

## **ДИНАМИКА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ЗАПАДНОМ КАВКАЗЕ**

Внимание к обозначенной теме обусловлено глобальным изменением климата Земли. Эти процессы неоднозначны и неоднонаправленны для различных территорий, и потому представляет интерес изучение региональных климатических особенностей.

Оценка изменений метеорологических параметров Западного Кавказа производилась на примере Кавказского заповедника за период с 1985 по 2015 годы по данным двух метеостанций «Лаура» и «Джуга».

### **Материал и методика исследований**

Для получения первичных метеорологических данных на изучаемой территории применяется метод стационарных исследований на станции биосферного мониторинга «Джуга» (восточный отрог Джугского хребта, 2041 м над у.м.). Измерения производятся три раза в сутки (7.00, 13.00, 19.00). Определяются следующие метеопараметры: максимальная и минимальная температура атмосферного воздуха (термометры ТМ–1–1, ТМ–2–3, ТМ–4–1, термограф М–16 суточный), относительная влажность воздуха (гигрометр М–19, гигрограф М–21 суточный, психрометр аспирационный МВ–4–2М), атмосферное давление (барометр БРС–1М–1, барограф Б–22), атмосферные осадки (осадкомер Третьякова О–1), продолжительность солнечного сияния (гелиограф ГУ–1), высота снежного покрова (рейка снегомерная стационарная М–103–1, рейка снегомерная переносная М–104–1), направление и скорость ветра (флюгер с тяжелой доской ФВТ, анемометр чашечный механический МС–13). Кроме того фиксируются метеорологические явления различного генезиса.

Первичные данные по станции комплексного фонового мониторинга «Лаура» Росгидромета (слияние рек Лаура и Ачипсе, 570 м над у.м.) получаем на основе договоренностей.

Сравнительный анализ метеорологических характеристик осуществляется посредством линейных трендов, визуализированных табулированными и графическими аппроксимациями метеорологических данных.

Содержание работы заключается в накоплении ежедневных метеорологических данных в течение года. Первичными материалами являются журнал КМ–1, бланк диаграммный ЛМ–5 (недельный) и ЛМ–6 (суточный), лента гелиографа (суточная).

На основании анализа и обобщения полученных данных составляются таблицы, графики и диаграммы отдельно по каждому метеопараметру. Данные представляются как максимальные, минимальные и средние значения для суток, месяца, сезона года и годовые; аппроксимируются годовые тренды. Результаты интерпретируются и интерполируются отдельно на южный и северный макросклоны ГКХ. В заключении производится сравнительный анализ изменений метеорологических параметров относительно предыдущих лет.

## Характеристика температурных изменений атмосферного воздуха

Среднегодовую годовую температуру воздуха на южном и северном склонах составила 9,5 и 3,7 °С. Здесь и далее первая цифра – данные м/с «Лаура», вторая – м/с «Джуга». Синхронность многолетнего хода изменений по двум станциям тесная и характеризуется коэффициентом корреляции  $K_k=0,90$ . Амплитуда колебаний среднегодовых значений составила 4,0 и 4,4 °С при минимуме 7,8 и 1,7 °С (1992) и максимуме 11,8 и 6,1 °С (2010). Тенденция повышения среднегодовых значений за 30 лет прослеживается отчетливо (рис. 1–3).

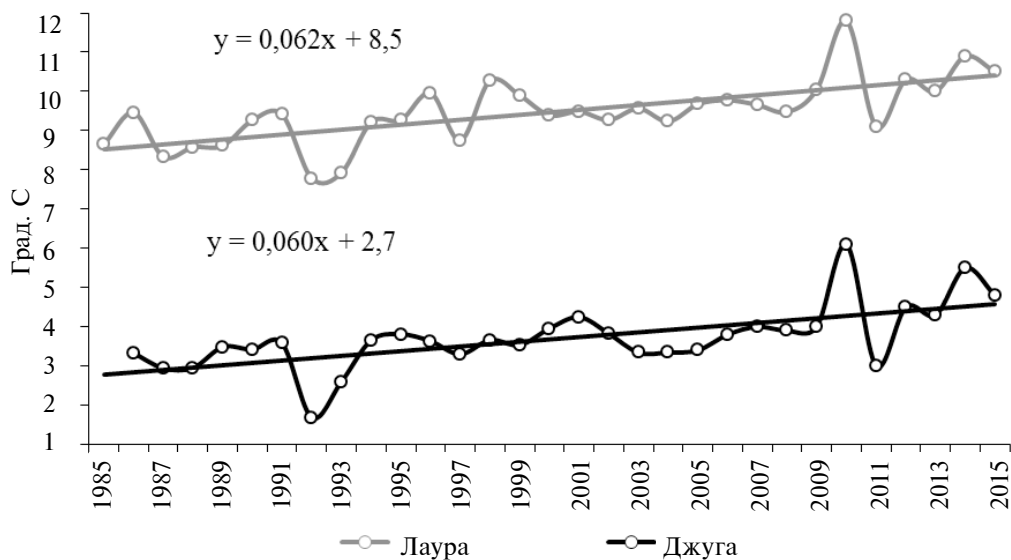


Рис. 1. Динамика среднегодовой температуры воздуха

На южном склоне (м/с «Лаура») период с 1986 по 1995 годы был холоднее нормы. Начиная с 1996 года наблюдаются повышенные значения температуры воздуха с некоторой стабилизацией среднегодовой температуры в 1999–2008 годах. Наиболее резкие падения температуры отмечались в 1992–93 годах. Чрезвычайно большое повышение характерно для 2010 года.

Температурный режим северного склона (м/с «Джуга») в значительной степени идентичен ( $K_k = 0,98$ ). Здесь холодный период наблюдался с 1986 по 1993 годы. 1994–99 гг. характеризуются стабильным режимом. С 2000 года температуры воздуха повышенные, с отклонениями в 2003–05 годах. На обоих склонах 2011 год был исключением в последовательности теплых лет.

Абсолютные за год минимальные температуры воздуха имеют существенный разброс и асинхронное поведение во времени (рис. 2). Отрицательный экстремум (-18,3 °С) на южном склоне наблюдался в феврале 1993 года; на северном (-22,5 °С) – в декабре 2006. Самые «высокие» минимумы отмечены в 1999 (-8,4 °С) и в 2014 годах (-13,2 °С). Амплитуда колебаний 9,9 и 9,3 градусов. Линейная аппроксимация, с меньшими приближениями, чем для средних значений, показывает повышение минимума по м/с «Лаура» на 3,1 °С, а по м/с «Джуга» на 2,2 °С.

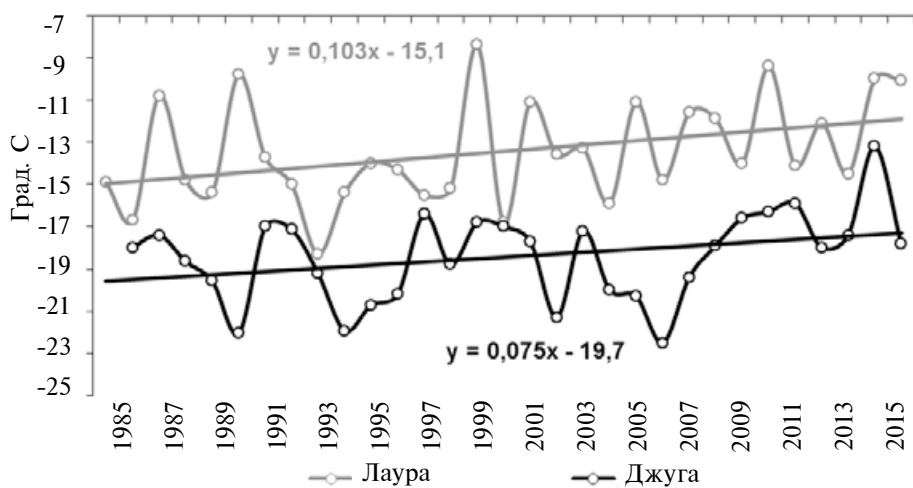


Рис. 2. Динамика минимальной годовой температуры воздуха

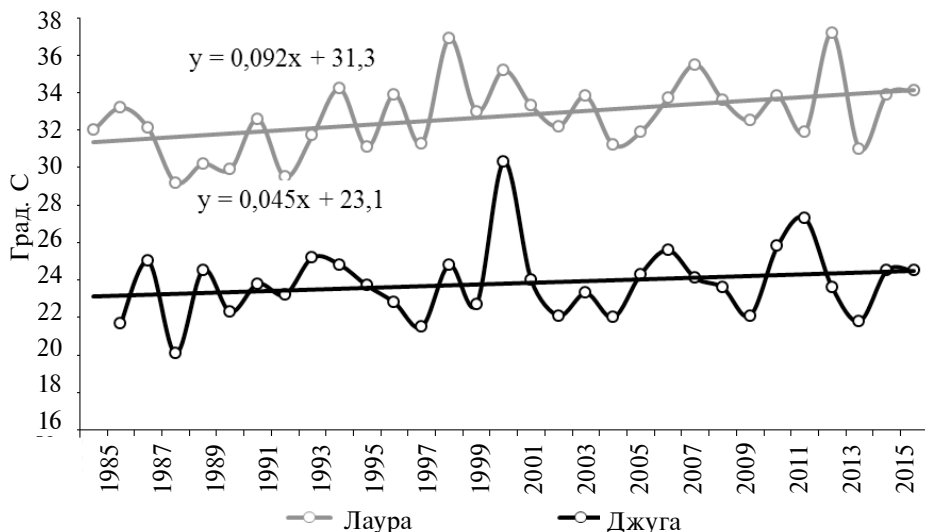


Рис. 3. Динамика максимальной годовой температуры воздуха

Ход изменений максимальных экстремумов более стабильный, однако взаимосвязь между ними весьма слабая (рис. 3). Нижний предел 29,2 и 20,1 °С отмечен в 1988 году; верхний 37,2 и 30,3 °С в 2012 и 2000 годах. Повышение максимальной температуры воздуха за 30 лет составило 2,8 (юг) ÷ 1,4 (север) градусов. В интегрально-разностной интерпретации на южном макросклоне общий период низких максимумов прослеживался с 1987 по 1997 годы; высоких с 1998 по 2015 (с некоторыми отклонениями). На северном склоне эта тенденция прослеживается гораздо слабее.

### Продолжительность безморозного периода

Продолжительность безморозного периода определяется количеством дней между датами последнего от начала года и первого от конца года заморозков. По

данным метеостанции «Лаура» самый продолжительный период безотрицательных температур (229 суток) имел место в 2012 году, а наиболее короткий (148 суток) в 1987 году. Для местоположения метеостанции «Джуга» эти периоды соответственно составили 205 дней (2012) и 87 дней (2004). За 30 лет продолжительность безморозного периода на южном склоне увеличилась на 26 суток, а на северном на 27 суток. Среднемноголетнее непрерывное наличие положительных температур воздуха в норме составляет 191 и 134 суток. Изменение по годам длительности безморозного периода на обоих склонах слабо связано между собой (рис. 4).

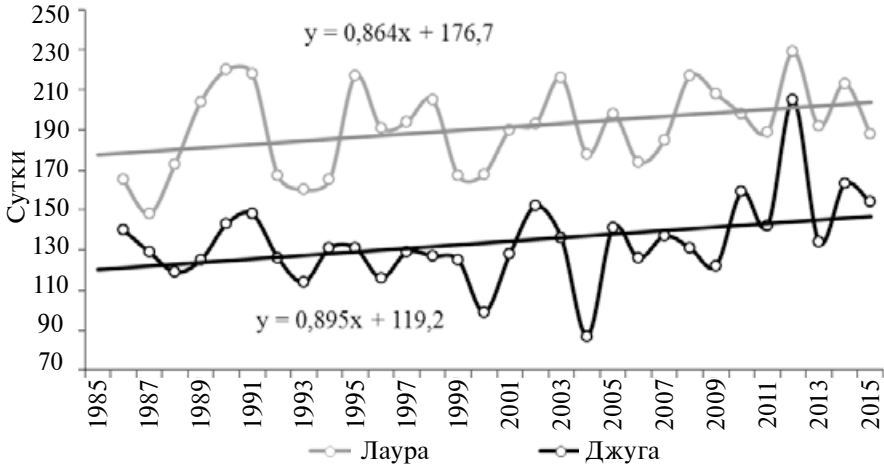


Рис. 4. Продолжительность безморозного периода

По данным м/с «Лаура» диапазон проявления последнего заморозка (рис. 5) составил 83 (1991) – 128 (1999) суток от начала года. На северном склоне этот период составил 105 (2014) – 172 (2000) суток. Согласно линейному тренду за 30 лет последний заморозок стал проявляться раньше на 7 суток для южного склона и на 17 суток для северного склонов. Взаимосвязь между датами отсутствует.

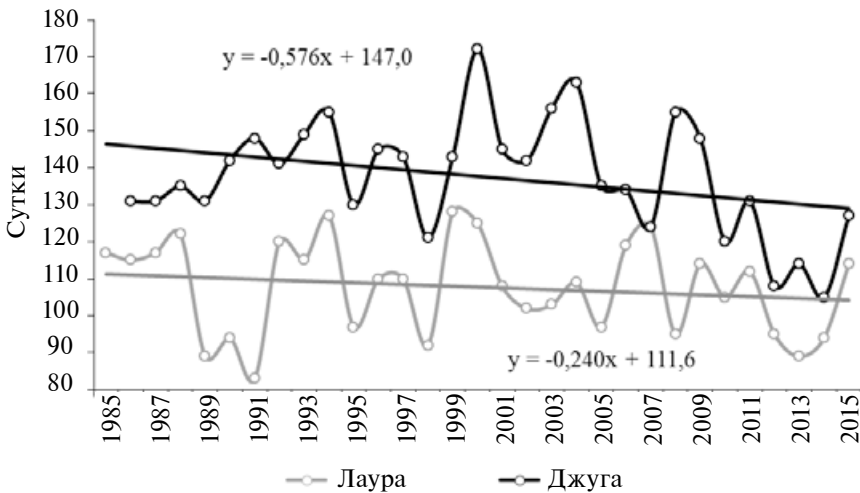


Рис. 5. Последний заморозок от начала года

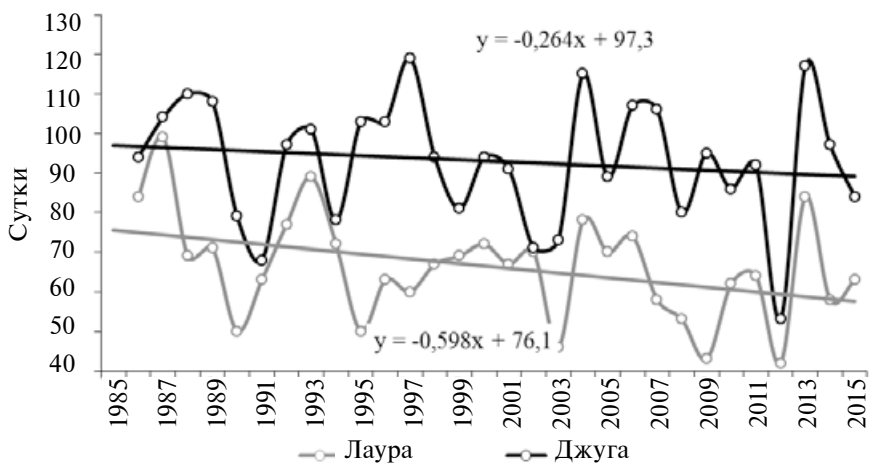


Рис. 6. Первый заморозок до конца года

Наступление первого заморозка (рис. 6) на южном склоне происходило в период 23 сентября – 20 ноября или 99 (1987) – 42 (2012) суток от конца года. Для северного склона диапазон составлял 119 (1997) – 53 (2012) суток (3 сентября – 8 ноября). Линейно аппроксимированные даты наступления первых отрицательных температур приблизились к концу года на 18 и 8 суток. Нормативное проявление первых заморозков 26 октября («Лаура») и 29 сентября («Джуга»), т.е. на северном склоне отрицательные температуры воздуха наблюдаются на 27 дней раньше. Даты наступления первых заморозков не коррелируются.

### Относительная влажность воздуха

Относительная влажность воздуха в большей степени, чем температура, зависит от местоположения точек наблюдений. Изменение значений в среднегорном лесном и в субальпийских поясах зачастую имеют противоположную направленность.

По данным м/с «Лаура» и «Джуга» норма среднегодовой влажности составила 72 и 69%. Диапазоны колебаний от 62 (2008, 2010) до 88% (1988) и от 62 (1990–91, 2013–14) до 79% (1995). Взаимосвязи между рядами нет, коэффициент корреляции равен 0,003. Линейная аппроксимация дает уменьшение среднегодовой относительной влажности воздуха с 1985 года в лесной зоне на 16,5%, в субальпийской на 2,7% (рис. 7).

Норма среднемесячной влажности на южном склоне уменьшается с 80 в январе до 61–66% в апреле–мае. Затем идут колебания в пределах 68–77% с максимумом в декабре (82%). Противоположная тенденция наблюдается на северном склоне: возрастание среднемесячных значений с января–февраля (65–66%) по июль (77%) с последующим падением до ноября–декабря (63–65%). Коэффициент корреляции между рядами 0,49, то есть прослеживается слабая обратная связь. В холодный период (сентябрь–февраль) среднемесячная влажность на 2–17% выше в лесной зоне; в теплый (март–август) на 2–9% в субальпийской. Связь между рядами многолетних изменений среднемесячных величин отсутствует и только в мае и ноябре является значимой (Кк 0,53–0,63). Наибольшей неустойчивостью изменений влажности во времени в лесной зоне

характеризуется май с амплитудой колебаний 45%. В апреле–мае наблюдались самые значительные превышения нормы (+21%); экстремальные отклонения от нормы в низшую сторону в январе (-25%). Стабильный влажностной режим воздуха в октябре (A = 31%). В альпийской зоне неустойчивостью отличается февраль (A = 62%), стабильностью – июль (A = 19%). Аппроксимация 30-летних изменений относительной влажности воздуха на южном склоне показала ее безисключительное снижение на 8 (октябрь) – 23% (апрель, ноябрь). На северном склоне влажность увеличилась в январе, марте–апреле, сентябре; уменьшилась в остальные месяцы. Пределы изменений от -14% в ноябре до +5% в сентябре.

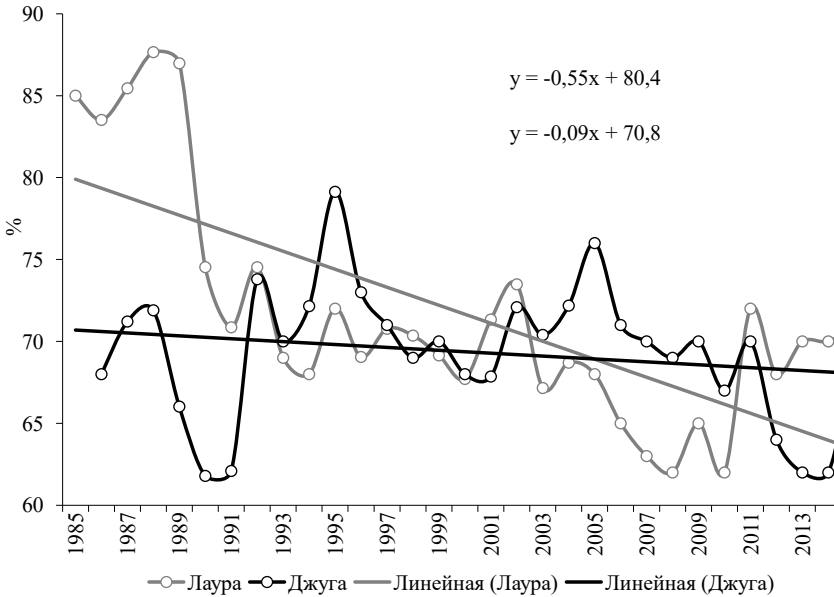


Рис. 7. Динамика среднегодовой относительной влажности воздуха

### Атмосферные осадки

Количество атмосферных осадков, выпавших за определенный промежуток времени, обуславливает не только степень увлажнения территории, но и потенциальную возможность усиления или затухания тех или иных биотических и опасных абиотических (экзогенных) процессов. Линейная аппроксимация тридцатилетнего хода изменений годовых сумм осадков показывает их уменьшение на 235,2 мм для южного макросклона и увеличение на 683,1 мм для северного (рис. 8). В лесном поясе южного склона, при среднемноголетней годовой сумме 2053,2 мм, изменения происходили в диапазоне 1383,8 (2000) – 2731,9 мм (2001). В субальпике северного склона норма 1320,7 мм, интервал колебаний 684,7 (1986) – 2755,6 мм (2006). В первом случае максимальное отклонение от нормы происходило в меньшую сторону, а во втором наоборот.

Разность годовых сумм южного и северного склонов со временем уменьшается примерно на 31 мм/год или на 930 мм за 30 лет. Корреляционная связь между годовыми суммами осадков на противоположных склонах очень слабая (Кк = 0,39). Корреляционная связь многолетних месячных сумм осадков на противоположных склонах ГКХ хорошая и тесная (Кк = 0,71–0,75) в феврале–марте и сентябре–ноябре. В остальные месяцы слабая. По данным

м/с «Лаура» максимальные месячные нормы (236,8–241,9 мм) приходятся на ноябрь–декабрь, минимальные (99,9–104,5 мм) на июль–август. По м/с «Джуга» максимумы отмечаются в мае–июне, ноябре (135,9–143,2 мм), минимумы в январе–феврале (71,9–83,5 мм). Нормы осадков на южном склоне в течение всех месяцев, за исключением июня–июля, превышают таковые на северном. В январе и декабре разность более 135 мм, в августе менее 10 мм. В июне–июле на северном склоне выпадает на 5,8–9,2 мм больше. Многолетнее изменение слоя осадков более неустойчивое на южном склоне. Здесь преимущественно произошло уменьшение месячных сумм; наибольшее в ноябре–декабре (на 103,8–148,2 мм), увеличение в марте (172,8 мм), июне (5,4 мм) и октябре (4,2 мм).

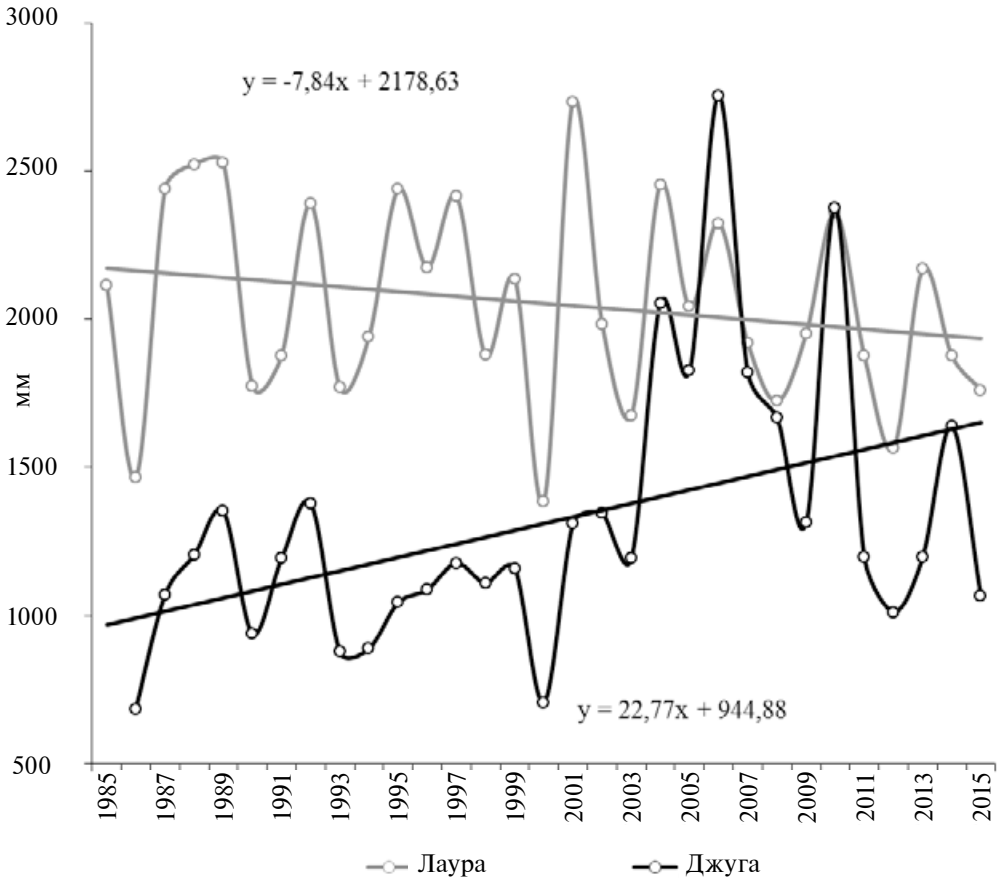


Рис. 8. Динамика годовых сумм осадков

Норма среднесуточных выпадений по м/с «Лаура» колеблется от 9,0 мм (июнь) до 17,1 мм (ноябрь); по м/с «Джуга» от 5,7 мм (февраль) до 13,4 мм (ноябрь). В среднем величина суточных осадков уменьшилась на 1,5 мм в лесном поясе и увеличилась на 3,0 мм в альпийском. В холодное время года интенсивность осадков выше на юге и ниже на севере.

Норма максимальных суточных осадков колеблется в пределах 33,0 (август) – 56,5 мм (октябрь) и 21,9 (февраль) – 39,8 мм (ноябрь) для южного и

северного склонов, соответственно. Абсолютный максимальный слой суточных выпадений составил 118,2 мм в сентябре 1991 года (м/с «Лаура») и 127,9 мм в июне 2006 года (м/с «Джуга»). В субальпике северного склона интенсивность абсолютных максимальных суточных выпадений выросла за 30 лет на 51,5 мм/сут. В месячном разрезе наблюдался рост суточных максимумов с января по сентябрь и в декабре на величину от 7,7 (февраль) до 42,5 мм/сут. (июнь). Спад интенсивности произошел только в октябре–ноябре на 0,2–2,3 мм сут. На южном склоне, при общем снижении интенсивности на 20,5 мм/сут., изменения неоднозначны: экстремум роста (+28,5 мм/сут.) в марте, снижения (-30,8 мм/сут.) в мае. Экстремальные суточные выпадения на южном склоне больше в холодный период года, на северном – в теплый.

В годовом разрезе частота выпадений увеличилась на юге на 7 раз/мес. и уменьшилась на севере на 4 раз/мес.

### Снежный покров

Многолетняя среднегодовая высота снежного покрова на южном и северном склонах 44 и 53 см, максимальная – 112 и 106 см, соответственно. В лесном поясе южного склона наиболее многоснежным является февраль с мощностью покрытия 60–94 см. В субальпийской зоне северного склона – март (66–88 см). В течение всего сезона со снежным покровом его средняя высота больше на северном склоне. В январе–феврале до 6 см, в марте–апреле на 26–31 см, в ноябре–декабре на 13–15 см. Данные м/с «Лаура» показывают уменьшение средней и максимальной высоты снежного покрова за тридцатилетний период на величину от 7–16 см (апрель) до 64–72 (февраль) во все месяцы без исключения. В субальпийской зоне северного склона также произошло уменьшение средней мощности снега от 0,2 см в январе до 45 см в марте (рис. 9).

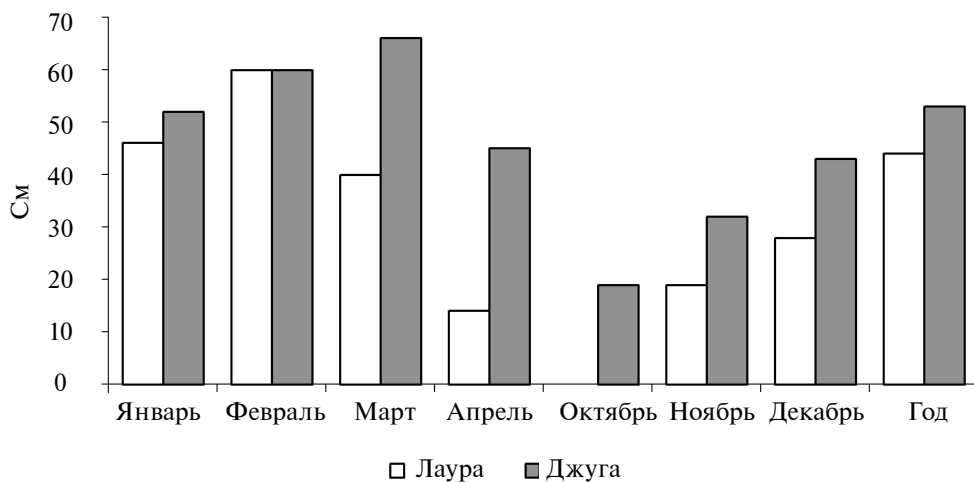


Рис. 9. Многолетняя средняя высота снежного покрова (норма)

Средняя продолжительность сохранности снежного покрова составляет 92 суток в лесном поясе южного склона и 167 суток в субальпике северного, в т.ч. устойчивого 65 и 153 суток. Наблюдениями на м/с «Лаура» в течение



30 лет отмечено сокращение длительности залегания снега. В последнее время устойчивый покров образуется только в январе, а в 1996, 2003 и 2010 годах полностью отсутствовал. Линейный тренд за 1985–2015 годы показывает сокращение времени сохранности устойчивого снежного покрова на 38 суток и общего на 35 суток. В субальпике северного склона устойчивый снежный покров сохраняется на 88, а общий на 74 суток дольше. Тем не менее и здесь в многолетнем плане происходит сокращение длительности снежного покрытия на 21–27 сут.

### Продолжительность солнечного сияния

Средняя годовая длительность солнечного сияния по данным метеостанций «Лаура» и «Джуга» составляет 1525,5 и 1896,6 часов. Различие обусловлено не только погодными условиями южного и северного склонов, но и расположением станций в рельефе. Разрывы в рядах наблюдений не позволяют корректно оценить изменения, происшедшие за 30 лет. Тем не менее линейный тренд годовых сумм показывает уменьшение продолжительности солнечного сияния на 82 час/год на южном склоне и увеличение на 151 час/год на северном.

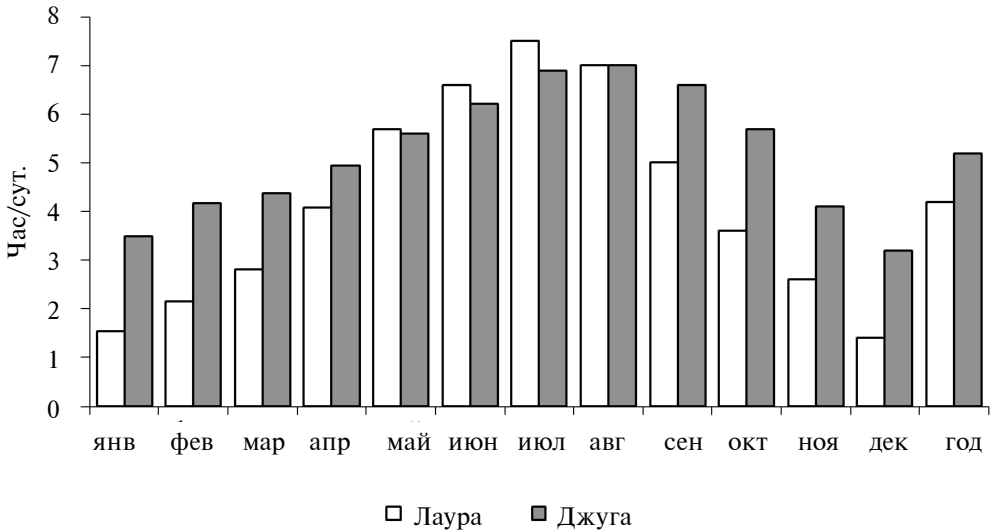


Рис. 10. Многолетняя суточная продолжительность суточного сияния (норма)

В многолетнем плане количество дней с полным отсутствием солнечного сияния колеблется от 68 (2014) до 103 (1987) на южном макросклоне и от 39 (2012) до 87 (1992) на северном. Норма пасмурных дней составляет 84 и 60, соответственно. По данным м/с «Лаура» за 30-летний период количество пасмурных дней в году уменьшилось на 7,4. В месячном разрезе изменения разнонаправленные: в ноябре–декабре произошло уменьшение на 4,6–6,4 дней/мес., а в марте увеличение на 6,8 дней/мес. (рис. 10). В субальпийской зоне северного склона годовое количество пасмурных дней уменьшилось на 8,7: от -3,6–5,0 в ноябре–декабре до +2,6 дней/мес. в феврале. Взаимосвязь между днями с отсутствием солнечного сияния на противоположных склонах хорошая в январе–феврале, апреле, августе и декабре; в другие месяцы не прослеживается. Взаимосвязь между месячной продолжительностью солнечного сияния и количеством пасмурных дней хорошая и тесная, за исключением июня–августа.

## Основные выводы

Анализ динамики метеорологических параметров на Западном Кавказе позволяет сделать следующие выводы:

1. Тенденция повышения среднегодовых значений за 30 лет прослеживается отчетливо. Среднегодовое значение температуры воздуха на южном и северном склонах составила 9,5 и 3,7 °С при минимуме 7,8 и 1,7 °С и максимуме 11,8 и 6,1 °С. Линейная аппроксимация показывает повышение минимума по м/с «Лаура» на 3,1 °С, а по м/с «Джуга» на 2,2 °С. Повышение максимальной температуры воздуха за 30 лет составило 2,8 °С и 1,4 °С соответственно.

2. За 30 лет продолжительность безморозного периода на южном склоне увеличилась на 26 суток, а на северном на 27 суток. Согласно линейному тренду последний заморозок стал проявляться раньше на 7 суток для южного склона и на 17 суток для северного склона. Линейно аппроксимированные даты наступления первых отрицательных температур приблизились к концу года на 18 и 8 суток.

3. Линейная аппроксимация за 30 лет дает уменьшение среднегодовой относительной влажности воздуха в лесной зоне на 16,5%, в субальпийской на 2,7%. Норма среднегодовой влажности составила 72 и 69% соответственно. Диапазоны колебаний от 62 до 88% и от 62 до 79% соответственно.

4. Линейная аппроксимация тридцатилетнего хода изменений годовых сумм осадков показывает их уменьшение на 235,2 мм для южного макросклона и увеличение на 683,1 мм для северного. В лесном поясе южного склона, при среднегодовом значении 2053,2 мм, изменения происходили в диапазоне 1383,8–2731,9 мм. В субальпийке северного склона норма 1320,7 мм, интервал колебаний 684,7–2755,6 мм. В первом случае максимальное отклонение от нормы происходило в меньшую сторону, а во втором наоборот.

5. Многолетняя среднегодовая высота снежного покрова на южном и северном склонах 44 и 53 см, максимальная – 112 и 106 см соответственно. Данные показывают уменьшение средней и максимальной высоты снежного покрова за тридцатилетний период на обоих склонах. Линейный тренд за 1985–2015 годы показывает сокращение времени сохранности устойчивого снежного покрова на 38 и 21 сутки и общего на 35 и 27 суток.

6. Средняя годовая длительность солнечного сияния по данным метеостанций «Лаура» и «Джуга» составляет 1525,5 и 1896,6 часов. Линейный тренд годовых сумм показывает уменьшение продолжительности солнечного сияния на 82 час/год на южном склоне и увеличение на 151 час/год на северном.