

УДК 551.555.4 (575.23)
DOI: 10.36979/1694-500X-2024-24-8-84-95

ОЦЕНКА ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ КЫРГЫЗСТАНА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ МОЛНИЕЗАЩИТЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

О.А. Подрезов, Ю.А. Подрезова, Ш.Б. Дикамбаев, Ю.П. Симаков

Аннотация. Рассматриваются задачи определения характеристик грозовой деятельности для климатически сложной и мало изученной горной территории Кыргызстана, что необходимо для решения вопросов молниезащиты энергетических объектов. Получено, что в среднем для его территории многолетнее среднее число гроз в году равно 28, средняя продолжительность отдельной грозы составляет 1,24 ч, а суммарная годовая продолжительность гроз (число грозочасов) равна 36. Для Кыргызстана в целом и 4 его климатическим провинциям определены высотные зависимости годового числа грозочасов как основного показателя, который используется на практике для оценки грозовой опасности и молниезащиты. Получено, что число грозочасов в году существенно убывает с высотой места и зависит от климатической провинции. В целом оно меняется от 10 до 80 часов в год, что соответствует грациям грозовой деятельности от слабой до сильной. Работа может быть полезной при проектировании высоковольтных линий электропередачи и других энергетических объектов для решения вопросов их молниезащиты.

Ключевые слова: Кыргызстан; грозовая деятельность; годовое число грозочасов; молниезащита объектов энергетики.

ЭНЕРГЕТИКАЛЫК ОБЪЕКТИЛЕРДИ ЧАГЫЛГАНДАН КОРГОО МАСЕЛЕЛЕРИН ЧЕЧУУ ҮЧҮН КЫРГЫЗСТАНДЫН АЙМАГЫНДА КҮН КҮРКҮРӨШҮНҮН НЕГИЗГИ МҮНӨЗДӨМӨЛӨРҮН БААЛОО

О.А. Подрезов, Ю.А. Подрезова, Ш.Б. Дикамбаев, Ю.П. Симаков

Аннотация. Кыргызстандын климаттык татаал жана аз изилденген тоолуу аймактары үчүн чагылгандуу иштердин мүнөздөмөлөрүн аныктоо маселелери каралууда, бул энергетикалык объектилерди чагылгандан коргоо маселелерин чечүү үчүн зарыл. Бул орточо алганда, анын аймагында жылдык чагылгандын жылдык орточо саны 28 барабар, жеке чагылгандын орточо узактыгы 1,24 саат, ал эми жалпы жылдык чагылгандын узактыгы (чагылгандын саны) 36га барабар экени алынган. Жалпысынан Кыргызстан үчүн жана анын 4 климаттык провинциясы негизги көрсөткүч катары чагылгандын жылдык санынын бийиктигине көз карандылыгын аныктады, ал иш жүзүндө чагылгандын жана чагылгандын корголушуна баа берүү үчүн колдонулат. Бул жердин бийиктиги менен жылына бир сааттын саны кыйла азайып, климаттык провинцияга көз каранды экендиги аныкталды. Жалпысынан, ал жылына 10дон 80 саатка чейин өзгөрүп турат, бул чагылгандын алсыздан күчтүүгө чейинки иш-аракеттерине туура келет. Иш жогорку чыңалуудагы электр берүү линияларын жана башка энергетикалык объектилерди чагылгандан коргоо маселелерин чечүүдө пайдалуу болушу мүмкүн.

Түйүндүү сөздөр: Кыргызстан; чагылгандын активдүүлүгү; жылдык чагылгандын саны; энергетика объектилерин чагылгандан коргоо.

ASSESSMENT OF THE MAIN CHARACTERISTICS OF THUNDERSTORM ACTIVITY IN THE TERRITORY OF KYRGYZSTAN TO SOLVE THE PROBLEMS OF LIGHTNING PROTECTION OF ENERGY FACILITIES

O.A. Podrezov, Yu.A. Podrezova, Sh.B. Dikambaev, Yu.P. Simakov

Abstract. The tasks of determining the characteristics of thunderstorm activity for the climatically complex and poorly studied mountainous territory of Kyrgyzstan are considered, which is necessary to solve the issues of lightning protection of energy facilities. It was found that, on average, for its territory, the long-term average number of thunderstorms per year is 28, the average duration of a single thunderstorm is 1.24 hours, and the total annual duration of thunderstorms (number of thunderstorms) is 36. For Kyrgyzstan as a whole and its 4 climatic provinces, altitude dependences of the annual number of thunderstorms are determined as the main indicator that is used in practice to assess the lightning hazard and lightning protection. It was found that the number of thunderstorms per year decreases significantly with the height of the place and depends on the climatic province. In general, it varies from 10 to 80 hours per year, which corresponds to gradations of thunderstorm activity from weak to strong. The work can be useful in the design of high-voltage power transmission lines and other energy facilities to address issues of their lightning protection.

Keywords: Kyrgyzstan; thunderstorm activity; annual number of lightning hours; lightning protection of energy facilities.

Введение. Степень экономического развития любой страны напрямую зависит от состояния энергетической отрасли. В Кыргызстане основной составляющей энергетической отрасли является электроэнергетика, которая, располагая системой производства передачи и распределения, в целом удовлетворяет потребность страны в электроэнергии, сохраняя стабильные объемы производства. Более того, при благоприятных условиях, некоторая часть электроэнергии может экспортироваться в соседние страны. Однако бывают ситуации, когда происходит снижение производства электроэнергии в связи с маловодьем и недостаточным заполнением Токтогульского водохранилища, а в осеннее-зимний период резко возрастает потребление электрической мощности и энергии. В таких ситуациях возникает потребность в импортировании ее из соседних государств. В связи с этим и учитывая непрерывный рост спроса на электроэнергию, для надежного и устойчивого электроснабжения всех потребителей возникает необходимость строительства новых и модернизация существующих электростанций и линий электропередачи (ЛЭП). Очевидно, что от устойчивого и надежного функционирования энергосистемы и ее основных объектов зависит энергетическая безопасность всей страны, а для успешного роста экономики необходимо не только надежное и устойчивое энергообеспечение, но и опережающее развитие энергетической отрасли. Для этого необходимо чтобы все объекты энергетики функционировали надежно и эффективно, а темпы развития генерирующих мощностей должны на 20–30 % опережать существующие потребности страны в электроэнергии.

Учитывая все это, руководство страны в настоящее время уделяет большое внимание развитию энергетической отрасли. Во всех государственных программах, планах, стратегиях и других правительственных документах по дальнейшему развитию энергетической отрасли до 2030 г. предусмотрено строительство новых, реконструкция и модернизация существующих электростанций. При успешной реализации этих планов общая установленная мощность электростанций в перспективе может достигнуть 3000 МВт, что позволит при благоприятных условиях их строительства, увеличить совокупную мощность генерирующих источников нашей страны почти в два раза. В этом случае, для транспортировки выработанной электроэнергии потребуются строительство новых и расширение существующих магистральных и межсистемных линий электропередачи сверхвысокого напряжения (СВН) 220–500 кВ.

В нашей республике действующие, а также перспективные линии СВН проходят и будут проходить в сложных горных районах, характеризующихся экстремальными природно-климатическими условиями, многие из которых оказывают отрицательное, а в некоторых случаях катастрофическое воздействие на энергетические объекты, особенно на работу воздушных линий электропередачи, в первую очередь это магистральные ВЛ 220–500 кВ.

К числу природных атмосферных и климатических условий, отрицательно влияющих в той или иной степени на энергетические объекты, можно отнести: низкую температуру окружающего воздуха, пониженное атмосферное давление и плотность воздуха, сильные ветры, гололедные отложения на проводах и металлических конструкциях ВЛ, повышенную грозовую деятельность, различные виды атмосферных осадков, снежные лавины и другие.

Методика проектирования электропередач, сооружаемых в горных районах, несмотря на характерные для них сложные природно-климатические условия, во многом схожа с методикой проектирования равнинных ВЛ. Отличием горных ВЛ является то, что по сравнению с равнинными, к ним предъявляются повышенные требования к надежности. В силу этого, при проектировании энергообъектов, расположенных в горных условиях, необходимым условием является проведение специальных предпроектных изыскательских работ, изучение природно-климатических условий, оценка природных воздействий и принятие мер по защите от них. В практике проектирования такие работы, как правило, проводятся, однако несмотря на это, после ввода объектов в эксплуатацию имеют место многочисленные случаи аварийных повреждений, приводящих к длительному нарушению систем электроснабжения, практически ежегодно наблюдаются серьезные аварии с падением опор ВЛ и обрывами проводов. Объясняется это как недостаточной изученностью природных явлений, отсутствием подробных исследований по трассам прохождения электропередач, так и последствиями нарушений при сооружении объектов.

Как показала практика проектирования и результаты исследований последних лет, направленных на изучение влияния особенностей горных регионов на работу ВЛ, свидетельствуют о том, что действующие нормативно-технические и руководящие документы при проектировании и строительстве энергообъектов, расположенных в горных условиях не полностью, а в некоторых случаях совсем не учитывают особенности природно-климатических условий высокогорных районов.

В этой связи, силами специалистов Научно-исследовательского института энергетики при Министерстве энергетики КР совместно с сотрудниками соответствующих кафедр Кыргызско-Российского Славянского университета под руководством авторов настоящей статьи проводится ряд специальных научно-исследовательских работ по изучению природно-климатических условий Кыргызстана и их влиянию на энергетические объекты с целью оценки опасных воздействий и разработки научно-обоснованных предложений и рекомендаций по учету влияния экстремальных условий высокогорья на функционирование энергетических объектов [1–6]. Результаты этих исследований необходимы для уточнения и дополнения существующих нормативно-технических и руководящих документов, а также для восполнения отсутствующих до настоящего времени сведений по природно-климатическим характеристикам Кыргызстана, которые необходимо учитывать при обосновании проектных решений при сооружении энергетических объектов в горных регионах.

В настоящей статье рассмотрены вопросы грозовой деятельности на территории Кыргызстана. Гроза – одно из природных явлений, отрицательного влияющих на энергетические объекты, которые могут приводить к аварийным отключениям и повреждениям линий электропередачи, вызванных перекрытиями изоляционных элементов грозовыми перенапряжениями, а также обрывам проводов, грозозащитных тросов и повреждений опор из-за прямого попадания молний.

Исследованиями наших специалистов было установлено, что ВЛ 500 кВ Кыргызстана имеют более высокую повреждаемость, чем аналогичные линии в других регионах мира. Поэтому, для обоснованного выбора грозозащитных средств и мероприятий при проектировании и эксплуатации горных ВЛ на территории Кыргызстана необходимо иметь достоверные сведения о режиме грозовой деятельности, таких как интенсивность, годовая продолжительность, высотно-территориальное распределение гроз и др.

Интенсивность грозовой деятельности территории для целей грозозащиты (молниезащиты) обычно оценивается суммарной годовой продолжительностью гроз, численно равной годовому числу грозочасов (г.ч). Согласно правил устройства электроустановок (ПУЭ) [7], решение этих вопросов следует

производить на основании карт климатического районирования с уточнением по региональным картам и материалам многолетних наблюдений метеостанций. При этом должно быть учтено влияние микроклиматических особенностей территории, особенно в малоизученных и сложных горных районах. На приводимой в ПУЭ карте средней годовой продолжительности гроз вся территория Кыргызстана отнесена к одному району с градацией годового числа грозочасов, равным 40–60. При этом требуется детализация территории по соответствующим 7 градациям г. ч: менее 10, 10–20, 20–40, 40–60, 60–80, 80–100 и более 100. Учитывая большую изменчивость режима гроз, вызванную сложным орографическим строением территории Кыргызстана, становится очевидной необходимость обстоятельных исследований режима грозовой деятельности этого региона.

На сегодняшний день известны результаты двух исследований режима гроз на территории Кыргызстана, основанные на данных многолетних наблюдений метеостанций. На карте годовой продолжительности гроз в часах, полученной Г.А. Апостоловым в 1960 г. [8], на территории Кыргызстана выделены области с различным числом грозочасов – от 10 до 70 в году. На ней как наименее грозоопасные отмечаются высокогорные районы Внутреннего Тянь-Шаня (10–20 г.ч), тогда как в области склонов Ферганского и Чаткальского хребтов выделен очаг с максимальной интенсивностью до 60–70 г.ч. Второй, менее интенсивный очаг, соответствует Иссык-Кульской котловине с 50 г.ч в году.

В монографии Ю.А. Подрезовой и О.А. Подрезова, вышедшей 50 лет спустя [9], на основании статистической обработки многолетних наблюдений 65 метеостанций за 31-летний период 1960–1990 гг., была получена детальная картина территориального распределения основных характеристик грозовой деятельности по территории Кыргызстана: годовой частоты гроз (x), продолжительности отдельной грозы (t) и суммарной годовой (n) продолжительности гроз (г.ч) с получением необходимых высотных зависимостей.

Результаты этого исследования были положены в основу подготовки настоящей статьи. Ее цель – изучить высотно-территориальное распределение характеристик гроз x , t и n в Кыргызстане и получить научно обоснованные практические рекомендации для учета интенсивности грозовой деятельности, необходимые для проектирования высоковольтных воздушных линий электропередачи, электроподстанций и других энергообъектов.

Факторы, определяющие высотно-территориальное распределение гроз. Исходный материал, методы обработки и анализа. Согласно [10], протяженность территория Кыргызстана с запада на восток и с севера на юг составляет соответственно 925 и 454 км. Ее средняя высота равна 2,684 км, при этом 93,1 % территории лежит на отметках выше 1 км, а относительные площади различных высотных зон равны (в %):

зона, км	до 1	1–1,5	1,5–2	2–2,5	2,5–3	3–3,5	3,5–4	>4
% площади	5.9	7.3	15.1	14.8	16.1	17.7	16.2	6.9

Высокие периферийные хребты (Кунгей, Киргизский, Таласский и др.), имея средние высоты гребней около 3,5–4,5 км, являются хорошо выраженными местными климаторазделами. Северо-западные, западные и юго-западные влагонесущие потоки общей циркуляции атмосферы формируют повышенные зоны осадков на их наветренных внешних склонах. Особенно благоприятными в этом отношении являются юго-западные наветренные склоны Ферганского хребта и западные склоны других субмеридиональных хребтов северной и восточной части Ферганской котловины. При этом значительная часть осадков связана с развитием летней конвективной облачности, сопровождающейся интенсивной грозовой деятельностью. Здесь и возникает первый очаг повышенной грозовой деятельности.

Особую роль для Внутреннего Тянь-Шаня играют процессы летнего обострения быстро движущихся холодных фронтов 2-рода с развитием летних конвективных осадков и гроз над его высоко поднятой подстилающей поверхностью, куда они проникают, перевалив хребты-барьеры.

В орографически замкнутой Иссык-Кульской котловине, с ее крупным озером, формируется второй, еще более интенсивный очаг повышенной грозовой деятельности. Он возникает благодаря дополнительному местному испарению с поверхности озера и благоприятной широтной ориентации южных склонов Кунгей Ала-Тоо, что обеспечивает максимальный приток к ним солнечной радиации, необходимой для развития мощной конвекции от земной поверхности. Именно эта летняя конвекция, возникающая над южным склоном этого хребта в достаточно влажном воздухе, создает здесь самый интенсивный очаг грозовой деятельности.

В результате, территорию Кыргызстана, для учета ее местных климатических особенностей, принято подразделять на 4 климатические провинции [10–12]: Северный, северо-западный Кыргызстан (ССЗК или СЗ), Юго-западный Кыргызстан (ЮЗК или ЮЗ), Иссык-Кульская котловина (ИКК) или Северо-восточный Кыргызстан (СВК или СВ) и Внутренний Тянь-Шань (ВТШ). Их границы проходят по гребням хребтов-барьеров и показаны на рисунке 1 (далее будем пользоваться сокращениями ССЗК, ЮЗК, ИКК и ВТШ).

Для климатического анализа режима гроз по данным 65 метеостанций Кыргызстана за 1960–1990 гг. (начиная с 1991 г. произошло двухкратное сокращение числа станций) были сделаны выборки наблюдаемых на них характеристик гроз: годовая частота (число) гроз – x , длительность каждой отдельной грозы – t и суммарная годовая продолжительность гроз или годовое число грозоочасов – n (г.ч). При этом на ССЗК пришлось 15 станций, ЮЗК – 19, ИКК – 12, ВТШ – 19. Полученные материалы подверглись статистической обработке с расчетом основных статистик эмпирических распределений (среднее, среднее квадратическое отклонение, коэффициенты вариации, асимметрии и эксцесса), а также линейных и нелинейных корреляционных связей этих характеристик с высотой, широтой и долготой станций [13]. Результаты выполненного по полученным расчетным данным климатического анализа и излагаются в настоящей статье.

Общая характеристика грозовой деятельности на территории Кыргызстана. В таблице 1 приведены многолетние средние значения годовых характеристик гроз (x , t и n) и коэффициенты их межгодовой вариации (C), осредненные по территории климатических провинций и Кыргызстану в целом, а в таблице 2 дополнительно даны максимальные значения средних годовых значений характеристик, полученных по отдельным метеостанциям. Из этих данных следует, что по Кыргызстану в целом $x_{cp} = 28$ гроз, $t_{cp} = 1,24$ ч, а $n_{cp} = 36$ г.ч. При этом по средним показателям грозоопасности

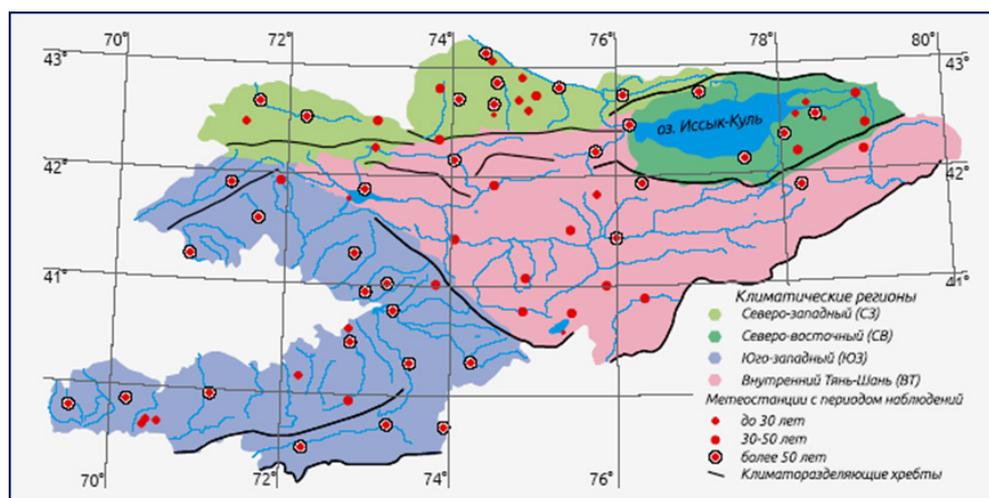


Рисунок 1 – Схематическая карта Кыргызстана с границами 4 климатических провинций и расположением действующих в настоящее время метеостанций

Таблица 1 – Многолетние средние годовые значения характеристик гроз и коэффициентов вариации, усредненные по климатическим провинциям и Кыргызстану в целом

Характеристика	Климатические провинции				В целом
	ССЗК	ЮЗК	ИКК	ВТШ	
Средние значения характеристик гроз					
Частота гроз – x_{cp}	18,2	29,2	43,7	23,5	27,7
Длительность – t_{cp} , ч	1,40	1,37	1,19	1,01	1,24
Грозочасы – n_{cp} , Г.ч	26,9	44,5	52,1	25,6	36,3
Средние значения коэффициентов межгодовой вариации С					
С(x)	0,42	0,50	0,38	0,54	0,47
С(t)	1,10	1,09	1,01	1,11	1,08
С(n)	0,61	0,66	0,49	0,68	0,62

Таблица 2 – Максимальные многолетние средние значения характеристик по отдельным метеостанциям

Характеристика	Климатические провинции				В целом
	ССЗК	ЮЗК	ИКК	ВТШ	
Частота – $x_{макс}$	31,6	67,0	69,2	40,4	69,2
Длительность – $t_{макс}$, ч	2,33	2,76	2,29	1,42	2,76
Грозочасы – $n_{макс}$, Г.ч	69,9	125,4	86,3	71,0	125,4

(одновременно по n_{cp} и x_{cp}) на первом месте находится ИКК, где $n_{cp} = 52$, $x_{cp} = 44$, на втором ЮЗК, где $n_{cp} = 45$, $x_{cp} = 29$, а третье и четвертое место делят СЗК и ВТШ с примерно близкими средними характеристиками.

Межгодовая изменчивость оказалась минимальной для частоты гроз x , для которой коэффициент вариации $C(x)$ имеет значения в пределах 0,38–0,54. Как и следовало ожидать, исходя из визуальной методики определения начала/конца гроз на метеостанциях, наибольшие значения имеют коэффициенты вариации $C(t)$ для длительности отдельной грозы, имеющие значения в пределах 1,01–1,11. Промежуточные значения характерны для грозочасов, для которых $C(n)$ изменяется в пределах 0,49–0,68.

По отдельным метеостанциям Кыргызстана получены следующие максимальные характеристики грозовой деятельности: $n_{макс} = 125$ г.ч на станции Гульча (расположена на высоте 1,542 км в ущелье р. Куршаб на сев. склоне Алайского хр.), $x_{макс} = 69$ на станции Красный Октябрь (расположена на высоте 1,645 км в крайней восточной части побережья оз. Иссык-Куль), $t_{макс} = 2,33$ ч на станции Рыбачье (расположена на высоте 1,66 км в крайней западной части северного побережья оз. Иссык-Куль).

Приведенные данные показывают, что годовое число гроз и грозочасов на территории Кыргызстана в 5–10 раз превышают значения, характерные для окружающей его Туранской низменности [14]. Это объясняется сильным орографическим влиянием Тянь-Шаня на региональное усиление грозовой деятельности, когда потоки общей циркуляции атмосферы встречают на своем пути эту мощную горную страну.

На рисунке 2, а, б, в показаны высотные корреляционные зависимости от высоты места многолетних средних годовых значений исследуемых характеристик гроз по данным 65 метеостанций. Как видно из характера поля точек: x , t и n (данные отдельных станций), для территории Кыргызстана в целом имеет место, хотя и умеренная по силе, но все же достаточно закономерная их зависимость от высоты места. При этом для частоты гроз ее характер близок к параболическому, для длительности грозы – линейный, а для грозочасов – связь может быть удовлетворительно описана как линейной,

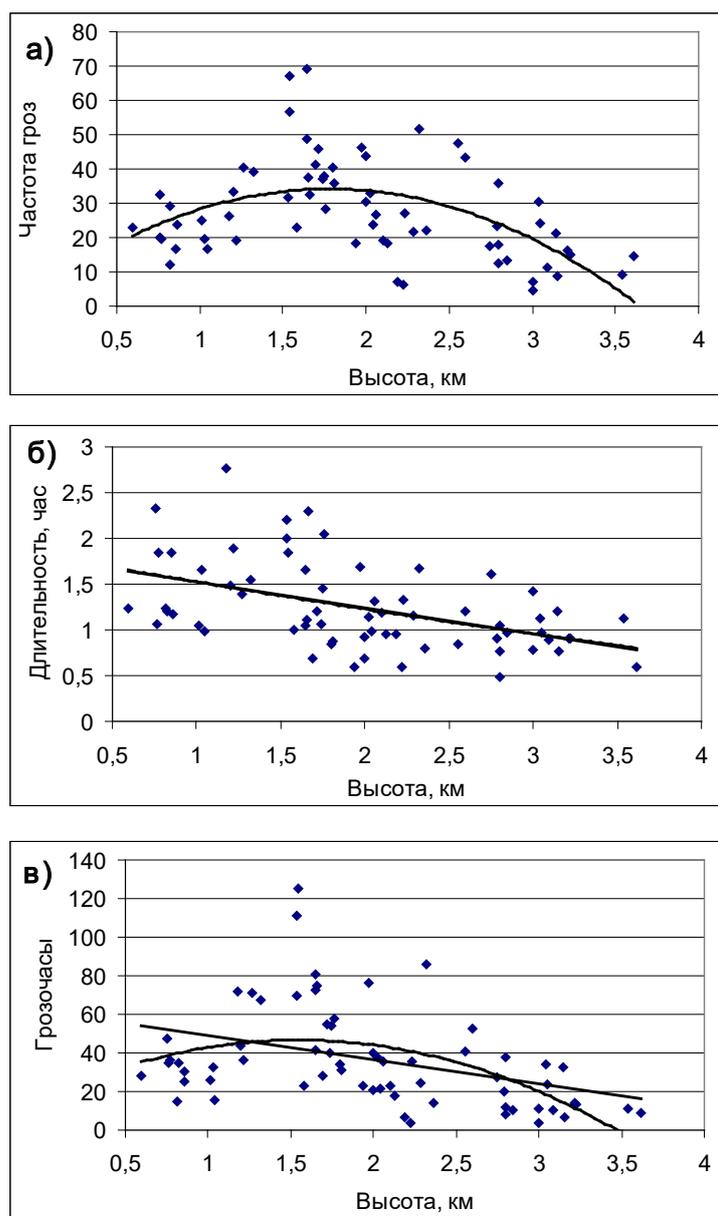


Рисунок 2 – Корреляционные зависимости годовых характеристик гроз по данным метеостанций (точки) от высоты места с графиками линейных и параболических регрессий для территории Кыргызстана

так и параболической зависимостью. Найденные линейные и параболические высотные регрессии имеют следующий вид:

$$x_{\text{cp}} = -9,773z^2 + 34,77z + 3,3 \pm 12,1 \quad (r_p = 0,53), \quad (1)$$

$$t_{\text{cp}} = -0,283z + 1,8 \pm 0,42 \quad (r = -0,47), \quad (2)$$

$$n_{\text{cp}} = -12,621z^2 + 39,06z + 16,4 \pm 22,2 \quad (r_p = 0,50), \quad (3)$$

$$n_{cp} = -12,555z + 61,3 \pm 28,3 \quad (r = -0,39), \quad (4)$$

где z , км, слагаемые со знаком «±» есть стандартные ошибки регрессий; r_p и r – параболический и линейный коэффициенты корреляции.

На графиках рисунка 2, а, б, в хорошо видно, что имеет место значительный разброс данных отдельных станций около линий регрессий. Это говорит о том, что характеристики гроз зависят не только от высоты, но и в значительной мере от других, не учитываемых чисто высотными регрессиями местных факторов. Именно этим разбросом и определяется значительная величина стандартных ошибок регрессий, показанных в уравнениях членами со знаком «±». Все уравнения статистически значимы по F-критерию Фишера на уровне доверительной вероятности $p = 0,95$ и могут быть использованы на практике. В таблице 3 приведены рассчитанные по ним значения характеристик гроз на высотах до 3,5 км. Этими расчетными данными можно пользоваться на практике как общими оценками высотного распределения характеристик гроз x , t и n в Кыргызстане.

Как видно из данных таблицы 3, число гроз на высотах 1 км (подножье склонов внешних хребтов-барьеров) составляет около 28, длительность отдельной грозы 1,52 ч, а годовое число грозочасов около 42–50. При этом число гроз x по (1) имеет максимум, равный 34, на высотах 1,5–2 км, а число грозочасов n по (3), равное 47, также на высоте 1,5 км (по линейной зависимости (4) n только убывает с высотой места). Видимо, на этих высотах создаются наиболее благоприятные сочетания тепла и влаги для развития грозовой деятельности. К высоте 3 км x и n убывают соответственно до значений, равных 20 грозам и 24 г.ч. Длительность отдельной грозы линейно убывает от 1 к 3 км от 1,52 до 0,95 ч или на 37 %.

Таблица 3 – Рассчитанные средние по территории Кыргызстана значения характеристик гроз на различных высотах по высотным зависимостям (1)–(4)

Характеристика	Высота, км						
	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5
x_{cp} (1)	18,2	28,3	33,5	33,7	29,1	19,7	5,3
t_{cp} (2)	1,66	1,52	1,38	1,23	1,09	0,95	0,81
n_{cp} (3)	32,8	42,9	46,6	44,1	35,2	20,1	
n_{cp} (4)	55,0	48,7	42,5	36,2	29,9	23,6	17,4

Следует подчеркнуть, что со статистической точки зрения, регрессии (3) и (4) для оценки n_{cp} равнозначны. Они дают достаточно близкие результаты в области средних значений высот 1–3 км, но их данные начинают существенно расходиться на концах регрессий, ниже 1 км и выше 3 км. Более того, параболическая регрессия (3) на высотах 3,5 км и выше дает отрицательные значения грозочасов, чего не может быть. Это есть следствие недостаточности исходных данных на этих высотах для надежных корреляционных расчетов. Поэтому на практике можно рекомендовать два пути использования этих регрессий: 1) во всем диапазоне высот применять линейную регрессию (4), дающую более «осторожное практическое решение»; 2) в диапазоне высот выше 1 км и ниже 3 км применять параболическую регрессию (3), а вне этих высот – линейную регрессию (4).

Далее, чтобы полнее учесть специфику орографических условий, влияющих на интенсивность грозовой деятельности в Кыргызстане, выполним анализ по отдельным климатическим провинциям. При этом ограничимся только одним, используемым при решении молниезащиты показателем – годовым числом грозочасов n .

Высотно-территориальное распределение годового числа грозочасов в различных климатических провинциях Кыргызстана

Северный, Северо-Западный Кыргызстан. Среднее значение грозочасов по территории ССЗК равно $n_{cp} = 27$ (таблица 1), а максимальное наблюдается на станции Новороссийка $n_{max} = 70$ ($z = 1,53$ км). Высокое значение $n_{max} = 70$ в Новороссийке получено как за счет повышенной частоты гроз ($x = 32$), так и особенно их высокой длительности ($t = 2,21$ ч). При этом по 9 станциям Чуйской долины, включая ее горного обрамление, $n_{cp} = 25$ ($n_{max} = 47$, Бишкек), а соответственно по 5 станциям Таласской долины с ее горным обрамлением $n_{cp} = 22$ ($n_{max} = 30$, Кировское). Минимальные значения годовых грозочасов n наблюдались на высокогорных станциях Тюя-Ашу сев. ($z = 3,09$ км) и Алабель пер. ($z = 3,21$ км), где они соответственно оказались равными 10 и 15 г.ч.

По данным всех 15 станций ССЗК получена линейная статистически значимая ($p = 0,95$) высотная зависимость n (все обозначения те же, что и для (1)–(4)):

$$\text{ССЗК } n = -9,303z + 42,45 \pm 13,8 \quad (r = -0,53). \quad (5)$$

Из (5) следует, что число грозочасов с высотой убывает в ССЗК с вертикальным градиентом, равным 9,3 г.ч/км. Расчеты по (5) дают следующее высотное распределение годового числа грозочасов n :

z , км	0,75	1,25	1,75	2,25	2,75	3,25	3,75
n , г.ч	35	31	26	22	17	12	8

Юго-западный Кыргызстан. Среднее значение грозочасов по территории ЮЗК равно $n_{cp} = 45$ г.ч (таблица 1). При этом по данным 9 станций, расположенных в подгорной равнине и на склонах южных широтных хребтов Алайского и Туркестанского, $n_{cp} = 46$ г.ч, а по 10 станциям, расположенным в подгорной равнины и на склонах субмеридиональных хребтов северного и восточного горного обрамления Ферганы, $n_{cp} = 43$ г.ч. Максимальные значения грозочасов наблюдаются на двух станциях: Гульча $n_{max} = 125$ г.ч ($z = 1,54$ км), расположенной на северном, касательном к влагонесущим потокам, склоне широтного Алайского хребта, и на станции Устье р. Тос, где $n_{max} = 111$ г.ч ($z = 1,54$ км), расположенной на восточном (подветренном) склоне Чаткальского хребта. Максимальные значения грозочасов по всем прогнозным данным следовало бы ожидать не на этих станциях, а на станции Ак-Терек-Гава ($z = 1,75$ км), расположенной на ЮЗ наветренном склоне Ферганского хребта, но здесь их число равно всего лишь $n_{max} = 54$ г.ч. Почему наблюдается такая картина пока остается непонятным.

По данным всех 19 станций ЮЗК получена параболическая статистически значимая ($p = 0,95$) высотная зависимость n :

$$\text{ЮЗК } n = -31,198z^2 + 101,11z - 24,2 \pm 24,6 \quad (r_p = 0,52). \quad (6)$$

Следует заметить, что зависимостью (6) следует пользоваться только до высоты 2,8 км, так как на высотах более 3 км она дает отрицательное число грозочасов. Расчеты по (6) дают следующее высотное распределение годового числа грозочасов до высот 2,75 км:

z , км	0,75	1,25	1,75	2,25	2,75
n , г.ч	34	53	57	45	18

Внутренний Тянь-Шань. Среднее значение грозочасов по территории ВТШ по данным его 19 станций $n_{cp} = 24$ г.ч (таблица 1). При этом на станциях, расположенных в долинах и котловинах различной высоты, они следующие: низкогорные котловины станции Токтогул ($z = 0,82$ км) – $n_{cp} = 29$ г.ч, среднегорные котловины ($z = 1,2–2,5$ км) – $n_{cp} = 33$ г.ч, высокогорные котловины ($z = 2,5–3,5$ км) – $n_{cp} = 19$ г.ч, нивальная зона ($z > 3,5$ км) – $n_{cp} = 12$ г.ч. Максимальное число грозочасов наблюдалось

на станции Казарман $n_{\text{макс}} = 40$ г.ч ($z = 1,27$ км), а минимальное на станции нивальной зоны Чатыркуль $n_{\text{мин}} = 9$ г.ч ($z = 3,54$ км).

По данным всех 19 метеостанций ВТШ получена линейная статистически значимая ($p = 0,95$) высотная зависимость n :

$$\text{ВТШ } n = -14,166z + 60,89 \pm 12,8. \quad (r = -0,66). \quad (7)$$

Из (7) следует, что число грозочасов с высотой убывает в ЮЗК с вертикальным градиентом, равным $-14,2$ г.ч/км. Расчеты по (7) дают следующее высотное распределение годового числа грозочасов:

z, км	0,75	1,25	1,75	2,25	2,75	3,25	3,75
n, г.ч	50	43	36	29	22	15	8

Иссык-Кульская котловина. Это самый грозоопасный, и, несмотря на свою компактность, одновременно самый сложный по высотно-территориальному распределению грозовой активности район Кыргызстана. Главной его особенностью является гораздо более высокие значения характеристик n , x и t на северном побережье по сравнению с южным. При этом число гроз x заметно растет при смещении по обоим побережьям с запада на восток, а длительность отдельной грозы t является аномально большой для всего северного побережья и обрамляющих их южных склонов хр. Кунгей. Это приводит к большим, и примерно одинаковым, значениям грозочасов n для всего северного побережья. Причина повышенной грозовой деятельности здесь очевидна: более интенсивная солнечная инсоляция южных («солнечных») склонов и предгорий южного склона Кунгей Ала-Тоо по сравнению с северными («затененными») склонами хр. Терскей Ала-Тоо. В результате можно дать следующую картину распределения параметров гроз в днище котловины (подгорной или приозерной равнине на высотах до 2 км – подножье склонов) и на обрамляющих ее склонах хребтов, показанную в таблице 4, полученную по средним данным станций.

Таблица 4 – Средние значения характеристиках гроз в ИКК
(обозначения: ЗРЗ – западная равнинная зона к западу от озера; СП – северное побережье в пределах озера; ВРЗ – восточная равнинная зона к востоку от озера; ЮП – южное побережье в пределах озера; СГО и ЮГО – северное и южное горные обрамления – склоны хр. Кунгей и хр. Терскей на высотах 2 км и более)

Параметр	Зоны котловины						ИКК в целом
	ЗРЗ	СП	ВРЗ	ЮП	СГО	ЮГО	
x (гроз)	36,7	58,9	45,9	39,8	47,5	38,1	43,7
t, ч	2,29	1,36	1,20	0,86	1,44	0,89	1,19
n, г.ч	78,9	76,8	55,2	34,0	69,3	33,7	52,1

Максимальное число грозочасов в ИКК отмечает среднегорная перевальная метеостанция Санташ $n = 86$ г.ч ($z = 2,32$ км), лежащая на южном склоне хр. Кунгей, но значительно восточнее озера. При этом склоновая станция, также лежащая на хр. Кунгей в пределах восточной части озера, Кырчин дает $n = 52$ г.ч ($z = 2,60$ км). Одновременно три склоновые станции, лежащие на северном склоне хр. Терскей, показывают существенно меньшее число грозочасов: Теплоключенка $n = 40$ г.ч ($z = 2,0$ км, лежит в 25 км восточнее озера), Большая Кызыл-Су $n = 41$ г.ч ($z = 2,56$ км лежит в пределах восточной части озера), Чон-Ашу $n = 20$ г.ч ($z = 2,79$ км, лежит далеко за пределами восточной оконечности озера).

К сожалению, малое число склоновых станций (всего 5) не позволяет в ИКК построить статистически надежную высотную зависимость числа грозочасов. Поэтому на практике следует рекомендовать использовать для южного склона Кунгей Ала-Тоо для высот 2 км и более (т. е. начиная от

подножья склонов) их среднее для СГО значение, равное $n_{cp} = 69$ г.ч, а для северного склона Терскей Ала-Тоо для высот 2 км и более использовать их среднее для ЮГО значение, равное $n_{cp} = 34$ г.ч.

Выводы

Практические рекомендации для определения годового числа грозочасов. На территориях климатических провинций ССЗК, ЮЗК и ВТШ годовое число грозочасов (n , г.ч.) следует определять по данным таблицы 5, рассчитанным по высотным зависимостям, соответствующим статистическим регрессиям (5)–(7).

Таблица 5 – Годовое число грозочасов на территориях климатических провинций ССЗК, ЮЗК и ВТШ

Провинция	Высота середины слоя, км							
	0,75	1,25	1,75	2,25	2,75	3,25	3,75	4,25
ССЗК	50	43	36	29	22	15	10*	10*
ЮЗК	34	53	57	45	18	15*	15*	15*
ВТШ	50	43	36	29	22	15	10*	10*

В этой таблице задаваемые высоты соответствуют серединам слоев толщиной по 0,5 км: 0,5–1, 1–1,5...4–4,5. Приводимые в таблице значения грозочасов для середин этих слоев следует принимать постоянными в пределах каждого слоя. Числа, помеченные звездочкой, есть экспертные оценки, полученные исходя общих результатов климатического анализа.

На территории ИКК годовое число грозочасов (n , г.ч.) следует определять по данным таблицы 6, полученной осреднением прямых данных метеостанций

Таблица 6 – Годовое число грозочасов на территории ИКК

Зона ИКК	ЗРЗ	СП	ВРЗ	ЮП	СГО	ЮГО
Грозочасы	79	77	55	34	69	34

Примечание: обозначения зон ИКК в таблице: ЗРЗ – западная равнинная зона к западу от озера; СП – северное побережье в пределах озера; ВРЗ – восточная равнинная зона к востоку от озера; ЮП – южное побережье в пределах озера; СГО и ЮГО – северное и южное горные обрамления – южные склоны хребта Кунгей и северные склоны хребта Терскей на высотах 2 км и более.

Поступила: 25.06.24; рецензирована: 09.07.24; принята: 11.07.24.

Литература

1. Разработать НИА для определения требований по выбору или оценке соответствия внешней изоляции электроустановок напряжением 110–500 кВ ОРУ и ВЛ в условиях природных и промышленных загрязнений атмосферы с учетом специфики горных районов / Исполнители: к.т.н. В.А. Мезгин, к.т.н. Ю.П. Симаков // Отчет по НИР НИИЭЭ при ГКПЭН КР. Бишкек, 2018. 51 с.
2. Симаков Ю.П. Нормативные требования по выбору или оценке соответствия внешней изоляции электроустановок напряжением 110–500 кВ ОРУ и ВЛ с учетом специфики горных районов / Ю.П. Симаков, В.А. Мезгин, Ш.Б. Дикамбаев // Вестник КРСУ. 2021. Т. 21. № 8.
3. Проведение исследований потерь электроэнергии в сетях напряжением 110–500 кВ Кыргызской энергосистемы с целью корректировки нормативных характеристик и разработки нормативных документов / Исполнители: Ш.Б. Дикамбаев, Ю.П. Симаков, О.А. Подрезов и др. // Отчет по НИР НИИ энергетики при Минэнерго КР. Бишкек, 2021. 120 с.
4. Подрезова Ю.А. Оценка высотных зависимостей плотности воздуха и длительности различных типов погод в Кыргызстане для расчета потери мощности на корону проводов горных ЛЭП / Ю.А. Подрезова, О.А. Подрезов, Ш.Б. Дикамбаев // Вестник КРСУ. 2022. Т. 22. № 12. С. 135–151.

5. *Дикамбаев Ш.Б.* Оценка потерь мощности от коронного разряда на проводах горных воздушных линий сверхвысокого напряжения по обобщенным характеристикам / Ш.Б. Дикамбаев, Ю.П. Симаков // *Вестник КРСУ.* 2023. Т. 23. № 8. С. 9–17.
6. Исследование влияния изменений природно-климатических условий Кыргызстана на режимы работы энергосистемы и разработка предложений и новых конструктивных решений, повышающих надежность и устойчивость энергообъектов / Исполнители: Ш.Б. Дикамбаев, Ю.П. Симаков, О.А. Подрезов и др. // *Отчет по НИР НИИ Энергетики при Минэнерго КР.* Бишкек, 2023. 104 с.
7. *Правила устройства электроустановок (ПУЭ).* Раздел 2. Канализация Электроэнергии. М.: Атомиздат, 1978. 96 с.
8. *Апостолатов Г.А.* Грозовая деятельность на территории Киргизской ССР / Г.А. Апостолатов // *Изв. АН Кирг. ССР. Серия естеств. и технич. наук.* Т. 11. Вып. 7. Фрунзе, 1960.
9. *Подрезова Ю.А.* Климатическая характеристика гроз на территории Кыргызстана / Ю.А. Подрезова, О.А. Подрезов. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2011. 136 с.
10. *Атлас Киргизской ССР. Том 1. Природные условия и ресурсы.* М.: ГУГК СССР, 1987. 157 с.
11. *Климат Киргизской ССР* / под ред. З.А. Рязанцевой. Фрунзе: Илим, 1965. 289 с.
12. *Подрезов О.А.* Горная климатология и высотная климатическая зональность Кыргызстана / О.А. Подрезов. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2014. 170 с.
13. *Закс Л.* Статистическое оценивание / Л. Закс; пер. с нем. В.Н. Варыгиной. М.: Статистика, 1976. 598 с.
14. *Опасные гидрометеорологические явления в Средней Азии.* Л.: Гидрометеиздат, 1977. 236 с.