В. В. Севастьянов



ФЁНЫ ГОРНОГО АЛТАЯ

Сибирское отделение Российской академии наук
Институт оптического мониторинга

Министерство образования Российской Федерации
Томский государственный университет

Л.М. Севастьянова
В.В. Севастьянов

Фёны

Горного Алтая

Томск-2000

УДК 551.582.1 (571.16-21)

Севастьянова Л.М., Севастьянов В.В.

ФЁНЫ ГОРНОГО АЛТАЯ. Томск: Изд-во ТПУ, 2000.-139 с.

Научный редактор: д-р геогр. наук, профессор В. И. Русанов

Рецензент: д-р физ.-мат. наук, профессор Г.О. Задде

Настоящая монография посвящена комплексному исследованию фёнов Горного Алтая – одного из интереснейших природных явлений, возникающих в горной местности. В монографии представлена методика автоматизированного выбора фёнов, выявлены особенности проявления фёнов в различных районах Горного Алтая, оценен вклад фёнов в формирование местных климатов в горных районах.

Книга рассчитана на специалистов в области климатологии, географии, геоэкологии, сельского хозяйства, а также на широкий круг читателей, интересующихся природными условиями Горного Алтая.

Табл. 29. Ил. 20. Библиогр. 139 назв.

Sevastyanova L. M., Sevastyanov V. V.

THE FOEHNS OF THE GORNY ALTAI.

Tomsk, Publishing house Tomsk Polytechnic University, 2000. – 139 p.

The present monograph is devoted to complex research of the foehns of the Gorny Altai - one out of the most interesting natural phenomena arising in mountains areas. The monograph describes the method of the automated selection of the foehns, the features of display of the foehns in various areas of the Gorny Altai, the contribution of the foehns in formation of local climates in mountains regions.

The book is designed for the experts in area climatology, geography, geoecology, agriculture, and also for a wide circle of the readers interested by natural conditions of the Gorny Altai.

The editor: Doctor of geographical sciences, Professor V. I. Rusanov

Review: Doctor of physics-mathematics sciences, Professor G. O. Zadde

Утверждено к печати Учёным советом
Института оптического мониторинга СО РАН

© Севастьянова Л.М., Севастьянов В.В., 2000 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ИЗУЧЕНИЯ ФЁНОВ	7
2. МЕТОДИКА ВЫДЕЛЕНИЯ ФЁНОВ	19
2.1. Многообразие методик	19
2.2. Автоматизированный метод выделения фёнов	24
3. ФЁНЫ ГОРНОГО АЛТАЯ	29
3.1. Орографические условия и циркуляция атмосферы над Горным Алтаем	29
3.2. Синоптические условия возникновения фёнов в Горном Алтае	32
3.3. Пространственно-временное распределение фёнов	39
3.4. Особенности фёнов высокогорного Алтая в летний период	50
3.4.1. Сеть станций и пунктов наблюдений в бассейне Актру	50
3.4.2. Характеристика фёнов в долине Актру	52
3.4.3. Фёны на водоразделе Учитель	57
3.4.4. Проявление фёнов на ледниках	58
3.4.5. Фёны в разных горноледниковых бассейнах	61
3.5. Вертикальная структура фёнов	63
4. РОЛЬ ФЁНОВ В ФОРМИРОВАНИИ КЛИМАТА ГОРНОГО АЛТАЯ	73
4.1. Вклад фёнов в формирование термического режима	73
4.2. Роль фёнов в формировании режима влажности воздуха	84
4.3. Влияние фёнов на режим облачности	92
4.4. Влияние фёнов на ветровой режим	94
4.5. Влияние фёнов на снежно-ледовые процессы	99
5. ПРИКЛАДНОЕ ЗНАЧЕНИЕ ФЁНОВ	106
5.1. Районирование территории Горного Алтая по степени развития фёнов	106
5.2. Значение фёнов для развития народного хозяйства	114
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	118
ЛИТЕРАТУРА	122

ПРИЛОЖЕНИЕ 1.	Краткая характеристика местоположения метеорологических станций Горного Алтая	131
ПРИЛОЖЕНИЕ 2.	Средняя месячная и годовая температура воздуха	133
ПРИЛОЖЕНИЕ 3.	Средняя максимальная температура воздуха	134
ПРИЛОЖЕНИЕ 4.	Суммы средних суточных температур воздуха ниже и выше определённых пределов	135
ПРИЛОЖЕНИЕ 5.	Средние даты наступления, прекращения и продолжительность устойчивых морозов .	135
ПРИЛОЖЕНИЕ 6.	Средние даты первого и последнего заморозков и средняя продолжительность безморозного периода	136
ПРИЛОЖЕНИЕ 7.	Средняя относительная влажность воздуха	137
ПРИЛОЖЕНИЕ 8.	Средняя месячная и годовая скорость ветра	138
ПРИЛОЖЕНИЕ 9.	Средние даты появления и разрушения устойчивого снежного покрова, число дней со снежным покровом	139

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время происходит быстрое продвижение хозяйственной деятельности в высокогорные районы (в том числе и Горного Алтая), так как большая часть горных районов остаётся потенциальным резервом среди территорий, недостаточно ещё освоенных. В связи с этим предъявляются повышенные требования по учёту составляющих климата, характерных для горных районов. Важную роль в формировании климатов и всех природных процессов в Горном Алтае играют фёны – одно из сложных и интереснейших явлений, обусловленное взаимодействием общей циркуляции атмосферы и орографии местности.

С фёнами связаны более тёплый и сухой климат отдельных горных районов, наблюдается своеобразный режим ветра, облачности, осадков. Фёны влияют на целый ряд нивально-гляциальных явлений и процессов, таких как увеличенная абляция ледников, перенос снега и концентрация его в фирновых бассейнах ледников, на подветренных склонах, что способствует питанию ледников и созданию лавинной опасности. Фён способствует быстрому сходу снежного покрова весной, повышенному испарению снега, сходу лавин в горах. Длительные фёны в тёплый период способны вызвать сильные разливы рек и наводнения, вследствие быстрого таяния снега и ледников.

Фёны могут оказывать благоприятное воздействие на развитие сельского хозяйства (ускоряют созревание хлебов и фруктов в конце лета), на рекреационные свойства климатов, но наряду с этим могут вызывать и вредные влияния на некоторые отрасли народного хозяйства. С ними иногда бывают связаны сильные ветры и жестокие суховеи весной и летом, сильные оттепели в зимнее время, после которых наступает морозная погода, и на поверхности снега образуется ледяная корка или наст, затрудняющие животным доступ к корму. Длительные интенсивные фёны способны иссушать почву и растительность, создавать пожароопасную ситуацию в лесных районах.

В литературе [5] указывается, что в отдельных горных районах (Альпы) фёновые явления могут оказывать ощутимое влияние на самочувствие людей. Влияние фёна, сопровождающегося очень высокими температурами воздуха, очень низкой относительной влажностью и сильным ветром, выражаются в появлении головной боли, беспокойства, чувства неуверенности и страха, депрессии, зудящих болей, мельканий в глазах, шума в ушах, головокружений и падении работоспособности. Фёновые недомогания сильнее всего проявляются перед наступлением фёна, в предфёновой стадии, и после вторжения фёна они ослабевают [132].

Литературы, в которой можно найти сведения о фёнах Горного Алтая, уже довольно много. Однако в большинстве работ очень кратко рассматриваются фёны в связи с общим климатическим описанием больших территорий (Западная Сибирь, Алтайский край) [13, 38, 99], или просто указывается на распространение фёнов на Алтае и существенное влияние их на растительность, ландшафтные особенности, абляцию ледников [67, 77, 79, 93]. Во многих работах приводятся результаты исследования фёнов в отдельных районах или даже отдельных пунктах Горного Алтая (горноледниковый бассейн Актру [67, 68, 81, 83, 84, 87, 91, 110-112], долина Катунь [51], Северный Алтай [14, 54], Телецкое озеро [86], Центральный Алтай [78]). Имеется лишь несколько работ [52, 53, 83, 88], связанных с исследованием фёнов всего Горного Алтая.

Все авторы без исключения указывают на то, что фёны широко распространены в Горном Алтае, и число их довольно велико, до 100 и более дней с фёнами в году: 129 в Беля [93], 163 в Чемале [76], 124 в Кара-Тюреке [54] и так далее. Горный Алтай представляется одной из горных стран с наибольшим числом дней с фёнами, не уступающей Кавказу. Более изученными в отношении режима фёнов оказываются районы Северного [51, 53] и Центрального [75, 78] Алтая, в частности, бассейн Актру.

При всём видимом обилии литературы, содержащей сведения о фёнах горного Алтая следует сказать, что отдельные статьи не дают возможности представить полную картину развития такого интересного и важного явления как фён. Несмотря на совпадение взглядов по отдельным вопросам о режиме фёнов, соответствии отдельных выводов у разных авторов, бросается в глаза некоторая разноречивость (хотя и вполне объяснимая) результатов исследований. Авторы используют разные принципы выделения числа дней с фёнами, различные периоды наблюдений. Поэтому до настоящего времени в вопросе о фёнах Алтая нет должной ясности. Необходима единая, более объективная методика выделения фёнов, позволяющая использовать большой объём метеорологических наблюдений и быстро выбирать фёны с помощью ЭВМ. Назрела необходимость обобщения сведений о фёнах Горного Алтая, выявления особенностей их проявления, чтобы в определённой мере повысить изученность климатических условий Горного Алтая и оценить значение фёновых районов в народном хозяйстве.

Учёт распределения и особенностей проявления фёнов позволит рациональнее и эффективнее использовать ресурсы горных районов Алтая для планирования и специализации отраслей народного хозяйства.

1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ИЗУЧЕНИЯ ФЁНОВ

Фёны – явление, широко распространённое во всех горных местностях (Альпы, Карпаты, Памир, Гималаи, Кавказ и др.). Фёнообразные ветры, хотя и менее тёплые, наблюдаются также на обрывистых побережьях Норвегии и Гренландии [134]. О географическом распространении фёнов и метеорологических условиях при них имеется очень большое количество работ. Наиболее хорошо фёны изучены в Альпах [125-127, 136 и др.], на Кавказе [22-27, 29, 39, 40, 54, 100, 102], особенно в западном Закавказье, где их впервые отметил А.И. Воейков [22].

Фёны часто возникают в любой горной стране, высота которой обеспечивает достижение антициклонической инверсии или уровня конденсации. В умеренных широтах типичные формы наблюдаются при относительной высоте хребтов не менее 800-1000 м [1].

В ряде районов в горных странах фёновая погода наблюдается значительную часть года или его сезонов. В Альпах есть места, где число дней с фёном достигает за год 80 (Гутаннен, Инсбрук), причём на весну падает 25-30 дней с фёном [1]. На Кавказе наблюдается большое число фёнов. Так, в Гузерипле – 125 дней с фёнами в среднем за год [39].

Фёны оказывают большое влияние на формирование климата отдельных районов горных стран. В ряде районов земного шара фёны известны под своими местными названиями: “бохорок” – на острове Суматра, “чинук” – на восточных склонах Скалистых гор в Северной Америке, “солано” – в Испании, “пуэбльче” – в Чилийских Андах, “урсатьевский ветер” и “гармсилъ” – в Средней Азии, “сирокко” – в северной части Сицилии и т. д. В научной литературе, однако, чаще всего пользуются словом “фён”. Само слово фён, по-видимому, готского происхождения (fōn – огонь) [13].

Общепринятого единого определения фёна нет. Надо отметить, что все определения фёна в литературе связаны с конкретными проявлениями его (следствием), а не с механизмом образования фёна (причиной), поэтому выбрать какое-либо одно трудно. В большинстве работ [1, 10, 25, 40, 64, 115] встречается определение фёна как сухого и тёплого ветра, дующего с гор в долины. П.А. Воронцовым [25] и Н.Н. Кузнецовым [40] уточняется, что фён является неперiodическим ветром. Близкое к этому определению фёна приводится в [101]: “Ветер, часто сильный и порывистый, с высокой температурой и пониженной относительной влажностью воздуха, дующий временами с гор в долины”. Однако наиболее распространённое в литературе определение фёна, как указывает Э.А. Бурман [13], содержит некоторую неопределённость признаков “сухой и тёплый”. Кроме того, температура и

влажность могут принимать “фёновые” значения в суточном ходе, вследствие того, что при ясной погоде (она может быть при фёне и без него) дневная трансформация обеспечивает прогрев и иссушение воздуха. Такой признак, как “ветер, дующий с гор” (точнее, следовало бы – дующий со стороны гор, так как далеко не всегда имеется уверенность в том, что поток нисходящий), также не является достаточным [13].

Таким образом, высокая температура и низкая влажность – это ещё не всегда фён, и нисходящий ветер, не сопровождающийся повышением температуры и понижением влажности, не может считаться фёном. Только в сочетании этих признаков данное явление можно отнести к фёнам. Внешним проявлением генетического признака фёна является направление ветра (с гор).

Морфологическим признаком фёна является не достижение температурой и влажностью воздуха некоторых критических значений, а нарушение нормального хода этих параметров или достижение этими величинами необычных для данного места и времени значений. Этот признак является более определённым, так как содержит качественные характеристики – нарушение нормального хода метеорологических величин. В связи с этим Э.А. Бурман [13] считает, что “фёном называются кататические (нисходящие) ветры, дующие с гор и сопровождающиеся ростом температуры и понижением относительной влажности воздуха (часто с нарушением их нормального суточного хода)”. Сходного определения фёна придерживаются Н.С. Темникова [102] и Р.Г. Барри [7]. Поскольку в приведённом определении Э.А. Бурмана отражены как генетические, так и морфологические признаки фёна, показывающие его проявление и позволяющие чётко отличить фён от других явлений, то это определение надо считать, на наш взгляд, наиболее приемлемым. Согласно этому определению основными признаками фёна являются нисходящий ветер, повышение температуры и понижение относительной влажности воздуха, по сравнению с их обычным ходом.

К дополнительным признакам (на них указывают многие авторы [101, 110, 115]), которые характерны для фёна, относится наличие следующих явлений:

- 1) порывистость сильного ветра (хотя в отдельных случаях возможны слабые фёны при тихой погоде);
- 2) появление «фёновой стены» – резко очерченной массы облаков неподвижно стоящей над гребнем хребта при фёне;
- 3) появление чечевицеобразных облаков (*Alto cumulus lenticularis*) у вершин гор, стоящих на месте и очень быстро изменяющих форму, или наличие совершенно ясного неба, как следствие размывания облаков при нисходящем движении воздуха.

Иногда дополнительно, в связи с трудностью однозначного распознавания фёнов, отдельные авторы (например, Э.А. Бурман и В.Ф. Лапчева [14]) используют некоторые косвенные признаки фёна: уменьшение удельной влажности, что не наблюдается, когда повышение температуры и понижение относительной влажности происходит за счёт дневного прогрева или адвекции тёплого воздуха.

История развития взглядов учёных на механизм возникновения фёна хорошо изложена в [13]. До середины XIX столетия фён рассматривался как поток воздуха, поступающий из горячих пустынь. Считали, что альпийские фёны происходят из Африки из Сахары [10], фёны западного Закавказья – из пустынь Средней Азии [64]. Однако адвективная теория фёна не могла, например, объяснить резкие различия в погоде на наветренной и подветренной сторонах хребтов; ей противоречит также возможность развития фёнов на южных склонах Альп при северных ветрах. Дове [122] указывал на то, что потоки воздуха из африканских пустынь не могут попасть в Альпы, так как под влиянием отклоняющей силы вращения Земли они должны быть отнесены к Каспийскому и Аральскому морям.

В работах [7, 13, 50] приводятся небольшие обзоры механизмов, используемых для объяснения фёна. Единого мнения по этому вопросу в настоящее время нет. В 1866 г. Ю. Ганн [127] впервые предложил физическое объяснение причин возникновения фёнов. Сущность его теории сводится к следующему. Воздушный поток, встречающий на своём пути горный хребет, поднимается, охлаждаясь, по его наветренным склонам. При поднятии воздуха с наветренной стороны происходит конденсация водяного пара и выделение скрытой теплоты парообразования, причём часто наблюдается выпадение осадков. Тем самым, начиная с уровня конденсации до вершины горы, охлаждение воздуха с наветренной стороны происходит по влажноадиабатическому закону, то есть охлаждается в среднем на $0,6 \text{ }^{\circ}\text{C}/100 \text{ м}$. Выпадение осадков с наветренной стороны уменьшает удельную влажность, а потому при опускании воздуха с подветренной стороны и его адиабатическом нагревании относительная влажность становится значительно меньше, чем до переваливания через горы. Впоследствии Ганном было замечено, что фён может наблюдаться и без выпадения осадков на наветренной стороне гор. В случае блокирования инверсией нижнего слоя воздуха на наветренной стороне, воздух опускается от уровня вершины по наветренной стороне к подножию и подвергается адиабатическому сжатию.

Однако явление оказалось сложнее, проявления фёнов очень многообразны. В полярных странах (Канада, Гренландия) фён может вызвать резкое потепление на 20-30, даже 40 $^{\circ}\text{C}$, чего не наблюдается в умеренных широтах, ни тем более в тропиках, хотя высота опуска-

ния в Арктике не больше, чем в умеренных широтах и в тропиках [39].

В конце XIX века А.И. Воейковым [23], Бильвиллером [119] и некоторыми другими учёными была установлена связь явления фёна с общециркуляционными процессами, а также выделены антициклонические фёны, наблюдающиеся одновременно по обе стороны хребта при антициклонической погоде.

Работы различных авторов, в частности Георгии [126], Кютнера [129] существенно дополнили фёновую теорию. Воздушное течение, встречая препятствие (горы), образует, как выражается Кютнер, “приливную волну” и порождает колебания воздуха со стоячими волнами в вертикальной плоскости. У вершины этих волн образуются характерные линзообразные облака, лежащие грядами перпендикулярно воздушному потоку на высоте. Изучение стоячих волн в Андах проводилось Георгии [126]. Исследования П.Д. Астапенко [4] в горах Болгарии также подтверждает эту теорию.

Н.И. Новожилов [56] показал, что механизм переваливания через гору не простой: фёны не являются результатом простого перетекания воздуха через горный хребет, они связаны с образованием подветренной волны большой амплитуды в результате резонанса колебаний потока.

Фёновый характер наблюдается и в свободной атмосфере (фёны свободной атмосферы), о чём свидетельствуют чечевицеобразные облака, возникающие при наличии волнообразной мезоструи. Таким образом, фён может быть отнесён к группе мезомасштабных волновых движений, неизбежно связанных с мезоструей [56].

Известна и гидравлическая теория фёна [50]. Она объясняет возникновение фёна сверхкритическим (быстрым) течением в сужающемся канале, образуемом топографией и инверсионным слоем (наличие инверсии является необходимым условием). Предполагается, что толщина подынверсионного слоя с подветренной стороны хребта значительно уменьшается, по сравнению с наветренной стороной, за счёт опускания границы инверсии. Однако, как указывается в [50], это не является очевидным и наблюдается не всегда. Инверсия может остаться на прежней высоте, и сверхкритического течения при движении по склону не будет. В таких случаях эта теория не может объяснить образование фёна.

Теория фёнов объясняет их кинематику, динамику и термодинамику. В работе Л.Н. Гутмана и Д.И. Тебуева [26] рассматривается теория фёнов переваливания на основе решения системы уравнений гидро-термодинамики атмосферы, упрощенных на основе теории конвекции и предположений о стационарности процесса и несущественности силы Кориолиса. Анализ решений для подветренной стороны

приводит к выводу, что по мере движения вниз по склону толщина фёнового потока должна увеличиваться в 2-3 раза, а скорость соответственно уменьшаться. Этот вывод, как указывает Э.А. Бурман [13], однако противоречит наблюдениям, которые, как правило, говорят о фёне как о сильном порывистом ветре.

Теория антициклонических фёнов приводится в работах Э.А. Бурмана [12, 23], причём автор считает, что антициклонические фёны и фёны свободной атмосферы различаются только расположением уровня, с которого начинаются нисходящие движения. Им получена формула изменения относительной влажности в предположении, что процесс опускания воздуха протекает сухоадиабатически. По формуле возможно определить и величину вертикальной скорости опускающегося воздуха. Несколько позже Бернхардт [118] получил формулы изменения тех же параметров в предположении, что процесс опускания воздуха отличается от сухоадиабатического. Однако, как показывает их анализ [13], поправки на неадиабатичность не вносят существенно-го изменения в адиабатическую схему опускания воздуха.

В связи с тем, что нисходящие движения осуществляются различными способами, возник ряд классификаций фёнов. Наиболее распространённой в настоящее время является классификация фёнов, содержащаяся в "Курсе климатологии" Б.П. Алисова, О.А. Дроздова, Е.С. Рубинштейн [1]. В этой классификации выделяются три типа фёнов:

1) фён связанный с переваливанием воздушной массы через горный хребет под влиянием образовавшейся по той или иной причине разницы давлений (так называемый классический фён). Этот тип фёна характеризуется пасмурной или дождливой погодой на наветренной стороне хребта, в то время как на подветренной стороне стоит ясная тёплая и сухая погода. Скорость ветра может достигать штормовых значений;

2) антициклонический фён, связанный с опусканием и растеканием воздуха в антициклоне по склонам хребта. Фёны этого типа, в отличие от классических фёнов, наблюдаются по обе стороны хребта. Скорости ветра малые;

3) фён в свободной атмосфере, связанный с инверсией сжатия в антициклоне или катафронтальными явлениями в циклоне. На равнине эти фёны редко достигают поверхности земли, но в горах слои инверсии могут пересекаться с вершинами, благодаря чему на высокогорных станциях отмечается повышение температуры и понижение влажности. Ветер при этом почти отсутствует.

Однако эта классификация была подвергнута критике в работе И.В. Бута [15]. Он считает, что из трёх типов современной классификации только фён классического типа относится к настоящим фёнам,

так как вызван деформацией воздушных потоков, которая обусловлена рельефом. Последние же два типа ни генетически, ни морфологически ничего общего с фёнами не имеют. Повышение температуры и иссушение воздуха в горах в этих случаях вызвано не взаимодействием воздушных потоков с рельефом, а медленно протекающими процессами изэнтропической трансформации воздушных масс при сжатии. Кроме того, и вертикальная и горизонтальная скорости ветра в этих типах фёнов на один два порядка ниже скорости классических фёнов. Но поскольку, так называемые антициклонические фёны и фёны из свободной атмосферы, которые образуются вследствие нисходящих движений и характеризуются близкими к фёнам значениями температуры и влажности, оказывают заметное влияние на температуру и влажность воздуха в горах, ряд авторов, например, Вагнер [139] относит их к фёноподобным ситуациям.

И.В. Бут [15] предложил свою классификацию фёнов, в основу которой положен энергетический принцип, позволяющий выявить чёткие морфологические признаки фёнов. По его мнению, наибольшая роль в процессе формирования фёна принадлежит опусканию воздуха на подветренной стороне. И.В. Бут разделяет все фёны на два типа:

- 1) фёны, обусловленные возмущением атмосферных потоков рельефом;
- 2) фёны, обусловленные локальными циркуляциями горных районов.

Фёны первого типа возникают вследствие вынужденного (против силы Архимеда) опускания воздуха. При возмущении ведущего потока рельефом нисходящие движения могут развиваться не только на подветренной, но и на наветренной стороне. Поэтому выделяются два подтипа фёнов в первом типе: фёны подветренной стороны и фёны наветренной стороны. Ко второму типу И.В. Бут относит фёны, являющиеся следствием локальных циркуляций в горах, развивающиеся в безградиентном поле давления, то есть, в сущности, ночные горные ветры.

Эта классификация, как указывает Э.А. Бурман [13], имеет ряд преимуществ, так как лежащие в её основе принципы позволяют более тонко различать причины и особенности генезиса фёнов. Однако внутри самой классификации имеются некоторые противоречия. В основу классификации положен тот принцип, что фёны являются вынужденными нисходящими движениями, осуществляющимися за счёт кинетической энергии основного потока. Но этот принцип не подходит к фёнам, обусловленным локальными циркуляциями, которые не являются вынужденными, а представляют собой свободную конвекцию и существуют за счёт силы Архимеда.

В основу классификации фёнов М.А. Петросянца [65] положен динамический принцип. Этот принцип заключается в том, что выбираются атмосферные механизмы, с помощью которых может осуществляться опускание воздуха и приобретение им свойств фёна. Он выделяет три типа фёнов:

- 1) фёны высасывания;
- 2) отражённые фёны (катабатические ветры);
- 3) фёны переваливания.

Чадеж [121] предлагает классификацию фёнов на основе разности температуры и давления по обе стороны хребта. Согласно его классификации наблюдаются три типа фёнов:

- 1) циклонический фён в устойчивой атмосфере с сильными ветрами;
- 2) циклонический фён в менее устойчивой атмосфере;
- 3) антициклонический фён с подпруживанием холодного воздуха на наветренной стороне из-за инверсии.

Некоторые авторы предлагают свои классификации фёнов для отдельных изучаемых ими районов. Н.И. Кузнецовым [40] для западного Кавказа была предложена следующая схема классификации фёнов.

I. Циклональные фёны на наветренной стороне: 1) предфронтальные встречные; 2) возвратные: а) в тёплом воздухе, б) в холодном воздухе; в) на подветренной стороне; 3) предфронтальные; 4) в тёплом воздухе; 5) в холодном воздухе.

II. Внутримассовые фёны: 6) связанные с радиационным охлаждением приземного воздуха; 7) связанные с адвекцией воздушных масс на большой высоте.

III. Борообразные фёны, вызванные переваливанием холодного воздуха на южную сторону Кавказского хребта.

Эта классификация основывается на происхождении ветра, в смысле связи его с теми или иными типами атмосферных процессов.

П.А. Воронцов [27] на основании существования различных типов процессов образования фёнов в Рионской долине выделяет три типа фёнов:

- 1) орографические фёны;
- 2) фёны из свободной атмосферы с растеканием воздуха по обеим сторонам Сурамского хребта;
- 3) местные фёны, вызванные отражением потоков общей циркуляции горными хребтами.

С.Г. Чанышева [116] фёновые ветры Средней Азии разделяет на два типа с точки зрения завершенности фёнового процесса:

- 1) фёны, оканчивающиеся антициклонической стадией, то есть развивающиеся в воздушной прежней массе;

2) фёны, достигающие стационарной стадии, то есть развивающиеся во вновь пришедшей, переваливающей через горный хребет воздушной массе.

С.Г. Чанышевой [116] определены основные синоптические процессы, благоприятствующие развитию урсатьевского ветра (фёна), а именно: выходы циклонов с юга, юго-запада или запада. Для прогноза урсатьевского ветра и его максимальной скорости в случае наличия циклона используются номограммы. Исходными данными являются градиент давления между циклоном и Ферганской долиной, критический градиент давления, необходимый для начала урсатьевского ветра, разность температур между двумя станциями на изобарической поверхности 500 гПа или 700 гПа, разность геопотенциалов между этими же станциями на этих же поверхностях.

Наиболее полно изучены синоптические условия формирования фёнов на Кавказе. Ещё А.И. Воейков [20] дал в основном правильное объяснение происхождения фёнов западной Грузии, указав, что они образуются между циклоном, проходящим по Чёрному морю и антициклоном, расположенным в районе Средней Азии. В период последующих исследований фёнов Рионской долины П.А. Воронцовым [25-27] было установлено, что чаще всего фёны проявлялись при наличии над Средней Азией антициклона с гребнем или ядром повышенного давления над Закавказьем. Траектории циклонов проходили как через Чёрное море, так и через Западную Европу.

Н.С. Темникова [102] фёны северного Кавказа по своему происхождению разделила на антициклонические и циклонические. Причём большинство фёнов обуславливается прохождением циклонов к северу от хребта Большого Кавказа.

Т. Тайлаков [100] установил, что фёны на северном Кавказе возникают либо на восточной и юго-восточной периферии циклонов, перемещающихся с Чёрного моря или Балканского полуострова к северо-востоку, либо с юго-западной периферии обширных антициклонов с центром над Казахстаном или Западной Сибирью. Он сделал вывод, аналогично Н.С. Темниковой [102]: циклонические фёны бывают чаще, чем антициклонические.

Анализ результатов наблюдений за 10-летний период по шести метеорологическим станциям западного Кавказа позволил Б.В. Полтараусу [66] сделать вывод, что фёны на западном Кавказе наблюдаются при самых разнообразных синоптических ситуациях. Однако всё это разнообразие можно свести к трём основным группам: фёны в барических системах с повышенным давлением, фёны в барических системах с пониженным давлением и, наконец, фёны при смене барических ситуаций.

Фёны в Средней Азии изучались И.В. Бутом [15] на примере фёнов в Туркмении. Им отмечены следующие типы фёнов:

- 1) крупномасштабные фёны, связанные с циклонической деятельностью перед горной системой;
- 2) фёны, наблюдающиеся при развитии в предгорьях серии малых по масштабу циклонов, перемещающихся вдоль хребта;
- 3) фёны, наблюдающиеся при перемещении над горным районом или вблизи его хорошо развитого циклонического возмущения;
- 4) фёны наветренной стороны, наблюдающиеся в тыловой части глубокого термически неоднородного циклона, или при наличии часто регенерирующего вблизи горной цепи циклона;
- 5) фёны локальной циркуляции при наличии малых барических градиентов.

Исследования фёнов в Ташкенте позволили А.В. Хисамову [114] сделать вывод, что фёновые процессы происходят при сравнительно сильных северо-восточных ветрах, которые бывают, главным образом, при циклонических прорывах особенно в зимние и весенние месяцы.

А.С. Субботина [11], изучавшая аэрологию сильных северо-восточных фёновых ветров считает, что они происходят при следующих типах синоптических положений:

- 1) юго-западная периферия антициклона;
- 2) прорывы циклонов с юга;
- 3) перед холодными фронтами северо-западных или западных вторжений, а также перед меридиональными фронтами центральных циклонов, движущихся на восток от Южного Урала по Казахстану.

В.И. Вовченко [21], исследуя синоптические условия, способствующие развитию фёнов Прикарпатья, подразделил фёны на три типа:

- 1) фёны тёплого фронта;
- 2) фёны тёплого сектора циклона;
- 3) фёны периферии антициклона.

В книге Р.Г. Барри [7] приводятся некоторые результаты исследований условий возникновения фёновых ситуаций, проводимых различными учёными в южной Калифорнии [135] и в Австрии [138]. Ветры «санта-ана» в южной Калифорнии связаны с верхней ложбиной к востоку от гребня и верхним гребнем над восточной частью Тихого океана. При таком синоптическом положении наблюдается крупномасштабное оседание с наветренной стороны гор и инверсии около уровня вершины.

Вергейнер [138], применяя мало масштабную трёхмерную модель для анализа фёнов в окрестности Инсбрука, указал следующие причины возникновения фёнов:

1) вынужденные орографические волны на нижних уровнях атмосферы с длинами волн 10-15 км, наклонённые назад с высотой;

2) “свободные” резонансные более короткие подветренные волны (стоячие) обычно на более высоких уровнях.

В [7] приводится описание метода Мэниса и Соуфорда [131], которые предлагают оценивать возможность образования фёна на основе гидравлической теории его образования и используют в качестве критерия число Фруда в следующем виде:

$$Fr = V / \sqrt{h \cdot g \cdot \frac{\partial \theta}{\partial z} \cdot \frac{1}{\theta_0}}, \quad (1)$$

где V - скорость воздушного потока, перпендикулярного к горному хребту высотой h , на уровне выше h ;

$\frac{\partial \theta}{\partial z}$ - градиент потенциальной температуры с наветренной

стороны препятствия в слое h от подошвы горного хребта до его гребня;

θ_0 - потенциальная температура на нижнем уровне.

Установлено, что фён в долине на юго-востоке Австралии наблюдается при $Fr=1,6$. Однако использование таких способов анализа и прогноза фёна, которые предлагаются в [131, 138], в большинстве случаев затруднено из-за недостатка начальных данных. В [50] рекомендуется общая структура прогнозирования фёна на основе анализа синоптической обстановки с использованием приземных и высотных карт, данных радиозондирования в окрестности гор, последовательных изображений облачного покрова со спутников, расчёта числа Фруда.

Таким образом, можно сделать вывод, что возникновение фёнов и их развитие связано с рельефом и адвективно-динамическими процессами. Однако фёны в различных горных странах наблюдаются при самых разных синоптических ситуациях. Причём в одних районах преобладают фёны одного типа, а в других – иного. Сказываются зональные различия в трансформации воздушных масс, а также играет большую роль местоположение горной страны, высота, ориентация и протяжённость хребтов, экспозиция долин. Поэтому и характеристики фёна связаны с конкретным физико-географическим районом. Всё это объясняет существование локальных методик диагноза и прогноза фёна. Видимо, разработка таких методик является наиболее целесообразной, что объясняется разнообразием ситуаций, с которыми связан фён. Однако в настоящее время кажется более реальным прогнозирование фёновой ситуации, а не характеристик фёна и точного времени его наступления.

Из весьма обширной литературы по фёнам имеется сравнительно немного работ с материалами аэрологических исследований. Наиболее изученным в аэрологическом отношении является район Кавказа. В Рионской долине проводились шаропилотные наблюдения, радиозондирование и подъёмы метеорографов на змеях и привязных шарах. Результаты исследований опубликованы в работах П.А. Воронцова [25-27]. Фёны Рионской долины вызываются ветрами восточного направления в слое от земли до 1-1,5 км, а иногда до 2-3 км. Над восточным потоком сверху всегда наблюдается движение воздуха с запада [27]. Аэрологическое изучение фёнов Рионской долины показало, что в восточном потоке распределение скорости ветра с высотой носит струйный характер. С некоторыми колебаниями в разные сезоны года она растёт с высотой, достигая максимума на уровне около 600 м, а затем убывает почти до нуля на высоте 1250 м, после чего направление ветра изменяется на противоположное [26]. В суточном ходе наблюдается ослабление западной циркуляции, которая, как известно, противоположна фёну. Долинные ветры могут не только ослаблять, но и полностью прекращать фён, создавая, так называемые фёновые паузы.

Произведённые единичные радиозондовые подъёмы позволили выяснить особенности распределения температуры и влажности в обоих потоках - восточном и западном. При восточных ветрах у земной поверхности, как правило, имеется приземная инверсия. Выше инверсии до начала западного потока величина вертикального градиента примерно одинакова и находится в среднем в пределах 0,6-0,7 °C/100 м [26]. Относительная влажность в восточном потоке от земли начинает уменьшаться и достигает минимума на высоте западного ветра, в западном потоке относительная влажность быстро увеличивается и на высоте около 4-5 км часто достигает 100 % (насыщения) [26].

Исследования П.А. Воронцова [26] количественных характеристик нисходящих потоков для выяснения условий развития фёнов показали, что максимальное число случаев приходится на величину нисходящих движений порядка 0,01-0,2 м/с, наибольшие величины нисходящих скоростей доходит до 1,2 м/с. Скорость нисходящих движений при фёнах больше 1,0 м/с наблюдается сравнительно редко.

Данные аэрологических шаропилотных наблюдений над структурой фёнов в Ахангаранской долине в Средней Азии позволили С.Г. Чанышевой [116] сделать следующие выводы.

1. Вертикальная мощность фёнового потока около 1000 м и только при особенно резких процессах верхняя граница его поднимается до 2000 м.

2. Можно выделить три типа распределения скорости ветра с высотой: а) уменьшение скорости с высотой характерно для начала и конца фёнового периода; б) увеличение скорости до некоторой высоты и последующее ослабление её вплоть до верхней границы северо-восточного ветра. Наблюдается в любое время развития фёна; в) наличие двух максимумов скорости. Характерно для разгара фёнового процесса.

3. Величина максимальной скорости может достигать 30 м/с и выше на уровнях 500-600 м.

Эпизодически аэрологические наблюдения в летний период при фёнах проводились и на Алтае в горноледниковом бассейне Актру, их результаты будут рассмотрены в главе "Фёны Горного Алтая".

Аэрологические исследования фёнов в различных горных районах позволили выявить некоторые общие черты вертикальной структуры фёнов:

- 1) вертикальная мощность фёнового потока около 1000 м;
- 2) струйный характер распределения скорости ветра с высотой, увеличение скорости до некоторой высоты и последующее ослабление.

В заключение можно сделать следующие выводы. Фёны наблюдаются во всех горных странах. Единого общепринятого определения фёна нет. Наиболее удачным, на наш взгляд, следует считать определение фёна Э.А. Бурмана [13], включающее основные признаки фёна. Отсутствует и единая теория, которая объясняла бы все частные случаи происхождения фёна.

Существует несколько классификаций фёнов, в основу которых положены принципы (динамический [65], энергетический [15] и др.) или особенности процессов образования фёнов в разных районах.

Синоптические ситуации, способствующие возникновению фёнов в разных горных районах, различны, поэтому необходимо проводить специальные исследования в каждом районе и разрабатывать локальные методики диагноза и прогноза фёна.

Вертикальная структура фёнов ещё недостаточно изучена, немногочисленные аэрологические наблюдения позволяют говорить об особенностях в вертикальной структуре фёнов, в частности, в распределении характеристик ветра, температуры и влажности воздуха. Однако требуются наблюдения детальные, специально организованные в период фёнов, как шаропилотные, так и с помощью привязных радиозондов, аэростатов, змеев, радиоуправляемых моделей и т. д.

2. МЕТОДИКА ВЫДЕЛЕНИЯ ФЁНОВ

2.1. Многообразие методик

До настоящего времени в вопросе выделения фёнов нет должной ясности. Разные авторы используют различные принципы выделения фёнов. Результаты исследований часто оказываются разноречивыми. Так, по данным Н.Н. Кузнецова [39], в Гузерипле на Кавказе в среднем насчитывается 125 дней с фёном. Но, по сведениям Н.С. Темниковой [102], в том же пункте таких дней всего 30. Согласно И.В. Фигуровскому [113], а также и Н.Н. Кузнецову [39], на Кавказе фёны наблюдаются во все сезоны года с минимумом повторяемости в летнее время. По Н.С. Темниковой [102], на северном Кавказе летом фёны отсутствуют. Такое же заключение содержится и в работе Т. Тайлакова [100].

Аналогичная картина наблюдается и в Горном Алтае. Число дней с фёнами для одних и тех же районов у разных авторов оказывается неодинаковым. По сведениям В.И. Русанова [75], на станции Аккем наблюдается в среднем 111 дней с фёном, 58 – по В.И. Слуцкому [88] и 79 – по Т.Д. Модиной [51]. На станции Кара-Тюрек число дней с фёнами у этих же авторов существенно различается: соответственно 87, 49, 124.

Разногласия могут возникать по двум причинам:

- 1) использование данных за разные периоды наблюдений;
- 2) применение различных критериев выделения фёнов, что связано со сложностью и многообразием проявления исследуемого явления.

Поскольку авторы приводят обычно осреднённые за несколько лет (5 [75, 88], 10 [111], 18 [54] лет) результаты исследований, то среднее количество дней с фёнами сравнимо для одного и того же пункта, при использовании одного подхода к выделению фёнов различия составляют несколько дней. Это можно видеть на следующем примере. В работе [111] Л.Б. Троновой приводятся сведения о количестве дней с фёнами летом в долине Актру за отдельные годы. Расчёты показывают, что среднее количество дней с фёнами, полученное за разные периоды (1957-1960 гг., 1957-1961 гг., 1958-1961 гг., 1960-1963 гг., 1962-1965 гг., 1957-1965 гг.) колеблется незначительно: от 19 до 22. Следовательно, основная причина разноречивости сведений о количестве дней с фёнами в одном и том же месте состоит в том, что в одних случаях применяется один метод выделения фёнов, в других случаях – другой, используются разные критерии. Так, по Л.Б. Троновой [111], в долине Актру летом среднее количество дней с фёнами за

период 1957-1961 гг. составляет 19 (метод выделения фёнов приведён в [110]). В.И. Слуцким [88], использовавшим при выделении фёнов метод П.А. Воронцова [26], примерно за тот же период 1956-1960 гг. выделено в среднем всего 8 дней с фёном.

Несомненно, разное количество дней с фёнами будет отмечено и в отдельном месяце года при использовании разных методов их выделения. Например, на станции Усть-Улаган в июле 1966 г. было бы 22 дня с фёном, выделенных по критериям Л.Б. Троновой [110], и 3 дня – по критериям П.А. Воронцова [26], в июле 1967 г. – 9 дней с фёном в первом случае и отсутствие таковых – во втором.

Следует отметить, что в отдельных работах [75] вообще нет конкретных указаний на признаки, по которым выявлялись дни с фёнами. Некоторые авторы [29, 125] в основу выделения фёна кладут важнейший его признак – низкую относительную влажность, причём разные авторы предлагают различные критические значения. Другие исследователи [53, 54, 66, 110] предлагают учитывать большое количество признаков фёна. Известен метод Айвса [128] выделения фёнов, в основу которого положена первоначальная термодинамическая теория фёна. Брикман [120] для определения фёнов использовал синоптический критерий, однако эти методы не отражают всех ситуаций, благоприятных для возникновения фёнов. В таблице 2.1 приводятся некоторые методы выделения фёнов, включающие разные критерии. Большинство методов не учитывают сезон года, время суток и расположение станции (широту места, абсолютную высоту), а отдельные методы носят локальный характер, поэтому предложенные критерии, на наш взгляд, не могут быть универсальными, а использование только одного признака фёна, взятого изолированно, не может служить достаточно надёжным критерием выделения фёна.

При выборке фёнов необходимо учитывать комплекс основных признаков, прежде всего, повышение температуры, понижение относительной влажности, направление ветра. Причём важно не достижение каких-то критических значений этих величин (например, относительная влажность не более 30 %), а нарушение их нормального хода или достижение ими необычных для данного времени и места значений. Только совокупность признаков, позволяющих учитывать расположение станции, особенности времени года и суток, даёт основание говорить о фёне. Это положение в дальнейшем реализовано в предлагаемой авторами настоящей работы методике выделения фёнов.

Таблица 2.1. Методы выделения фёнов

Автор, критерии выделения фёнов	Комментарии
1. Воронцов А.П. [26]	
а) средняя относительная влажность ниже 50 % с резко выраженным понижением до 30 % в два срока наблюдений (при 4-срочных наблюдениях;	Не учитывает сезон года. Не учитывает расположение станции. Критерий не применим для высокогорных станций, где наблюдается более высокая относительная влажность. Продолжительность фёна менее 12 ч не фиксируется (2 срока).
б) температура воздуха значительно повышена по сравнению с обычным её ходом в рассматриваемый период года;	Содержится неопределённость понятия “значительно” повышена температура воздуха.
в) резко выраженное увеличение дефицита насыщения;	Ход дефицита насыщения обратен ходу относительной влажности (при понижении относительной влажности всегда наблюдается повышение дефицита насыщения). Критерий не является обязательным.
г) ветер устойчив по силе и направлению;	При антициклональных фёнах часто отмечаются слабые ветры. Фёнам переваливания свойственна порывистость.
д) малая облачность или отсутствие таковой.	Над гребнями гор – облачные валы.
2. Бурман Э.А., Лапчева В.Ф. [14]	
Предлагается наряду с повышением температуры и понижением относительной влажности, учитывать косвенный признак фёна: уменьшение удельной влажности воздуха.	В стандартной метеорологической информации удельная влажность не приводится. Удельная влажность не относится к наиболее информативным признакам фёна, как показал дискриминантный анализ, проведённый авторами.

3. <i>Модина Т.Д., Сляднев А.П.</i> [54] для Северного Алтая а) повышение температуры;	Не учитывается сезон года и расположение станции.
б) падение относительной влажности ниже 50 % в сроки 1, 7 и 19 ч и до 30 % и ниже в 13 ч;	Не учитывается сезон года и расположение станции.
в) ветры южной половины горизонта.	Это характерно только для станций Северного Алтая.
4. <i>Модина Т.Д.</i> [53] для Алтая Относительная влажность 60 % и менее в вечерние, ночные и утренние сроки 1, 7 и 19 ч и 30 % и менее – дневной срок 13 ч. Учитывался суточный ход температуры, скорость ветра, количество и характер облачности.	Не учитывает расположение станций: не включаются фёны, сопровождающиеся понижением влажности до 40-35 % в дневное время на высокогорных станциях. Но учитываются случаи с сильным дневным прогревом, случаи с понижением влажности от 60 % в 7 ч до 30 % в 13 ч, что возможно и в нормальном суточном ходе летом на отдельных станциях. Нет указаний на то, каким образом, учитывался суточный ход температуры и др. Не учитывался сезон года: критические значения относительной влажности не изменяются в течение года.
5. <i>Тронова Л.Б.</i> [110] для долины Актру в Центральном Алтае	
а) очень резкое понижение относительной влажности (днём до 30 % и ниже) и повышение температуры воздуха;	Не учитывается расположение станций и сезон года.
б) «неурочное» повышение температуры и понижение влажности воздуха;	Позволяют выделить фён в вечерние и ночные часы.
в) порывистые сильные ветры сверху по долине;	При антициклональных фёнах возможны небольшие скорости ветра.
г) «фёновая стена» облаков над гребнями гор;	Стандартная метеорологическая информация этого критерия не содержит.
д) чечевицеобразные облака.	То же.

6. <i>Полтараус Б.В.</i> [66] для Западного Кавказа	
Относительная влажность принимает величину не более 60-65 % в сроки 1, 7 и 19 ч и 40 % и менее в 13 ч. Учитывается направление ветра с гор, скорость ветра, количество облачности, форма, температура воздуха, атмосферные явления.	Не учитывается годовой и суточный ход относительной влажности. Наблюдаются случаи понижения относительной влажности от 65 % утром до 30-40 % днём при хорошем прогреве летом.
7. <i>Димитровили А.Л.</i> [29] для Западной Грузии	
Относительная влажность не более 50 % во все сроки, кроме 13 ч.	Не учитывается местоположение, высота станции, годовой и суточный ход относительной влажности.
8. <i>Флон С.</i> [125] для антициклонических фёнов в Альпах	
Относительная влажность ≤ 60 % вечером и утром (1, 7, 19 ч) и ≤ 40 % в дневные сроки.	Не учитывается годовой ход влажности. Относятся к фёнам случаи с низкой влажностью воздуха, обусловленные дневным повышением температуры.
9. <i>Лонгми</i> [130] для провинции Альберта (Канада) зимой	
Максимальная температура воздуха $\geq 4,4$ °C.	Носит локальный характер.
10. <i>Айвс</i> [128] для штата Колорадо (США)	
а) появление осадков на наветренной стороне;	Не наблюдается при антициклонических фёнах; не всегда имеются станции на наветренных склонах.
б) более высокие потенциальные температуры на подветренной стороне.	Необходимо иметь наблюдения на наветренной и подветренной сторонах.
11. <i>Бринкман</i> [120] для Скалистых гор (Канада)	
1) синоптический критерий: а) верхний поток направлен перпендикулярно к горам;	Характерно только для указанного района.

б) в приземном поле давления должен обнаруживаться «фёновый нос», или гребень высокого давления, над горами.	1) не везде хорошо выражен (например, над западом США). 2) для фёна бывают характерны ситуации (приближение циклона, его передняя часть), когда наблюдается падение давления с наветренной стороны хребта и ещё большее падение давления с подветренной стороны [50].
2) дискриминантный анализ с использованием трёх критериев: а) скорость приземного ветра; б) температура; в) относительная влажность.	Не учитывается расположение станции, годовой и суточный ход температуры и влажности.
Результат: почти 50 % случаев классифицированы ошибочно, по сравнению с предыдущим методом.	Возможно, данный процент завышен, так как в первом методе не учитывается, что при фёнах бывает понижение давления.

2.2. Автоматизированный метод выделения фёнов

Авторы настоящей работы придерживаются определения фёна, предложенного Э.А. Бурманом [13]. В этом определении отражены генетические (направление ветра) и морфологические признаки фёна (нарушение нормального суточного хода температуры и относительной влажности воздуха или достижение этими величинами необычных для данного места значений), позволяющие чётко отличить фён от других явлений. Это определение является наиболее приемлемым и более определённым, по сравнению с другими. В предлагаемом в работе методе автоматизированного выделения фёнов используются три главных признака фёна, в соответствии с этим определением: направление ветра с гор, повышение температуры, понижение относительной влажности, по сравнению с нормальным их суточным ходом. Как показал дискриминантный анализ, эти признаки являются наиболее информативными.

Для выявления повышения температуры и понижения относительной влажности воздуха от одного срока наблюдений к другому используются междусрочные разности температуры (Δt_i) и относи-

тельной влажности (Δu_i), то есть разности указанных метеорологических величин в последующий и предыдущий сроки. Сравнение полученных в каком-либо месяце года междусрочных разностей со средними многолетними междусрочными изменениями температуры ($\overline{\Delta t_i}$) и влажности ($\overline{\Delta u_i}$) для этого месяца показывает, имеется ли отличие от обычного (среднего) суточного хода этих метеорологических величин.

Направление ветра задаётся для каждой станции, в зависимости от её расположения. Критерии выделения фёнов по температуре и относительной влажности воздуха могут быть получены в результате проверки гипотезы для статистического оценивания условий, при которых наблюдается фён.

Наблюдаемые в каждый момент времени τ температура и относительная влажность, являющиеся функциями времени, могут быть выражены следующим образом:

$$\begin{aligned} t(\tau) &= \bar{t}(\tau) + t_1(\tau), \\ u(\tau) &= \bar{u}(\tau) + u_1(\tau), \end{aligned} \quad (2)$$

где $\bar{t}(\tau), \bar{u}(\tau)$ - средние многолетние значения температуры и относительной влажности, которые зависят от времени года и суток и являются неслучайными функциями времени;

$t_1(\tau), u_1(\tau)$ - случайные добавки значений температуры и относительной влажности, зависящие от метеорологических условий и сдвигающие значения температуры и влажности относительно средних.

Считая $t(\tau), u(\tau)$ и $\bar{t}(\tau), \bar{u}(\tau)$ известными (первые – измерены, вторые рассчитаны), получим

$$\begin{aligned} t_1(\tau) &= t(\tau) - \bar{t}(\tau), \\ u_1(\tau) &= u(\tau) - \bar{u}(\tau). \end{aligned} \quad (3)$$

В силу случайного характера функций $t_1(\tau)$ и $u_1(\tau)$ вводим следующую статистическую гипотезу H_0 : не фён, если в момент времени τ ,

ветер дует не с гор,

$$t_1'(\tau) = \frac{dt_1(\tau)}{d\tau} \Big|_{\tau=\tau_0} \leq 0,$$

$$u_1'(\tau) = \frac{du_1(\tau)}{d\tau} \Big|_{\tau=\tau_0} \geq 0.$$

Если нарушаются все указанные условия гипотезы H_0 , то выполняется гипотеза H_1 о том, что наблюдается фён. При наличии временного

ряда значений температуры и относительной влажности в моменты времени $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \dots, \tau_i, \dots, \tau_n$ вместо производных функций времени $t_i(\tau), u_i(\tau)$, можно ввести их простейшие аналоги, представляющие отношение конечных разностей. В результате гипотеза H_0 будет иметь вид: не фён, если выполняются следующие условия:

$$\begin{aligned} & \text{ветер не с гор,} \\ & \Delta t_i(\tau_i) = t_i(\tau_{i+1}) - t_i(\tau_i) \leq 0, \\ & \Delta u_i(\tau_i) = u_i(\tau_i) - u_i(\tau_{i+1}) \leq 0. \end{aligned}$$

Если нарушаются все условия сложной односторонней гипотезы H_0 , то выполняется альтернативная сложная односторонняя гипотеза H_1 , то есть наблюдается фён. Проверка гипотез заключается в следующем: гипотеза H_0 принимается,

$$\begin{aligned} & \text{если } \Delta t_i(\tau) \leq g_\alpha \cdot \sigma_{\Delta t_i} \text{ и } \Delta u_i(\tau) \leq g_\alpha \cdot \sigma_{\Delta u_i} \text{ при ветре не с гор,} \\ & \text{или если } \Delta t_i(\tau_i) \leq g_\alpha \cdot \sigma_{\Delta t_i} \text{ и } \Delta u_i(\tau) \leq g_\alpha \cdot \sigma_{\Delta u_i} \text{ при ветре с гор,} \end{aligned}$$

здесь α - уровень значимости; g_α - величина, связанная с α для нормального закона следующим образом $1 - \alpha = \int_{-\infty}^{g_\alpha} e^{-\frac{x^2}{2}} dx$, значения табулированы. Иначе гипотеза H_0 отвергается и принимается гипотеза H_1 . Используя выражения (3), получим, что

$$\begin{aligned} \Delta t_i(\tau_i) &= t_i(\tau_{i+1}) - t_i(\tau_i) = [t(\tau_{i+1}) - \bar{t}(\tau_{i+1})] - [t(\tau_i) - \bar{t}(\tau_i)] = \\ &= [t(\tau_{i+1}) - t(\tau_i)] - [\bar{t}(\tau_{i+1}) - \bar{t}(\tau_i)] = \Delta t_{(i+1)-i} - \bar{\Delta t}_{(i+1)-i}; \\ \Delta u_i(\tau_i) &= u_i(\tau_i) - u_i(\tau_{i+1}) = [u(\tau_i) - \bar{u}(\tau_i)] - [\bar{u}(\tau_i) - \bar{u}(\tau_{i+1})] = \\ &= \Delta u_{i-(i+1)} - \bar{\Delta u}_{i-(i+1)}. \end{aligned}$$

Тогда гипотеза H_1 (наблюдается фён) принимается при наличии трёх следующих условий:

$$\begin{aligned} & \text{ветер с гор,} \\ & \Delta t_i(\tau_i) = \Delta t_{(i+1)-i} - \bar{\Delta t}_{(i+1)-i} \geq g_\alpha \sigma_{\Delta t_i}, \\ & \Delta u_i(\tau_i) = \Delta u_{i-(i+1)} - \bar{\Delta u}_{i-(i+1)} \geq g_\alpha \sigma_{\Delta u_i}, \end{aligned} \quad (4)$$

где $\Delta t, \Delta u$ - междусрочные повышения температуры и понижения относительной влажности воздуха: $\Delta t_{(i+1)-i} > 0, \Delta u_{i-(i+1)} > 0$;

- $\overline{\Delta t}, \overline{\Delta u}$ - средние многолетние междусрочные разности температуры и относительной влажности воздуха;
- $\sigma_{\Delta t}, \sigma_{\Delta u}$ - средние квадратические отклонения междусрочных разностей температуры и относительной влажности;
- $i, (i+1)$ - предыдущий и последующий сроки наблюдений.

Эмпирическим путём на основе анализа большого количества метеорологических данных (около 200 тысяч) установлено, что при $g_a=1$ ($\alpha=16\%$) с вероятностью 84 % выделяются все типичные фёны, которые оказывают влияние на деятельность сельского хозяйства, на рекреационные свойства климата, на снежно-ледовые процессы. При значениях $g_a > 1$ были бы выделены только единичные случаи с наиболее интенсивными фёнами и не были бы учтены многие типичные фёны, наличие которых подтверждается появлением чечевицеобразных облаков, «фёновой стены» и другими признаками фёна и влияние которых на природные процессы может быть существенным. При $g_a < 1$ к дням с фёнами были бы отнесены дни, когда наблюдается рост температуры и понижение относительной влажности при ясной погоде.

Следовательно, повышение температуры и понижение относительной влажности воздуха между сроками наблюдений по сравнению со средними многолетними междусрочными изменениями температуры и относительной влажности, превышающие средние квадратические отклонения, при ветре с гор служат объективным критерием выделения дней с фёном.

Применение средних квадратических отклонений и средних при анализе основано на том обстоятельстве, что распределение междусрочных изменений температуры и относительной влажности близко к нормальному. Значительные повышения температуры и понижения относительной влажности воздуха при направлении ветра с гор характерны для фёнов. Направление ветра со стороны гор задаётся для каждой станции, в зависимости от её расположения.

Использование средних за многолетний месяц междусрочных изменений температуры и относительной влажности воздуха и средних квадратических отклонений этих параметров позволяет учитывать физико-географическое положение станции, особенности годового и суточного хода температуры и относительной влажности и устранить неопределённость понятия “значительное” повышение или понижение.

Выделение фёнов по предлагаемой методике производится более объективно, так как не применяются некоторые критические значения температуры или относительной влажности, определяемые

субъективно, а используются статистические характеристики, указанные выше, что позволяет определить нарушение суточного хода указанных величин, свойственное фёнам, для данного места и времени года.

За начало фёна принимается срок, когда выполняются три или два первых критерия (4). Обычно - это срок, в который наблюдается резкое повышение температуры, резкое понижение относительной влажности, по сравнению с предыдущим сроком, отмечается ветер заданного направления.

За конец фёна принимается срок, в который не выполняются условия, характеризующие фёны: повышение температуры или понижение относительной влажности по сравнению с предыдущим сроком. Фён считается непрерывным, если температура воздуха от срока к сроку не понижается или относительная влажность – не повышается.

Для характеристики фёнов используются максимальная температура, минимальная относительная влажность, максимальная скорость ветра в период фёна.

Методика предполагает проведение расчётов на ЭВМ на основе использования результатов 8-срочных метеорологических наблюдений. В работе использованы материалы архива "ВОСХОД" (восьми-срочные хронологические основные данные – срочный макет ТМ-1 за 1966-1976 гг.), созданного во ВНИИГМИ-МЦД (г. Обнинск). В него вошли данные по шести опорным станциям Горного Алтая: Кара-Тюрек, Катанда, Кош-Агач, Усть-Улаган, Яйлю. Всего использовано 160306 наблюдений.

Для оценки достаточности количества данных произведено определение минимального объёма выборки по методике, приведённой в [19]. Пределы допустимой погрешности измерения температуры равны 0,2 °С, а относительной влажности – 1 % [94].

Имеющееся количество наблюдений за 11-летний период, 240-340 в каждый срок за многолетний период, достаточно для получения достоверных результатов с вероятностью 95 %.

Предложенная методика позволяет, объективно выделять фёны с учётом расположения станций, сезонных особенностей распределения и суточного хода температуры и относительной влажности воздуха. Она исключает трудоёмкую работу просмотра всех цифр метеорологических таблиц и позволяет автоматизировать выборку дней с фёнами с помощью ЭВМ. Эта методика применима и для других горных стран.

3.1. Орографические условия и циркуляция атмосферы над Горным Алтаем

Алтайская горная страна в целом представляет собой значительное горное поднятие на юге Западной Сибири, расположенное между 48 и 53 ° с. ш. и 82 и 96 ° в. д. из прилагаемой орографической схемы (рисунок 3.1) видно, что основные хребты центрального Алтая: Южно-Алтайский, Южно-Чуйский, Теректинский простираются в широтном и северо-западном направлении. Этим хребтам свойственны большие абсолютные высоты: отдельные вершины достигают 4000 м, наиболее высокая точка – г. Белуха 4506 м (Катунский хребет). Значительные участки хребтов поднимаются до 3000-3500 м. Периферийные хребты на западе, северо-западе, севере снижены относительно хребтов центрального Алтая и расположены веерообразно.

Основным содержанием циркуляции атмосферы в умеренном географическом поясе, как показано в [6], «является развитие циклонической и антициклонической деятельности под планетарными высотными фронтальными зонами (ПВФЗ) и осуществляемый этими барическими образованиями ... западно-восточный перенос воздушных масс».

Особенности сезонной циркуляции подробно изложены в работе [6]. В весенний период над Алтаем наблюдаются преимущественно антициклонические типы циркуляции атмосферы – в 77 %, циклонические – лишь в 23 %. В этот период Алтай является одним из районов проявления интенсивного антициклогенеза, над которым 25 % антициклонов увеличивают свою мощность. В предгорьях Алтая происходит углубление западных циклонов. В связи с большой повторяемостью северо-западных (30 %) и юго-западных (30 %) процессов, усиливается междуширотный обмен. Северо-западные циклоны выходят с Баренцева и Карского морей. В первом случае – в средней тропосфере над Западной Сибирью господствуют северо-западные потоки, во втором – северные и северо-восточные потоки. Отмечается большая повторяемость над Алтаем северо-западных антициклонов. Это объясняется вторжением холодных арктических воздушных масс в пределы Западной Сибири в тылу депрессий. С юго-западными циклонами связана адвекция тепла и влаги в районы Горного Алтая из Средней Азии, реже из районов Средиземноморья. На холодных фронтах юго-западных циклонов в предгорьях Алтая нередко возникают волны, на которых развиваются частные циклоны. Северо-западные антициклоны, смещаясь к северо-востоку, сравнительно бы-

стро разрушаются. Северные и северо-восточные антициклоны довольно редки.

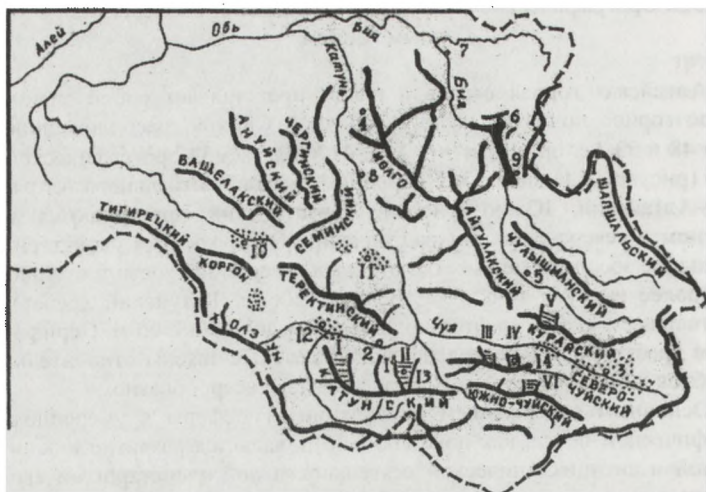


Рисунок 3.1 - Орографическая схема Горного Алтая

Условные обозначения:

— хребты ······ - степи

- метеорологические станции: 1. Кара-Тюрек, 2. Катанда, 3. Кош-Агач, 4. Кызыл-Озек, 5. Усть-Улаган, 6. Яйлю, 7. Турочак, 8. Чемал, 9. Бея, 10. Усть-Кан, 11. Онгулай, 12. Усть-Кокса, 13. Аккем, 14. Актру;

⌵ горноледниковые бассейны: I - Мульта, II - Аккем, III - Корумду, IV - Актру, V - Кубадру, VI - Талдура

В летний период на Алтай распространяется воздействие термической депрессии, центр которой формируется над юго-западной Азией. В летнее время над Алтаем преобладают юго-западные типы циркуляции (38 %). Для этого периода характерно усиление процессов циклогенеза. При юго-западных типах циркуляции наблюдается выход в пределы Алтая южных и юго-западных циклонов (Аральских, Каспийских), которые формируются на ветвях полярного фронта над Европейской территорией России и над равнинами Средней Азии и юго-западного Казахстана. В предгорьях Алтая (в июне северо-западных, в июле северных и западных) наблюдается углубление юго-

западных циклонов. Летом процессы антициклогенеза ослаблены: повторяемость антициклонов снижена, мощность их незначительна. В юго-западных антициклонах выносятся прогретый умеренный воздух (реже тропический) Средней Азии или юго-востока Европейской территории России. Над Алтаем происходит стационарирование юго-западных и западных антициклонов.

В летний период наблюдаются и северо-западные типы циркуляции (21 %). В тылу северо-западных циклонов (их 8 %) происходит заток арктического воздуха, на Алтае наблюдается интенсивный вынужденный подъём континентального умеренного воздуха по склонам. В августе в район Алтая и южнее проникают изредка центры северо-западных антициклонов. Летом формируются над Горным Алтаем области размытого барического рельефа.

В осенний период преобладают западные (42 %) и юго-западные (37 %) типы циркуляции. Возрастает роль западного и юго-западного типов. Осенью усиливается над Алтаем западно-восточный перенос воздушных масс, вследствие расположения зоны циклогенеза к северу от 56° с. ш., а антициклогенеза – к югу. Велика повторяемость западных и юго-западных антициклонов. Стационарирование над Алтаем, Монголией, Тувой юго-западных антициклонов приводит к выносу тёплого воздуха Средней Азии или юга Казахстана. К октябрю формируется азиатский антициклон, западный или северо-западный отрог его располагается над Алтаем. Проникновение северо-западных циклонов (18 %) на юг – в Горный Алтай – способствует поступлению арктического воздуха в их тылу и вытеснению умеренного воздуха вверх на склоны гор.

Зимой Алтай находится в основном под влиянием западного отрога азиатского антициклона. Близ 50° с. ш. смещаются и центры подвижных антициклонов, которые стационарируют над высокоприподнятыми котловинами [6]. В случаях ослабления действия антициклонов над Алтаем развивается циклоническая деятельность: образующиеся на среднеазиатской и средиземноморской ветви полярного фронта циклоны смещаются с запада и юго-запада в районы Алтая [68]. В первой половине зимы циклоничность более развита, чем во второй половине.

Макроциркуляционные условия определяют основные черты ветрового режима территории. В связи с особенностями циркуляционных процессов в различные сезоны года, направление течений воздушных масс несколько изменяется: зимой господствуют в нижней части тропосферы (до 3 км) южные и юго-западные ветры, выше – западные и запад-северо-западные ветры, в тёплое время года западные и северо-западные ветры. Весной и осенью преобладают западные потоки воздуха над всей рассматриваемой территорией. Что же касается

приземных ветров на конкретных станциях, то наблюдается трансформация общециркуляционного потока, в связи с местными особенностями их орографического положения (различная ориентация горных хребтов и долин, различная глубина расчленения рельефа и др.).

Исследования В.И. Слуцкого [90] сезонного хода скорости ветра в горном Алтае по данным шаропилотных наблюдений на станциях Кош-Агач, Турочак показали, что в нижнем 500-метровом слое в районах горных котловин и широтно ориентированных долин в сезонном ходе скорости ветра наблюдается один максимум весной и один минимум зимой. На более высоких уровнях в сезонном ходе скорости ветра выделяется ещё осенний максимум и летний минимум, который на высотах 1-1,5 км и выше становится основным.

В весенний период в результате усиления конвекции и сохранения с зимы температурных контрастов на высоте происходит увеличение скорости ветра в нижнем слое атмосферы. В апреле начинает проявляться горно-долинная циркуляция.

Летом средняя скорость ветра возрастает до высоты гребней гор, а затем почти не изменяется до высоты 3000 м. Хорошее развитие получает горно-долинная циркуляция.

К концу осени скорость ветра на высоких уровнях увеличивается, а вблизи поверхности земли этого не наблюдается, вследствие ослабления турбулентного обмена. Горно-долинная циркуляция прекращается.

Характерной особенностью ветрового режима Горного Алтая, как и любой горной страны, обусловленной влиянием рельефа, является возникновение в приземном слое различных видов местных циркуляций: ветров склонов, горно-долинных (летом), ледниковых, фёнов. Результаты изучения ветров местной циркуляции (кроме фёнов) в Горном Алтае приводятся в сравнительно немногочисленных работах, более продолжительные и регулярные наблюдения за развитием местной циркуляции были проведены в горноледниковом бассейне Актру [41, 87, 89, 91, 110]. Анализ изученности фёнов Горного Алтая приводится в настоящей работе.

3.2. Синоптические условия возникновения фёнов в Горном Алтае

Исследованию условий формирования фёнов в Горном Алтае посвящено несколько работ [51, 52, 53, 93]. Изучая фёны северного Алтая, Т.Д. Модина и А.П. Сляднев [54] установили, что фёны здесь возникают при больших барических градиентах, образующихся в осенне-зимний период между областью высокого давления над юго-

востоком Алтая и низкого давления над Западно-Сибирской равниной, направление которых имеет северную составляющую. Обычно это характерно при движении циклонов с запада и юго-запада. Весной же, когда разрушается азиатский антициклон, фёны возникают под воздействием субтропических антициклонов, пересекающих северный Казахстан и южный Алтай.

В работе [51] Т.Д. Модина обобщает синоптические условия возникновения фёнов на Алтае. Фёны наблюдаются при следующих условиях:

- 1) при движении воздушных масс по западной периферии азиатского антициклона;
- 2) при прохождении центров низкого давления над Западно-Сибирской равниной;
- 3) при положении центра антициклона непосредственно над Горным Алтаем.

Более поздние исследования [53] на основе наблюдений по 10 метеорологическим станциям Горного Алтая за длительный период и анализа большого объёма синоптических карт позволили ей уточнить и дополнить выводы по синоптическим условиям образования фёнов. Автором показано, что в холодный период года всё разнообразие синоптических ситуаций при фёне можно свести к двум основным группам. В первой – Алтай располагается на северо-западной периферии азиатского антициклона, а предгорные равнины находятся под влиянием барических минимумов. Фёновые явления часто возникают и особенно усиливаются при прохождении глубоких циклонов по югу Западно-Сибирской равнины. Ко второй группе синоптических процессов, наблюдаемых при фёнах, относятся синоптические ситуации, при которых весь юг Западной Сибири находится под влиянием антициклона, а над Алтаем устанавливается малоградиентное поле.

В переходные сезоны года происходит сезонная перестройка термобарического поля. Алтай, находясь между заснеженными равнинами Западной Сибири и прогретыми пустынями Средней Азии, оказывается в зоне больших контрастов температур. При этом происходит междуширотный обмен воздушных масс и над Алтаем формируется планетарная высотная фронтальная зона. Сложная система горных хребтов вызывает возмущение основного потока фронтальной зоны. При таких ситуациях в тропосфере над Горным Алтаем оформляется орографический гребень, а в предгорных районах – орографическая ложбина. Установлено, что от продолжительности существования ложбины зависит длительность фёнов.

Летом до минимума убывают барические градиенты, выравнивается давление между юго-восточным и северным Алтаем. Фёны чаще всего отмечаются перед прохождением атмосферных фронтов.

Районы их распространения ограничены пределами высокогорного Алтая [54].

Аналогичные выводы о синоптических условиях, при которых получают развития фёны в центральном Алтае, были получены К.И. Поповой [68] при изучении циркуляции атмосферы над Алтаем в аблационный период (конец мая – сентябрь): а) стационарирование циклона над центральной частью Западно-Сибирской низменности и антициклонов в Забайкалье или Монголии; б) выход в пределы юго-востока Западной Сибири юго-западных циклонов; в) большая повторяемость антициклонов в мае; г) вынос воздуха по западной периферии антициклонов; д) перед прохождением холодных фронтов.

Проведённый авторами анализ синоптических карт и сопоставление синоптических ситуаций в дни с фёнами, выделенными по предложенной методике за период 1966-1976 гг., позволили определить повторяемость атмосферных процессов, благоприятных для возникновения фёнов в различных районах Горного Алтая (таблица 3.1).

Таблица 3.1 - Повторяемость (%) основных синоптических процессов в различные сезоны года. 1966-1976 гг.

Синоптический процесс	Сезон			
	Зима (ноябрь-март)	Весна (апрель-май)	Лето (июнь-август)	Осень (сентябрь-октябрь)
Антициклоны	71,9	68,5	32,1	69,3
Циклоны	26,0	22,9	57,6	21,7
Малоградиентное поле	2,1	8,6	10,3	9,0

В летний период преобладает циклонический тип циркуляции, в остальное время – антициклонический. Фёны наблюдаются при разных типах циркуляции, но вероятность их возникновения различна. Лишь часть случаев из всех рассмотренных ситуаций является благоприятной для возникновения фёнов, что показано в таблице 3.2. Синоптические ситуации, способствующие появлению фёнов приведены в таблице 3.3.

Зимой (ноябрь-март) фёны возникали чаще всего, судя по данным станций Кара-Тюрек, Кызыл-Озек, при наличии следующих синоптических ситуаций. Горный Алтай находился под воздействием западной и северо-западной периферии азиатского антициклона (около 57 %), а над Западно-Сибирской низменностью располагалась область пониженного давления (это – либо циклон над центральной ча-

стью Западно-Сибирской низменности, либо ложбина, либо через юг Западной Сибири проходили юго-западные Каспийские, Аральские циклоны).

Таблица 3.2 - Повторяемость (%) дней с фёнами при основных типах циркуляции

Станция	Тип циркуляции		
	Антициклон	Циклон	Малогradientное поле
Зима			
Кара-Тюрек	50,5	39,7	50,0
Катанда	10,2	43,6	0,0
Кош-Агач	8,8	41,0	0,0
Кызыл-Озек	35,2	32,1	16,7
Усть-Улаган	9,7	43,6	0,0
Яйлю	41,7	35,9	33,3
Весна			
Кара-Тюрек	42,2	34,8	26,9
Катанда	25,7	26,1	15,4
Кош-Агач	21,8	26,1	15,4
Кызыл-Озек	37,9	33,3	23,1
Усть-Улаган	29,6	29,0	15,4
Яйлю	34,0	33,3	23,1
Лето			
Кара-Тюрек	34,4	34,7	32,3
Катанда	14,6	28,9	22,6
Кош-Агач	11,5	23,1	12,9
Кызыл-Озек	7,1	33,5	29,0
Усть-Улаган	17,7	30,1	16,1
Яйлю	30,2	34,1	29,0
Осень			
Кара-Тюрек	41,8	38,5	14,8
Катанда	26,4	26,2	3,7
Кош-Агач	23,1	21,5	3,7
Кызыл-Озек	35,6	35,4	6,4
Усть-Улаган	30,3	27,7	3,7
Яйлю	38,5	36,9	6,4

Примечание. Повторяемость рассчитана от общего числа дней с соответствующим типом циркуляции.

Возникновению фёнов способствовали и ситуации, когда над Горным Алтаем располагался центр антициклона или проходили фронты (таблица 3.3).

Таблица 3.3 - Повторяемость (%) синоптических ситуаций в дни с фёнами

Станция	Синоптическая ситуация				
	А _ц	А _з , А _{сз}	Г	М _п	Ц, Ф
Зима					
Кара-Тюрек	18,9	57,3	0,0	2,1	21,7
Катанда	0,0	39,3	0,0	0,0	60,7
Кош-Агач	0,0	37,3	0,0	0,0	63,7
Кызыл-Озек	17,6	56,9	0,0	1,0	24,5
Усть-Улаган	0,0	38,2	0,0	0,0	61,8
Яйлю	18,3	56,7	0,0	1,7	23,3
Весна					
Кара-Тюрек	62,7	8,6	2,5	5,9	20,3
Катанда	60,0	9,3	1,3	5,4	24,0
Кош-Агач	56,7	8,9	1,5	6,0	26,9
Кызыл-Озек	62,6	8,4	1,9	5,6	21,5
Усть-Улаган	62,4	8,2	1,2	4,7	23,5
Яйлю	62,0	9,3	1,9	5,5	21,3
Лето					
Кара-Тюрек	19,4	6,8	5,8	9,7	58,3
Катанда	14,1	2,8	2,8	9,9	70,4
Кош-Агач	14,5	3,6	1,8	7,4	72,7
Кызыл-Озек	18,3	5,4	4,3	9,7	63,3
Усть-Улаган	13,5	5,4	4,1	6,8	70,2
Яйлю	18,4	6,1	5,1	9,2	60,2
Осень					
Кара-Тюрек	60,3	12,9	1,7	3,5	21,6
Катанда	58,9	15,1	1,4	1,4	23,2
Кош-Агач	58,7	15,9	1,6	1,6	22,2
Кызыл-Озек	60,6	13,1	1,0	2,0	23,3
Усть-Улаган	60,9	14,6	1,2	1,2	22,1
Яйлю	60,4	14,2	0,9	1,9	22,6

Примечание. А_ц, А_з, А_{сз} – центр антициклона, западная, северо-западная периферия антициклона; Г – гребень; М_п – малоградиентное поле; Ц – циклон; Ф – фронт.

Меньшая повторяемость фёнов (около 18-19 % и 22-24 %) при этих синоптических ситуациях связана с меньшей повторяемостью последних в этот период года. При наличии благоприятных условий, фёны всегда проявлялись на верхних частях склонов, водоразделах (Кара-Тюрек) и в открытых продуваемых, меридионально ориентированных долинах или участках долин (Кызыл-Озек). На станциях, расположенных в котловинах (Кош-Агач, Катанда и др.), где в зимнее время наблюдается застой холодного воздуха, фёны отмечались в основном при прохождении атмосферных фронтов (таблица 3.3). При других синоптических ситуациях, способствующих образованию фёнов, в этих районах они редко доходят до днищ котловин: нисходящие из свободной атмосферы тёплые потоки воздуха скользят по «озёрам холода», не достигая поверхности земли.

Весной фёны в Горном Алтае были связаны в основном с антициклоническими образованиями. При разрушении азиатского антициклона наблюдалась максимальная повторяемость антициклонических образований (гребни, антициклонические ядра, частные антициклоны) над югом Западной Сибири и Казахстаном. Над центральными районами Западной Сибири в это время наблюдалось усиление циклонической деятельности. Нисходящие потоки в атмосфере над Горным Алтаем способствовали возникновению фёнов.

В летнее время (июнь-август) фёны чаще всего (58-73 %) были вызваны прохождением фронтов. Меньшая повторяемость фёнов наблюдалась, когда Алтай находился в антициклонических условиях (14-19 %). Однако в этих случаях, когда над Горным Алтаем располагался центр антициклона или гребень, а остальная территория Западной Сибири находилась в области пониженного давления, отмечались наиболее интенсивные и продолжительные фёны. Возникновение фёнов отмечалось и в тех случаях (7-10 %), когда Алтай находился в условиях размытого барического рельефа по приземным картам, на высотных же картах были хорошо выражены антициклоны.

Осенью, в связи с сокращением повторяемости циклонов и увеличением повторяемости антициклонов над югом Западной Сибири, увеличилось и количество фёнов, связанных с антициклоническими образованиями. Этому способствовало и формирование азиатского антициклона к концу осени.

Таким образом, анализ синоптических ситуаций выделил наиболее типичные ситуации, благоприятные для образования фёнов в Горном Алтае. Возникновение фёнов связано с общециркуляционными условиями, однако, в зависимости от орографических условий, они могут проявляться лучше в одних районах, хуже - в других и не проявиться совсем - в третьих. Такими районами часто бывают горные котловины, особенно в холодный период. Только самые интенсивные

фёны могут достигнуть подстилающей поверхности котловин лишь после разрушения инверсионного слоя.

В зависимости от условий возникновения наблюдаются фёны разных типов. В.И. Русанов [75, 78] на основе классификации фёнов О.А. Дроздова [1] выделил в Горном Алтае все основные типы фёнов. Зимой в центральном Алтае преобладают фёны из свободной атмосферы и наблюдаются на выпуклых формах рельефа и высоких уровнях склонов гор. Весной и осенью здесь преобладают антициклонические фёны. Летом в центральном Алтае, а в северном Алтае весь год преобладают фёны, связанные с переваливанием воздуха через хребет, и реже наблюдаются антициклонические фёны [75]. Телецкие фёны отнесены В.В. Селегеем [86] также к классическим фёнам – переваливания.

Нами выделены два типа фёнов: фёны переваливания и антициклонические фёны. К антициклоническим фёнам отнесены и фёны из свободной атмосферы, которые, по мнению Э.А. Бурмана [12], отличаются от антициклонических лишь расположением уровня, с которого начинаются нисходящие движения, и в связи со сложностью их распознавания. Фёны переваливания на Алтае связаны с разными типами циркуляции. Они наблюдаются в циклоническом поле давления при прохождении фронтов и в антициклоническом поле давления, когда холодный воздух задерживается на наветренной стороне из-за антициклонической инверсии, то есть, существует подпруживание холодного воздуха. Фёны переваливания отмечаются на подветренных склонах гор.

Зимой и летом в Горном Алтае преобладают фёны переваливания (таблица 3.4). В зимнее время они возникают на северных склонах хребтов при движении воздушных масс в западной и северо-западной периферии азиатского антициклона (в большей мере) и при прохождении фронтов. Антициклонические фёны, обусловленные нисходящими потоками в антициклонах, наблюдаются только на водоразделах (Кара-Тюрек, 21 %), открытых вершинах, высоких склонах гор, меридионально ориентированных долинах (Яйлю, 20 %). Летом фёны переваливания связаны в основном с атмосферными фронтами. В переходные сезоны года, в связи с преобладанием фёнов, связанных с антициклоническими образованиями, вследствие усиления процессов антициклогенеза, чаще наблюдаются антициклонические фёны, самые сильные из них достигают подстилающей поверхности в котловинах и отмечаются расположенными в них станциями лишь в дневное время. Антициклонические фёны наблюдаются по обе стороны хребтов.

Таблица 3.4 - Повторяемость (%) фёнов разных типов

Станция	Тип фёна	
	переваливания	антициклонический
Зима		
Кара-Тюрек	79,0	21,0
Катанда	100,0	0,0
Кош-Агач	100,0	0,0
Кызыл-Озек	81,4	18,6
Усть-Улаган	100,0	0,0
Яйлю	80,0	20,0
Весна		
Кара-Тюрек	31,4	68,6
Катанда	34,6	65,4
Кош-Агач	37,3	62,7
Кызыл-Озек	31,8	68,2
Усть-Улаган	32,9	67,1
Яйлю	32,5	67,5
Лето		
Кара-Тюрек	70,9	29,1
Катанда	76,0	24,0
Кош-Агач	78,1	21,9
Кызыл-Озек	72,0	28,0
Усть-Улаган	79,7	20,3
Яйлю	72,4	27,6
Осень		
Кара-Тюрек	36,2	63,8
Катанда	39,7	60,3
Кош-Агач	39,7	60,3
Кызыл-Озек	37,4	62,6
Усть-Улаган	37,9	62,1
Яйлю	37,7	62,3

3.3. Пространственно-временное распределение фёнов

Для анализа пространственно-временного распределения фёнов в Горном Алтае использованы данные о числе дней с фёнами, об их продолжительности, времени их начала и окончания. Эти данные получены в результате расчётов по предлагаемой методике выделения фёнов за период с января 1966 г. по декабрь 1976 г. по шести опорным метеорологическим станциям (Кара-Тюрек, Катанда, Кош-Агач, Кы-

зыл-Озек, Усть-Улаган, Яйлю), расположенных в различных физико-географических условиях, на различных высотных уровнях (рисунок 3.1).

Дополнительно привлечены материалы о фёнах по 14 метеорологическим станциям за центральные месяцы сезонов в период с 1974 по 1979 г. Фёны определялись по той же методике по данным метеорологических наблюдений, содержащихся в таблицах ТМ-1.

Описание местоположения станций приводится в приложении 1.

Средняя повторяемость дней с фёном на станциях Горного Алтая представлена в таблицах 3.5, 3.6. Число дней с фёном в различных районах Горного Алтая на станциях существенно различается вследствие влияния орографии, выражающегося, прежде всего, в ориентации горных хребтов относительно перемещающихся воздушных масс, их относительного превышения над станцией, абсолютной высоты местности, удаления от гребней гор, формы рельефа и ряда других факторов.

Наибольшее количество фёнов отмечается на станции Кара-Тюрек, расположенной на водоразделе. Большая абсолютная высота станции и наличие орографического барьера с запада и с юга способствует тому, что здесь наблюдаются как антициклонические фёны, так и фёны переваливания.

Несколько меньше дней с фёнами бывает на станциях, расположенных в меридионально ориентированных, глубоко врезаемых и хорошо продуваемых долинах, а также в высокогорных долинах, вытянутых с юга на север или с юго-запада на северо-восток, благоприятных для возникновения фёнов: Беля, Яйлю, Чемал, Кызыл-Озек, Аккем, Актру.

Значительно меньше фёнов наблюдается на остальных станциях. Характерной особенностью для станций Катанда, Кош-Агач, Усть-Улаган, Усть-Кокса, Онгудай является расположение их в замкнутых формах рельефа (межгорных котловинах, широких долинах). Для таких районов характерно, особенно в холодный период года, формирование "озёр холода", связанных с застоем холодного воздуха в отрицательных формах рельефа, что затрудняет доступ фёнам к днищам котловин.

Для одной группы станций (Кара-Тюрек и станций, расположенных в меридионально расположенных долинах, кроме станции Яйлю) наибольшее количество фёнов приходится на зимний период. Благоприятные условия для возникновения фёнов объясняются большими термобарическими градиентами в тропосфере, возникающими между областями высокого давления над юго-востоком Алтая и низкого давления над Западно-Сибирской низменностью. Летом отмечается минимальное число дней с фёном.

Таблица 3.5 - Среднее число дней с фёном. 1966-1976 гг.

Станция	Месяцы						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
Кара-Тюрек	17,1	13,8	11,0	11,6	12,0	10,8	9,6
Катанда	4,7	5,2	6,0	7,3	7,7	7,2	7,1
Кош-Агач	4,3	5,1	5,8	6,6	6,8	5,9	5,3
Кызыл-Озек	11,0	9,6	9,2	10,5	10,8	9,6	8,8
Усть-Улаган	4,9	5,2	6,3	8,5	8,6	7,4	7,5
Яйлю	14,3	12,2	9,6	10,5	11,0	10,2	9,5

Станция	Месяцы					Год
	VIII	IX	X	XI	XII	
Кара-Тюрек	10.5	11.4	11.8	12.9	16.6	149.1
Катанда	6.9	7.6	7.1	6.7	5.3	78.8
Кош-Агач	5.4	6.5	6.1	5.6	4.9	68.3
Кызыл-Озек	9.4	9.8	10.0	10.4	10.8	119.9
Усть-Улаган	7.3	8.4	7.9	6.2	5.1	83.3
Яйлю	9.8	10.4	10.8	11.7	12.3	132.3

Таблица 3.6 - Среднее число дней с фёнами. 1974-1979 гг.

Станция	Месяцы			
	Январь	Апрель	Июль	Октябрь
Кара-Тюрек	16,1	13,0	11,1	12,2
Катанда	4,6	7,9	5,3	7,1
Кош-Агач	4,1	8,2	5,0	6,2
Кызыл-Озек	11,2	10,1	9,1	10,8
Усть-Улаган	5,1	8,9	7,1	7,9
Яйлю	13,5	12,4	10,3	11,1
Турочак	2,4	4,2	3,6	4,0
Чемал	14,4	13,1	10,9	12,2
Бея	15,2	14,3	10,8	13,4
Усть-Кан	5,3	7,2	5,1	6,1
Онгудай	4,2	6,3	3,3	5,1
Усть-Кокса	3,0	5,9	4,3	4,9
Аккем	13,8	11,1	8,9	10,2
Актру	12,2	10,2	8,6	9,8

На станциях другой группы (станции, расположенные в котловинах) максимальное число дней с фёнами наблюдается в весенний и

осенний периоды (таблица 3.6). Это связано с тем, что весной в период разрушения азиатского антициклона, а осенью перед его установлением, для циркуляции атмосферы характерным является усиление процессов антициклогенеза над Алтаем, способствующих усилению нисходящих токов в атмосфере над Горным Алтаем и выносу сухих и тёплых воздушных масс с юга по западной периферии антициклонов. В холодный период времени инверсии температуры над котловинами затрудняют проникновение тёплого воздуха до подстилающей поверхности, и наблюдается минимальное число фёнов, существенно меньше, чем на станциях Кара-Тюрек и Кызыл-Озек. Только длительные, интенсивные фёны (фёны переваливания в основном) могут прорываться до днищ котловин на непродолжительное время. В таких районах фёны выражены весьма своеобразно в режиме температуры и влажности воздуха, о чём будет сказано позднее.

В таблице 3.7 приводится число часов с фёном. Этот показатель позволяет оценить активность фёновых процессов и лучше, чем число дней с фёном, характеризовать их влияние на различные природные процессы.

Таблица 3.7 - Средняя месячная и годовая продолжительность (ч) фёнов. 1966-1976 гг.

Станция	Месяцы						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
Кара-Тюрек	232,6	177,4	122,2	125,5	98,1	82,9	100,9
Катанда	32,9	40,1	43,2	48,3	58,2	56,8	52,6
Кош-Агач	30,2	38,1	49,3	48,9	55,0	50,1	45,8
Кызыл-Озек	120,6	105,4	91,3	108,7	100,5	75,4	68,4
Усть-Улаган	36,1	41,2	55,4	60,2	70,2	55,4	70,9
Яйлю	170,9	143,4	98,3	97,2	120,0	100,7	75,4

Станция	Месяцы					Год
	VIII	IX	X	XI	XII	
Кара-Тюрек	100,9	116,3	122,8	150,8	220,1	1669,6
Катанда	49,4	52,0	50,2	43,6	42,9	570,2
Кош-Агач	36,4	52,7	45,2	37,6	36,3	525,6
Кызыл-Озек	90,0	85,4	100,7	105,4	110,3	1162,1
Усть-Улаган	65,9	65,0	56,4	54,1	46,0	676,8
Яйлю	79,3	97,6	108,4	130,6	142,5	1364,3

Между средним за месяц числом дней с фёном (X) и их суммарной продолжительностью (Y) имеется хорошая связь, что видно на

рисунке 3.2. Вид аппроксимирующей функции оценен с помощью метода **наименьших квадратов**. Указанная зависимость для зимнего периода, переходных сезонов, лета может быть выражена соответственно в виде следующих степенных уравнений регрессии:

$$Y = 3.65 \cdot X^{1.46} \quad (\text{зима}) \quad (6)$$

$$Y = 2.45 \cdot X^{1.59} \quad (\text{весна, осень}) \quad (7)$$

$$Y = 5.17 \cdot X^{1.23} \quad (\text{лето}) \quad (8)$$

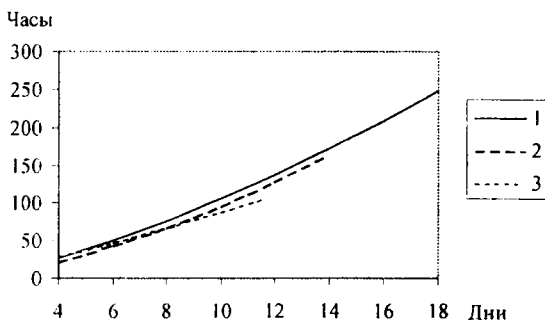


Рисунок 3.2 - Зависимость продолжительности фёнов (часы) от повторяемости (дни)

Условные обозначения: 1- зима; 2 – весна, осень; 3 - лето.

Средняя квадратическая погрешность, показывающая насколько точным будет прогноз средней месячной продолжительности фёнов при использовании линии регрессии, составляет соответственно 3.9, 6.7, 6.4 часа. Проверка значимости уравнений регрессии в целом с помощью F-критерия Фишера показала, что уравнения регрессии статистически значимо описывают экспериментальные данные при уровне значимости 5 %. В связи с тем, что при подборе параметров уравнений нелинейного типа проводилась линеаризация, вычисленные коэффициенты корреляции во всех случаях указывают на взаимное влияние (тесную связь) исследуемых переменных. Пользуясь графиком связи продолжительности фёнов и числа дней с фёном, можно определить продолжительность фёнов для пункта, где известно только число дней с фёном.

Продолжительность фёнов в отдельные годы может существенно меняться в зависимости от особенностей циркуляции атмосферы. Максимальная и минимальная продолжительность фёнов за исследуемый период приведена в таблице 3.8. Максимальная непрерывная

продолжительность фёнов на разных станциях изменяется от 1-2 суток (станции в котловинах, станция Яйлю) до 5 и более суток (станция Кара-Тюрек, Кызыл-Озек) (таблица 3.9). Для анализа повторяемости фёнов, различной непрерывной продолжительности выделено 4 градации: менее 6 ч – кратковременные фёны; от 6 до 15 ч – фёны средней продолжительности; от 15 до 24 ч – длительные фёны; более 24 ч – очень длительные фёны. Наиболее продолжительны антициклонические фёны. С фронтами связаны кратковременные фёны. Повторяемость фёнов различной продолжительности представлена в таблице 3.10.

Таблица 3.8 Минимальная (числитель) и максимальная (знаменатель) продолжительность (часы) фёнов за месяц

Станция	Месяцы					
	I	II	III	IV	V	VI
Кара-Тюрек	30/297	33/243	48/204	63/234	48/210	45/249
Катанда	18/156	9/102	9/96	36/120	24/140	39/93
Кош-Агач	6/90	15/177	24/135	9/93	12/102	6/66
Кызыл-Озек	69/279	54/186	51/171	63/219	48/204	75/204
Усть-Улаган	3/102	18/108	27/96	6/120	21/117	36/96
Яйлю	21/273	45/189	57/171	48/194	51/207	45/207

Станция	Месяцы					
	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Кара-Тюрек	30/135	42/144	51/177	57/357	42/300	48/309
Катанда	18/114	6/117	24/135	27/120	18/78	6/84
Кош-Агач	9/87	15/75	30/132	12/105	6/90	12/69
Кызыл-Озек	45/129	75/135	54/120	84/312	96/279	81/303
Усть-Улаган	6/117	21/102	42/105	30/102	24/108	3/96
Яйлю	42/132	39/141	51/135	30/297	63/273	30/297

На большинстве станций преобладают в среднем за год фёны средней продолжительности. Их повторяемость изменяется от 36,4 до 53,5 % на разных станциях. На станциях Кара-Тюрек и Кызыл-Озек отмечается много длительных и очень длительных фёнов. На осталь-

ных станциях повторяемость их значительно меньше, а в отдельные месяцы очень длительные фёны могут отсутствовать вовсе. Следует заметить, влияние кратковременных фёнов на природные процессы, естественно, меньше, чем длительных, но учитывая их относительно большую повторяемость, суммарный эффект может быть весьма заметным.

Зимой на станции Кара-Тюрек наблюдаются более длительные фёны за счёт антициклонических фёнов. На станциях, расположенных в котловинах, зимой повторяемость длительных фёнов, наоборот, минимальная, так как фёны достигают днищ долин на короткое время (в основном это – фёны переваливания). В летнее время на всех станциях длительность фёнов приблизительно одинаковая, но меньше, чем зимой и в переходные сезоны, так как фёны связаны в основном с фронтами. В переходные сезоны продолжительность фёнов больше, чем летом, так как возникновение фёнов обусловлено, в основном, антициклоническими образованиями: антициклонические фёны более длительные, чем фёны, связанные с прохождением атмосферных фронтов.

Таблица 3.9 - Максимальная непрерывная продолжительность (часы) фёнов

Станция	Месяцы					
	I	II	III	IV	V	VI
Кара-Тюрек	108	90	72	69	51	69
Катанда	36	39	39	42	42	45
Кош-Агач	33	51	30	36	39	30
Кызыл-Озек	123	78	51	66	57	84
Усть-Улаган	30	24	21	45	30	51
Яйлю	39	27	39	42	54	39

Станция	Месяцы					
	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Кара-Тюрек	63	54	81	126	117	129
Катанда	39	39	39	51	36	45
Кош-Агач	33	39	48	36	27	21
Кызыл-Озек	57	69	78	60	66	93
Усть-Улаган	45	42	33	42	33	33
Яйлю	36	30	36	30	36	45

Таблица 3.10 - Повторяемость (%) фёнов различной непрерывной продолжительности

Станция	Длительность, ч	Месяцы					
		I	II	III	IV	V	VI
Кара-Тюрек	< 6	19,3	21,4	22,0	23,9	24,9	26,7
	6-15	42,1	43,5	41,9	42,3	44,3	41,8
	15-24	15,8	19,1	17,6	18,3	20,8	22,4
	> 24	22,8	16,0	18,5	15,5	10,0	9,1
Катанда	< 6	42,6	36,9	32,4	24,7	28,6	26,0
	6-15	32,4	44,6	52,1	58,1	53,6	56,2
	15-24	22,1	12,3	12,7	14,0	13,1	15,1
	> 24	2,9	6,2	2,8	3,2	4,7	2,7
Кош-Агач	< 6	45,5	26,5	46,6	36,0	35,6	41,2
	6-15	47,7	53,1	41,4	45,0	53,3	43,1
	15-24	2,3	14,2	10,3	17,0	6,7	13,7
	> 24	4,5	6,2	1,7	2,0	4,4	2,0

Станция	Длительность, ч	Месяцы						Год
		VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Кара-Тюрек	< 6	28.8	24.8	15.4	16.9	18.4	18.2	21.7
	6-15	42.3	38.6	35.2	28.9	38.6	40.2	40.0
	15-24	21.2	22.1	22.0	23.7	21.9	19.6	20.4
	> 24	7.7	14.5	27.4	30.5	21.1	22.0	17.9
Катанда	< 6	26.9	25.9	27.6	30.5	38.4	39.9	31.4
	6-15	52.2	57.6	52.4	49.6	40.6	37.5	48.9
	15-24	11.9	9.1	12.0	12.7	17.5	19.4	14.3
	> 24	9.0	7.5	8.0	7.2	3.5	3.2	5.4
Кош-Агач	< 6	37.0	38.1	22.6	29.8	40.5	31.8	35.9
	6-15	44.0	42.9	66.0	47.4	40.5	63.6	49.0
	15-24	14.0	16.7	9.4	17.5	16.7	4.6	12.1
	> 24	5.0	2.3	2.0	5.3	2.3	0.0	3.0

Станция	Длительность, ч	Месяцы					
		I	II	III	IV	V	VI
Кызыл-Озек	< 6	14,3	17,7	22,3	21,5	15,7	16,7
	6-15	36,4	43,5	59,6	51,9	56,2	45,8
	15-24	15,6	16,1	13,8	17,7	16,9	27,8
	> 24	33,7	22,7	4,6	8,9	11,2	9,7
Усть-Улаган	< 6	37,7	32,4	27,8	27,3	29,6	33,5
	6-15	46,7	48,3	50,2	53,2	50,7	47,4
	15-24	13,3	14,5	19,1	18,2	17,3	16,4
	> 24	2,3	4,8	2,9	1,3	2,4	2,7
Яйлю	< 6	31,4	33,8	36,2	36,0	38,9	44,0
	6-15	53,5	51,6	49,5	48,0	49,2	47,3
	15-24	10,5	11,2	11,6	13,0	9,0	6,4
	> 24	4,6	3,4	2,7	3,0	2,9	2,3

Станция	Длительность, ч	Месяцы						Год
		VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Кызыл-Озек	< 6	25,0	22,4	16,5	13,0	9,9	15,1	17,5
	6-15	59,7	56,6	59,5	48,1	48,1	24,2	49,1
	15-24	9,7	13,2	19,0	20,8	21,0	25,8	18,1
	> 24	5,6	7,8	5,0	18,1	21,0	34,9	15,3
Усть-Улаган	< 6	34,7	35,8	32,7	26,4	29,9	34,5	31,9
	6-15	42,9	40,4	45,4	47,3	48,3	49,2	47,5
	15-24	17,3	18,1	16,3	20,4	17,6	14,5	16,9
	> 24	5,1	5,7	5,6	5,9	4,2	1,8	3,7
Яйлю	< 6	44,7	45,0	42,0	38,2	36,5	32,2	38,3
	6-15	48,2	49,2	51,2	56,2	54,0	55,0	51,0
	15-24	5,3	4,3	3,8	2,2	6,0	8,2	7,6
	> 24	1,8	1,5	3,0	3,4	3,5	4,6	3,1

Во все сезоны года фёны обычно распространяются по всей территории Горного Алтая, что объясняется общими циркуляционными условиями, благоприятствующими появлению фёнов. Это показал анализ фёнов на станциях, где наблюдается большое количество фё-

нов и наилучшее совпадение дней с фёнами: Кызыл-Озек на севере и Кара-Тюрек на юге Горного Алтая. Однако в зависимости от орографических условий степень развития и проявления фёнов различна. Строгой одновременности в развитии фёнов в различных районах нет. Не все фёны, особенно антициклонические, наблюдающиеся на верхних уровнях гор, достигают днищ долин и котловин. Бывают случаи, когда фёны развиты в долинах, но отсутствуют в водораздельной части хребта, например, некоторые фёны переваливания могут недостаточно проявиться на большой высоте. Однако в 11-19 % случаев появление фёнов отмечается на всех станциях в одни и те же дни.

Чаше это относится к тёплому периоду, когда отсутствуют или ослаблены застойные явления в отрицательных формах рельефа. В холодный период синхронность появления фёнов на всех станциях значительно уменьшается. В январе, например, фёны отмечаются в одни и те же дни на всех 6 станциях в среднем два раза в месяц. Несколько больше наблюдается случаев, когда фёны фиксируются на 4-5 станциях из 6. Число таких случаев достигает 5 за месяц. Лишь в отдельных случаях фёны фиксируются на станциях изолированно. В большинстве случаев они относятся к кратковременным фёнам. В таблице 3.11 отмечены дни с фёнами и их продолжительность на разных станциях в январе 1971 г. Из таблицы видно, что даже в холодный период фёны наблюдаются одновременно (в одни и те же дни) на многих станциях или на всех, хотя начало их отмечается часто в разные сроки, и продолжаются они различные периоды времени.

Сроки начала и конца фена, как на высокогорных станциях, так и в котловинах сравнительно равномерно распределены по времени суток. Это естественно, так как фёны не являются периодическими ветрами, они связаны с синоптическими ситуациями, благоприятствующими их возникновению.

Фёны, связанные с прохождением фронтов, развиваются в разных районах Горного Алтая не одновременно, а по мере прохождения фронта. Интенсивность проявления фёна зависит от характера рельефа, особенностей расположения станций. Различное направление движения фронтов по отношению к хребтам также оказывает влияние на развитие фёнов в разных районах. Можно привести характерный пример 31 июля 1971 г. В этот день фён наблюдался на всех 6 исследуемых станциях перед прохождением тёплого фронта. Сначала фён был отмечен на станции Кара-Тюрек в 03 ч, затем на станциях Катанда, Кызыл-Озек в 06 ч, позднее на станциях Усть-Улаган, Яйлю в 12 ч и Кош-Агач в 16 ч.

Таблица 3.11 - Продолжительность фёнов (часы) в отдельные дни.
Январь 1971 г.

Число	Кара-Тюрек	Катанда	Кош-Агач	Кызыл-Озек	Усть-Улаган	Яйлю
1	21			18		6
3	24			21		3
4	9		9	9		
5	6	6	9	3	3	3
6	18					
8	3	6				6
9						21
10						3
11					9	
12	24			24		24
13	24		9	21	3	6
14			24		18	
15		9			15	
16	24			24		21
17	15		9	6		9
18	24	3	3	18	6	6
19	18			12	3	12
20	6					3
21	12					
22	12					

Примечание. 2, 7, 23-31 января фёны не фиксировались ни на одной станции.

Антициклонические фёны сначала проявляются на более высоких уровнях и с некоторым запаздыванием в долинах, дна котловин они достигают лишь в летнее время в дневные часы, когда отсутствует застой холодного воздуха. Так 31 июля 1972 г., когда Алтай находился под влиянием антициклона, центр которого располагался к северо-востоку от Горного Алтая с давлением в центре 1015 гПа, на станциях Горного Алтая наблюдался антициклонический фён. В 00 ч нисходящие движения достигли станции Кара-Тюрек, в 03 ч – станций Кызыл-Озек, Яйлю, и в 06 ч фён проявился в котловинах на станциях Катанда, Усть-Улаган, Кош-Агач.

3.4. Особенности фёнов высокогорного Алтая в летний период

В связи с очень редкой сетью метеорологических станций в высокогорной части Алтая особое значение приобретают экспедиционные исследования, проводимые ледниковыми экспедициями Томского госуниверситета. Авторами широко использованы полевые наблюдения за фёновыми явлениями в горно-ледниковом бассейне Актру (Северо-Чуйский хребет). В бассейне Актру для анализа фёновых явлений созданы уникальные возможности, позволяющие выявить динамику фёнов на различных высотных уровнях, особенности их проявления и влияние на различные виды высокогорного ландшафта ледникового бассейна. Для сравнения были организованы наблюдения в ряде соседних бассейнов: Корумду, Талдура, Кубадру и др. (рисунок 3.1).

3.4.1. Сеть станций и пунктов наблюдений в бассейне Актру

В горноледниковом бассейне Актру с начала выполнения программы Международный Геофизический Год (1957-1959 гг.) велись комплексные гляциогидроклиматические исследования.

С августа 1971 г. экспедиционная станция Актру вошла в состав Западно-Сибирского управления по гидрометеорологии и стала вести круглогодичные наблюдения.

В бассейне Актру, наряду с выполнением метеорологических наблюдений по международным программам (МГГ, МГД, МГП, Колебания ледников и др.) большое внимание уделялось климатическому изучению горной страны в целом, и в частности, фёнам. Большая заслуга в широком изучении климата Горного Алтая принадлежит М.В. Тронову.

Для изучения климатических особенностей типичного высокогорного района в бассейне Актру была организована целая сеть метеорологических станций и пунктов наблюдений (рисунок 3.3).

Наиболее полные комплексные наблюдения велись на станциях Актру, Учитель, Верхняя Актру, ледник Малый Актру. Комплекс наблюдений включал в себя стандартные метеорологические, актинометрические, градиентные, а также эпизодические аэрологические наблюдения. В большинстве остальных пунктов наблюдения велись в отдельные сроки, а для непрерывной регистрации температуры и влажности воздуха применялись метеорологические самописцы температуры и относительной влажности воздуха. Таким образом, в бассейне Актру были охвачены наблюдениями различные высотные уровни: от 2150 м – базовая (опорная) станция Актру, до 3550 м –

вершина Купол, что почти на 1000 м выше, чем самая высокогорная сетевая станция Кара-Тюрек.



Рисунок 3.3 - Схема расположения метеорологических станций и пунктов наблюдений в бассейне р. Актру

- | | |
|-----------------------------------|-------------------------------|
| 1. Актру, 2150 м | 9. Граница леса, 2300 м |
| 2. Учитель, 3050 м | 10. Склон, 2600 м |
| 3. Верхняя Актру, 2850 м | 11. Кедровая площадка, 2300 м |
| 4. Малый Актру, ледник, 2340 м | 12. Скальный склон, 2400 |
| 5. У ледника Малый Актру, 2280 м | 13. Вершина, 3300 м |
| 6. Ледопад, 2550 м | 14. Вершина Купол, 3550 м |
| 7. Ледник Правый Актру, 2550 м | 15. Вершина Передовая, 3400 м |
| 8. У ледника Правый Актру, 2450 м | |

Сеть метеорологических станций в Актру была организована с учётом разнообразных форм рельефа, разных видов подстилающей поверхности, в том числе и на ледниках. К сожалению, наибольшее количество наблюдений в бассейне Актру относятся к летнему периоду, за исключением станции Актру. На станции Учитель, расположенной на перевале, в холодный период наблюдения проводились лишь в 1977-1978 гг. С.В. Харламовым.

3.4.2. Характеристика фёнов в долине Актру

Долина Актру характеризует климат крутых поперечных долин с очень уменьшенными годовыми, но в то же время большими суточными амплитудами температуры воздуха. Термический режим характеризуется прохладным летом (таблица 3.12).

Таблица 3.12 - Средние значения температуры и влажности воздуха в бассейне Актру

Характеристика	Месяц	Пункты наблюдения			
		Актру, 2150 м	Учитель, 3050 м	Граница леса, 2300 м	Скальный склон, 2400 м
Температура воздуха, °С					
средняя	Июнь	8,4	3,0	8,4	-
	Июль	9,7	4,5	9,4	9,9
	Август	7,9	3,1	8,3	8,0
средняя максимальная	Июнь	14,5	6,6	13,6	-
	Июль	15,9	8,3	14,9	13,7
	Август	14,4	6,8	13,7	11,4
средняя минимальная	Июнь	2,7	-0,9	4,4	-
	Июль	4,0	1,2	5,7	7,3
	Август	2,7	-0,5	4,5	5,5
Относительная влажность, %					
средняя	Июнь	64	73	67	-
	Июль	71	82	74	73
	Август	70	79	72	71
минимальная	Июнь	9	36	18	-
	Июль	16	30	24	22
	Август	18	32	27	25
Число дней с относительной влажностью					
≤ 30 % в любой срок	Июнь	5	0	4	-
	Июль	3	0	2	2
	Август	3	0	1	1
≥ 80 % в 13 ч	Июнь	6	20	10	-
	Июль	8	22	12	13
	Август	5	21	11	12

Примечания: 1. Данные по пункту «Скальный склон» приведены за период 1974-1975 гг. 2. По остальным станциям температура воздуха приведена к многолетнему периоду по [46], значения относительной влажности воздуха даны за период 1972-1978 гг.

Абсолютные сезонные максимумы температуры очень устойчивы и колеблются от 22,3 °С до 25,5 °С. Они связаны с фёнами при ясной погоде.

Суточные колебания температуры большие 11-12 °С (рисунок 3.4), что связывается с высокими дневными температурами, меньшую роль играют ночные скопления холодного воздуха.

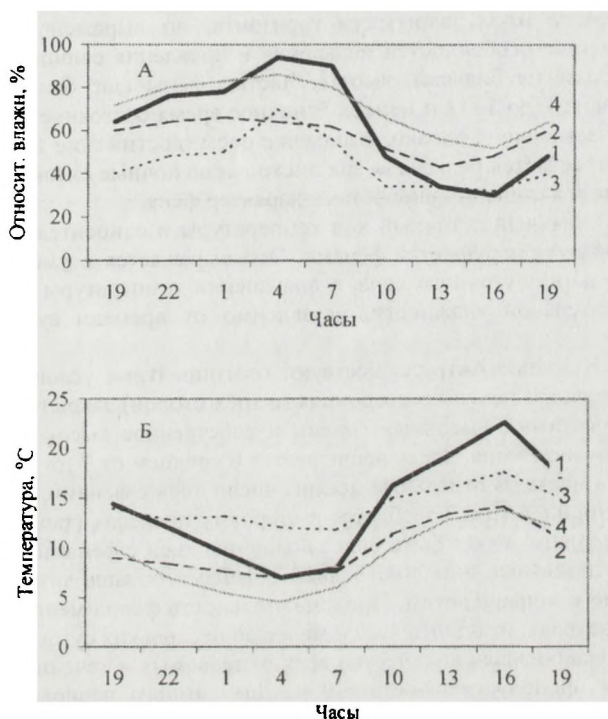


Рисунок 3.4 - Ход метеорологических величин при фёне 31 июля 1973 г. и в среднем в бассейне Актру

Условные обозначения:

А – относительная влажность воздуха; Б – температура воздуха;
 1 - Актру; 2 – Учитель; 3 – ледник Малый Актру (все за 31 июля);
 4 – Актру, средние значения за июль.

Минимальные значения температуры отмечаются перед восходом солнца в 5-6 ч, максимальные - в послеполуденные часы 15-16 ч. В дни с небольшой облачностью и без осадков ночью часто возникают инверсии температуры за счёт застоя воздуха в долине.

Относительная влажность воздуха в долине Актру в течение лета довольно велика – в среднем около 70 % (таблица 3.12), что значительно больше, чем в широких межгорных котловинах и долинах (Чуйская, Катандинская, Уймонская). Дневное снижение влажности укорочено из-за закрытости горизонта, но выражено очень резко вследствие особенностей испарения и появления солнца из-за гребня гор сразу на большой высоте. Частые фёны ещё больше снижают влажность (до 30 % и менее). В ночное время состояние воздуха близко к насыщению, однако, выпадение росы (достижение 100 % влажности) отмечается редко, так как нисходящие ночные склоновые ветры в некоторой степени приобретают характер фёна.

Обычный суточный ход температуры и относительной влажности воздуха нарушается фёнами. Это выражается в уменьшении амплитуды их суточного хода, в повышении температуры и понижении относительной влажности, независимо от времени суток (рисунок 3.5).

В долине Актру существуют благоприятные условия для фёнообразования: почти всесторонняя (с трёх сторон) закрытость горизонта окрестными высокими горами и собственное высокое положение над уровнем моря. Здесь наблюдается в среднем от 7 до 12 дней с фёнами в месяц. В отдельные месяцы число дней с фёнами, как и по всей территории Алтая, колеблется в широких пределах (таблица 3.13). В одни месяцы может быть более половины дней с фёнами, а в другие – лишь отдельные дни. Число дней с фёнами больше зимой, весной и осенью и меньше летом. Продолжительность фёнов меняется в широких пределах: от одного часа и менее до нескольких суток подряд.

Наибольшее количество всех отмечаемых в течение года фёнов имеют продолжительность 6-9 ч. Для зимнего периода характерна большая продолжительность фёнов, по сравнению с остальными сезонами, большие скорости ветра (6-7 м/с), наиболее резкие колебания температуры воздуха на 10-15 °С и понижение относительной влажности на 25-35 %.

Весной и осенью фёны характеризуются меньшими скоростями ветра (3-5 м/с), температура воздуха повышается на 7-12 °С, влажность воздуха достигает более низких значений, чем зимой.

Летом при фёнах относительная влажность может достигать самых низких значений, по сравнению с другими сезонами, 15-20 %. Колебания температуры в летний период меньше и обычно не превышают 5-10 °С.

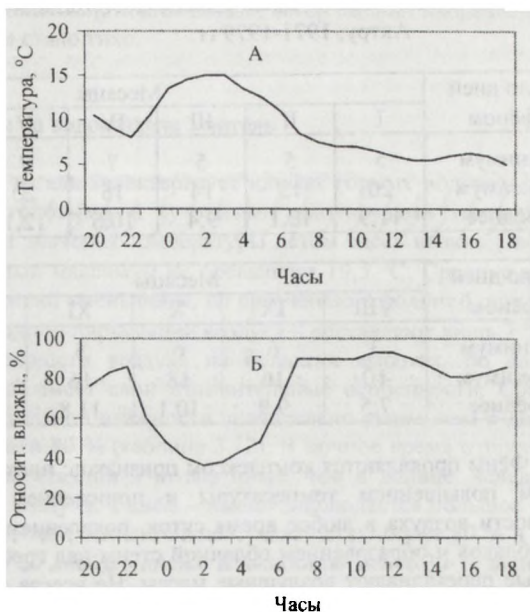


Рисунок 3.5 - Ход метеорологических величин при ночном фёне 9 июня 1968 г. на станции Актру

Условные обозначения:

А – ход температуры воздуха, °C;

Б – ход относительной влажности, %.

Направление ветра при фёнах во все сезоны преимущественно южной четверти, с верховьев бассейна. В летнее время ночные фёны сопровождаются большими скоростями ветра, чем днем. Это объясняется тем, что фёновый ветер ослабляется или перебивается встречным долинным ветром, ночью же, наоборот, усиливается горным и ледниковым ветрами.

Во все сезоны, кроме лета, характерны фёны, сопровождающиеся либо ясной погодой, либо небольшой облачностью. Летом при фёнах наблюдается больше облаков, особенно над гребнями гор. Однако следует иметь в виду, что характеристика облачности из-за высокой степени закрытости горизонта носит локальный характер, для объективной оценки облачности целесообразнее использовать её характеристики с более высокогорной станции, например, станции Учитель.

Таблица 3.13 - Число дней с фёнами в горноледниковом бассейне Актру, 1971-1979 гг.

Число дней с фёном	Месяцы						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
Минимум	5	5	5	7	7	5	2
Максимум	20	15	14	16	20	12	10
Среднее	11,9	10,1	9,4	10,6	12,1	8,8	8,2

Число дней с фёном	Месяцы					Год
	VIII	IX	X	XI	XII	
Минимум	3	6	6	5	1	-
Максимум	10	16	18	16	12	-
Среднее	7,5	9,9	10,1	11,8	10,2	120,6

Фёны проявляются комплексом признаков: нисходящим ветром, резким повышением температуры и понижением относительной влажности воздуха в любое время суток, появлением чечевицеобразных облаков и образованием облачной стены над гребнями гор, через которые переваливают воздушные массы. Не всегда фёны выражены во всех признаках, возможны их разные сочетания. Типичный фён, по наблюдениям в бассейне Актру, протекает следующим образом. Сначала появляются чечевицеобразные облака над долиной, в течение нескольких часов они находятся на одном месте, но быстро меняют свою форму и размеры. Одновременно натекают перисто-слоистые облака верхнего яруса, появляется ветер южного направления, то есть вниз по долине. С наветренной стороны образуются облачные валы, и постепенно формируется сплошная «стена» облаков, как бы стоящая на одном месте. При этом с наветренной стороны происходит поступление влажного воздуха, а на подветренной – испарение облачных элементов. Над гребнями гор из «облачной стены» иногда выпадают осадки. Метеорологические станции и пункты наблюдений фиксируют резкое повышение температуры независимо от времени суток и понижение относительной влажности воздуха. Фёновый поток в дневное время может на короткое время перебиваться встречным долинным ветром. При этом возникают фёнопаузы. В подобных случаях для фёнов характерна порывистость. Фёны в ночное время сопровождаются устойчивым ветром с большими скоростями. На рисунке 3.4 приведён пример фёна 31 июля 1973 г. Фён начался около 7 ч и продолжался до 19 ч. Во время фёна температура воздуха в долине повысилась до 22,5 °С, а относительная влажность снизилась до 30 %, весь день был порывистый ветер юго-западного направления со скоростью

6-7 м/с. К концу фёна образовалась значительная облачность нижнего яруса (слоисто-дождевая), пошёл дождь, ветер сменил направление на северное, а затем стало тихо.

3.4.3. Фёны на водоразделе Учитель

Станция Учитель характеризует климат горных водоразделов с уменьшенными годовыми и суточными амплитудами температуры воздуха. Средние значения температуры летом здесь низкие (таблица 3. 12). Абсолютный максимум не превышает 19,5 °С. Средние суточные амплитуды резко уменьшены, по сравнению с долиной, под влиянием более свободной циркуляции воздуха и составляют лишь 7 °С.

Режим влажности воздуха на больших высотах, по данным станции Учитель, имеет свои отличительные особенности. Средние значения относительной влажности значительно выше, чем в долине, и составляют около 80 % (таблица 3.12). В ночное время относительная влажность на станции Учитель ниже, чем в долине, вследствие стока холодного воздуха, а днём – выше. Наблюдается большое количество дней с высокой относительной влажностью более 80 % в дневное время (более 20 дней), а дней с влажностью менее 30 % за период наблюдений не зафиксировано вовсе, в связи с сильной увлажненностью подстилающей поверхности. Однако и здесь наблюдаются фёны, но проявляются они иначе, чем в долине. Очень наглядно это можно проследить не только по наблюдениям в метеорологические сроки, но и при просмотре записей термографов и гигрографов, позволяющих определять начало и конец фёновых явлений с точностью до минут. Записи термографов и гигрографов позволяют также выделять кратковременные фёны и фёнопаузы, а также экстремальные значения температуры и влажности воздуха при фёнах. В отдельных случаях начало и конец фёнов на водораздельной и долинной станциях не совпадают по времени. При инверсионном распределении температуры над долиной, фёны могут наблюдаться только на верхних уровнях и не достигать дна долины при не очень бурных фёнах. В других случаях фёны могут чётко проявляться на дне долины, и быть недостаточно ярко выделенными в водораздельной части. Это зависит от конкретной синоптической ситуации.

При сравнении свойств фёнов на дне долины (станция Актру) и на водоразделе (станция Учитель) можно сделать следующие выводы. Фёны в дневное время гораздо ярче проявляются на дне долины. Это выражается в резком снижении относительной влажности при фёнах в среднем до 40 % и значительном повышении температуры воздуха. На станции Учитель повышение температуры воздуха при фёнах меньше

на 2-3 °C (рисунок 3.4), а значения относительной влажности, как правило, не отмечаются ниже 30 % (таблица 3.12). Такая особенность проявления фёнов на разных высотных уровнях характерна для фёнов переваливания, сопровождающихся энергичным опусканием воздуха и псевдоадиабатическим сжатием его. Отсутствие очень низких значений относительной влажности при фёнах над станцией Учитель отчасти может быть объяснено повышенным влагосодержанием над ней. В июле средняя упругость водяного пара на станции Учитель составляет 7,0 гПа, почти столько же, как на станции Кара-Тюрек, расположенной на 400 м ниже. Высокой увлажнённости воздуха на станции Учитель благоприятствует наличие талых вод от рядом расположенных ледника и снежника. Этому также способствует расположение её в ветровой тени и вынос влажного воздуха восходящими потоками из долины в дневное время. Сочетание этих факторов обеспечивает формирование в летний период над этим водораздельным участком локальной облачности, способствующей удивительной стабильности присклонового ледника, находящегося рядом, и своеобразному проявлению фёновых явлений.

3.4.4. Проявление фёнов на ледниках

Особенности ледниковых климатов описаны во многих работах [41, 82, 107, 109 и др.]. Они заключаются в следующем. На ледниках наблюдается сглаженный годовой и суточный ход температуры, особенно в средней и верхних частях ледников. Средняя температура воздуха над ледниками более низкая, чем в долине (таблица 3.12, 3.14), что обусловлено холодной подстилающей поверхностью. Амплитуда суточного хода температуры воздуха на языке ледника Малый Актру составляет около 7 °C, на леднике Левый Актру – 6 °C, что значительно меньше, чем в долине, так как нет застоя холодного воздуха, а дневной прогрев сильно ослаблен. При переходе с неледниковой поверхности на ледник отмечается скачок температуры воздуха. Для ледников средних размеров, как в бассейне Актру, он составляет около 2 °C.

Вертикальные градиенты температуры воздуха на ледниках велики, особенно в зоне абляции (до 2,0 °C/100 м), вследствие отопляющего влияния долинного ветра; в верхней части ледника они составляют 0,67-0,70 °C/100 м. Характерно наличие инверсии температуры до 2,5 °C в слое ледникового ветра.

Большую роль в формировании режима влажности воздуха на ледниках играет ледниковый ветер, его нисходящие потоки в ночное время снижают относительную влажность, по сравнению с долиной.

Днём относительная влажность над ледником всегда выше, чем в долине из-за сниженных температур воздуха. Большое влияние на термический режим и на влажность воздуха над ледниками оказывает смена местных ветров: смена ледникового ветра долинным на леднике Малый Актру сопровождается повышением температуры и относительной влажности, наоборот, смена долинного ветра ледниковым – понижением температуры и влажности (изменения температуры в среднем составляют от 1 до 1,5 °C, изменения относительной влажности могут достигать 20-22 % [82, 91]). В среднем в летние месяцы относительная влажность на ледниках примерно такая же, как и в долине – около 70 % (таблица 3.14).

Таблица 3.14 - Средние значения температуры и относительной влажности воздуха на ледниках Актру

Характеристика	Месяц	Пункты наблюдения				
		ледник Малый Актру, 2340 м	ледопад Малый Актру, 2550 м	вершина Купол, 3550 м	ледник Правый Актру, 2550 м	Верхняя Актру, 2850 м
Температура воздуха, °С						
средняя	Июнь	7,6	4,0	-2,6	5,7	3,1
	Июль	8,9	5,2	-0,7	7,2	4,2
	Август	7,4	4,5	-2,5	5,4	3,3
средняя максимальная	Июнь	11,3	7,6	1,0	9,0	6,3
	Июль	12,8	9,1	2,9	10,5	8,0
	Август	11,1	8,1	1,4	9,3	7,7
средняя минимальная	Июнь	4,3	1,3	-4,8	2,3	-0,2
	Июль	5,5	3,2	-3,0	3,8	1,7
	Август	4,5	2,3	-4,3	2,4	-0,3
Относительная влажность, %						
средняя	Июнь	68	-	-	-	-
	Июль	71	-	-	74	76
	Август	69	-	-	72	75
минимальная	Июнь	30	-	-	-	-
	Июль	32	-	-	31	40
	Август	29	-	-	33	37

Примечания:

1. Температура воздуха приведена к многолетнему периоду [45].

2. Значения относительной влажности воздуха приведены на ледниках Малый Актру и Правый Актру за период 1972-1978 гг.

3. Значения относительной влажности по станции Верхняя Актру даны за период 1957-1959 гг. [110].

Проявление фёнов на ледниках имеет свои отличительные особенности. Они заключаются в следующем. Продолжительность фёнов на ледниках несколько больше, чем в долине. В связи с тем, что ледники приближены к гребням хребтов, через которые происходит переваливание воздушных масс, фёны здесь начинаются раньше. Фёновому потоку в дневные часы, не приходится преодолевать противодействие долинного ветра, в отличие от долины. Долинные ветры могут достигать только нижней части языка ледника Малый Актру [82, 91]. В ночное время над ледниками нет застоя холодного воздуха, препятствующего проникновению фёнов. По этим же причинам на ледниках наблюдается меньше фёнопауз.

На ледниках скорости ветра при фёнах больше, а порывистость меньше, чем в долине, так как ледниковая поверхность более гладкая, имеет большой уклон. Усилению ветра способствует также совпадение по направлению ледниковых и фёновых ветров. На ледниках Малый Актру и Правый Актру фёны имеют южное направление, а на леднике Левый Актру – западное, что связано с ориентацией его долины.

Температура воздуха при фёнах может достигать высоких значений, 17-20 °С на языке ледника Малый Актру (рисунок 3.4). Максимальные температуры на ледниках на несколько градусов меньше, чем на неледниковой поверхности бассейна на той же высоте, в связи со скачком температуры и увеличенными затратами тепла на таяние и испарение.

Относительная влажность воздуха при фёнах не опускается до таких низких значений, как в долине. Минимальное значение её составляет 29-30 % (таблица 3.14), вследствие более низких температур воздуха и тающей холодной ледниковой поверхности.

Над верхними частями ледников при фёнах переваливания, как правило, образуются мощные «облачные стены», из которых в отдельных случаях могут выпадать капли дождя, переносимые сильным потоком воздуха даже в долину. Наблюдения на приледниковых площадках у ледников Малый Актру и Правый Актру показали, что вблизи ледников проявление фёнов носит промежуточный характер между ледником и долиной. Им свойственны усиление ветра, как на леднике, однако температура воздуха может достигать более высоких значений, а относительная влажность – более низких, чем на ледниках.

3.4.5. Фёны в разных горноледниковых бассейнах

Горноледниковый бассейн Актру считается репрезентативным для высокогорного Алтая [106, 107]. Бассейн Актру типичен по орографическим признакам, по условиям залегания крупных ледников, по формированию полноводной реки с ледниковым питанием, по ландшафтным признакам. Несомненная причина такой многообразной типичности заключается в однотипной крупномасштабной разработке рельефа мощными древними ледниками. Высота снеговой границы в бассейне Актру находится на высоте около 3000 м (средняя между крайними на Алтае значениями 2400 и 3400 м) [106]. Высота границы леса находится на высоте 2300 м. В высокогорном Алтае имеется много подобных бассейнов, в которых сосредоточены крупные ледники. Климатические условия в бассейне Актру типичны и характеризуют тип климата внутренних горноледниковых узлов Алтая. Об этом можно судить по большому комплексу географических признаков и при помощи непосредственного сравнения данных наблюдений в разных горноледниковых бассейнах. Климатическая репрезентативность бассейна Актру по отношению к высокогорному Алтаю сейчас может считаться доказанной большим числом сравнительных данных.

Районы сравнительных исследований в горноледниковых бассейнах Алтая представлены на рисунке 3.1, а характеристика расположения их в таблице 3.15, станции Актру, Аккем, Кара-Тюрек описаны в приложении 1. Сравнительные наблюдения в разных бассейнах на северных склонах самых высоких хребтов: Актру-Аккем [73, 104], Актру-Мульты [73], Актру-Корумду [74], Актру-Талдура [74], Актру-Кубадру [43] подтвердили высокую степень репрезентативности по термическому режиму, по влажности воздуха, по ветровому режиму, по осадкам.

Анализ повторяемости фёнов в бассейнах Актру и Аккем, а именно: в долинах (станции Актру и Аккем) и на водоразделах (станции Учитель, Кара-Тюрек), показал, что число дней с фёнами близко в соответствующих формах рельефа (таблица 3.6). Здесь создаются условия для интенсивно выраженных фёновых явлений. Однако в долине Аккема и на станции Кара-Тюрек фёны отмечаются несколько чаще, в результате большей вертикальной мощности орографического барьера. И в характере проявления фёнов имеются некоторые особенности. В летний период на станции Аккем фёны проявляются слабее: максимальные температуры ниже, относительная влажность выше, чем на станции Актру, вследствие влияния холодного Аккемского озера. На станции Кара-Тюрек фёны выражены лучше, чем на станции Учитель, где летом сказывается высокое увлажнение подстилающей поверхности.

Проявление фёнов в бассейне р. Мульты слабее, чем в Актру и Аккеме: окружающие бассейн Мульты горы значительно ниже и в меньшей степени замыкают бассейн.

В ближайшем к бассейну Актру горноледниковом бассейне Корумду фёны выражены днём несколько хуже, чем в Актру, вследствие большей увлажнённости воздуха (дно долины покрыто травой, и протекает много ручьёв). В ночное время фёны могут проявляться лучше, чем в Актру, из-за отсутствия застоя холодного воздуха, вследствие более низких бортов и большего уклона дна долины. По количеству и формам облаков бассейны почти не различаются, местные ветры носят сходный характер. Непосредственные наблюдения показали, что количество фёнов одинаково в обоих бассейнах.

Таблица 3.15 - Краткая характеристика районов проведения сравнительных наблюдений в горноледниковых бассейнах

Пункт наблюдений	Высота, м	Общий со станцией Актру период наблюдений	Характеристика расположения
Кубадру	2060 (долина)	11-31 VII-67 г. 1-30 VIII-67 г. VII-VIII-68 г.	Северная сторона Курайских Альп. Долина р. Кубадру, ССЗ направления. Ширина долины 300 м. Склоны крутые высотой 2400-2800 м.
Корумду	2180 (долина) 2650 (ледник)	VII-VIII-75 г. VIII - 76 г. VII-VIII-77 г.	Северный склон Северо-Чуйского хребта. Долина р. Корумду, ССВ направления, закрыта с трёх сторон. Склоны крутые. Максимальная абсолютная высота гребней гор до 4050 м.
Талдура	2350 (долина) 2650 (ледник)	VII - 77 г.	Северный склон Южно-Чуйского хребта. Долина р. Талдуры. Ориентирована с ЮЗ на СВ. Максимальная абсолютная высота вершин 4200 м
Мульта	1750 (долина) 2500 (ледник) 2350 (ледник)	VI-VIII 69-73 г. VI-71-VIII-72 г. VI-VIII-69 г. VI-IX-70 г. VI-IX-71 г. VI-VII-72 г. VI-VII-73 г.	Западная часть Катунского хребта. Долина р. Мульты. Ширина 800 м. Ориентирована с Ю на С. Средняя глубина расчленения 700 м, в истоках -900-1000 м. Склоны крутые.

Долина р. Талдуры отличается от долины р. Актру большей сухостью воздуха, примерно на 10 %. Об этом же говорит и более угнетенный вид растительности, преобладает менее влаголюбивая лиственница. Средние температуры воздуха, по сравнению с Актру, на 1-1,5 °С выше, несмотря на большую абсолютную высоту местности. Высокие гребни Южно-Чуйского хребта, замыкающие долину р. Талдуры, в сочетании с повышенными температурами воздуха и низкой влажностью, обеспечивают очень интенсивное проявление фёнов.

В связи с меньшими высотами, в долине р. Кубадру развитие фёнов несколько слабее. Для этого бассейна характерен меньший дневной прогрев и меньшее охлаждение ночью, а также несколько увеличенное количество облачности и осадков, по сравнению с долиной р. Актру. В остальном климатические условия этих бассейнов в большой мере совпадают. Тесная связь значений средних суточных и срочных значений температуры воздуха и влажности [43, 74] в разных бассейнах, по сравнению с Актру, говорит о том, что в летнее время количество фёнов в бассейнах практически одинаково, и они оказывают сходное влияние. Поэтому детально исследованные свойства фёнов в бассейне р. Актру могут быть перенесены на другие горноледниковые бассейны Алтая, расположенные в сходных орографических условиях. Аналогичный вывод можно распространить и непосредственно на ледники.

3.5. Вертикальная структура фёнов

Для изучения вертикальной структуры фёнов в бассейне р. Актру неоднократно проводились экспедиционные аэрологические наблюдения в летний период. В 1963, 1965, 1967 гг. проводились шаропилотные наблюдения в долине р. Актру и у ледника Малый Актру под руководством В.И. Слуцкого [87]. В 1972-1975 гг. авторами работы проводилось комплексное температурно-ветровое зондирование атмосферы с помощью привязного радиозонда и шаров-пилотов в различных частях бассейна р. Актру.

Результаты летних шаропилотных наблюдений 1972-1975 гг. в бассейне Актру (всего было сделано более 250 выпусков) показали, что ветровая стратификация при фёнах имеет свои отличительные черты. В большинстве случаев при фёне наблюдается постоянный юго-западный поток от земли до значительных высот (рисунок 3.6). Этот поток на высотах более 1000 м над дном долины, выше гребней хребтов, сливается с градиентным ветром. Точно установить верхнюю границу фёнового потока не представляется возможным, так как в данном случае направление (юго-западное) его совпадает с направле-

нием градиентного ветра. Тем не менее, можно заметить, что вертикальная мощность его в среднем не менее 1,5 км, поскольку фёны регистрируются на самых верхних пунктах метеорологических наблюдений (вершина, 3300 м, вершина Передовая, 3400 м, Купол, 3550 м).

Замечено, что в некоторых случаях фён может не достигать поверхности земли. При слабых фёнах или при сильном долинном ветре, юго-западный поток начинается с высоты 100-200 м, а ниже у земли отмечается долинный ветер, направленный в противоположную сторону.

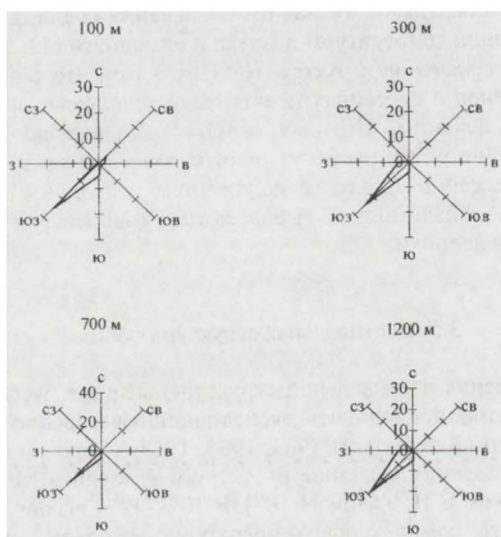


Рисунок 3.6 - Средние розы ветров на различных высотах над поверхностью земли при фёнах в долине Актру. Июнь-август 1972-1975 гг.

Скорость ветра при фёнах обычно быстро растёт с высотой (рисунок 3.7) и на уровне 700-900 м достигает своих максимальных значений 15-20 м/с. Средняя максимальная скорость фёнового потока в

Актру составляет около 10 м/с. Этим отличаются фёны от аномальных, вниз по долине ветров, которые характеризуются тоже юго-западным направлением, но малыми скоростями, как указано в [87].

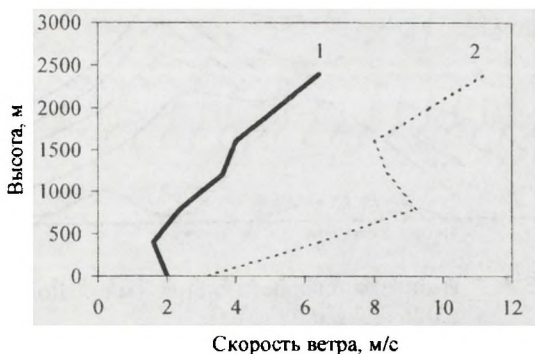


Рисунок 3.7 - Вертикальный профиль средней скорости ветра (1) и при фёнах (2) в долине Актру. Июнь-август 1972-1975 гг.

Для среднего профиля скорости ветра в Актру характерно уменьшение её на высоте 400-600 м в зоне перехода долинного ветра в противотечение (рисунок 3.7). Сходные черты вертикального профиля скорости ветра выделены при исследовании фёнов в Рионской [26], Ахангаранской [17, 116], Ферганской [116] долинах, в Батуми [49].

Особенности изменения скорости ветра на высотах в пограничном слое атмосферы за определённый отрезок времени при фёне и при его отсутствии наглядно видны на примерах, представленных на рисунках 3.8, 3.9, по данным шаропилотных наблюдений в долине р. Актру.

25 и 26 июля 1972 г. ситуация, благоприятная для развития фёна не наблюдалась: юг Западной Сибири и Алтай находились в условиях размытого барического поля. В этот период отмечались небольшие скорости ветра, не более 3 м/с, до высоты 1400 м над долиной. Стояла облачная влажная погода, на станции Актру отмечалась относительная влажность 98-64 %, температура воздуха не поднималась днём выше 13,2 °С, ночью опускалась до 3,8 °С.

15 июля 1972 г. наблюдалась совершенно иная картина. С прохождением холодного фронта было связано возникновение фёна в долине р. Актру в этот день.

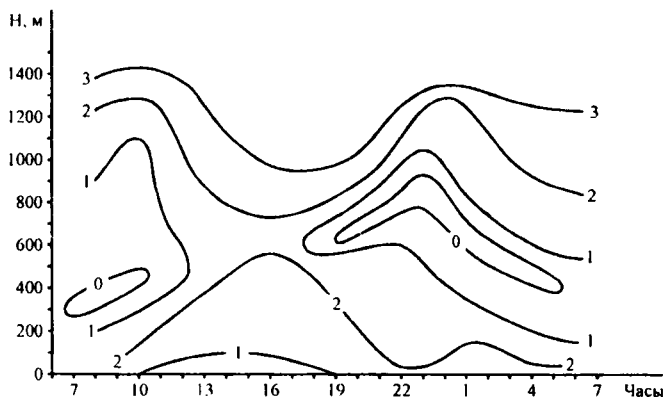


Рисунок 3.8 - Изоплеты скорости ветра (м/с). Долина р. Актру. 25-26 июля 1972 г.

В 10 ч отмечено юго-западное направление ветра до значительной высоты, которое изменялось лишь в 13 и 16 ч в нижнем 200-метровом слое на северное и северо-восточное, когда долинный ветер пересиливал фёновый поток. Скорость ветра быстро увеличивалась с высотой от 2 м/с на высоте флюгера, до 10 м/с на высоте около 400 м и далее почти не изменялась до высоты 800 м над дном долины.

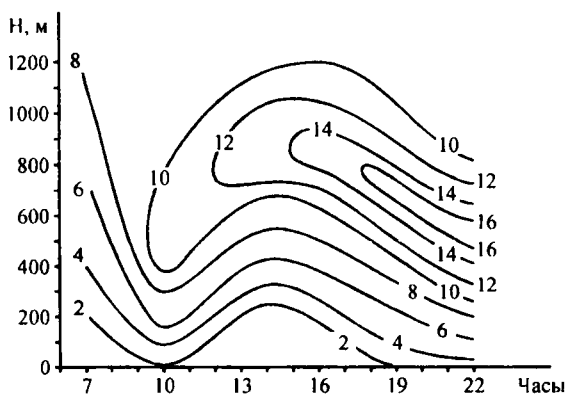


Рисунок 3.9 - Изоплеты скорости ветра (м/с) при фёне. Долина р. Актру. 15 июля 1972 г.

На станции Актру фён проявился в снижении относительной влажности от 90 % в 04 ч до 50 % в 10 ч, в повышении температуры воздуха на 5 °C (от 3,9 ° до 8,9 °C) за этот же период времени.

Днём в 13 и 16 ч фён был слабо выражен: температура воздуха составила 11,2 °C, относительная влажность - 46 %, облачность - 9 баллов. У земли отмечались небольшие скорости ветра (менее 2 м/с до высоты 100-200 м над долиной), изоплеты скорости ветра в дневные часы приподняты, по сравнению с положением их в 10 ч: сказывается влияние долинного ветра, тормозящего фёновый поток. После прекращения долинного ветра к 19 ч фён ярко проявлялся, как в характере изоплет скорости ветра, так и в значениях температуры и относительной влажности воздуха. Скорость резко возросла с высотой: от 4 м/с до 16 м/с. Максимальные скорости ветра наблюдались на высоте 600-800 м над дном долины, выше - скорость ветра уменьшилась.

Температура воздуха 11,2 °C не изменилась к этому времени, относительная влажность понизилась до 45 %. В 01 ч 16 июля фён закончился, установилась безветренная пасмурная погода, температура воздуха резко понизилась до 6,1 °C, а относительная влажность повысилась до 80 %.

Распределение температуры и относительной влажности воздуха с высотой при фёнах в бассейне Актру изучалось с помощью привязных радиозондов. Организация и методика проведения аэрологических исследований в экспедиционных условиях изложены в работах [89, 92]. Некоторые результаты зондирования приводятся в работах [80, 82]. Анализ данных радиозондирования при фёнах в Актру делается впервые. Всего было сделано около 100 подъёмов радиозонда, из них 24 – при фёнах (18 – над долиной и 6 над ледником Малый Актру). Средняя высота зондирования при фёнах составила около 500 м, тогда как при горно-долинной циркуляции высота подъёмов достигала 1000-1100 м над дном долины или 3300 м абсолютной высоты. Следует отметить, что проведение наблюдений за температурой и относительной влажностью воздуха во время фёнов с помощью привязного радиозонда очень затруднено, а при сильных фёнах и невозможно из-за больших скоростей ветра. Нередко попытки радиозондирования при сильных ветрах приводили к обрывам капронового шнура и потере радиозонда вместе со специально изготовленными миниатюрными радиопередатчиками и оболочками из полиэтиленовой плёнки.

На рисунках 3.10-3.11 приводятся примеры распределения температуры и относительной влажности с высотой при фёнах над долиной Актру и над ледником Малый Актру, когда было возможно зондирование атмосферы. К сожалению, эти фёны не очень хорошо выражены или находятся в начальной или конечной стадии развития. Средние величины вертикального градиента температуры при фёнах в

слое 2-500 м меньше, чем при ясной погоде (таблица 3.16), то есть наблюдается более медленное понижение температуры воздуха. Особенно большое различие вертикального градиента в нижнем 100-метровом слое. Особенностью вертикального распределения температуры в исследуемых случаях с фёнами является наличие в нижнем 200-метровом слое отдельных тонких слоёв инверсии или изотермии мощностью 50-100 м.

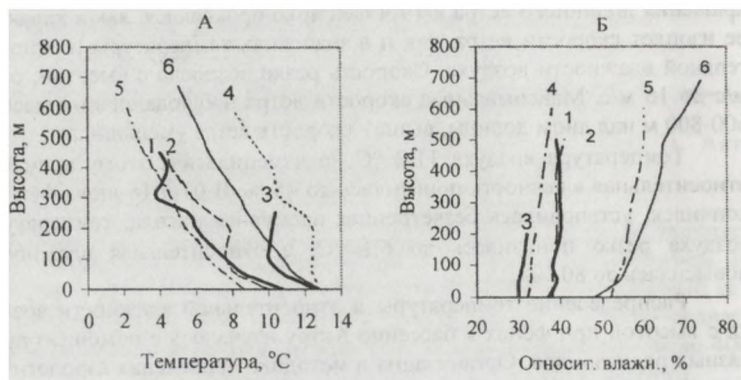


Рисунок 3.10 - Распределение температуры (А) и относительной влажности воздуха (Б) с высотой при фёнах над долиной Актру

Условные обозначения:

1. Фён 3 июля 1973 г., 16 ч;
2. Фён 3 июля 1973 г., 18 ч;
3. Фён 7 августа 1973 г., 11 ч;
4. Фён 9 июля 1973 г., 21 ч;
5. Среднее распределение днём в июле;
6. Ясный день без фёна 29 июля 1973 г., 11 ч.

При зондировании над ледником Малый Актру было установлено инверсионное распределение температуры при фёнах более интенсивное, чем в других ситуациях, в нижнем 100-метровом слое (рисунок 3.11). Своеобразным оказывается вертикальное распределение от-

носительной влажности воздуха при фёнах: она либо не изменяется с высотой, либо лишь незначительно повышается до 500-600-метровой высоты над долиной. Таким образом, низкая влажность воздуха 30-40 % сохраняется от земли до высокого уровня, в отличие от среднего распределения относительной влажности и распределения при ясной погоде (рисунок 3.10). Величины вертикального градиента относительной влажности при фёнах меньше, чем средние и при ясной погоде (таблица 3.17). Над ледником при фёнах в нижнем 50-100-метровом слое происходит понижение относительной влажности, и выше она почти не изменяется, оставаясь низкой до 600 м над поверхностью ледника (рисунок 3.11). В ясные дни без фёнов и в среднем отмечают более высокие значения относительной влажности.

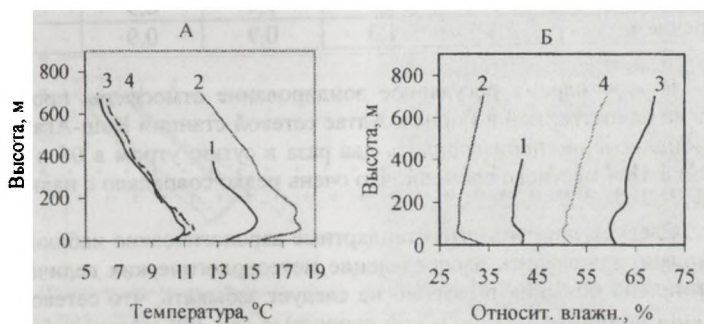


Рисунок 3.11 - Распределение температуры (А) и относительной влажности воздуха (Б) с высотой при фёне над ледником Малый Актру

Условные обозначения:

1 – фён 6 августа 1974 г., 13 ч.;

2 – фён 6 августа 1974 г., 17 ч.;

3 – среднее распределение;

4 – ясный день без фёна, 23 июля 1973 г., 12 ч.

Полученные результаты исследования вертикальной структуры при фёнах в бассейне Актру позволяют сделать следующие выводы:

1) при фёнах наблюдается постоянный юго-западный поток от земли до больших высот в свободной атмосфере. Скорость ветра растёт с высотой в среднем до 700-900 м над дном долины, затем несколько уменьшается и выше 1500 м над долиной в свободной атмосфере вновь возрастает;

2) особенностью вертикального распределения температуры воздуха при фёнах является наличие тонких слоёв инверсии и изотермии на различных высотах в фёновом потоке. Относительная влажность с высотой мало изменяется и остаётся низкой 30-40 %, по крайней мере, до максимальной высоты зондирования атмосферы.

Таблица 3.16 - Средние значения вертикального градиента температуры воздуха ($^{\circ}/100$ м) над долиной р. Актру в летний период 1972-1975 гг.

Состояние погоды	Высота, м				
	2-100	100-200	200-300	300-500	2-500
При фёнах	1,9	1,2	0,8	0,7	1,1
Ясная погода	2,5	1,5	1,0	0,9	1,4
В среднем	2,1	1,3	0,9	0,9	1,2

В этот период регулярное зондирование атмосферы проводилось на единственной в Горном Алтае сетевой станции Кош-Агач. Радиозондирование производилось два раза в сутки: утром в 06 ч и вечером в 18 ч местного времени, что очень редко совпадало с наличием фёна.

Следует заметить, что стандартные аэрологические наблюдения позволяют проследить распределение метеорологических величин до значительно больших высот, но не следует забывать, что сетевой радиозонд поднимается с большой скоростью (до 300 м/мин) и быстро «проскакивает» нижние слои с местными воздушными течениями. Поэтому восстанавливать вертикальные профили температуры и влажности воздуха, а также ветровые характеристики удастся с меньшей детальностью.

Таблица 3.17 - Средние значения вертикального градиента относительной влажности воздуха ($\%/100$ м) над долиной р. Актру в летний период 1972-1975 гг.

Состояние погоды	Высота, м				
	2-100	100-200	200-300	300-500	2-500
При фёнах	1,0	1,3	0,7	1,0	1,0
Ясная погода	5,0	2,0	3,0	1,5	2,6
В среднем	2,0	1,9	1,5	1,1	1,5

При больших скоростях ветра радиозонд быстро удаляется от места выпуска, и нужно иметь в виду, что лишь условно, результаты

зондирования относятся к точке его выпуска. Эту особенность радиозондирования важно учитывать при анализе местных ветров в горных условиях.

В исследуемый период наблюдалось лишь несколько случаев совпадения по времени выпусков радиозондов и наличия фёна по данным метеорологических наблюдений. В вечерние часы выявить какие-либо особенности вертикального распределения температуры воздуха не удалось. В утренние часы в нижнем 200-250-метровом слое над уровнем станции отмечалась инверсия температуры. Относительная влажность воздуха понижается с высотой или незначительно повышается, по сравнению с приземными значениями, оставаясь низкой до больших высот – 3 км и более над уровнем станции (рисунок 3.12).

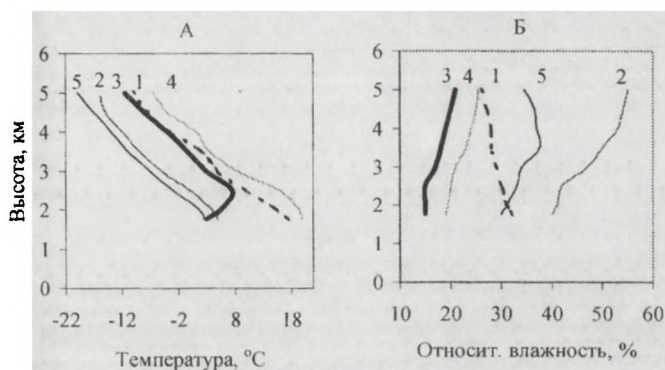


Рисунок 3.12 - Вертикальное распределение температуры воздуха (А) и относительной влажности (Б). Станция Кош-Агач

Условные обозначения:

- 1 – 27 апреля 1972 г. в 06 ч при фёне;
- 2 – 9 апреля 1972 г. в 18 ч без фёна;
- 3 – 26 апреля 1972 г. в 06 ч при фёне;
- 4 – 27 апреля 1972 г. в 18 ч при фёне;
- 5 – среднее распределение в апреле в 18 ч.

Вертикальные распределения температуры и относительной влажности воздуха в атмосфере, полученные при фёнах в бассейне Актру и в Чуйской степи на Алтае и в отдельных долинах Кавказа, имеют некоторые общие черты. Судя по единичным наблюдениям, проводившимся в Рионской долине [26] осенью в утренние часы, в

Ферганской долине [116] и в Батуми [49] в зимнее время, следует, что фёны там сопровождаются инверсией температуры до 200 м [116] или до 500 м [26] над землёй. П.А. Воронцовым [28] отмечено резкое понижение относительной влажности с высотой в фёновом потоке. Исследуя температурные градиенты при фёнах в Альпах, Карл Фрей [126] установил по данным радиозондирования (27 подъёмов при фёне) в утренние часы в Альтдорфе существование инверсии в нижнем 500-метровом слое.

4. РОЛЬ ФЁНОВ В ФОРМИРОВАНИИ КЛИМАТА ГОРНОГО АЛТАЯ

Условия формирования климатов в Горном Алтае определяются географическим положением, особенностями орографии и циркуляции атмосферы. Горный Алтай расположен почти в центре огромного Евразийского материка на большом расстоянии от морей и океанов, поэтому континентальность климата носит ярко выраженный характер. Это свойство климата выражено в больших величинах суточных и годовых амплитуд температуры воздуха, в неравномерности выпадения осадков в течение года, что неоднократно подчёркивалось в трудах исследователей Алтая [43, 44, 105]. Нарастание черт континентальности наблюдается с запада к юго-востоку Горного Алтая. По М.В. Тронову [105], Горный Алтай располагается на стыке трёх климатов: монгольского, среднеазиатского, и западно-сибирского. Климаты Горного Алтая существенно различаются в разных его частях. Черты континентально-циклонического западно-сибирского климата с обильными осадками носят северо-восточные и западные регионы Горного Алтая. Южные районы находятся под большим влиянием климата степей и пустынь Средней Азии. Для районов юго-восточного Горного Алтая характерен климат монгольских полупустынь. Различие форм рельефа, его расчленённости, положение хребтов в системе горной страны, высота, экспозиция склонов, доступность фёнам способствуют формированию мезо- и микроклиматов отдельных районов Горного Алтая.

Имеется довольно много литературы, в которой указывается на существенное влияние фёнов на климат Горного Алтая. Однако часто работы содержат просто перечисление, на какие элементы климата оказывают влияние фёны, или приводятся сведения о воздействии фёнов на отдельные элементы климата (температуру, влажность воздуха, режим ветра и т. д.) в отдельных районах [35, 36, 52, 78, 79, 83] и пунктах Горного Алтая [43, 67, 81, 84, 87, 91, 110, 111]. Ниже приводится комплексная характеристика роли фёнов в формировании климата Горного Алтая на основе многолетних данных, представленных в Справочниках [95-98], и на основе результатов исследований фёнов, проведённых авторами, и использования материалов, приведённых в литературе.

4.1. Вклад фёнов в формирование термического режима

Термический режим в Горном Алтае определяется как общециркуляционным фоном, так и влиянием орографии местности. Для

Горного Алтая характерно уменьшение континентальности климата в горноледниковых долинах, на водоразделах, по сравнению с широкими межгорными котловинами. Существенное влияние на распределение температуры оказывают фёны. Под их влиянием формируется более тёплый климат в отдельных районах, в которых формы рельефа благоприятствуют проникновению фёнов, таких как долина Телецкого озера, долины рек Катунь, Чулышмана, в высокогорных долинах, расположенных по направлению основного фёнового потока, на водоразделах, где наблюдаются и фёны переваливания, и антициклонические фёны. Это отмечается в работах [36, 78, 79]. Влияние фёнов сказывается не только на среднесуточные, но и на среднемесячные и среднегодовые значения температуры воздуха.

Особенно сильно проявляется влияние фёнов в зимний период. Благодаря им, высокогорные районы Алтая выделяются зимой как тёплые «острова» среди широких горных долин и окружающих Алтай степей Казахстана и Западной Сибири [78]. Фёны способствуют возникновению больших неоднородностей в распределении тепла по территории Горного Алтая. На станциях, где наблюдается много дней с фёнами, средние значения температуры воздуха в зимние месяцы значительно выше, чем на станциях со слабым развитием фёнов. Так, Бея является самым тёплым местом в Горном Алтае: средняя годовая температура воздуха здесь составляет $3,6^{\circ}\text{C}$, средняя температура января - минус $9,2^{\circ}\text{C}$. [95]. Влияние фёнов в сочетании с обогревающим влиянием Телецкого озера в осенне-зимний период хорошо заметно и на станции Яйлю. На этих станциях средние месячные температуры января более чем на 10°C выше, чем на удалённой от озера станции Турочак, находящейся в худших условиях в отношении проникновения фёнов. Отмечается необычайная для Сибири мягкость зимы на станции Чемал [61]. Высокие зимние температуры воздуха наблюдаются на станции Кара-Тюрек (минус $16,9^{\circ}\text{C}$ в январе), самой высокогорной станции Алтая, на которой дополнительно к влиянию инверсионного распределения температуры сказывается и влияние фёнов. Мягкость зим, благодаря фёнам, наблюдается в долинах на северных склонах хребтов, расположенных в широтном направлении (станции Актру, Аккем).

Влияние фёнов на средние месячные температуры воздуха показано на примере станции Чемал (по данным М.Г. Суховой) и на станции Яйлю (1966-1976 гг.). Зависимость между средними месячными температурами и числом дней с фёнами отчётливо прослеживается на этих станциях (рисунок 4.1). При повторяемости фёнов 13-15 дней за месяц в зимний период и в переходные сезоны средние месячные температуры могут превышать средние многолетние на 5°C и более.

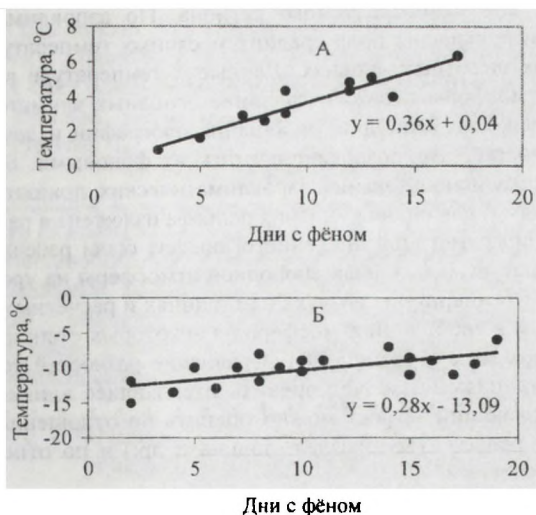


Рисунок 4.1 – Зависимость средней месячной температуры воздуха от числа дней с фёном

А - Яйлю, апрель, 1966-1976 гг.,

Б - Чемал, январь, 1976-1995 гг.

Для количественной оценки тепляющего влияния фёнов в горных местностях обычно сравнивают значения температуры на станции, где много фёнов, и на станции, расположенной достаточно близко в сходных географических условиях, где фёнов нет или мало. Разность температур принимается за тепляющий эффект фёнов [53]. Такая оценка влияния фёнов содержит целый ряд неточностей. Так, например, сравнивают данные станции Чемал, расположенной в долине Катунь, где наблюдается большое количество фёнов, с данными станции Турочак, которая находится севернее и ниже по абсолютной высоте.

Частые фёны и исключительно высокие зимние температуры наблюдаются на станциях Яйлю и Бея (район Телецкого озера), но эти особенности климата возникают не только за счёт фёнового эффекта, но и в результате близости обширного и глубокого водоёма. Влияние Телецкого озера тоже оказывается не менее сильным, чем влияние фёнов.

Для оценки влияния фёнов на термический режим в Горном Алтае использовались аэроклиматические характеристики средних месячных температур воздуха по данным аэрологических станций, рас-

положенных вблизи исследуемого региона. По аэроклиматическим данным были построены поля средних месячных температур воздуха на различных высотных уровнях. Данные о температуре в условиях свободной атмосферы отражают влияние основных климатообразующих процессов, они свободны от влияния орографии и других местных особенностей, что позволяет считать их фоновыми. Более подробно методика использования аэроклиматических показателей температуры воздуха для оценки влияния рельефа изложена в работе [81].

С помощью методов численного анализа были рассчитаны фоновые температуры в условиях свободной атмосферы на уровне станции. Разности температуры воздуха на станциях и расчётных температур по данным в свободной атмосфере на некоторых станциях Горного Алтая приведены в таблице 4.1. Сравнение разностей температур на разных станциях позволяет оценить тепляющее влияние фёнов. Причём, тепляющий эффект можно оценить по отношению к сходным формам рельефа (водораздел, долина и др.) и по отношению к равнинным условиям.

Таблица 4.1 – Разности температуры воздуха (°C) на станциях и в свободной атмосфере

Станция	Высота, м	Месяцы					
		I	II	III	IV	V	VI
Турочак	320	-3.6	-1.8	-5.5	-3.1	-3.0	-3.3
Чемал	410	2.4	2.8	-0.5	-0.1	-1.2	-2.4
Кызыл-Озек	331	-0.6	0.3	-5.0	-2.7	-2.5	-3.0
Яйлю	441	5.5	4.6	-0.2	-1.2	-3.5	-4.5
Бея	553	6.0	4.7	1.9	0.0	-2.4	-3.1

Станция	Месяцы					
	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Турочак	-3.1	-3.2	-3.0	-2.4	-2.3	-2.0
Чемал	-2.4	-2.3	-1.5	0.6	1.7	3.0
Кызыл-Озек	-2.9	-3.0	-2.4	-0.9	-1.0	1.0
Яйлю	-3.6	-2.9	-1.5	0.3	3.1	5.9
Бея	-2.5	-2.1	-0.6	1.4	6.1	4.8

Для количественной оценки тепляющего влияния фёнов на станции Чемал по сравнению с условиями равнинной местности были рассчитаны величины «орографических поправок» в различные месяцы, то есть из разности между температурой на станции и расчётной температурой в свободной атмосфере исключалась аналогичная раз-

ность для равнинных условий (поправка на касание подстилающей поверхности). Аналогично были рассчитаны величины отепляющего эффекта за счёт влияния фёнов на станции Чемал по сравнению со станцией Турочак, расположенной в долине р. Бии (таблица 4.2). Станция Турочак использована в качестве примера малофёновой станции.

Отепляющее влияние фёнов на станции Чемал, вероятно, следует признать близким к максимальному в Горном Алтае. В некоторых районах отепляющий эффект фёнов уменьшен и не всегда заметен в средних месячных значениях температуры воздуха. Это характерно для станций с меньшей повторяемостью фёнов, с кратковременными фёнами, а также с большой абсолютной высотой местности, с небольшим превышением хребтов.

Таблица 4.2 – Отепляющий эффект (°C) за счёт влияния фёнов на станции Чемал, по сравнению с равниной и со станцией Турочак

Станция	Месяцы					
	I	II	III	IV	V	VI
Равнина	1.5	3.8	2.5	2.5	0.0	0.0
Турочак	6.0	4.6	5.0	3.0	1.8	0.9

Станция	Месяцы					
	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Равнина	0.0	0.0	0.0	1.0	2.2	2.2
Турочак	0.7	0.9	1.5	3.0	4.0	5.0

Особый интерес вызывают фёны Телецкого озера. Отепляющий эффект фёнов на станциях Яйлю и Бея можно принять приблизительно равным тепловому эффекту на станции Чемал. Такой вывод позволяют сделать близкие значения числа дней с фёном и общей их продолжительности в часах как за отдельные месяцы, так и за год в целом. Меридионально ориентированная часть долины Телецкого озера и долина р. Катунь направлены с юга на север, т. е. фёны возникают при одном и том же направлении переноса воздушных масс. Превышение гребней окружающих хребтов в обоих случаях составляют до 2500 м. Расстояние между долиной Катунь и Телецким озером чуть более 100 км. Более того, практически совпадают значения средней скорости ветра. Всё это говорит о схожести режима фёнов в сравниваемых районах.

Сильнее всего обогревающий эффект фёнов проявляется в холодный период с наиболее интенсивными общециркуляционными процессами. Разность средних месячных температур по сравнению с соседними малофёновыми районами может достигать 5 °C и более.

В летнее время повторяемость фёнов уменьшается, интенсивность ослабевает и обогревающий эффект прекращается.

Особо следует остановиться на проявлениях фёнов в горных котловинах. Как известно, для них характерно небольшое общее количество фёнов, особенно в холодный период, когда в котловинах образуются мощные «озёра холода». Только самые интенсивные из фёнов способны разрушить инверсию температуры и проявиться на дне котловины. Наибольшее количество фёнов, а следовательно, и максимальный обогревающий эффект в котловинах проявляется в переходные сезоны года.

С фёнами связаны высокие максимальные температуры воздуха, повышение температуры воздуха до положительных значений зимой (таблица 4.3), а также абсолютные сезонные максимумы температуры при ясной погоде летом. Например, на станции Кызыл-Озек 14 января 1975 г. была зарегистрирована температура воздуха 7,1 °C, в то время как средняя многолетняя температура января составляет минус 15,9 °C. На станции Чемал 9 января 1975 г. температура поднималась до 6,7 °C при средней многолетней температуре в этом месяце минус 12,6 °C. На станции Турочак при фёне 22 апреля 1974 г. температура воздуха повысилась до 21,3 °C, а средняя температура в апреле составляет всего 0,6 °C.

В исследуемый период с 1967 по 1976 гг. наблюдались именно при фёнах экстремально высокие температуры, выше абсолютных максимумов, приведённых в [95]: 28 апреля 1972 г. на станции Кара-Тюрек 12,3 °C, в Кызыл-Озек 29,4 °C, в Катанде 26,7 °C, в Яйлю 27,9 °C, 11 июля 1974 г. на станции Катанда 34,8 °C, 24 октября 1966 г. на станции Яйлю 27,1 °C.

Средние максимумы температуры воздуха зимой более высокие в местах, доступных фёнам, более низкие – в долинах с застойными явлениями воздуха, препятствующими фёнам. Средние максимальные температуры при фёнах значительно выше средних месячных на всех станциях особенно в зимний период.

Средняя суточная температура воздуха при фёне, например, в Кара-Тюреке, выше средней: зимой на 5,4 °C, весной на 4,1 °C, летом на 4,8 °C, осенью на 3,7 °C (В.И. Русанов [78]). С действием фёнов связано не столь сильное охлаждение в ночное время.

С фёнами связаны длительные очень тёплые периоды в переходные сезоны года. Для примера можно привести сведения из работы

[111] по станции Актру: первая декада сентября 1959 г. отличалась высокой температурой воздуха под влиянием фёна, так что максимальная температура (23,6 °C 6 сентября) была как в июле.

Таблица 4.3 - Средние (числитель) и максимальные (знаменатель) температуры воздуха (°C) при фёнах. 1966-1976 гг.

Станция	Месяцы					
	I	II	III	IV	V	VI
Кара-Тюрек	<u>-9.4</u>	<u>-14.6</u>	<u>-7.6</u>	<u>-1.3</u>	<u>4.5</u>	<u>9.9</u>
	-3.3	-5.4	4.8	12.3	15.0	20.1
Катанда	<u>-9.4</u>	<u>-8.6</u>	<u>-0.7</u>	<u>10.0</u>	<u>18.8</u>	<u>22.8</u>
	-0.3	0.9	9.1	26.7	30.3	30.5
Кош-Агач	<u>-15.6</u>	<u>-13.9</u>	<u>-4.2</u>	<u>7.4</u>	<u>12.6</u>	<u>19.9</u>
	-4.0	-2.0	6.6	20.3	22.6	25.2
Кызыл-Озек	<u>-3.5</u>	<u>-5.8</u>	<u>1.1</u>	<u>12.9</u>	<u>19.2</u>	<u>24.8</u>
	7.1	8.5	15.8	29.4	33.9	34.5
Усть-Улаган	<u>-10.4</u>	<u>-9.5</u>	<u>-1.2</u>	<u>8.8</u>	<u>15.3</u>	<u>21.4</u>
	1.5	2.0	10.7	25.7	28.0	28.8
Яйлю	<u>-2.8</u>	<u>-2.4</u>	<u>3.6</u>	<u>9.9</u>	<u>17.1</u>	<u>22.0</u>
	4.0	7.5	12.4	27.9	28.0	31.2

Станция	Месяцы					
	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Кара-Тюрек	<u>13.0</u>	<u>9.1</u>	<u>5.9</u>	<u>-0.1</u>	<u>-4.8</u>	<u>-10.8</u>
	19.8	17.1	11.8	8.9	0.9	-1.4
Катанда	<u>26.7</u>	<u>24.6</u>	<u>18.4</u>	<u>8.1</u>	<u>-2.5</u>	<u>-8.5</u>
	34.8	31.2	29.9	22.3	8.6	-1.9
Кош-Агач	<u>22.7</u>	<u>19.3</u>	<u>15.0</u>	<u>5.5</u>	<u>-6.1</u>	<u>-16.7</u>
	25.0	27.3	24.2	15.2	1.6	-3.0
Кызыл-Озек	<u>25.5</u>	<u>24.9</u>	<u>21.0</u>	<u>13.8</u>	<u>2.1</u>	<u>-2.1</u>
	35.7	35.4	32.0	27.6	17.6	9.8
Усть-Улаган	<u>23.3</u>	<u>21.7</u>	<u>16.1</u>	<u>6.9</u>	<u>-4.7</u>	<u>-10.7</u>
	34.0	32.1	29.0	21.0	7.8	2.5
Яйлю	<u>24.4</u>	<u>23.2</u>	<u>16.4</u>	<u>10.2</u>	<u>2.1</u>	<u>-2.3</u>
	33.4	31.9	29.8	27.1	15.4	4.8

Изменения температуры воздуха в период фёна могут быть довольно значительны. Температура за несколько часов может повышаться на 20 и более градусов. Повторяемость повышений температуры воздуха в период фёна приведена в таблица 4.4.

По тепловым свойствам фёны могут быть разделены на две группы:

1) очень тёплые, когда максимальная температура при фёне выше среднего максимума температуры;

2) тёплые, когда максимальная температура при фёне выше средней месячной, но ниже средней максимальной.

Таблица 4.4 - Повторяемость (%) повышений температуры воздуха в период фёна

Станция	Пределы повышений температуры, °С				
	≤ 5	5-10	10-15	15-20	> 20
Январь					
Кара-Тюрек	23,3	41,6	26,7	8,4	-
Катанда	11,2	23,1	48,9	16,8	-
Кош-Агач	3,2	35,3	50,0	11,5	-
Кызыл-Озек	13,6	31,9	40,9	13,6	-
Усть-Улаган	10,9	21,7	49,6	17,8	-
Яйлю	11,1	55,6	22,2	11,1	-
Апрель					
Кара-Тюрек	20,2	46,2	23,6	10,0	-
Катанда	4,5	23,9	44,5	23,5	3,6
Кош-Агач	4,2	22,4	55,9	14,7	2,8
Кызыл-Озек	11,1	26,9	30,9	22,2	8,9
Усть-Улаган	2,8	25,0	47,2	22,2	2,8
Яйлю	5,6	24,1	40,7	25,9	3,7
Июль					
Кара-Тюрек	35,5	45,5	19,0	-	-
Катанда	3,6	25,5	41,4	21,9	7,6
Кош-Агач	3,4	20,3	57,8	13,4	5,1
Кызыл-Озек	16,8	26,7	33,3	13,1	10,1
Усть-Улаган	10,0	17,3	50,0	14,5	8,2
Яйлю	10,2	43,3	33,4	13,1	-
Октябрь					
Кара-Тюрек	20,8	53,8	17,7	7,7	-
Катанда	4,3	22,2	42,2	26,5	4,8
Кош-Агач	5,6	15,8	52,6	20,7	5,3
Кызыл-Озек	12,2	27,8	32,9	20,1	7,0
Усть-Улаган	3,0	27,7	34,8	30,4	4,1
Яйлю	7,1	32,1	53,6	7,2	-

Фёны, отнесённые к одной группе по тепловым свойствам, на разных станциях имеют различные количественные критерии, в зависимости от абсолютной высоты станции, условий орографии, сезона года. В приложении 2 приведены значения средней месячной температуры воздуха, а в приложении 3 величины средних максимальных температур воздуха на станциях Горного Алтая.

Анализ повторяемости фёнов с различными тепловыми свойствами показал, что распределение тёплых и очень тёплых фёнов на всех станциях меняется в течение года (рисунок 4.2). Повсеместно чаще всего ($\geq 60\%$) наблюдаются очень тёплые фёны. Однако в зависимости от орографических условий расположения станций годовой ход повторяемости очень тёплых фёнов имеет свои особенности. На станции Кара-Тюрек выделяются два максимума повторяемости очень тёплых фёнов весной и осенью и два минимума – летом и зимой.

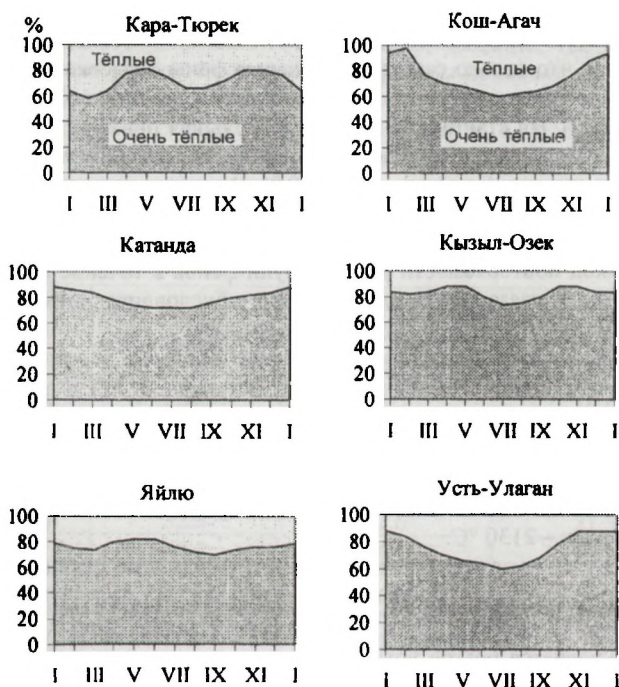


Рисунок 4.2 - Повторяемость фёнов с различными тепловыми свойствами

В летний период, когда относительно ослаблен общий перенос воздушных масс, температурный эффект фёнов заметно ослабевает, уменьшается повторяемость очень тёплых фёнов и увеличивается повторяемость тёплых.

Начиная с сентября, резко увеличивается повторяемость фёнов с высокими температурами.

Зимой с установлением азиатского антициклона, с которым связана ясная холодная погода, часто с небольшими скоростями ветра, уменьшается повторяемость очень тёплых и увеличивается повторяемость тёплых фёнов. После разрушения антициклона в апреле вновь отмечается увеличение очень тёплых фёнов. Такой годовой ход повторяемости очень тёплых фёнов характерен для местностей, где меньше вероятность застоя холодного воздуха в зимний период, то есть для водоразделов, склонов, долин с большим уклоном.

Для станций, расположенных в котловинах, характерен простой ход повторяемости очень тёплых фёнов с минимумом летом и максимумом зимой. Максимальная повторяемость очень тёплых фёнов связана с тем, что только самые интенсивные фёны с высокими температурами способны разрушить «озёра холода» и достичь подстилающей поверхности. На станции Кош-Агач наибольшая повторяемость очень тёплых фёнов составляет около 100 % при небольшом общем числе фёнов, на станции Катанда – около 90 %. В летнее время возрастает до 30-35 % доля тёплых фёнов на всех станциях.

На Телецком озере на станции Яйлю отмечается относительно ровный ход повторяемости разных групп фёнов в течение года (рисунок 4.2), это связано с влиянием озера, обуславливающим меньшие колебания температуры воздуха в течение года.

Очень наглядно отражают влияние фёнов на термический режим суммы положительных температур (выше 0 °C) и температур ниже определённых пределов (приложение 4). В районах с сильным влиянием фёнов суммы положительных температур на 200-300 °C больше, чем в соседних долинах с ослабленным фёновым эффектом. Так, на станции Чемал они составляют в среднем 2430 °C, а на станции Турочак – 2130 °C.

По мере увеличения числа дней с фёнами на станциях сумма температур ниже 0 °C уменьшается на 800-900 °C: Бея – 960 °C, Яйлю – 1040 °C, Чемал – 1310 °C, Турочак – 2200 °C, Кош-Агач – 3890 °C. Наблюдается резкое убывание сумм морозных температур с увеличением высоты в долинах с большой повторяемостью фёнов. Т.Д. Модина [54] приводит данные о градиенте сумм температур ниже 0 °C: в долине Катунь он составляет около 400 °C, в долинах Песчаной и Ануя – около 150 °C и т. д. Температуры воздуха ниже минус

10 °С на фёновых станциях Телецкого озера отсутствуют или встречаются очень редко. На станции Чемал сумма температур ниже минус 10 °С составляет всего 920 °С, в то время как на станции Турочак – 1930 °С, а на станции Кош-Агач – 3630 °С. Таким образом, на станциях, где количество фёнов невелико, суммы температур ниже минус 10 °С, минус 15 °С значительно увеличиваются. Только влиянием фёнов можно объяснить отсутствие устойчивого периода с температурами ниже минус 20 °С на склонах и водоразделах высокогорного Алтая (Кара-Тюрек).

Часто с фёнами связаны оттепели. В 65-80 % случаев оттепели (таблица 4.5) наблюдаются при фёнах, а в январе-феврале повышение температуры выше 0 °С бывает только при фёнах. Б.М. Кривонос [35] также указывает, что фёны повышают повторяемость оттепелей, углубляют их интенсивность и увеличивают число дней с оттепелью. Наибольшее число дней с оттепелями зимой отмечается на фёновых станциях Беля, Яйлю, Чемал (таблица 4.5) – в среднем более 40 дней. Оттепели зимой оказывают неблагоприятное влияние, так как следующее за ними резкие понижения температуры приводят к образованию ледяной корки или наста на поверхности снега или почвы, что затрудняет животным доступ к корму. На станциях, не подверженных столь сильному действию фёнов, число дней с оттепелями в зимний период значительно уменьшается.

Таблица 4.5 - Число дней с оттепелью

Станция	Число дней с оттепелью		
	среднее [35]	за период с 1966 по 1976 гг.	
		среднее	при фёнах
Кара-Тюрек	24,4	23,7	19,0
Катанда	27,6	27,0	17,6
Кош-Агач	21,0	20,4	13,2
Кызыл-Озек	43,5	42,8	31,2
Усть-Улаган	32,8	31,6	21,3
Яйлю	45,2	44,4	32,9

В фёновых районах продолжительность устойчивых морозов сокращается в среднем на 15-20 дней (приложение 5). В отдельные годы, когда в переходные сезоны наблюдается много фёнов, устойчивые морозы наступают позднее и прекращаются раньше. Так, в 1972 г. устойчивые морозы прекратились на станции Кызыл-Озек 15 февраля, на 20 дней раньше, чем в среднем (приложение 5), начало устойчивых морозов было отмечено лишь 18 декабря, почти на месяц позднее

средней даты. В связи с этим, продолжительность устойчивых морозов уменьшилась на 47 дней. Число дней с фёнами здесь составляло в феврале – 14, марте – 13, в ноябре – 13, в первой половине декабря – 12 (всего в декабре 18). Значительное сокращение продолжительности устойчивых морозов наблюдалось и на станциях Усть-Улаган (на 37 дней), Кош-Агач (на 44 дня). Даты прекращения и наступления устойчивых морозов на станциях – 20 февраля и 9 ноября, 3 марта и 16 ноября соответственно. Подобная ситуация наблюдалась и в 1969 г.: устойчивые морозы на этих станциях продолжались почти на месяц (28-30 дней) меньше, чем в среднем.

В районах интенсивного проявления фёнов увеличивается продолжительность безморозного периода (приложение 6). На станциях в среднегорных районах (Кызыл-Озек) в апреле и октябре при фёнах, как правило, не встречаются отрицательные температуры. Самый продолжительный безморозный период – на станции Беля (в среднем 142 дня), Яйлю (131 день), Чемал (119 дней). В районах с малым количеством фёнов продолжительность безморозного периода уменьшается в среднем на 25-45 дней, например, на станции Турочак безморозный период составляет всего 95 дней. Увеличение количества дней с фёнами весной и осенью способствует увеличению безморозного периода. Так, на станции Усть-Улаган в 1972 г. продолжительность безморозного периода увеличилась на 36 дней, по сравнению со средним, и составила 88 дней (в мае отмечалось 14, а в августе – 16 дней с фёнами). Короткий безморозный период – неблагоприятная черта климата территории, так как даже летом здесь отмечаются заморозки. В районах с хорошим развитием фёнов осенние заморозки наступают позднее, а весенние исчезают раньше в среднем на 10-20 дней (приложение 6). Под влиянием фёнов могут отмечаться очень поздние даты первого заморозка и очень ранние даты последнего заморозка. Например, на станции Усть-Улаган в мае 1972 г. зафиксирована самая ранняя дата последнего заморозка – 27 мая (в [95] приводится 6 июня 1950 г.), первый заморозок был отмечен 26 августа, что на 10 дней позднее, чем в среднем, что связано с частыми фёнами в тот год в мае и в августе. Особенно страдают от заморозков котловины с неблагоприятными для развития фёнов условиями.

4.2. Роль фёнов в формировании режима влажности воздуха

Зимой в Горном Алтае относительная влажность ниже, чем на равнине, вследствие того, что горные районы оказываются более тёплыми, в то время как в равнинных и предгорных районах происходит сильное выхолаживание. Наиболее низкая относительная влажность в

зимнее время наблюдается на склонах гор и на водоразделах (на станции Кара-Тюрек – 64 % - в январе), где наблюдается инверсия температуры, а также в долинах с хорошим развитием фёнов (Яйлю – 67 %, Бея – 59 %, Чемал – 64 % в январе). К апрелю-маю относительная влажность на большинстве станций Горного Алтая, кроме высокогорных, значительно уменьшается. В горных степях эти месяцы оказываются самыми сухими, относительная влажность в среднем составляет 50-60 %. Летом горные районы отличаются более высокой относительной влажностью, по сравнению со степной равниной, расположенной с запада. Хорошо заметным становится уменьшение увлажнения в Горном Алтае с запада на восток. Самая низкая влажность наблюдается в Чуйской степи: на станции Кош-Агач в течение лета средняя месячная относительная влажность остаётся равной 50-55 % (приложение 7), а относительная влажность в 13 ч не превышает 35-37 %. Осенью относительная влажность воздуха повышается. Более низкой влажностью отличаются фёновые районы. Низкая относительная влажность воздуха является одним из основных признаков фёна. Динамические процессы прогревания воздуха сопровождаются соответствующим понижением относительной влажности воздуха.

Частые фёны снижают значения как средних годовых, так и средних месячных значений относительной влажности. Особенно заметно влияние фёнов на режим влажности в зимний период.

Самые низкие значения относительной влажности при фёнах наблюдаются в весеннее время. Уменьшены они и в октябре, когда по западной периферии антициклонов из Средней Азии приходит тёплый сухой юго-западный поток, и фёны сопровождаются повышенными температурами – выше 0 °С. Средняя минимальная относительная влажность воздуха при фёнах значительно ниже средней месячной во все сезоны года на всех станциях (таблица 4.6, приложение 7).

Под влиянием фёнов происходит ослабление годового и суточного хода относительной влажности и обратный её ход в некоторых пунктах (приложение 7): максимум бывает в тёплый период года, минимум – в холодный на станциях Бея, Яйлю, Чемал, Кара-Тюрек. Обращение годового хода влажности отмечается и на северных склонах горных хребтов (Аккем, Актру), хотя и менее резко выраженный. Во всех районах, где фёны более редки, хорошо выражен зимний максимум относительной влажности (Турочак, Кош-Агач). Фёны часто приводят к нарушению обычного суточного хода относительной влажности, так как благодаря фёнам наблюдается резкое понижение относительной влажности независимо от времени суток.

С фёнами связаны абсолютные минимумы относительной влажности воздуха (таблица 4.6). Например, в Усть-Улагане 4 мая 1971 г. во время фёна была зарегистрирована относительная влажность 4 %,

7 мая 1968 г. – 7 %. На станции Кызыл-Озек во время фёна, который продолжался 51 ч с 24 по 26 мая 1972 г. отмечена влажность воздуха менее 4 %.

Таблица 4.6 - Средняя и минимальная относительная влажность (%) воздуха при фёнах. 1966-1976 гг.

Станция	Относительная влажность	Месяцы					
		I	II	III	IV	V	VI
Кара-Тюрек	средняя	36	37	35	33	44	46
	минимальная	11	21	8	15	17	19
Катанда	средняя	59	54	50	31	32	36
	минимальная	45	33	27	12	11	13
Кош-Агач	средняя	60	55	45	28	29	30
	минимальная	40	29	20	12	14	13
Кызыл-Озек	средняя	50	62	60	44	38	42
	минимальная	18	21	19	9	4	15
Усть-Улаган	средняя	60	53	50	39	38	45
	минимальная	33	27	18	10	4	11
Яйлю	средняя	49	47	46	37	42	47
	минимальная	28	21	23	14	16	21

Станция	Относительная влажность	Месяцы					
		VII	VIII	IX	X	XI	XII
Кара-Тюрек	средняя	52	50	42	40	35	38
	минимальная	20	22	14	11	10	5
Катанда	средняя	33	42	40	42	56	61
	минимальная	21	18	13	18	31	44
Кош-Агач	средняя	29	33	36	43	53	54
	минимальная	14	13	13	16	29	42
Кызыл-Озек	средняя	46	46	48	42	48	60
	минимальная	17	17	16	9	14	24
Усть-Улаган	средняя	47	46	48	51	50	54
	минимальная	12	10	12	11	15	38
Яйлю	средняя	47	49	47	46	48	52
	минимальная	28	30	28	21	30	30

На станции Кара-Тюрек 25 декабря 1971 г. относительная влажность в ночной срок составила лишь 5 %. Такие экстремально низкие значения относительной влажности воздуха могут отмечаться в любые сезоны года и на других станциях.

Фёны сопровождаются, как правило, резким понижением относительной влажности (таблица 4.7).

Таблица 4.7 - Повторяемость (%) понижений относительной влажности воздуха в период фёна

Станция	Пределы понижения относительной влажности, %						
	≤ 20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	> 70
Январь							
Кара-Тюрек	8,0	33,3	25,0	16,7	12,7	4,3	-
Катанда	15,3	20,1	44,8	16,2	3,6	-	-
Кош-Агач	15,1	21,0	43,5	18,1	2,3	-	-
Кызыл-Озек	4,5	27,4	31,8	22,7	9,0	4,6	-
Усть-Улаган	14,9	16,7	46,6	16,7	5,1	-	-
Яйлю	20,2	44,4	22,3	11,1	2,0	-	-
Апрель							
Кара-Тюрек	-	15,4	29,8	40,2	7,6	5,2	1,8
Катанда	-	4,8	25,0	47,3	13,1	8,2	1,6
Кош-Агач	-	3,8	32,4	41,3	14,7	4,9	2,9
Кызыл-Озек	-	11,7	22,2	33,8	17,8	12,3	2,2
Усть-Улаган	-	2,8	21,1	58,3	11,1	4,0	2,7
Яйлю	-	16,6	33,6	24,1	18,2	7,5	-
Июль							
Кара-Тюрек	-	18,0	45,5	23,6	12,9	-	-
Катанда	-	3,0	20,7	40,6	28,6	7,1	-
Кош-Агач	-	5,1	20,7	35,5	29,0	9,7	-
Кызыл-Озек	-	6,7	26,7	46,6	16,0	4,0	-
Усть-Улаган	-	4,5	22,7	40,9	27,4	4,5	-
Яйлю	-	13,3	43,2	23,4	13,3	6,8	-
Октябрь							
Кара-Тюрек	-	7,7	30,0	38,8	14,7	7,5	1,3
Катанда	-	11,1	22,5	44,5	12,2	8,1	1,6
Кош-Агач	-	14,1	26,8	36,3	15,8	4,8	2,2
Кызыл-Озек	-	6,3	27,6	39,2	22,9	2,2	1,8
Усть-Улаган	-	7,1	13,2	46,1	23,1	8,0	2,5
Яйлю	-	14,1	31,4	25,5	21,6	7,4	-

Понижение её от начала фёна до максимального развития может происходить в широких пределах: на 15 - 80 %. Наиболее резкие понижения влажности (более 70 %) при фёнах встречаются на большинстве станций весной и осенью, за исключением станции Яйлю. Чаше всего наблюдаются понижения относительной влажности на 41-50 %, а в Яйлю – 31-40 %, в связи с влиянием Телецкого озера. Понижения относительной влажности воздуха на 20 % и менее при фёнах в эти сезоны не отмечаются.

Летом диапазон изменений относительной влажности несколько уменьшается. Наиболее вероятные понижения относительной влажности при фёнах составляют 21-30 % на станции Кара-Тюрек, Яйлю, и 31- 40 % - на остальных станциях.

В зимнее время велика повторяемость изменений относительной влажности воздуха в период фёна на 31-40 %, только на станциях Кара-Тюрек и Яйлю максимум повторяемости приходится на градацию 21-30 %. Это объясняется влиянием большой абсолютной высоты в первом случае и близостью озера – во втором.

По влажности воздуха фёны могут быть разделены на две группы:

- 1) очень сухие, при которых минимальная относительная влажность в период фёна меньше или равна 30 %;
- 2) сухие, при которых минимальная относительная влажность в период фёна выше 30 %, но ниже средней месячной.

Анализ повторяемости фёнов с различной относительной влажностью воздуха показал, что в течение всего года на станциях, не расположенных в котловинах, несколько преобладают сухие фёны (рисунок 4.3). Весной и осенью они составляют около 55 %, зимой – около 60 %, летом 70-75 %. Зимой наблюдаются только сухие фёны на станциях, расположенных в котловинах. Летом повторяемость их уменьшается до 55-60 %, весной же увеличивается повторяемость очень сухих фёнов, она составляет 56-60 %.

Поскольку низкие значения относительной влажности воздуха являются одним из основных признаков фёна, рассмотрим годовой ход повторяемости очень сухих фёнов. Он имеет резко выраженные особенности на разных станциях. На станции Кара-Тюрек, характеризующей водораздел, наибольшая повторяемость (до 45-50 %) очень сухих фёнов наблюдается в холодный период с октября по апрель. В этот период относительная влажность несколько меньше, чем летом, и фёны проявляются более интенсивно.

В летнее время повторяемость очень сухих фёнов убывает до 30 %, в связи с общим увеличением влагосодержания в верхнем поясе гор за счёт талых вод и выноса водяного пара восходящими движениями (склоновыми, долинными ветрами).

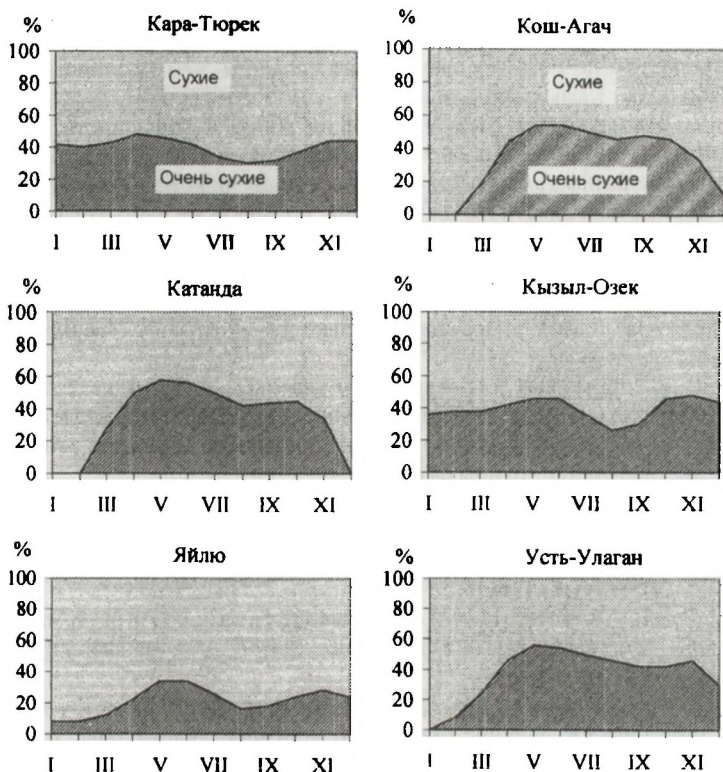


Рисунок 4.3 - Повторяемость (%) фёнов с различной относительной влажностью

Приблизительно такое же годовое распределение фёнов по степени влажности отмечается и в долинах, где хорошо проявляются фёны, где нет условий для застоя холодного воздуха (станция Кызыл-Озек).

На станциях Кош-Агач, Катанда, Усть-Улаган, расположенных в котловинах, отмечается иной ход повторяемости очень сухих фёнов. В зимние месяцы (с декабря по февраль) очень сухие фёны не наблюдаются. Это объясняется очень низкими температурами воздуха и, как следствие, высокой относительной влажностью. В переходные сезоны, наоборот, повторяемость очень сухих фёнов достигает 56-60 %

весной и 42-47 % осенью, что связано с засушливостью климата, с малым количеством осадков, низкой влажностью воздуха. Только в летние месяцы, в связи с общим увеличением влагосодержания в атмосфере, меньшей активностью фёнов, количество очень сухих фёнов снижается, но остаётся значительно большим, чем на станциях Кара-Тюрек или Кызыл-Озек.

На Телецком озере на станции Яйлю в большинстве случаев (зимой в 95 %, летом в 80 %, весной и осенью в 70-75 %) наблюдаются сухие фёны. Доля очень сухих достигает 30 % только в апреле-мае, в период повсеместного их усиления. Большую же часть года вклад их очень невелик. Эту особенность можно объяснить увлажняющим влиянием самого озера, транспирация влаги с пышной растительности тоже не способствует сильному иссушению воздуха. Видимо, фёны с такими свойствами характерны только для акватории Телецкого озера и его побережья.

Фёны являются комплексным явлением, поэтому целесообразно рассмотреть повторяемости различных сочетаний показателей температуры и относительной влажности при фёнах. В связи с этим выделены следующие группы фёнов:

- 1) очень тёплые очень сухие;
- 2) очень тёплые сухие;
- 3) тёплые очень сухие;
- 4) тёплые сухие.

Можно заметить, что соотношение разных по гигротермическим характеристикам фёнов в различные сезоны года меняется (рисунок 4.4).

Рассмотрим их повторяемость на примере станции Кара-Тюрек. Самое сильное влияние оказывают, конечно, очень тёплые очень сухие фёны. Их повторяемость в среднем за год составляет около 30 % от общего их количества. Больше их отмечается в период активизации фёнов, то есть весной и осенью, летом их повторяемость – минимальная. Очень тёплые сухие фёны в течение года распределяются, примерно также, но их доля несколько больше – около 35 % за год.

Общая повторяемость очень тёплых очень сухих и сухих фёнов максимальная и составляет около 65 %. В летнее время увеличивается доля тёплых очень сухих фёнов почти до 40 %, тогда как в переходные сезоны и холодный период их вклад существенно меньше.

Тёплые сухие фёны бывают реже, их доля составляет всего 10-15 %, несколько больше зимой – до 20 %. Для котловинных станций тоже характерно появление очень тёплых очень сухих фёнов. На станциях Катанда, Усть-Улаган, Кош-Агач они наблюдаются во все сезоны, кроме зимы. Средняя их повторяемость около 20 %, с максимумом весной и осенью.

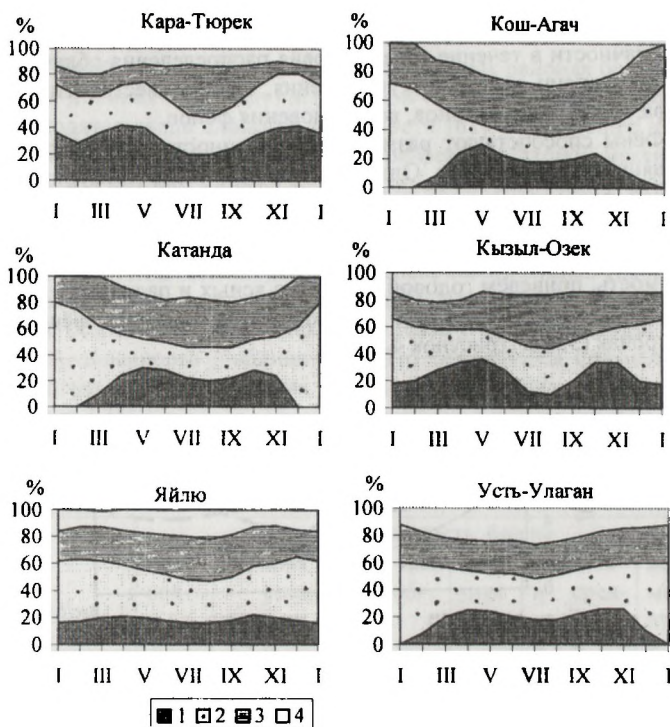


Рисунок 4.4 - Повторяемость фёнов с различными гигротермическими свойствами

Условные обозначения: 1 – очень тёплые очень сухие фёны;
 2 – очень тёплые сухие фёны;
 3 – тёплые очень сухие фёны;
 4 – тёплые сухие фёны

Зимой преобладают очень тёплые сухие фёны. Общая их повторяемость в среднем за год около 60 %, что несколько меньше, чем на станции Кара-Тюрек.

4.3. Влияние фёнов на режим облачности

В зависимости от преобладающих сезонных циркуляционных процессов происходит образование различной по характеру и количеству облачности в течение года. Условия распределения облачности в большей степени зависят от увлажнения, высоты местности, формы рельефа, экспозиции склонов, возникновения фёнов.

Фёны способствуют размыванию облачности, что обусловлено нисходящими движениями. Однако в среднем числе пасмурных и ясных дней, повторяемости пасмурного состояния неба это не отражается на большей части территории. Для сравнения режима облачности в различных по степени развития фёнов районах, где можно оценить эту зависимость, приведём годовой ход числа ясных и пасмурных дней по “фёновой” станции Чемал (410 м) и со слабым развитием фёнов станции Турочак (320 м) (рисунок 4.5).

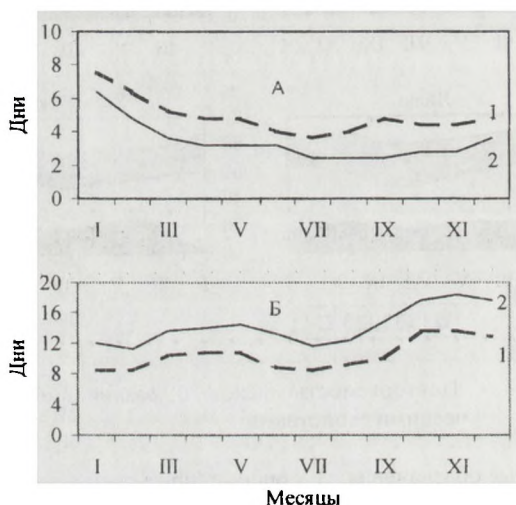


Рисунок 4.5 - Годовой ход числа ясных (А) и пасмурных (Б) дней по общей облачности на станциях Чемал (1) и Турочак (2) по [98]

В Горном Алтае число пасмурных дней за год по общей облачности меняется от 97 в горных степях (Кош-Агач) до 170 в залесённых долинах (Турочак). На склонах гор бывает до 120-135 дней с пасмурной погодой. В зимнее время повторяемость пасмурного состояния

неба по общей облачности составляет от 55 % в предгорьях до 40 % в высокогорной части [98]. В районе Телецкого озера повторяемость пасмурного неба более высокая в течение всего года. Летом более пасмурными районами оказываются высокогорные районы, вследствие развития конвективной облачности.

Зимой число ясных дней в высокогорных районах больше, чем в горных долинах и на равнине Западной Сибири, так как вершины часто находятся выше слоистой облачности [61]. Наибольшее число ясных дней наблюдается зимой в январе-феврале, второй максимум отмечается в ноябре, минимальное число ясных дней на большей части территории Горного Алтая – летом.

В зимний период, когда влияние фёнов особенно значительно, на станции Чемал число пасмурных дней, как по общей, так и по нижней облачности меньше (ясных больше), чем на станции Турочак. Зимой не встречаются, а в переходные сезоны редки фёны при наличии нижней облачности (таблица 4.8). Это объясняется большой повторяемостью фёнов, связанных с антициклоническими образованиями (таблица 3.3).

Таблица 4.8 - Повторяемость (%) различной облачности при фёнах

Станция	Облачность, баллы					
	ниж- няя ≥ 5 6	верхняя и сред- няя ≥ 5 6	ясно или малооб- лачно < 5 6	ниж -няя ≥ 5 6	верхняя и сред- няя ≥ 5 6	ясно или малооб- лачно < 5 6
	Январь			Апрель		
	Июль			Октябрь		
Кара-Тюрек	-	15,0	85,0	2,0	22,2	75,8
Катанда	-	62,4	37,6	3,0	38,4	58,6
Кош-Агач	-	63,5	36,5	3,1	37,2	59,7
Кызыл-Озек	-	24,7	75,3	2,7	34,9	62,4
Усть-Улаган	-	61,9	38,1	2,9	41,3	55,8
Яйлю	-	21,8	78,2	2,3	33,5	64,2
Кара-Тюрек	7,4	47,9	44,7	3,2	19,0	77,8
Катанда	9,5	43,4	47,1	4,4	40,2	55,4
Кош-Агач	9,0	41,6	49,4	4,6	37,3	58,1
Кызыл-Озек	11,1	40,5	48,4	3,4	36,6	60,0
Усть-Улаган	10,1	44,6	45,3	4,1	43,6	52,3
Яйлю	8,7	43,2	48,1	3,3	35,5	61,2

В зимний период на станциях, расположенных в котловинах, преобладают фёны, сопровождающиеся верхней и средней облачностью больше 5 баллов, так как фёны здесь в основном связаны с фронтами. На других станциях при фёнах чаще всего наблюдается ясная и малооблачная погода. Весной и осенью такие фёны преобладают на всех станциях. Летом увеличивается, по сравнению с другими сезонами, повторяемость нижней, средней и верхней облачности при фёнах, что связано с увеличением повторяемости фёнов, возникающих при прохождении атмосферных фронтов (таблица 3.3). Однако довольно часто, в 45-50 %, фёны сопровождаются ясной и малооблачной погодой (таблица 4.8).

Облака, связанные с фёном, обычно имеют чечевицеобразный вид (высококучевые чечевицеобразные) и располагаются над гребнями гор. Такие облака можно наблюдать стоящими на месте, несмотря на сильный ветер, как признак стоячих волн [6], при этом форма их очень быстро меняется. При нисходящем движении воздуха, свойственном фёну, происходит размывание имеющейся облачности, образуется фёновый просвет, соответствующий направленной к земле части стоячей волны. У гребня следующей волны вновь появляется облачность. С подветренной стороны над гребнем хребта часто бывает видна неподвижно стоящая масса облаков – “фёновая стена”, образующаяся в восходящем по наветренному склону хребта потоке воздуха.

4.4. Формирование ветрового режима под влиянием фёнов

Под влиянием орографии местности происходит трансформация общециркуляционного потока. В зависимости от расположения хребтов, их расчленённости, расположения станций относительно гребней окружающих хребтов, превышения их над уровнем станции, экспозиции склонов, ориентации долин, формы рельефа, близости ледников в разных районах Горного Алтая наблюдаются различные особенности ветрового режима. Режим ветра по данным метеорологических станций наиболее подробно описан в работе Б.М. Кривоносова [37]. Направление ветра на водоразделах (Кара-Тюрек) совпадает с направлением ветра в свободной атмосфере: повторяемость ветров юго-западного направления и смежных с ним румбов составляет почти 80 % в течение большей части года. С мая по август возрастает повторяемость ветров северо-западного направления. Здесь наблюдаются сильные ветры (в среднем 85 дней в год) чаще, чем в открытых, хорошо продуваемых долинах, и в несколько раз больше, чем на защищённых станциях.

В глубоких долинах различной ориентации направление ветра может существенно отличаться от направления общего переноса воздушных масс. Ветры в таких долинах чаще всего направлены вдоль оси долины. Меридионально ориентированные глубоко врезаемые долины Чулышмана, Башкауса, Телецкая впадина обуславливают господствующие направления ветра - юго-восточное и северо-западное.

В тёплый период года наблюдается большее разнообразие повторяемости направлений ветра, вследствие возникновения местных циркуляций.

В замкнутых котловинах (Уймонская, Урскульская, Чуйская) в зимнее время в период господства азиатского антициклона над территорией Горного Алтая более половины случаев в месяц составляет штилевая погода [37]. В остальное время в этих обширных котловинах преобладают ветры западной четверти. В течение всего года наблюдаются ветры преимущественно малых скоростей. В открытых котловинах (Канская степь), которые не имеют сплошного окружения горами, количество штилей уменьшается и возрастает повторяемость северных и северо-западных ветров в весенний период и восточных в холодное время года [37].

Годовой ход скорости ветра в Горном Алтае различен в зависимости от расположения станций. Степень развития фёнов в различных районах сказывается на величинах средней скорости ветра. На станциях с большой повторяемостью фёнов (Кара-Тюрек, Яйлю, Бея, Чемал) средняя годовая скорость ветра и средняя месячная в зимние месяцы больше (3-6 м/с), чем на станциях, менее доступных фёнам (таблица 4.9).

На фёновых станциях наблюдается меньше штилей, особенно в зимнее время, по сравнению с другими районами. Так, в январе в Чемале – 30 % штилей от общего числа наблюдений, Бея – 8, Кара-Тюрек – 16, Яйлю – 20, а в Турочаке – 46, Кош-Агаче – 65, Онгудае – 72 [96].

Средние скорости ветра при фёнах на всех станциях - выше средних скоростей (приложение 8). Наибольшие различия в скоростях ветра при фёнах отмечаются в зимнее время, особенно на станции Кара-Тюрек (таблица 4.9).

По скорости ветра фёны могут быть разделены на следующие группы:

- 1) с малыми скоростями ветра 0-2 м/с;
- 2) со скоростями 3-7 м/с (от слабого до умеренного);
- 3) со скоростями 8-15 м/с (от умеренного до сильного);
- 4) со скоростями ветра более 15 м/с.

Таблица 4.9 - Средняя и максимальная скорость ветра (м/с) при фёнах.
1966-1976 гг.

Станция	Скорость ветра	Месяцы					
		I	II	III	IV	V	VI
Кара-Тюрек	средняя	11,8	9,3	9,1	8,2	9,7	7,0
	максимальная	34	18	20	18	34	14
Катанда	средняя	1,9	2,8	2,2	2,8	3,1	1,9
	максимальная	6	7	10	12	10	7
Кош-Агач	средняя	4,1	5,8	5,9	5,5	6,2	4,7
	максимальная	14	16	19	24	16	20
Кызыл-Озек	средняя	3,5	2,7	2,9	3,2	3,5	3,5
	максимальная	9	8	7	10	15	8
Усть-Улаган	средняя	3,6	3,8	4,2	6,2	4,4	3,2
	максимальная	10	12	12	10	16	10
Яйлю	средняя	4,6	3,4	3,5	3,2	2,9	2,8
	максимальная	12	12	9	12	7	7

Станция	Скорость ветра	Месяцы					
		VII	VIII	IX	X	XI	XII
Кара-Тюрек	средняя	5,2	5,6	6,3	9,4	10,2	9,7
	максимальная	14	24	20	20	28	24
Катанда	средняя	1,9	1,8	2,2	2,4	2,2	1,6
	максимальная	8	5	8	12	8	6
Кош-Агач	средняя	4,6	4,5	5,1	4,9	4,9	4,3
	максимальная	13	15	15	13	20	25
Кызыл-Озек	средняя	3,4	3,0	3,1	3,2	3,2	3,3
	максимальная	8	8	6	12	14	14
Усть-Улаган	средняя	3,0	3,3	4,6	3,3	3,9	3,5
	максимальная	9	9	10	8	10	11
Яйлю	средняя	2,6	2,6	2,7	3,1	4,5	4,6
	максимальная	5	6	7	12	12	11

Анализ фёнов по градициям скорости ветра показал, что их скоростной режим в разных условиях резко различается. Самые высокие скорости ветра при фёнах отмечаются на станции Кара-Тюрек. В холодный сезон фёны со скоростью ветра более 15 м/с достигают 30 % случаев (рисунок 4.6). Скорости фёнов в отдельные сроки достигают

ураганных – до 34 м/с, причём максимальные порывы, безусловно, достигают ещё больших величин. Только в июне и июле скорости ветра при фёнах находятся в пределах от умеренного до сильного (8-15 м/с).

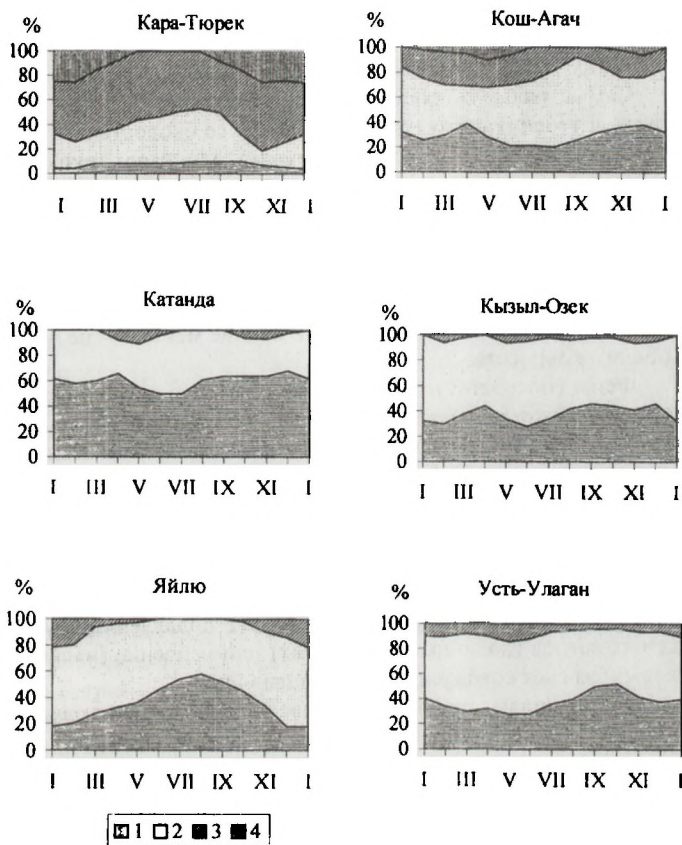


Рисунок 4.6 - Повторяемость фёнов с различными скоростями ветра

Условные обозначения: 1 – 0 - 2 м/с;
 2 – 3 - 7 м/с;
 3 – 8 - 15 м/с;
 4 – > 15 м/с.

Сильные ветры при фёнах бывают в Чуйской котловине, большие её размеры, общая приподнятость над уровнем моря благоприятствуют усилению ветра, особенно в переходные сезоны. Именно фёны с большими скоростями ветра (их 5-10 % от общего числа фёнов в феврале-мае и октябре-ноябре в Кош-Агаче) и высокими температурами способны вытеснять холодный воздух. На остальных станциях скорости ветра при фёнах, хотя и значительно выше средних, но не превышают 15 м/с, порывы достигают 18-20 м/с. Это объясняется большей их защищённостью от ветра.

Самые малые скорости ветра при фёнах отмечаются на станции Катанда в течение всего года. Доля фёнов со скоростью от 0 до 2 м/с составляет в среднем около 60 % случаев. Минимум таких фёнов отмечается на станции Кош-Агач летом. В этот период года в обширной Чуйской котловине отмечается усиление турбулентности в атмосфере в результате её высокого нагрева.

На станции Кара-Тюрек фёны с малыми скоростями ветра довольно равномерно распределяются в течение года и не превышают 8-9 %. В зимние месяцы повторяемость их ещё меньше – не более 2-3 % от общего количества.

Фёны способствуют нарушению суточного хода скорости ветра, максимум может отмечаться не в послеполуденные часы, а в любое время суток в момент максимального развития фёнов. Например, летом в долинах Актру, Аккем и других, расположенных на северных склонах хребтов и вытянутых в меридиональном направлении, наибольшие скорости ветра часто бывают при фёнах в ночное время, когда отсутствуют долинны ветры противоположного направления. Наибольшие скорости ветра наблюдаются при фёнах переваливания.

При фёнах часто может происходить подавление других видов местных ветров (долинных, склоновых) или усиление (например, ледниковых) за счёт совпадения их по направлению.

В засушливых районах центрального и юго-восточного Алтая фёны могут быть причиной пыльных бурь в летнее время. Наибольшее количество дней с пыльными бурями, судя по данным, приведённым в Справочнике [96], наблюдается в Чуйской котловине. Среднее число дней с пыльными бурями на станции Кош-Агач составляет 2,4 в апреле и 2,8 в мае, максимальное достигает 17.

За тёплый период с марта по ноябрь 1966-1976 гг. в Чуйской котловине отмечено в среднем по 8 дней с пыльными бурями. Число дней с пыльной бурей по месяцам приведено в таблице 4.10.

Таблица 4.10 - Число дней с пыльными бурями. Станция Кош-Агач.
Март-ноябрь 1966-1976 гг.

Месяцы	Число дней с пыльными бурями			
	среднее	наибольшее	при фёнах	
			среднее	наибольшее
Март	0,3	2	0,3	2
Апрель	0,6	4	0,5	3
Май	1,2	4	1,0	3
Июнь	1,9	6	1,8	4
Июль	0,7	3	0,6	2
Август	0,8	2	0,7	2
Сентябрь	0,8	3	0,8	2
Октябрь	1,2	3	1,0	2
Ноябрь	0,8	6	0,6	5

Наибольшее число пыльных бурь было в июне и ноябре 1966 г.: по 6 в каждый из этих месяцев. В четырёх и пяти случаях соответственно из шести пыльные бури наблюдались при фёнах, скорость ветра при этом достигала 20-24 м/с. Наблюдения показывают, что в основном пыльные бури связаны с фёнами.

4.5. Влияние фёнов на снежно-ледовые процессы

В горноледниковых районах заметно проявляется влияние фёнов на увеличение абляции ледников. В работе И.В. Бута [16] содержатся выводы о том, как может увеличиваться абляция ледника под влиянием интенсивных и длительных фёнов. По наблюдениям на леднике Кара-Баткак (Тянь-Шань) в период с 9 по 13 июля 1958 г., когда фёны достигали подстилающей поверхности ледника, суточные величины абляции резко увеличились и в 2,3 раза превышали многолетние средние суточные значения, равные 3,1-3,5 см.

На Алтае изучение влияния фёнов на абляцию ледников проводилось в горноледниковом бассейне р. Актру на ледниках Малый и Левый Актру. Данные об абляции ледников Актру опубликованы в работах И.Я. Олейника, М.А. Душкина [30, 48, 60]. О влиянии фёнов на абляцию ледников косвенно можно судить по результатам теплобалансовых наблюдений на ледниках Актру [9], на леднике Томич в бассейне р. Мульты [71], на леднике Родзевича в бассейне р. Аккем [70].

При фёнах наблюдается, как правило, интенсивное таяние. Это связано с увеличением потока тепла от атмосферы к ледниковой поверхности. Увеличенные скорости ветра при фёнах усиливают теплообмен между ледником и атмосферой. И.В. Бутом [16] установлено, что инверсии не блокируют ледник от турбулентных потоков тепла из расположенных над ним слоёв воздуха, турбулентный обмен в нём значителен.

Уменьшение облачности над ледниками, обусловленное нисходящими потоками воздуха при фёнах, способствует увеличению прихода суммарной радиации, а за счёт уменьшения влагосодержания в атмосфере над ледником при фёне увеличивается интенсивность прямой солнечной радиации.

Поверхностная абляция, как известно, включает не только таяние, но и испарение с поверхности ледника. Однако испарение с ледниковых поверхностей на Алтае в абляционный период обычно бывает очень слабым, то же самое можно сказать и о конденсации водяного пара. При фёнах испарение может несколько увеличиваться за счёт усиления ветра и уменьшения влажности воздуха. Однако при фёнах в абляционный период в высокогорном Алтае сохраняется относительно высокая влажность воздуха, поэтому затраты тепла на испарение от общей величины теплового баланса на разных ледниках Алтая колеблются от 1 до 2 % [41, 70].

Фёны играют большую роль в увеличении абляции на таких ледниках, как Малый Актру. Для этого ледника характерна затенённость высокими склонами гор, за счёт чего уменьшена продолжительность освещённости его солнцем. Сопоставление данных об абляции ледника Малый Актру за 1965-1974 гг., приведённых в [48] и выделенных автором дней с фёнами, показало, что при фёнах средняя величина абляции на 1,5 см больше, чем в дни без фёнов. По результатам наблюдения на леднике Малый Актру в июле 1973 г. средняя величина абляции составила 4,7 см за сутки. В дни без фёна величина абляции составила в среднем 4,4 см, а за 10 дней с фёном по 5,3 см, то есть на 20 % больше.

Ещё более заметный вклад в величину абляции оказывают фёны, сопровождающиеся высокими температурами, на ледниках с большой открытостью горизонта и соответственно с увеличенными скоростями ветра. На леднике Левый Актру на высоте 2850 м над уровнем моря средняя суточная величина абляции в дни без фёна в июле-августе 1957 г. составила 3 см, а в дни с фёнами - около 7 см. К.И. Попова [67] приводит случай, когда на леднике Левый Актру при фёне 29 июля 1957 г. за 12 ч стаяло 9,2 см льда.

Особенно ярко видна роль фёнов в абляции ледников в ночное время. По данным И.Я. Олейника [59], величина ночного стаивания

при фёнах может достигать от 1,5 до 3,5 см. Л.Н. Шантыковой, проводившей детальные измерения абляции на леднике Малый Актру в июле 1988 г., установлено, что при фёне за ночь с 21 на 22 июля величина абляции составила 2,7 см (температура воздуха в течение ночи была 13-14 °С). Средняя величина ночной абляции за июль – 0,7 см.

Очень заметна роль фёнов в увеличении абляционного периода, они способствуют более раннему началу абляции и более позднему его окончанию. Очень ярким является пример 1959 г., когда в первой и третьей декаде сентября отмечались фёны с высокими температурами, и наблюдалось большое таяние ледниковых поверхностей до 3000 м. Таяние продолжалось до первых чисел октября, хотя обычно таяние ледников в бассейне Актру прекращается в первой половине сентября [60]. Период абляции составил 132 дня, а величина абляции 655 см. Средняя же продолжительность абляционного периода за 15 лет (1965-1970 гг.) составляет 106 дней, а средняя величина абляции – 487 см, по данным И.Я. Олейника [60]. В 1968 г. суммарная абляция была велика – 563 см, несмотря на сравнительно низкую температуру за сезон, однако в июне и в начале сентября было большое количество фёнов, и продолжительность абляционного периода увеличилась до 123 дней [60]. Следовательно, связанные с фёнами повышенное таяние ледников и увеличение продолжительности абляционного периода отражаются и в суммарных величинах абляции.

Длительная фёновая погода, ясная и малооблачная с повышенными температурами воздуха разрушающе действует на ледники. Именно такая погода способствовала очень резкому подъёму временной снеговой границы на Аккемском леднике в 1962 г. на высоту 2750 м (то есть, почти до обычного её положения) уже к 7 июня [8].

В определённой мере, благодаря фёнам, создались экстремально тёплые условия летнего сезона 1974 г. Результатом этого явилось “истощение” фирновых полей ледников при необычайно высоком поднятии снеговой линии – до 3400-3450 м.

Необычайный паводок на речке Актру с максимальным расходом воды до 23,3 м³/с 7 июля 1974 г. был связан с таянием фирновых полей ледников, а не только их языков [18]. В период с 5 по 9 июля при наличии интенсивного фёна наблюдались наибольшие величины среднесуточного расхода воды в замыкающем створе р. Актру: 12-18 м³/с [48]. Средний суточный расход воды в июле 1974 г. составил 7 м³/с (для сравнения в июле 1973 г. – 2,6 м³/с, в июле 1972 г. – 3,4 м³/с [48]). Таким образом, можно выявить зависимость гидрологического режима ледниковых рек от повторяемости и интенсивности фёновых явлений.

Фёны способствуют более быстрому таянию снега весной. Например, в Турочаке снежный покров сходит в мае, а в Чемале – 18 ап-

реля (приложение 9). Образуется устойчивый снежный покров в фёновых районах значительно позже, а период со снежным покровом в связи с этим сокращается на 40-60 дней: на станции Чемал он составляет 119 дней, на станции Турочак – 181. В отдельные годы сход снежного покрова отмечается гораздо раньше, чем в среднем. Часто это связано с длительными интенсивными фёнами и значительным общим количеством дней с фёном в весенний период. Так, в 1979 г. на станции Беля снежный покров сошёл 24 марта, на месяц раньше, чем в среднем (средняя дата окончательного схода 25 апреля). Такому раннему сходу снежного покрова способствовал фён, отмечавшийся здесь с 21 по 26 марта. Быстрому сходу снежного покрова благоприятствовали и до этого несколько раз повторяющиеся фёны, которые сопровождались повышением температуры выше 0 °С. Всего в марте 1979 г. на станции Беля наблюдалось 18 дней с такими фёнами. На станции Кара-Тюрек сход снежного покрова в 1979 г. также отмечался значительно раньше (20 мая), по сравнению со средней многолетней датой (10 июня). Здесь также раннему сходу снежного покрова способствовали фёны. Особенно ярко был выражен фён 15-18 мая. Более ранний сход снежного покрова весной 1979 г. наблюдался и на других станциях, так как повсеместно отмечалось большое число дней с фёнами.

Зимой фёны способствуют быстрому испарению снега. Суммарные величины испарения снега за зиму в Горном Алтае, по оценке М.И. Ивероновой [31], составляют до 25 мм. Натурные наблюдения за испарением снега, выполненные зимой 1971-1972 гг. в бассейне р. Мульты [70], показали, что суммарное испарение снега за холодный период с горизонтальной площадки составило около 28 мм. Расчётным путём была получена близкая величина – 33 мм [70]. В работе [70, с. 107] отмечено, что “увеличение числа дней с фёном сопровождается повышением средней месячной интенсивности испарения, особенно в случаях их продолжительного действия”.

Максимальная интенсивность испарения снега наблюдается во вторую половину зимы, особенно в апреле, и достигает 0,016-0,018 мм/ч [70]. Наиболее интенсивному испарению снега, происходящему при фёнах, благоприятствуют высокие температуры воздуха, низкая влажность и повышенные скорости ветра. В связи с этим, авторами данной работы было проанализировано число часов с фёном в зимние периоды 1968-1969 гг. и 1969-1970 гг. с минимальными суммами испарения и в зимы 1971-1972 гг. и 1972-1973 гг. с увеличенными суммами испарившегося снега, на что указано в работе [70].

В 1968-1969 гг. за период с октября по апрель на станции Кара-Тюрек было зафиксировано 690 ч с фёном, в 1969-1970 гг. – 852 ч, а в 1971-1972 гг. – 2055 ч, несколько меньше сумма часов с фёном была в 1972-1973 гг. Предполагая, что при фёнах испарение снега происхо-

дит с максимальной интенсивностью (0,016-0,018 мм/ч) [70]), и зная число часов с фёном, можно оценить возможное испарение (без учёта процесса конденсации водяного пара) за счёт фёнов путём умножения интенсивности испарения на число часов с фёном в различных районах Горного Алтая.

Минимальное испарение характерно для широких котловин, где зимой фёны относительно редки: на станциях Кош-Агач, Катанда суммарное испарение составляет около 10 мм и менее. На водоразделах (Кара-Тюрек), в долинах Актру, Аккем, Мульта величина испарения со снежного покрова может достигать 40 мм.

Под влиянием фёнового ветра часто возникает позёмком: в среднем от 60 % в Яйлю, до 95 % на станции Кара-Тюрек (таблица 4.11).

Таблица 4.11 - Среднее число дней с позёмком

Станция	Число дней с позёмком		
	среднее [98]	за октябрь-апрель 1966-1976 гг.	
		среднее	при фёнах
Кара-Тюрек	24	27,5	26,2
Катанда	3	4,8	3,2
Кош-Агач	4	5,7	4,1
Кызыл-Озек	4	4,3	4,0
Усть-Улаган	6	8,4	7,0
Яйлю	16	28,3	17,1

Позёмком снег переносится с наветренного склона на подветренные его участки. Это в определённой мере способствует тому, что “верхняя часть наветренных склонов нередко лишена снежного покрова совершенно, а степень их покрытия едва превышает 25-30 %” [70, с. 94].

В высокогорной зоне позёмки продолжают большую часть холодного периода. Позёмком обычно начинается при скоростях ветра 4-5 м/с. Позёмки, наблюдающиеся при фёне, способствуют ещё более интенсивному испарению снега за счёт метелевого испарения. В холодные периоды, характеризующиеся большими суммами испарившегося снега, отмечалось и большее число дней с позёмком: с октября 1971 г. по апрель 1972 г. на станции Кара-Тюрек – 42 дня с позёмком. Из них 28 при фёнах, тогда как в 1968-1969 гг. за те же месяцы – всего 12, из них 7 при фёнах. Перенос снега позёмком, возникающим при фёнах, оказывает свою роль в концентрации осадков и их перераспределении в горноледниковых районах. Скопление снега на склонах, его концентрация в определённых участках, в фирновых бассейнах созда-

ёт благоприятные условия для увеличения баланса массы ледников, а также создают условия для возникновения лавинной опасности.

Лавины возникают чаще всего в высокогорной части Алтая, где высокое расчленение рельефа, где высота снежного покрова достигает более 30 см [42]. Лавинообразованию часто способствуют фёны, сопровождающиеся резким потеплением и оттепелями. Повышение температуры среди зимы, оттепели вызывают фильтрацию воды в снежный покров, его промачивание и сход лавин из тяжёлого мокрого снега [72].

Большая часть среднегорного центрального Алтая представляет собой достаточно сухие сравнительно малоснежные районы, где лавинная деятельность отмечается не повсеместно [72]. Она развивается, в частности, в долинах притоков Катунь, подверженных воздействию фёнов, спускающихся вниз по долине Катунь. Здесь при сравнительно маломощном снежном покрове лавины связаны с оттепелями, приносимыми фёнами.

На многоснежных отрогах хребтов Иолго, Куминского, Сумультинского, северо-восточного Алтая лавинная деятельность тоже активизируется под воздействием фёнов. Среди факторов лавинообразования оттепели занимают заметное место и в северной части Горного Алтая, в районе Телецкого озера и долинах Чулышмана и Башкауса, что составляет примерно четверть лавиноопасной территории.

Наиболее велико влияние фёнов на сход лавин в марте-апреле. В это время наблюдается в высокогорных районах увеличение активности фёновых процессов, максимальная повторяемость очень тёплых и тёплых фёнов (до 80 %) с высокими положительными температурами.

В долине Актру, по данным Т.В. Королёвой [34], отмечено семь периодов массового схода лавин с февраля по апрель 1978 г. Сходу лавин либо предшествовал фён, либо лавины сходили в периоды фёнов, сопровождающихся интенсивными потеплениями, переходом температуры через 0 °С. В частности, в период с 28 февраля по 1 марта наблюдался фён с интенсивным потеплением и сильным ветром до 17 м/с, за это время сошло 22 лавины. С 20 по 28 марта наблюдался длительный фён, температуры достигали значений выше 0 °С, сошло 25 лавин, 16 марта фён сопровождался слабым ветром, сошло 19 лавин, 7 апреля температура при фёне повысилась выше 0 °С, сошло 15 лавин, 11 апреля – 7 лавин.

В летнее время сход лавин тоже бывает связан с фёнами. После снегопадов 17 июля 1967 г. при фёне переваливания, связанном с прохождением холодного фронта, в бассейне р. Аккем сошло 90 лавин. 13-14 июля 1972 г. отмечен сход более 100 лавин на склонах бассейна Катунского ледника [72]. Фён в эти дни отмечался на нескольких станциях и возник в связи с прохождением холодного фронта.

Таким образом, роль фёнов в формировании климатов Горного Алтая должна быть оценена, как очень большая. В первую очередь следует оценить обогревающую роль фёнов. Только они могут обеспечить такую мягкость зимы, достаточно частые оттепели, сокращённую продолжительность устойчивых морозов. В фёновых районах значительно увеличена продолжительность безморозного периода. С фёнами связаны экстремально высокие значения температур воздуха. Велика роль фёнов в формировании относительно сухого климата в фёновых районах Горного Алтая.

Большое влияние фёны оказывают на ветровой режим. С фёнами связаны, как правило, повышенные скорости ветра. В зимний период с ними связаны явления переноса снега позёмком, а летом в засушливых районах возникают пыльные бури. В целом влияние фёнов на климат Горного Алтая в наиболее обжитых районах с развитым земледелием и животноводством можно считать благоприятным, лишь только в отдельные очень засушливые годы влияние фёнов может усугубить недостаток влаги и привести к неблагоприятным последствиям.

Известные целительные свойства горных климатов Алтая в большой мере формируются под влиянием фёновых явлений.

5. ПРИКЛАДНОЕ ЗНАЧЕНИЕ ФЁНОВ

5.1. Районирование территории Горного Алтая по степени развития фёнов

Районирование производится для выяснения распределения фёнов на территории Горного Алтая с целью учёта особенностей этих районов при решении различных народно-хозяйственных задач и в рекреационных целях. Для выделения районов с различной степенью развития фёнов учитывались две группы факторов, указывающие на причины возникновения фёнов (первая) и их последствия (вторая). К первой группе относятся следующие факторы:

1) расположение основных хребтов по отношению к направлению основного переноса воздуха [2]. Ориентация хребтов с северо-запада на юго-восток и близкие к этому направления создают благоприятные условия для переваливания ветров господствующего юго-западного и западного направлений;

2) экспозиция склонов. Различная степень развития фёнов зависит от местоположения района. Подветренные склоны (северные, восточные) подвержены влиянию как преобладающих фёнов переваливания, так и антициклонических и проявляются они здесь ярче, так как склоны крутые. Южные и западные склоны – пологие, здесь возможны только антициклонические фёны. Следует учесть, что на наветренных склонах хребтов, где наблюдения не проводились, исходя из теории возникновения антициклонических фёнов, отмечается такое же количество антициклонических фёнов, что и на подветренных склонах, то есть 40-60 дней в год, в зависимости от высоты местности. Это легко определить, зная общее число дней с фёнами (таблица 3.5 и 3.6) и повторяемость антициклонических фёнов (таблица 3.4);

3) ориентация долин. В речных долинах или участках долин, ориентированных в меридиональном направлении, являющихся хорошими воздуховодами, получают сильное развитие фёны. Это долины рек Катунь, Чарыш, низовья Чулышмана, а также Телецкого озера;

4) густота и глубина расчленения местности, расстояние от гребня гор. От превышения водоразделов зависит до какой высоты будет происходить опускание воздуха, степень его нагрева и иссушения. Фёны хорошо проявляются при разности высот 800 м [13], но уже начинают проявляться при превышении 100-200 м [1]. Больше фёнов наблюдается в районах с сильно расчленённым рельефом. Наиболее подвержены фёнам глубоко врезаемые узкие долины, а также долина Телецкого озера, представляющая собой подобие узкого глубокого жёлоба. Меньше фёнов в котловинах (Чуйская, Уймонская, Урскуль-

ская и др.), широких слабо врезанных долинах, широтно ориентированных. Для определения зависимости повторяемости фёнов от превышения хребтов (ΔH , м) и расстояния от гребня (L , км) использовался безразмерный морфометрический показатель местности K [117]:

$$K = \frac{\Delta H}{L}. \quad (9)$$

Величина ΔH определялась, как средняя арифметическая величина из снятых с карт максимальной и минимальной высотной отметок на горном хребте, расположенном в западном и юго-западном направлении от исследуемого пункта. Расстояние L определялось от станции до горизонтальной проекции гребня горного хребта в том же направлении. Учитывались ближайшие хребты. На рисунке 5.1 показана зависимость повторяемости фёнов от величины морфометрического показателя рельефа местности K по данным 14 станций, приведённых в таблице 3.6.

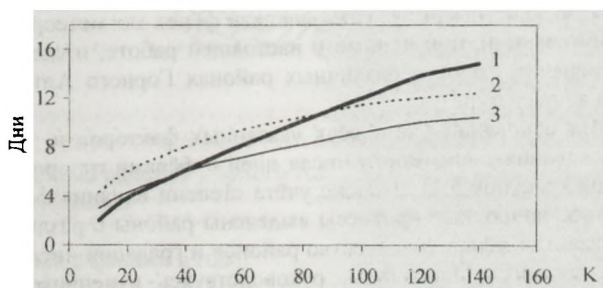


Рисунок 5.1 - Зависимость повторяемости фёнов (дни) от орографических факторов

Условные обозначения: 1 – январь; 2 – апрель, октябрь; 3 - июль

Эта зависимость может быть выражена следующими степенными уравнениями регрессии:

$$\text{для января} \quad Y = 0.5 \cdot X^{0.69}, \quad (10)$$

$$\text{для апреля, октября} \quad Y = 2.0 \cdot X^{0.17}, \quad (11)$$

$$\text{для июля} \quad Y = 1.3 \cdot X^{0.42}. \quad (12)$$

Приведённые уравнения регрессии значимы по критерию Фишера (при $F_{0,05}$). Коэффициенты корреляции равны 0,90-0,94, они также значимы по t-критерию Стьюдента (при $t_{0,05}$). Приведённый график связи позволяет выделить районы с разным количеством дней с фёнами в зависимости от орографических условий;

5) формы рельефа. Хорошее развитие получают фёны на верхних уровнях высоких склонов, на водоразделах (например, станция Кара-Тюрек), в то время как скопление холодного воздуха в отрицательных формах рельефа (очень широкие долины, межгорные котловины, такие как Чуйская и др.) препятствуют проникновению фёнов до поверхности земли, особенно в зимнее время.

Ко второй группе относятся следующие факторы:

1) ландшафтные признаки. Результатом проявления фёнов в отдельных районах являются ландшафты, не свойственные высотным поясам. С большой повторяемостью фёнов связано появление в долинах рек Чулышмана, Башкауса, Катунь степных и полупустынных ландшафтов за счёт повышенных температур воздуха, понижения влажности, уменьшения облачности;

2) климатические особенности районов. В фёновых районах формируется более тёплый климат с мягкой зимой. Влажность здесь понижена. Учтены результаты анализа фёнов по метеорологическим данным станций, полученные в настоящей работе, и сведения о распространении фёнов в различных районах Горного Алтая, содержащиеся в литературе.

На основании учёта всех указанных факторов и, в частности, использования зависимости числа дней с фёнами от орографических условий (рисунок 5.1), а также учёта степени влияния фёнов на климат и все природные процессы выделены районы с различной степенью развития фёнов. Количество районов и градации числа дней с фёнами для них установлены, руководствуясь изменчивостью числа дней с фёнами по исследуемой территории, числом точек наблюдений. Оптимальная величина градации k определяется по формуле [47]:

$$k = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{1 + 3.2 \cdot \lg n}, \quad (13)$$

где n - число наблюдений в выборке,

$X_{\max}, X_{\min}$ - наибольшее и наименьшее значения в выборке.

Вычисленная по формуле (13) величина k равна 35 дней. Исходя из того, что размах варьирования числа дней с фёнами по территории составляет 160, величина градации принята равной 40 дней, что

не меньше удвоенной погрешности определения числа дней с фёнами. В связи с этим выделено четыре района, в которых наблюдается следующее число дней с фёнами: менее 40, от 40 до 80, от 80 до 120, от 120 до 160. Расположение выделенных районов приведено на рисунке 5.2.

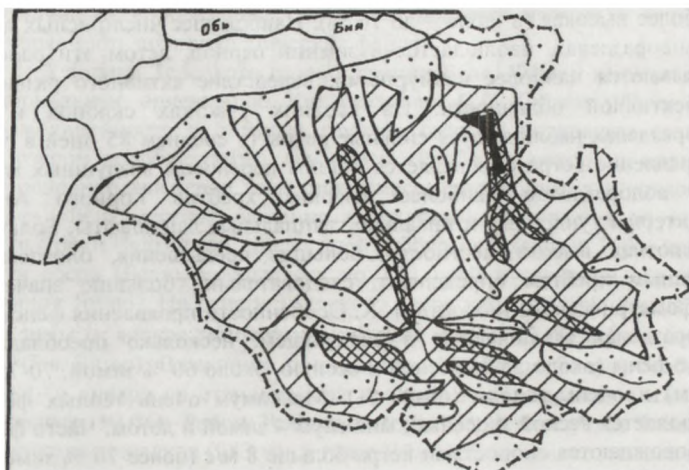


Рисунок 5.2 - Схема районов Горного Алтая с различным числом дней с фёнами

Число дней с фёнами в год

	от 120 до 160
	от 80 до 120
	от 40 до 80
	менее 40

Наиболее благоприятными для развития фёнов являются районы, где наблюдается от 120 до 160 дней с фёнами. Их можно разделить на 4 подрайона, в зависимости от особенностей орографии и проявления фёнов:

1) водоразделы самых высоких хребтов Катунского, Северо-Чуйского, Южно-Чуйского, Курайского. Особенности климата водоразделов могут быть представлены на примере станции Кара-Тюрек (Катунский хребет). Повторяемость фёнов составляет здесь до 150

дней в году. В годовом ходе максимальная повторяемость фёнов отмечается зимой, минимальная – летом: 14-17 дней – в зимние месяцы; 11-13 – в весенние и осенние, 9-11 – в летние. Водоразделы характеризуются уменьшением континентальности климата, вследствие относительно мягкой зимы. Относительная влажность на станции Кара-Тюрек зимой пониженная (в январе – 64 %), а летом, наоборот, наиболее высокая (в июле – до 76 %). Наибольшее число ясных дней на водоразделах, наблюдается в зимний период, летом эти районы оказываются наиболее пасмурными, вследствие активного развития конвективной облачности. На верхних участках склонов и на водоразделах наблюдаются сильные ветры (в среднем 85 дней в год). Направление ветра определяется общим переносом воздушных масс. Для водоразделов наиболее высоких хребтов Горного Алтая характерны тундровые и нивально-гляциальные ландшафты. Большая абсолютная высота местности, большие превышения, близость к основным хребтам определяют, следовательно, большие значения морфометрического показателя К. Особенности проявления фёнов на водоразделах заключаются в следующем: несколько преобладают сухие фёны (около 55 % весной и осенью, около 60 % зимой, 70-75 % летом) и очень тёплые (60-80 %). Максимум очень тёплых фёнов наблюдается весной и осенью, минимум – зимой и летом. Часто фёны сопровождаются скоростями ветра больше 8 м/с (более 70 % зимой и около 55 % – летом и в переходные сезоны). В холодный период года фёны со скоростью ветра более 15 м/с достигают 30 %. Для водоразделов характерны как антициклонические фёны, благодаря большим абсолютным высотам, так и фёны переваливания;

2) верхние части высокогорных долин, расположенных на северных или северо-восточных склонах указанных выше хребтов, близко к гребням, ориентированных в меридиональном и субмеридиональном направлениях, узких с крутыми высокими склонами, такие, например, как долины рек Аккем, Корумду, Талдуры, Мульты. В этих районах наблюдается 120-130 дней с фёном в год. Годовой ход повторяемости фёнов относительно плавный, несколько больше фёнов отмечается зимой, как и на водоразделах. Здесь также уменьшена континентальность климата: наблюдаются относительно тёплые зимы, годовая амплитуда температуры воздуха составляет около 30 °С (меньше, чем в котловинах, но больше, чем на водоразделах). Влажность в зимнее время принимает более низкие значения по сравнению с равнинными районами, котловинами. Режим облачности – характерный для высокогорных областей – увеличенное количество облаков летом и уменьшенное – зимой. Скорости ветра существенно меньше, чем на водоразделах. В тёплый период года в долинах развивается горно-долинная циркуляция. Наиболее сильные ветры в этих районах

связаны с фёнами, тем не менее, скорости ветра при фёнах несколько меньше, чем на водоразделах. Наибольшая активность фёнов в долинах бывает при значительном превышении (глубина расчленения большинства долин составляет 800-1500 м) и расстоянии от гребней гор до 10 км. Высокогорные долины в основном имеют горно-долинные лесо-лугово-степные ландшафты. В высокогорных долинах, в отличие от водоразделов, зимой наблюдается несколько меньшая повторяемость антициклонических фёнов;

3) долина Телецкого озера (станции Беля, Яйлю), имеющая меридиональную ориентацию. Как указывает С.П. Суслов [99, с. 107], «прямолинейность и большая глубина озёрной котловины создают над озером подобие узкого, глубокого жёлоба, по которому происходит основное движение воздушных масс, врывающихся в котловину извне». Фён (местное название «верховка») вырывается из узкого ущелья реки Чулышман. Число дней с фёном составляет 160 в южной части озера (Беля), уменьшаясь до 130 дней в северной его части (станция Яйлю). На берегу Телецкого озера наблюдаются самые тёплые зимы (в январе температура воздуха минус 9,2 °С в Беля, минус 9,4 °С в Яйлю). Влажность пониженная, благодаря фёнам, особенно зимой (в январе на станции Беля средняя относительная влажность составляет 59 %). Район Телецкого озера характеризуется большим количеством осадков (983 мм в год в Яйлю). Сочетание повышенного фона температур и хорошего увлажнения создаёт очень благоприятные свойства климата, позволяющие выращивать различные плодовые культуры. В районе Телецкого озера повышена повторяемость пасмурного неба в течение всего года. Скорость ветра в южной части составляет 3,4 м/с (станция Беля), а в северной – 2,4 м/с (станция Яйлю). В течение всего года на Телецком озере преобладают очень тёплые фёны (70-80 %) и сухие (от 60 % в переходные сезоны до 100 % зимой). Зимой преобладают фёны со скоростями ветра 3-7 м/с (70 %), летом 0-2 м/с (60 %). На побережье Телецкого озера преобладают среднегорные крутосклонные глубоко расчленённые (до 1000-1200 м) лесные ландшафты;

4) долины с близким к меридиональному направлению, узкие, глубоко врезанные (глубина расчленения составляет от 800 до 1200 м и более), имеющие крутые склоны, обрывы, местами выходы скал, хорошо продуваемые: долины рек Катунь, низовья Чулышмана, Башкауса. Число дней с фёном составляет 150-160 в год. Распределение, как и в других районах, зимой максимальное, летом – минимальное, хотя амплитуда невелика. Зима тёплая, вследствие частого воздействия фёнов. Температура января в Чемале минус 12,6 °С, приблизительно как на Прикаспийской низменности. Благодаря влиянию фёнов, «нижнее течение и дельта реки Чулышман служат местом зимов-

ки птиц, которые собираются в его узкой глубокой долине, затерявшейся среди высоких гор» [99, с. 97]. Благодаря фёнам, относительная влажность в таких долинах понижена в течение всего года (64 % в январе, 72 % в июле на станции Чемал). Осадки в основном летние, 561 мм в год, снега очень мало. В этих районах наблюдаются увеличенные скорости ветра, особенно в холодный период. Фёны обуславливают ландшафты, несвойственные высотным поясам рельефа, в частности, формируются степные пятна и полупустынные ландшафты. Наблюдаются частичные инверсии вертикальной ландшафтной поясности. К особенностям проявления фёнов следует отнести большую длительность и большие скорости ветра. Число дней с фёном в таких долинах достигает 150 (Чемал).

Фёновые районы могут успешно использоваться в рекреационных целях: первый и второй подрайоны – для организации альпинистских и туристических маршрутов, для открытия туристических баз и альпинистских лагерей, четвёртый – для организации отдыха (дома отдыха, пансионаты) и оздоровления (курорты) трудящихся, третий – как для туризма, так и для расширенного производства овощей и садовых культур (количества тепла и влаги достаточно для выращивания даже отдельных сортов винограда).

К районам, где наблюдается от 80 до 120 дней с фёном в год, относятся два подрайона:

- 1) подветренные склоны хребтов среднегорной части Алтая,
- 2) долины рек Песчаной, Ануя, Чарыша, Семы, Маймы, средняя часть течения Башкауса, имеющие субмеридиональное или меридиональное направление и среднюю степень расчленённости местности (глубина расчленения до 600 м).

Климатические условия в этих районах существенно различаются, так как их территории распространены в пределах всего Горного Алтая и связаны с абсолютной высотой местности. Для второго подрайона характерны довольно высокие температуры воздуха: на станции Кызыл-Озек в январе минус 15,9 °С, в июле 18,0 °С, в других районах тоже не бывает очень низких температур. Здесь в течение года характерны очень тёплые фёны: от 60 % в тёплый период до 90 % в холодный период. Преобладают в течение всего года сухие фёны, их повторяемость составляет 60-70 %. Территории этого подрайона свойственны луговые, лесные крутосклонные средне расчленённые ландшафты. Эти районы благоприятны для развития сельского хозяйства. Запасы тепла достаточны для выращивания яровой пшеницы, овса, ячменя, кукурузы, овощей.

Районы, где наблюдается от 40 до 80 дней с фёном, могут быть разделены на два подрайона в зависимости от их расположения:

1) межгорные изолированные широкие котловины: Чуйская (станция Кош-Агач), Курайская, Урскульская (станция Онгудай), Уймонская (станция Усть-Кокса), Катандинская (станция Катанда), Абайская, Джулукульская, Бертекская. Здесь наблюдается до 80 дней с фёном в год. В котловинах очень заметно уменьшенное количество фёнов зимой, по сравнению с другими районами. Во всех котловинах наблюдается застой холодного воздуха в зимнее время, и только очень интенсивные фёны переваливания наблюдаются на днищах котловин, поэтому зимой отмечается минимальное число дней с фёном (4-5). Наибольшее число дней с фёном (7-8) бывает в переходные сезоны. Котловинный эффект, малое количество фёнов зимой обуславливают очень низкую температуру (в январе на станции Кош-Агач минус 32,6 °С), высокую относительную влажность (76 %), что говорит о суровых зимах в этих районах. Повышенная температура в весеннее, летнее и осеннее время, пониженная влажность, уменьшенное количество облаков и осадков (в Кош-Агаче в среднем 110 мм осадков в год) способствуют существованию здесь степных и полупустынных ландшафтов. В замкнутых котловинах в зимнее время в период господства азиатского антициклона наблюдается большое количество штилей (более 50 %). В котловинах преобладают очень тёплые фёны в течение всего года (зимой 90-98 %, летом 60-70 %). Зимой наблюдаются только сухие фёны (100 %), летом и осенью они составляют 55-60 %, весной возрастает повторяемость очень сухих фёнов – 56-60 %. Скорости ветра при фёнах значительно больше средних, особенно в холодный период;

2) долины рек, имеющих широтную или субширотную ориентацию, слабо расчленённый рельеф (глубина расчленения менее 200-300 м), сильно извилистых или широких покрытых лесом. К ним относятся такие долины рек северо-восточной части Горного Алтая, как Бии, Иши, Лебедя и их притоков, долины рек центрального Алтая – Урсул, Кокса, Иня и др. Для таких долин характерны чаще всего луговые, лесные, или горно-долинные лесо-лугово-степные ландшафты. В центральном Алтае обычно наблюдается нормальное распределение вертикальных ландшафтных поясов. Такие районы в весенне-летне-осенний период могут быть использованы для отгонного животноводства, выращивания сеяных трав и некоторых видов зерновых (овёс, ячмень и др.). Зимой районы выпаса переносятся на склоны.

По мере удаления от хребтов степень развития фёнов резко уменьшается – до нескольких дней с фёном в год. В предгорных районах Алтая их количество составляет менее 40 дней.

5.2. Значение фёнов для развития народного хозяйства

Для более рационального использования природных ресурсов Горного Алтая необходимы знания о степени развития фёнов в различных районах и учёта их влияния. В связи с тем, что фёны оказывают существенное влияние на режим температуры, увлажнения, ветровой режим, велика роль фёновых районов для сельского хозяйства. В среднегорных районах с хорошим развитием фёнов запасы тепла достаточны для производства различных видов зерновых, овощных и даже плодовых культур. Однако, вследствие недостатка влаги, природные ресурсы тепла почти не используются. Обилие тепла и света при достаточном увлажнении позволяет выращивать садоводам-любителям в Яйлю и Беля фрукты, в том числе и такие теплолюбивые растения, как виноград.

Увеличение количества фёнов в отдельные годы весной и осенью сказывается на сроках сева зерновых культур и трав, а также сбора урожая, а в вегетационный период способствует быстрейшему созреванию культур. Весной с фёнами связан быстрый сход снежного покрова, поэтому почва становится раньше пригодной для обработки, и сев можно производить раньше. Например, в Онгудае сроки сева овса приходятся на середину-конец мая обычно, а в 1978 г. сев начался 2 мая. В апреле-начале мая здесь было отмечено 18 дней с фёнами.

Фёны в летнее время благоприятствуют более ранним срокам уборки урожая. Так, в Усть-Коксе уборка овса и ячменя начинается обычно в конце августа – начале сентября, а в 1977 г. – 29 июля (при тех же сроках сева – в начале мая). Это почти на месяц раньше обычного. Причём, урожайность в 1977 г. была почти в два раза больше, чем в 1975 г. В период с мая по июль 1977 г. насчитывалось около 40 дней с фёном. Однако не было длительных очень интенсивных фёнов с высокими температурами и очень низкой относительной влажностью воздуха, которые могли бы вызвать замедление роста растений, высыхание почвы и растительности.

В годы с наибольшей повторяемостью фёнов увеличивается продолжительность горно-долинного выпаса скота. Так, в Кызыл-Озеке выпас скота обычно производится до середины октября, а в 1975 г. продлился до 2 ноября.

В зимнее время, когда в орографически замкнутых районах Горного Алтая наблюдается застой холодного воздуха, и фёны не достигают подстилающей поверхности, верхние участки горных склонов находятся под влиянием фёнов и обладают благоприятными условиями для отгонного животноводства. Однако после фёнов, с которыми иногда связаны сильные длительные оттепели зимой, может наступить морозная погода, и на поверхности снега тогда образуется корка

или наст, затрудняющие доступ к корму, что вызывает необходимость доставлять его даже на вертолётах, приводит к массовому падежу скота. Как сообщалось в газете «Комсомольская правда» [20], такая обстановка сложилась в декабре 1987 г. на юго-востоке Горного Алтая. Особенно трудными были условия в Кош-Агачском и Улаганском районах. Десятки отар (по 500-600 голов каждая) остались без подножного корма, начался падеж. С центральных усадеб хозяйств были направлены автопоезда с кормами, на чабанские стоянки корма развозили вертолётами. Скот доставляли вертолётном на сохранение жителям разных селений. Однако оттепели при фёнах сопровождающиеся высокой температурой (до 8 °С в зимний период) и продолжающиеся несколько дней подряд, при которых происходит таяние снежного покрова, наблюдается в районах выпаса скота один раз в 10-12 лет. Нежелательных последствий вполне можно избежать, имея запас кормов на тот период, пока существует ледяная корка на поверхности снега.

При сильных фёнах зимой снег сдувается с полей. Для накопления снега на полях, а также для защиты автомобильных дорог от снежных заносов необходимо устанавливать снегозадерживающие щиты. К весне около них скапливается много влаги, которая нужна для полей. Такие снежно-мелиоративные работы проводятся в разных районах Горного Алтая, в частности, вдоль Чуйского тракта, на перевалах, а также вдоль других важных автомобильных трасс.

В высокогорной части всегда остро стоит вопрос о лавинной опасности, поэтому важно, что по интенсивным фёнам можно судить о времени схода лавин в местах скопления больших масс снега.

Очень длительные и интенсивные фёны с высокими температурами и очень низкой влажностью иногда вызывают повышенную пожарную опасность в лесах Горного Алтая. В связи с этим, можно вспомнить лето 1974 г., когда в июле – начале августа наблюдалось большое количество лесных пожаров. В такие периоды необходимо особенно строго соблюдать правила противопожарной безопасности: не разводить костры, не пускать палы и т.д.

Для характеристики гидрологического режима горных рек очень важно знать степень развития фёнов в различных районах. Фёны способствуют наводнениям, сильным разливам рек при бурном таянии снега весной и ледников летом. Например, летом 1974 г. наблюдался экстремальный паводок реки Актру, бурной рекой были снесены все мосты в бассейне Актру.

Фёновая погода разрушает ледники. Частое повторение «фёновых декад» могло бы иметь для ледников катастрофические последствия, как отмечал М.В. Тронов [110]. Изучение таяния ледников помогает научно правильно решать народно-хозяйственные проблемы, свя-

занные с использованием воды рек с ледниковым питанием для орошения засушливых территорий.

На Алтае, как показали приведённые исследования, не наблюдаются такие «жестокие» фёны, какие бывают в Альпах или в Чилийских Андах. Неблагоприятного влияния алтайских фёнов на самочувствие животных и людей не отмечалось. Поэтому районы, благоприятные для развития фёнов, с успехом могут быть использованы в рекреационных целях. Однако ресурсы курортно-туристических возможностей горных районов Алтая используются далеко не в полной мере. Имеющихся курортов (Чемал, Белокуриха), нескольких туристических баз явно недостаточно. Повышение температуры и частичное иссушение атмосферы при фёнах, как показывает В.И. Русанов [75], благоприятно для проведения разнообразных форм климатопрофилактики и климатотерапии. Фёны оказывают благоприятное влияние на теплоощущение человека в холодное время года, радуют тёплой и солнечной погодой весной и осенью. Это, в сочетании с чистым горным воздухом, отсутствием болезнетворных микроорганизмов, живописными неповторимыми пейзажами, благотворно влияет на нервную систему человека, на оздоровление и восстановление сил человека.

Поскольку с фёнами бывает связано увеличение ультрафиолетовой радиации, вследствие размывания облачности и обилия солнца в дневные часы, создаются хорошие условия для гелиотерапии.

Озонированный воздух придаёт целебность горному климату. Немецкие исследователи [133, 136, 137] установили, что озон, образующийся в верхних слоях атмосферы, благодаря вертикальному перемещению воздуха, достигает средних слоёв тропосферы, а оттуда с нисходящими движениями воздуха и подстилающей поверхности. Вследствие этого, во время фёна была измерена наибольшая плотность озона, в среднем почти в два раза выше средней [133]. Как только процесс движения озона затухал, явление высокой плотности озона прекращалось, и в течение часа озон разрушался [137]. В стадии до образования фёна и после его прекращения замерялись исключительно низкие значения плотности озона, во время фёнопаузы они подвергались сильным колебаниям. В работе [88] также приводятся сведения о том, что при фёнах увеличивается количество озона в приземном слое, изменяются электрические характеристики атмосферы, может сильно повышаться интенсивность солнечной радиации.

Сильные ветры, иногда связанные с фёном, могут быть скорректированы соответствующей планировкой курортного комплекса или при помощи простейших способов защиты от ветра [77].

В Горном Алтае имеются все возможности для разнообразной рекреационной деятельности от коротких прогулок, экскурсий, туристических походов до альпинистских восхождений разных категорий

сложности. Особенно большие возможности имеются для развития горно-лыжного спорта. Однако с целью эффективного использования благоприятных для организации отдыха и оздоровления трудящихся районов (строительство санаторно-курортных, лечебно-профилактических учреждений домов отдыха, туристических баз, альпинистских лагерей) следует правильно учитывать климатические ресурсы (в том числе и режим фёнов) горно-рекреационных районов Горного Алтая.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение могут быть сделаны основные выводы и практические рекомендации.

1. Методика автоматизированного выделения фёнов на основе использования данных стандартных метеорологических наблюдений позволяет выделить все фёны, влияющие на деятельность сельского хозяйства, на рекреационные свойства климата, на снежно-ледовые процессы. Преимущество предложенного метода выбора фёнов заключается в том, что исключается трудоёмкая ручная работа с метеорологическими таблицами, он позволяет использовать большой объём данных и объективно выделить дни с фёном с учётом расположения станции, особенностей времени года и суток, подсчитать число часов с этим явлением и зафиксировать основные характеристики фёна. Методика может быть применена для выделения фёнов и в других горных странах.

2. Возникновение фёнов связано с общециркуляционными условиями, однако, в зависимости от орографических условий они могут лучше проявляться в одних районах (верхние части склонов, водоразделы, меридионально ориентированные глубоко врезаемые долины), хуже – в других, и не проявляться в третьих (межгорные котловины, особенно в холодный период года). В зависимости от происхождения наблюдаются фёны различных типов: антициклонические и переваливания.

3. Анализ фёнов показал, что фёны распространяются по всей территории Горного Алтая, однако число дней с фёном в различных районах существенно различается, вследствие влияния орографии. Наибольшее количество дней с фёном отмечается на станциях, расположенных на водоразделах, в меридионально ориентированных, глубоко врезаемых и хорошо продуваемых долинах, а также в высокогорных долинах, вытянутых с юга на север или с юго-запада на северо-восток. Максимальное число фёнов в этих районах наблюдается зимой, минимальное – летом. Значительно меньше фёнов возникает на станциях, расположенных в замкнутых формах рельефа, особенно в межгорных котловинах. Максимальное число дней с фёном здесь наблюдается в переходные сезоны, минимальное – в зимний сезон. Установлена зависимость между средним за месяц числом дней с фёном и их суммарной продолжительностью.

4. Максимальная непрерывная продолжительность фёнов на разных станциях изменяется от одних до 5 суток. На большинстве станций преобладают в среднем за год фёны средней непрерывной продолжительности: от 6 до 15 часов. Наиболее продолжительны антициклонические фёны.

5. Особую ценность представляют экспедиционные наблюдения за фёнами в горноледниковом бассейне Актру, которые показали, что это – район с большим количеством фёнов. Проведённые здесь наблюдения позволили выявить особенности их проявления на разных высотных уровнях, на разных типах подстилающей поверхности, в том числе и на ледниках. Сравнение свойств фёнов на дне долины и на водоразделе в непосредственной близости показало, что фёны летом гораздо ярче проявляются в долине. Это выражается в очень резком снижении относительной влажности (до 15 % и ниже) и значительном повышении температуры воздуха на 10-15 °С, по сравнению с водоразделом Учитель.

Особенности проявления фёнов на ледниках заключаются в следующем: продолжительность их и скорость ветра при фёнах больше, чем в долине, повышение температуры меньше, вследствие охлаждающего влияния тающей поверхности, относительная влажность не опускается до таких низких значений как в долине.

Сравнительные исследования в других горноледниковых бассейнах Алтая, расположенных в сходных орографических условиях (Аккем, Мульта, Корумду, Талдура, Кубадру), позволили сделать вывод о том, что количество фёнов в них практически одинаково. Поэтому основные выводы, полученные в результате детальных исследований в бассейне Актру, могут быть распространены на другие сходные бассейны.

6. Эпизодические комплексные аэрологические наблюдения, проведённые в бассейне Актру, позволяют охарактеризовать вертикальную структуру фёнов. При фёнах наблюдается постоянный юго-западный поток от земли до больших высот в свободной атмосфере. Для фёнов характерно наличие мезоструи воздуха с максимальной скоростью на высотах 700-900 м над дном долины. Особенностью вертикального распределения температуры при фёнах является наличие отдельных тонких слоёв инверсии или изотермии мощностью 50-100 м в нижнем 200-метровом слое. При зондировании над ледником Малый Актру было установлено инверсионное распределение температуры при фёне более интенсивное, чем в других ситуациях, в нижнем 100-метровом слое. Относительная влажность воздуха с высотой мало изменяется и остаётся низкой (30-40 %) до максимальной высоты зондирования.

7. Проведённый анализ фёнов дополняет ранее известные из литературы выводы о роли фёнов в формировании климата Горного Алтая, подтверждает их фактическими материалами и позволяет сделать следующие выводы:

а) фёны оказывают сильный обогревающий эффект в Горном Алтае. Это влияние сказывается на повышении средних месячных, годовых

вых температур воздуха, увеличению сумм положительных температур и значительном уменьшении сумм отрицательных температур, в сокращении продолжительности устойчивых морозов. При фёнах наблюдаются экстремально высокие температуры. Повсеместно часто наблюдаются очень тёплые фёны, часто с фёнами связаны оттепели;

б) в фёновых районах наблюдается снижение влажности воздуха. С фёнами связаны экстремально низкие значения относительной влажности воздуха. Фёны сопровождаются резким понижением относительной влажности – на 15 - 80 %. В зависимости от расположения станции и сезона года могут преобладать фёны сухие или очень сухие;

в) с фёнами связаны повышенные скорости ветра. На водоразделах скорость ветра при фёнах может достигать ураганной силы. В холодный период года фёны часто вызывают снежные позёмки. В засушливых районах центрального и юго-восточного Алтая в летнее время фёны являются в большинстве случаев причиной пыльных бурь;

г) влияние фёнов на гидрометеорологические условия проявляется в быстром таянии снега весной, более позднем образовании устойчивого снежного покрова осенью, увеличении абляции ледников, возрастании частоты схода лавин.

8. Для выяснения распространения фёнов на территории Горного Алтая проведено районирование по степени развития фёнов, необходимое для учёта влияния их на климат и все природные процессы, для рационального использования климатических ресурсов горных районов. При этом учтены многие факторы: расположение основных хребтов, экспозиция склонов и ориентация долин, глубина расчленения рельефа и расстояние от гребней гор, форма рельефа, ландшафтные признаки, климатические особенности районов, степень развития фёнов. Выделено четыре района с разным числом дней с фёнами по исследуемой территории: менее 40, от 40 до 80, от 80 до 120, от 120 до 160. К наиболее благоприятным для развития фёнов районам относятся водоразделы самых высоких хребтов Катунского, Северо-Чуйского, Южно-Чуйского, Курайского, верхние части высокогорных долин, расположенных на северных и северо-восточных склонах указанных хребтов и ориентированных в меридиональном направлении, долина Телецкого озера, узкие глубоко врезаемые, хорошо продуваемые долины Катунь, Чулышмана, Башкауса. Особенно эффективным было бы использование благоприятных свойств климата фёновых районов для оздоровления и отдыха трудящихся, которые в настоящее время используются очень мало. Повышенные ресурсы тепла в районах, благоприятных для развития фёнов в среднегорной зоне могут быть более рационально использованы в сельском хозяйстве.

Важным дальнейшим этапом исследования должна стать организация специализированных наблюдений за фёнами и их влиянием на все природные процессы, разработка методов прогноза возникновения фёнов в различных районах Горного Алтая, оказывающих не только благоприятные воздействия на хозяйственную деятельность, но и способных вызывать опасные последствия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алисов Б.П., Дроздов О.А., Рубинштейн Е.С. Курс климатологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1952. – Ч. 1 и 2. – 487 с.
2. Алтайский край: Атлас. – М.-Барнаул: ГУГК при СМ СССР, 1978. – Т.1. – 222 с.
3. Ассман Д. Чувствительность человека к погоде. – Л.: Гидрометеиздат, 1966. – 247 с.
4. Астапенко П.Д. Явления фёна на Балканах // Вопросы географии. – 1948. – № 7. – С. 151-157.
5. Атлас снежно-ледовых ресурсов мира. – СПб: ГУГК, 1998.
6. Барико-циркуляционный режим атмосферы над Алтаем и сопредельными территориями в тёплый период / К.И. Попова, Н.Х. Лупина, Е.И. Панженская, А.В. Егорина // Гляциология Сибири. – Томск. – 1986. – Вып. 3 (18). – С. 12-59.
7. Барри Р.Г. Погода и климат в горах / Пер. с англ. М.А. Петросянца. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 311 с.
8. Башлаков Я.К. Гидрометеорологический режим верхней части бассейна р. Аккем летом 1982 г. // Гляциология Алтая. – Томск. – 1965. – Вып. 4.-С.70-83.
9. Белова Н.И. Расчёт турбулентных потоков тепла на ледниках Актру // Вопросы геологии и географии. – Томск. – 1972. – С. 193-199.
10. Берг Л.С. Основы климатологии. – Л.: Учпедгиз, 1938.
11. Бугаев В.А., Субботина А.С. Синоптические процессы Средней Азии. – Ташкент: Изд-во АН УзССР, 1957.
12. Бурман Э.А. К теории антициклональных фёнов // Изв. АН СССР. Сер. геофиз. – 1958. – № 3. – С. 414-418.
13. Бурман Э.А. Местные ветры. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 341 с.
14. Бурман Э.А., Лапчева В.Ф. Метеорологическая характеристика фёнов в долине Азау // Тр. / ОГМИ. – 1958. – Вып. 18. – С. 103-119.
15. Бут И.В. О классификации фёнов // Тр. / ОГМИ. – 1958. – Вып. 17. – С. 3-30.
16. Бут И.В. О возможном эффекте влияния фёнов на абляцию горных ледников // Метеорология и гидрология. – 1966. – № 8. – С. 16-22.
17. Буцкий П.А. Характеристика суховеев Западного Закавказья // Мат-лы по агроклиматическому районированию субтропиков СССР. – 1936. – № 1.
18. Васильев В.В., Гонохова В.М. Экстремальный паводок горноледниковой реки Актру летом 1974 г. // Гляциология Алтая. – Томск. – 1978. – Вып. 13. – С. 124-130.

19. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Наука, 1969. – 366 с.
20. Витовцев Н. Спешили к отарам вертолётны // Комсомольская правда.-1988.-3 февраля.
21. Вовченко В.И. О фёнах Прикарпаття // Тр. / УкрНИГМИ. – 1961. – Вып. 25. – С. 16-24.
22. Воейков А.И. Климаты земного шара. – СПб.: Б. и., 1884. – 528 с.
23. Воейков А.И. Горные и степные суховеи // Метеорол. вестн. – 1912. – № 8-9.
24. Воейков А.И. Воздействие человека на природу. – 2-е изд. – М.: Б. и., 1949. – 256 с.
25. Воронцов П.А. Некоторые вопросы местных циркуляций воздуха // Тр. / ГГО. – 1955. – Вып. 54 (116). – С. 64-71.
26. Воронцов П.А. Аэрологические исследования пограничного слоя атмосферы. – Л.: Гидрометеиздат, 1960. – 451 с.
27. Воронцов П.А. О трансформации воздуха при суховеях и фёнах // Суховеи, их происхождение и борьба с ними. – М., 1960. – С. 221-247.
28. Гутман Л.Н., Тебуев Д.И. К теории фёна // Изв. АН СССР. Сер. геофиз. – 1961. – № 8. – С. 1193-1198.
29. Димитрошвили А.Л. Фёны Западной Грузии и их аэроклиматическая характеристика. – Тбилиси: Б. и., 1968.
30. Душкин М.А., Олейник И.Я. Абляция ледников Актру и её связь с температурой воздуха // Гляциология Алтая. – Томск. – 1966.- Вып. 5. – С.22-41.
31. Иверонова М.И. К вопросу об испарении со снежного покрова // Роль снежного покрова в природных процессах. – 1961.
32. Климатологический справочник СССР. – М.: Б. и., 1962. – Вып. 20, ч. 7 и 8. – 396 с.
33. Кобышева Н.В., Наровлянский Г.Я. Климатологическая обработка метеорологической информации. – Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 295 с.
34. Королёва Т.В. Лавины бассейна р. Чуя (Горный Алтай) // Гляциология Сибири. – Томск. – 1985. – Вып. 2 (17). – С. 93-106.
35. Кривоносов Б.М. Оттепели в Горном Алтае // Мат-лы науч. конф. «Проблемы гляциологии Алтая», посв. 80-летию старейшего гляциолога М.В. Тронова. – Томск. – 1974. – С. 45-60.
36. Кривоносов Б.М. Основные черты климата Горного Алтая // Гляциология Алтая. – Томск. – 1976. – Вып. 10. – С. 44-67.
37. Кривоносов Б.М. Режим ветра в Горном Алтае // Гляциология Алтая. – Томск. – 1978. – Вып. 12. – С. 155-178.

38. Кумина А.В. Растительный покров Алтая. – Новосибирск: Изд-во СО АН СССР, 1960. – 450 с.
39. Кузнецов Н.Н. Фёны на Западном Кавказе // Природа. – 1939. – № 7. – С. 62-66.
40. Кузнецов Н.Н. Типы фёнов на Западном Кавказе // Метеорология и гидрология. – 1940. – № 12. – С. 19-33.
41. Ледники Актру (Алтай) / В.П. Галахов, Ю.К. Нарожный и др.; Под ред. Д.А. Буракова. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 118 с.
42. Лосев К.С. Лавины СССР. – М.: Гидрометеиздат, 1966. – 43 с.
43. Лупина Н.Х. Вертикальные градиенты температуры воздуха в горноледниковом бассейне Актру // Гляциология Алтая. – Томск. – 1974. – Вып. 8. – С. 151-157.
44. Лупина Н.Х., Адаменко М.Ф. Сходство и различие в режиме температуры и осадков в некоторых типичных горноледниковых бассейнах Алтая // Вопросы географии Кузбасса и Горного Алтая. – Новокузнецк. – 1970. – Вып. 3. – С. 124-133.
45. Лупина Н.Х., Шмыглева Г.М., Роот Н.Г. Многолетние температуры воздуха за период абляции в горно-ледниковом бассейне Актру // Гляциология Алтая. – Томск. – 1978. – Вып. 13. – С. 36-44.
46. Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул. – М.: Высшая школа, 1988. – 239 С.
47. Математическое обеспечение ЕС ЭВМ // Пакет научных программ: Руководство для программиста. – Минск, 1979. – Вып. 10, ч. 6. – 240 с.
48. Материалы наблюдений на горноледниковых бассейнах Международного гидрологического десятилетия в Советском Союзе / Отв. ред. Н.А. Бочин и А.Н. Кренке. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – Вып. 2. – 301 с.
49. Машкова Г.В. Фёны Батуми // Тр. / Морской гидрофизический ин-т. – 1959. – Т. 16. – С. 74-88.
50. Мезометеорология и краткосрочное прогнозирование / Подготовлен Н.Ф. Вельтишевым; В надзаг. Всемирная метеорологическая организация. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – ВМО-№ 701 – 136 с.
51. Модина Т.Д. Фены в долине Катунь // Природа и природные ресурсы Алтая и Кузбасса. – Бийск, 1970. – Ч. 1. – С. 18-20.
52. Модина Т.Д. Климаты республики Алтай. Новосибирск, – 1997. – 178 с.
53. Модина Т.Д. Фены и климат Горного Алтая // Гляциология Алтая. – Томск. – 1981. – Вып. 15. – С. 78-87.
54. Модина Т.Д., Сляднев А.П. Фены Северного Алтая // Тр. / Новосибирский пед. ин-т. – 1972. – Вып. 60. – С. 77-86.

55. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3: Многолетние данные. – СПб.: Гидрометеиздат, 1993. – Часть 1-6, вып. 20. – 718 с.
56. Новожилов Н.И. Природа фёна // Тр. /ГГО. – 1975. – Вып. 326: Физика пограничного слоя атмосферы. – С. 130-135.
57. Новый этап в метеорологии Актру / Лупина Н.Х., Пархоменко Л.М., Севастьянов В.В. и др. // Вопросы горной гляциологии. – Томск, 1977. – С. 48-55.
58. Обработка геологической информации на микрокалькуляторах // В.В. Бабенко, В.П. Афанасьев, Н.Н. Зинчук и др. – М.: Недра, 1988. – 134 с.
59. Олейник И.Я. Абляция ледников Актру в экстремальном сезоне 1974 г. // Вопросы горной гляциологии. – Томск, 1977. – С. 92-103.
60. Олейник И.Я. Абляционный период в бассейне Актру // Гляциология Алтая. – Томск. – 1976. – Вып. 10. – С. 139-152.
61. Орлова В.В. Климат СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1962. – Вып. 4: Западная Сибирь. – 360 с.
62. Панженская К.Н., Попова К.И., Шевченко В.И. Синоптические процессы и их погодно-климатические проявления в зимний период над Алтаем // Тр. /ЗСРНИГМИ. – 1972. – Вып. 6. – С. 120-134.
63. Пановский Г.А., Брайер Г.В. Статистические методы в метеорологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1972. – 209 с.
64. Пантюхов И.Г. О ветрах Рионской долины // Зап. Кавказ. отд. русс. геогр. об-ва. 1873. – Т. 8.
65. Петросянци М.А. Локальные орографические влияния: Руководство по краткосрочным прогнозам погоды. – Л.: Гидрометеиздат, 1964. – Ч. 1. – 516 с.
66. Полтараус Б.В. Фены Западного Кавказа // Метеорология и гидрология. – 1972. – № 7. – С. 57-65.
67. Попова К.И. Метеорологический режим интенсивного таяния ледников долины Актру (северный склон центральной части массива Биш-Иирду) летом 1957 года // Гляциология Алтая. – Томск. – 1962. – Вып. 2. – С. 134-161.
68. Попова К.И. О циркуляции атмосферы над Алтаем в абляционный период // Гляциология Алтая. – Томск. – 1965. – Вып. 4. – С. 238-254.
69. Прох Л.З., Ткалич О.Е. О фёнах в Белогорске // Тр. / Укр. рег. НИИ. – 1984. – Вып. 198: Вопросы анализа и прогноза погоды. – С. 53-60.
70. Ревякин В.С., Галахов В.П., Голещихин В.П. Горноледниковые бассейны Алтая. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1979. – 309 с.

71. Ревякин В.С., Голेशихин В.П., Хан И.А. Тепловой баланс поверхности каровых ледников Алтая. // Гляциоклиматология Западной Сибири. – Л., 1975. – С. 47-55.
72. Ревякин В.С., Кравцова В.И. Снежный покров и лавины Алтая. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1977. – 214 с.
73. Романова Л.В. Термический режим типичных горноледниковых бассейнов Алтая (за летний сезон) // Гляциология Алтая. – Томск. – 1978. – Вып. 13. – С. 113-124.
74. Романова Л.В., Севастьянова Л.М., Шмыглева Г.М. Сравнительный анализ метеорологических условий в летний период в горноледниковых бассейнах Алтая (Актру, Корумду, Талдура) // Гляциология Алтая. – Томск. – 1981. – Вып. 15. – С. 97-108.
75. Русанов В.И. Климатолечебные ресурсы Горного Алтая // Об изучении и развитии производительных сил Горного Алтая: Мат-лы к I науч. конф. ОНИИ. – Горно-Алтайск, 1961, – С. 146.
76. Русанов В.И. Климат курортов Западной Сибири // Вопросы комплексной климатологии. – М., 1963 – С. 158-166.
77. Русанов В.И. Особенности климата Алтая и перспективы строительства курортов // Курортные ресурсы и задачи их освоения: Мат-лы науч. конф., посв. 100-летию со дня рожд. В.И. Ленина. – Томск, 1970. – С. 155-160.
78. Русанов В.И. Фены центрального Алтая // Вопросы охраны природы Горного Алтая. – Горно-Алтайск, 1976. – С. 132-135.
79. Сапожникова С. А. Особенности термического режима Горного Алтая // Тр. /НИИАК. – 1965. – Вып. 33. – С. 97-123.
80. Севастьянов В.В. Основные черты внутреннего поля температуры и влажности воздуха в долине Актру // Материалы научной конференции “Проблемы гляциологии Алтая”. – Томск, 1974. – С. 128-141.
81. Севастьянов В.В. Климаты высокогорного Алтая и Саян. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1998. – 201 с.
82. Севастьянов В.В., Севастьянова Л.М. Особенности метеорологического режима на леднике Малый Актру на Алтае // Гляциология Алтая. – Томск. – 1978. – Вып. 13. – С. 93-102.
83. Севастьянова Л.М., Севастьянов В.В. Фёны и климат Горного Алтая. // Вопросы прогноза погоды, климата, циркуляции и охраны атмосферы: Межвуз. сб. научн. трудов. – Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 1997. – С. 42-57.
84. Севастьянова Л.М. Влажность воздуха в горноледниковом бассейне Актру // Гляциология Алтая. – Томск. – 1978. – Вып. 12. – С. 99-109.

85. Севастьянова Л.М., Севастьянов В.В. Тепловые ресурсы высокогорной части Горного Алтая // Вопросы географии Сибири. – Томск. – 1987. – Вып. 17. – С. 143-149.
86. Селегей В.В. О структуре климата долины Телецкого озера // Метеорология и гидрология. – № 10. – С. 44-49.
87. Слуцкий В.И., Трифонова Л.И. Особенности местной циркуляции в верхней долине р. Актру в летний период 1963 г. // Гляциология Алтая. – Томск. – 1967. – Вып. 5. – С. 108-117.
88. Слуцкий В.И. Фёны Горного Алтая // Вопросы геологии и географии. – Томск, 1972. – С. 184-186.
89. Слуцкий В.И. Опыт организации и некоторые результаты аэрологических наблюдений в горноледниковом бассейне Актру // Гляциоклиматология горных стран. – М., 1973. – № 24. – С. 74-80.
90. Слуцкий В.И. Аэрологическая структура ветров в Горном Алтае // Вопросы горной гляциологии. – Томск, 1977. – С. 171-176.
91. Слуцкий В.И., Коновалова Г.Ф. Ледниковый ветер в горноледниковом бассейне Актру // Гляциология Алтая. – Томск. – 1972. – Вып. 7. – С. 147-164.
92. Слуцкий В.И., Севастьянов В.В., Снегирёв Ю.Б. Применение привязных радиозондов в горноледниковом бассейне Актру // Проблемы гляциологии Алтая. – Томск, 1973. – Вып. 2. – С. 82-86.
93. Сляднев А.П. Очерки климата Алтайского края. – Барнаул: Б. и., 1958. – 138 с.
94. Справочник по гидрометеорологическим приборам и установкам. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 431 с.
95. Справочник по климату СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1965. – Вып. 20, ч. 2: Температура воздуха и почвы. – 396 с.
96. Справочник по климату СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1965. – Вып. 20, ч. 3: Ветер. – 576 с.
97. Справочник по климату СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1965. – Вып. 20, ч. 4: Влажность воздуха, атмосферные осадки, снежный покров. – 332 с.
98. Справочник по климату СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1965. – Вып. 20, ч. 5: Облачность и атмосферные явления. – 323 с.
99. Сулов С.П. Физическая география СССР: Азиатская часть. – М.: Учпедгиз, 1954. – 711 с.
100. Тайлаков Т. Об условиях образования фёна над Северным Кавказом // Тр. / ГМЦ СССР. – 1967. – Вып. 6. – С. 120-128.
101. Тверской П.Н. Курс метеорологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1962. – 700 с.
102. Темникова Н.С. Климат Северного Кавказа и прилегающих степей. – Л.: Гидрометеиздат, 1959. – 368 с.

103. Тихомиров Е.И. Фёновые ветры озера Байкал // Метеорологический вестник. – 1932. – № 1.

104. Трифонова Л.И., Федюшина Л.П. К вопросу о приведении температуры и осадков станции Нижняя Актру к многолетнему периоду // Гляциология Алтая. – Томск. – 1965. – Вып. 4. – С. 255-271.

105. Тронов М.В. Очерки оледенения Алтая. – М.: Географгиз, 1949. – 375 с.

106. Тронов М.В. Репрезентативный горноледниковый бассейн Актру на Алтае // Мат-лы гляциол. исслед.: Хроника. Обсуждения. – 1968. – Вып. 14. – С. 197-201.

107. Тронов М.В. Горноледниковый бассейн Актру, как показатель характерных свойств ороклиматической базы оледенения. // Проблемы гляциологии Алтая. – Томск, 1973. – С. 7-20.

108. Тронов М.В. Проблема гляциоклиматических показателей. – Томск. – 1978. – 168 с.

109. Тронов М.В., Lupina H.X., Тронова Л.Б. О характеристике и типизации погоды в горноледниковом бассейне Актру // Гляциология Алтая. – Томск. – 1976. – Вып. 11. – С. 33-48.

110. Тронов М.В., Тронова Л.Б., Белова Н.И. Основные черты климата горно-ледникового бассейна Актру // Гляциология Алтая. – Томск. – 1965. – Вып. 4. – С. 3-49.

111. Тронова Л.Б. Сводная характеристика метеорологического режима в горноледниковом бассейне Актру на Алтае за период с 1957-1966 год // Гляциология Алтая.-Томск. – 1970. – Вып. 6. – С. 43-52.

112. Тронова Л.Б., Потылицына М.М. Фёны в верхней долине Актру // Вопросы геологии и географии. – Томск. – 1972. – С. 187-189.

113. Фигуровский И.В. Опыт исследования климатов Кавказа. – СПб., 1912. – Т. 1.

114. Хисамов Х. Фёны в Ташкенте // Сб. науч. тр. асп. САГУ. – Ташкент, 1952. – Вып. 1.

115. Хромов С.П., Мамонтова Л.И. Метеорологический словарь. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 568 с.

116. Чанышева С.Г. Местные ветры Средней Азии. – Л.: Гидрометеиздат, 1966. – 120 с.

117. Чанышева С.Г., Субботина О.И. Методические рекомендации по использованию морфометрических показателей в климатическом анализе. – Ташкент: САРНИГМИ. – 1984. – 179 с.

118. Bernhardt K. Freier Fohn // Wiss. Z Karl-Marx Univer. Leipzig. Math-Naturwiss. Reihe. – 1962. – Bd. II. – N. 3.

119. Billwiller R. Über verschiedene Entstehungen und Erscheinungsformen des Fohns // Meteor.Zeitschr. –1899. – Bd. 16. – S. 204-215.

120. Brinkmann W.A.R. The chinook at Calgary (Canada) // Atmosphere, 1970. – Vol. 5. – P. 4-16.
121. Cadez M. Über synoptische Probleme in Sudostalpinen Raum // Veröff. Schweiz. Met. Zentralstalt. – 1967. – Bd. 4. – S. 155-175.
122. Dove H. Der Schweizer Fohn, Nachtrag zu Eiszeit, Fohn und Scirocco. – Berlin: S.n., 1868. – 25 s.
123. Dufour M.L. Recherches sur le Fohn du 23 Sept. 1866 on Suisse // Soc. Vand. – 1868. – N. 9. – P. 58-62.
124. Flon H. Über den Einflub der Hochgebirge auf die all gemeine Zirkulation // Geoph. Biokl. – 1953. – A 5. – S. 265.
125. Frey K. Zur Diagnose des Fohns // Meteor. Rdsch. – 1957. – N. 10. – S. 181-185.
126. Georgii W. Bericht über die Fohnuntersuchungen der Universitat Mendoza (Argentinien) // Thermik. – 1953. – Bd. 6. – N. 3. – S. 159-162.
127. Hann I. Zur Frage über den Unsprung des Fohns // Osterr. Ges. Meteor. – 1866. – N. 1. – S. 257-263.
128. Ives R.L. Frequency and physical effects of chinook winds in the Colorado high plains region // Ann. Ass Am. Geog., 1950. – Vol. 40. – P. 293-327.
129. Kuttner I. Moazagotl und Fohnwelle // Beitr. Phys. – fr. Atm. – 1939. – Bd. 25. – S. 79-114.
130. Longley R.W. The frequency of winter chinooks in Alberta // Atmosphere, 1970. – Vol. 5. – P. 4-16.
131. Manins P.C., Sawford B.L. Mesoscale observations of upstream blocking // Quart. Journ. Roy. Meteorol. Soc., 1982. – Vol. 108. – P. 427-434.
132. Morikofor W. Meteorologische Gesichtspunkte zur Fohn und Wetterfuhligkeit // Bull. Der Sweiz. Akad. Der med. Wiss., 1958. – N 8. – S. 494-503.
133. Regener E. Ozonschicht und atmospherische Turbulenz // Meteor. Zeitschr. – 1943. – Bd. 60 – S. 253-255.
134. Rossmann F. Über den Fohn auf Spitzbergen und Gronland // Z. Meteor. – 1950. –N. 4. – S. 257-262.
135. Sommers W.T. LFM forecast variables related to Santa Ana wind occurences // Mon. Weather Rev., 1978. –Vol. 106. –P. 1307-1316.
136. Undt W. Meteorologie des Fohn // Medizin-Meteor. Hefte. – 1958. – H. 13. – S. 97-111.
137. Ungeheuer H. Das bodennahe Ozon // Wetterkarte des Dt. W. Dst. – 1953. – S. 207.
138. Vergeiner I. Foehn flow in the Alps-three-dimensional numerical simulations on the small-fnd meso-scale // Arbeiten, Zentralanstalt Met. Geodynam., 1978. – Vol. 32 (63). – P. 1-37.

139. Wagner H. Swingungen im Verlauf der Korpertemperatur und ihre Kopplung mit fohnartigen Verhältnissen // Angewandte Meteorologie. –1952. – N. 1. – S. 193-198.

Краткая характеристика местоположения станций Горного Алтая

Станция, высота, м	Местоположение
Кара-Тюрек, 2600 м	Водораздел на северном отроге Катунского хребта в 25 км от Белухи. Максимальное превышение хребтов над уровнем станции составляет около 2000 м.
Актру, 2150 м	Высокогорная долина р. Актру в Северо-Чуйском хребте, ориентирована с ЮЗ на СВ. Ширина долины около 300 м. высота отрогов горных хребтов, ограничивающих долину 900-1500 м над уровнем станции.
Аккем, 2050 м	Северный склон Катунского хребта. Крутонаклонённая узкая долина с высокими бортами, на северо-западном берегу озера Аккем. Долина ориентирована с Ю на С. Высота хребтов 1000-1500 м над долиной.
Кош-Агач, 1760 м	Северная часть Чуйской котловины. Окружена со всех сторон горами. Ближайший хребет-Курайский в 5 км к северу. Высота окружающих гор 1800-2300 м над уровнем станции.
Усть-Улаган, 1260 м	Юго-восточная часть Горного Алтая. Улаганская степь, долина р. Улаган ориентирована с ЮЗ на СВ, окружена со всех сторон горами разной высоты, наибольшее превышение 800 м на ЮВ на расстоянии 4 км.
Усть-Кан, 1038 м	Канская степь, долина р. Чарыш ориентирована с ЮВ на СЗ, открыта с С и СЗ. Наибольшее превышение хребтов 800 м над уровнем станции.
Усть-Кокса, 978 м	Уймонская котловина вытянута в широтном направлении. С юга на расстоянии 1-1,5 км отроги Теректинского хребта. Высота хребтов 600-800 м над уровнем станции.
Катанда, 900 м	Катандинская котловина, широтно ориентированный участок долины р. Катунь. Со всех сторон окружена горами на расстоянии 5-6 км наиболее высокие с севера (Теректинский хр.) Максимальное превышение 1200 м над уровнем станции.
Онгудай, 830 м	Урскульская котловина, долина р. Урсул между Семиным и Теректинским хребтами. Ширина долины 3-4 км, направлена с ЮВ на СЗ. Высота гор 1300 м над уровнем станции.

Станция, высота, м	Местоположение
Беля, 551 м	Южная оконечность Телецкого озера, меридионально ориентированного в этой части. Восточный Берег. С трёх сторон станция окружена горами. Максимальное превышение составляет 1000-1250 м над уровнем станции.
Яйлю, 441 м	Долина Телецкого озера, ориентированная в меридиональном направлении. Северный берег. С юго-востока и востока находятся отроги хребта Корбу, превышение до 600 м над уровнем станции.
Чемал, 410 м	Север Горного Алтая. Меридионально ориентированный участок глубоко врезанной долины р. Катунь шириной 2-3 км. С запада окружена крутыми горами Семинского хребта высотой 500-1000 м над уровнем станции.
Турочак, 320 м	Северная предгорная часть Алтая. Широтно ориентированный участок долины р. Бии, ширина около 12 км. Высота гор в 2 км к западу 300-400 м, в 8-10 км к востоку – 600-800 м.
Кызыл-Озек, 310 м	Северная часть Горного Алтая. Долина р. Майма, меридионально ориентированный участок, представляет узкий коридор. Горы высотой 300-800 м над уровнем станции покрыты лесом.

Средняя месячная и годовая температура воздуха, °С [95]

Станция	Месяцы						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
Кара-Тюрек	-16,9	-16,4	-13,1	-7,9	-1,8	4,2	6,3
Катанда	-23,6	-19,7	-9,8	1,2	8,8	13,6	15,2
Кош-Агач	-32,6	-28,8	-16,4	-2,5	5,5	11,7	13,8
Кызыл-Озек	-15,9	-15,1	-9,1	1,0	10,5	15,9	18,0
Усть-Улаган	-25,5	-21,1	-12,2	-1,3	6,2	12,0	13,6
Яйлю	-9,4	-9,2	-4,5	2,2	8,4	13,5	16,2
Турочак	-19,7	-16,6	-9,0	0,6	9,2	15,2	17,5
Чемал	-12,6	-11,3	-4,5	3,8	10,9	16,0	18,0
Бея	-9,2	-8,1	-3,2	3,2	9,5	14,6	16,9
Усть-Кан	-19,0	-16,9	-8,2	-0,2	6,7	12,3	14,0
Онгудай	-22,1	-18,8	-8,0	2,3	9,2	14,2	16,2
Усть-Кокса	-23,3	-20,0	-10,3	0,9	8,6	13,7	15,4
Аккем	-21,1	-17,2	-13,6	-6,2	1,5	6,7	8,3
Актру	-21,6	-17,4	-12,7	-6,6	2,9	8,4	9,7

Станция	Месяцы					Год
	VIII	IX	X	XI	XII	
Кара-Тюрек	5,2	0,3	-6,4	-12,8	-16,5	-6,3
Катанда	13,4	7,8	-0,2	-11,4	-19,7	-2,0
Кош-Агач	12,0	5,6	-4,2	-17,3	-27,4	-6,7
Кызыл-Озек	15,7	9,8	2,4	-7,7	-13,5	1,0
Усть-Улаган	11,8	5,7	-3,0	-14,6	-23,3	-4,2
Яйлю	15,1	10,1	3,2	-3,6	-7,9	2,8
Турочак	15,3	9,2	1,2	-9,4	-16,8	-0,3
Чемал	16,0	10,8	3,9	-4,6	-10,5	3,0
Бея	15,5	10,7	4,1	-3,2	-7,9	3,6
Усть-Кан	12,2	6,9	-0,4	-9,5	-16,0	-1,5
Онгудай	14,0	8,3	0,5	-10,3	-18,2	-1,1
Усть-Кокса	13,8	8,0	0,1	-11,1	-18,9	-1,9
Аккем	7,1	2,8	-4,7	-12,0	-16,9	-5,4
Актру	7,9	4,4	-5,5	-13,2	-18,6	-5,2

Примечание. Данные по станции Актру приводятся по [41].

Средняя максимальная температура воздуха, °С [95]

Станция	Месяцы					
	I	II	III	IV	V	VI
Кара-Тюрек	-13,6	-12,8	-9,2	-3,9	2,4	8,6
Катанда	-17,4	-12,3	-1,7	8,6	16,8	21,8
Кош-Агач	-24,7	-19,8	-7,5	4,4	12,6	19,0
Кызыл-Озек	-8,9	-7,5	-1,7	8,2	18,0	23,2
Усть-Улаган	-19,0	-13,5	-2,8	7,4	15,1	21,0
Яйлю	-5,7	-4,0	1,4	8,9	15,6	20,8
Турочак	-11,5	-6,4	0,8	8,9	17,5	23,2
Чемал	-7,8	-4,6	3,6	12,2	18,9	23,6
Бея	-6,1	-4,0	2,2	9,4	15,8	20,4
Усть-Кан	-12,5	-9,3	-0,2	7,7	14,8	19,9
Онгудай	-15,9	-11,3	-0,2	10,7	17,7	22,4
Усть-Кокса	-18,2	-13,8	-3,8	7,7	16,0	21,5
Аккем	-9,9	-8,9	-3,9	1,7	7,5	12,8
Актру	-12,1	-10,8	-5,7	2,0	8,0	14,5

Станция	Месяцы					
	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Кара-Тюрек	10,4	3,1	4,2	-3,7	-9,4	-13,1
Катанда	23,2	22,0	16,7	7,5	-5,7	-14,4
Кош-Агач	21,0	19,4	13,3	3,8	-10,0	-20,7
Кызыл-Озек	24,9	22,8	17,7	9,8	-1,2	-7,2
Усть-Улаган	22,6	21,1	15,9	6,3	-7,9	-16,6
Яйлю	22,9	21,0	15,8	8,0	0,2	-4,5
Турочак	25,1	22,9	17,3	7,6	-3,1	-10,3
Чемал	25,3	23,4	18,6	10,9	-0,4	-6,2
Бея	22,3	20,7	14,8	9,0	0,4	-4,8
Усть-Кан	21,5	20,2	15,8	7,1	-3,3	-10,5
Онгудай	24,3	22,4	17,4	8,3	-4,3	-12,6
Усть-Кокса	22,9	21,6	16,3	6,8	-6,4	-14,1
Аккем	14,3	13,3	9,3	2,2	-4,8	-9,7
Актру	15,9	14,4	8,8	0,2	-6,6	-11,4

Примечание. Данные по станции Актру приведены к многолетнему периоду по станции Аккем.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Суммы средних суточных температур воздуха ниже и выше
определённых пределов [95]

Станция	Сумма температур, °С						
	< -20	< -15	< -10	< 0	> 0	> 10	> 15
Кара-Тюрек	-	1630	2300	2800	520	360	-
Катанда	1380	2020	2360	2600	1890	1470	430
Кош-Агач	3120	3430	3630	3890	1500	1110	-
Кызыл-Озек	-	790	1560	1900	2290	1910	1280
Усть-Улаган	1860	2500	2790	3040	1530	1140	-
Яйлю	-	-	-	1040	2110	1360	870
Турочак	-	1450	1930	2200	2130	1770	1120
Чемал	-	-	920	1310	2430	2010	1340
Бея	-	-	-	960	2280	1810	1080
Усть-Кан	-	1390	1850	2160	1640	1210	-
Онгудай	1060	1760	2140	2260	2020	1580	780
Усть-Кокса	1300	1980	2350	2580	1910	1500	550
Аккем	660	1760	2440	2790	820	-	-
Катунь	1150	2460	2830	3070	1080	450	-

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Средние даты наступления, прекращения и продолжительность
устойчивых морозов [95]

Станция	Устойчивый мороз		
	Прекращение	Наступление	Продолжительность (дни)
Кара-Тюрек	26 IV	14 X	195
Катанда	17 III	8 XI	130
Кош-Агач	1 IV	1 XI	152
Кызыл-Озек	8 III	20 XI	109
Усть-Улаган	20 III	1 XI	140
Яйлю	28 II	29 XI	92
Турочак	6 III	11 XI	116
Чемал	26 II	23 XI	96
Бея	28 II	20 XI	101
Усть-Кан	11 III	14 XI	118
Онгудай	9 III	10 XI	120
Усть-Кокса	20 III	5 XI	136
Аккем	31 III	2 XI	150

Средние даты первого и последнего заморозков и средняя продолжительность безморозного периода [95]

Станция	Дата заморозка		Продолжительность безморозного периода
	последнего	первого	
Кара-Тюрек	*	*	*
Катанда	5 VI	23 VIII	78
Кош-Агач	16 VI	24 VIII	68
Кызыл-Озек	23 V	16 IX	115
Усть-Улаган	24 VI	16 VIII	52
Яйлю	19 V	28 IX	131
Турочак	5 VI	9 IX	95
Чемал	23 V	20 IX	119
Беля	13 V	3 X	142
Усть-Кан	16 VI	20 VIII	62
Онгудай	3 VI	30 VIII	87
Усть-Кокса	29 V	2 IX	95
Аккем	*	*	*

Примечание. * - отсутствует безморозный период без заморозков

Средняя относительная влажность воздуха, % [97]

Станция	Месяцы						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
Кара-Тюрек	64	67	64	65	66	73	76
Катанда	81	78	70	63	59	66	73
Кош-Агач	76	75	70	55	49	51	54
Кызыл-Озек	78	78	77	72	64	72	77
Усть-Улаган	80	76	72	62	58	63	70
Яйлю	67	67	65	65	68	75	78
Турочак	82	80	76	73	68	73	78
Чемал	64	65	62	58	58	68	72
Бея	59	59	58	57	60	67	72
Усть-Кан	73	72	64	61	61	67	72
Онгудай	79	76	69	58	57	64	71
Усть-Кокса	79	77	71	62	58	65	71
Аккем	72	69	66	61	59	68	76
Актру *	70	70	64	60	58	64	71

Станция	Месяцы					Год
	VIII	IX	X	XI	XII	
Кара-Тюрек	75	69	67	71	74	69
Катанда	74	72	73	80	81	72
Кош-Агач	57	56	62	72	76	63
Кызыл-Озек	80	79	75	78	78	76
Усть-Улаган	71	69	72	80	82	71
Яйлю	78	74	69	70	69	70
Турочак	81	83	82	84	84	79
Чемал	73	69	62	63	65	65
Бея	72	66	58	61	62	63
Усть-Кан	74	69	66	71	73	69
Онгудай	72	69	69	75	79	70
Усть-Кокса	72	69	72	79	80	71
Аккем	76	70	64	72	73	69
Актру *	70	67	67	69	74	67

Примечание. * - данные по станции Актру приведены по [41].

Средняя месячная и годовая скорость ветра, м/с [96]

Станция	Месяцы						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
Кара-Тюрек	6.6	6.3	7.1	6.2	6.0	4.7	4.3
Катанда	1.5	1.6	1.9	2.1	2.2	1.8	1.6
Кош-Агач	0.6	0.9	1.5	3.0	3.1	2.8	2.2
Кызыл-Озек	1.6	1.7	1.8	2.0	2.1	1.8	1.5
Усть-Улаган	1.4	1.6	1.8	2.1	2.3	1.8	1.4
Яйлю	3.9	2.7	2.2	1.9	1.6	1.3	1.4
Турочак	1.0	1.1	1.3	1.6	1.8	1.5	1.2
Чемал	4.8	3.2	2.6	2.6	2.7	2.2	2.0
Бея	6.1	4.5	3.7	3.0	2.2	1.8	1.7
Усть-Кан	2.4	2.6	3.1	3.2	3.2	2.8	2.6
Онгудай	0.5	0.6	1.1	1.8	1.7	1.4	1.3
Усть-Кокса	1.0	1.2	1.8	2.3	2.4	1.9	1.6
Аккем	2.0	2.3	2.4	2.9	2.7	2.6	2.1
Актру	2.2	2.2	2.4	3.0	2.8	2.5	2.3

Станция	Месяцы					Год
	VIII	IX	X	XI	XII	
Кара-Тюрек	4.3	5.4	7.7	8.2	7.8	6.2
Катанда	1.6	1.7	1.8	1.7	1.6	1.8
Кош-Агач	2.0	2.1	1.8	1.3	0.8	1.8
Кызыл-Озек	1.5	1.6	1.8	1.7	1.6	1.7
Усть-Улаган	1.4	1.5	1.4	1.4	1.3	1.6
Яйлю	1.6	1.9	2.4	3.4	4.3	2.4
Турочак	1.2	1.3	1.4	1.2	1.1	1.3
Чемал	2.0	2.3	3.1	4.1	4.6	3.0
Бея	2.0	2.5	3.6	4.7	5.6	3.4
Усть-Кан	2.6	2.9	2.9	2.8	2.6	2.8
Онгудай	1.2	1.2	1.0	0.8	0.6	1.1
Усть-Кокса	1.6	1.6	1.9	1.6	1.1	1.7
Аккем	2.1	2.3	2.7	2.6	2.3	2.4
Актру	2.4	2.6	2.7	3.0	2.7	2.6

Средние даты появления и разрушения устойчивого снежного покрова, число дней со снежным покровом [97]

Станция	Число дней со снежным покровом	Средняя дата образования устойчивого снежного покрова	Средняя дата разрушения устойчивого снежного покрова
Кара-Тюрек	237	6 X	21 V
Катанда	164	4 XI	10 IV
Кош-Агач	138	18 XI	30 III
Кызыл-Озек	172	4 XI	17 IV
Усть-Улаган	174	28 X	11 IV
Яйлю	161	10 XI	6 IV
Турочак	181	29 X	24 IV
Чемал	119	19 XI	6 III
Бея	137	15 XI	19 III
Усть-Кан	160	10 XI	27 III
Онгудай	145	12 XI	27 III
Усть-Кокса	156	7 XI	8 IV
Аккем	223	13 X	7 V

Научное издание

Севастьянова Людмила Михайловна,
Севастьянов Владимир Вениаминович

Фёны Горного Алтая

Научный редактор доктор географических наук,
профессор В.И. Русанов

Утверждено к печати Учёным советом Института оптического
мониторинга СО РАН



Подписано к печати 21.11.2000. Формат 60х90/16. Бумага офсетная №1.
Печать RISO. Усл.печ.л. 8.14. Уч.-изд. 7.37. Тираж 200 экз. Заказ № 214.
ИПФ ТПУ. Лицензия ЛТ №1 от 18.07.94. Типография ТПУ.
634034, Томск, пр.Ленина, 30.

