Современные тенденции изменений радиационных параметров атмосферы и составляющих радиационного баланса в Москве

в.н.с. ***Горбаренко Е.В.***

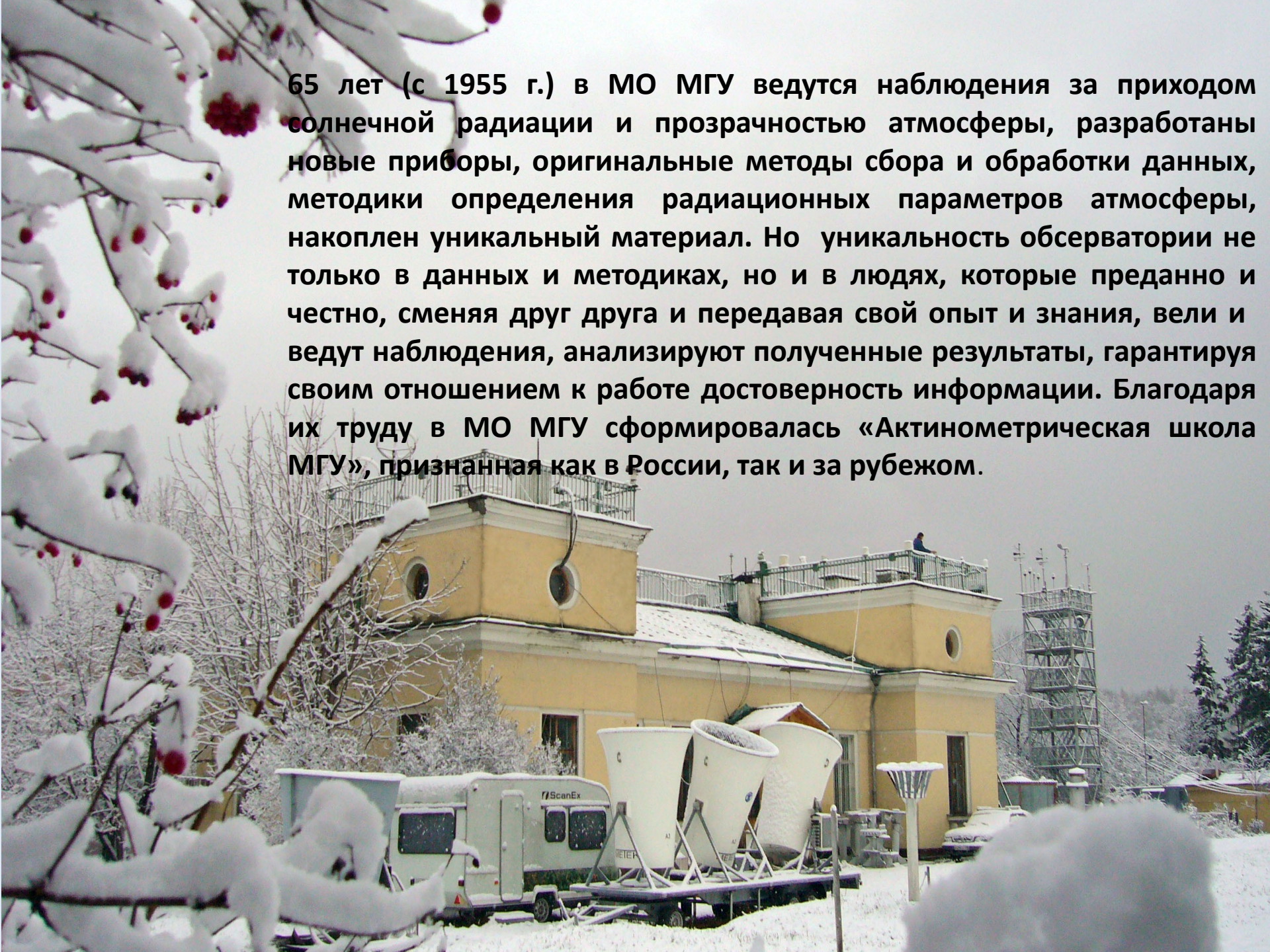
МГУ им. М.В.Ломоносова, Географический факультет, каф. метеорологии и климатологии

Метеорологическая обсерватория МГУ

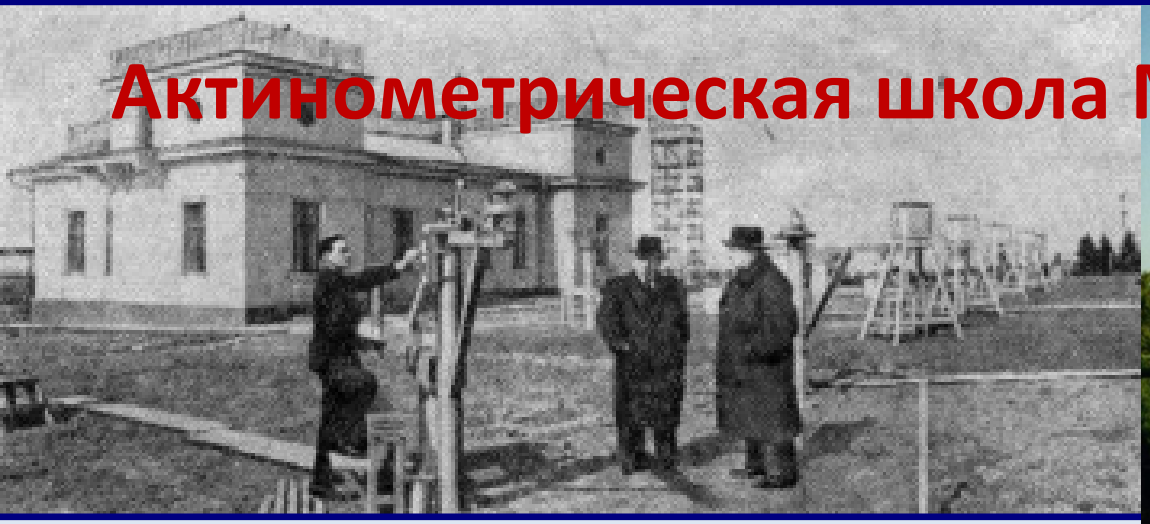
при кафедре метеорологии и климатологии Географического факультета МГУ с 1954 года входит в национальную и мировую сеть наземных актинометрических наблюдений, все измерения проводятся в соответствии с принятыми международными и отечественными нормами, установленными ВМО и Росгидрометом.

Данные передаются в Главную Геофизическую Обсерваторию им. А.И.Воейкова (ГГО) для включения в национальный режимно-справочный банк данных «Актинометрия»; в Мировой центр радиационных данных (МЦРД)

65 лет (с 1955 г.) в МО МГУ ведутся наблюдения за приходом солнечной радиации и прозрачностью атмосферы, разработаны новые приборы, оригинальные методы сбора и обработки данных, методики определения радиационных параметров атмосферы, накоплен уникальный материал. Но уникальность обсерватории не только в данных и методиках, но и в людях, которые преданно и честно, сменяя друг друга и передавая свой опыт и знания, вели и ведут наблюдения, анализируют полученные результаты, гарантируя своим отношением к работе достоверность информации. Благодаря их труду в МО МГУ сформировалась «Актинометрическая школа МГУ», признанная как в России, так и за рубежом.



Актинометрическая школа МГУ



Научные сотрудники

М.С. Аверкиев, А.А. Лучшев, В.А. Белинский, М.П. Гараджа , Е.И. Незваль, Н.П. Никольская, Т.В. Евневич, Г.М. Абакумова, О.А. Шиловцева, Н.Е. Чубарова, Е.В. Горбаренко, Е.Ю. Жданова

А.А.Исаев о наблюдателях-актинометристах:

Актинометрист-наблюдатель «Радик»)

Хоть длинны актинограмки
В каждом спектре свой урод.
Все у Радиков в порядке
Уж такой они народ!

Мастера по приборам

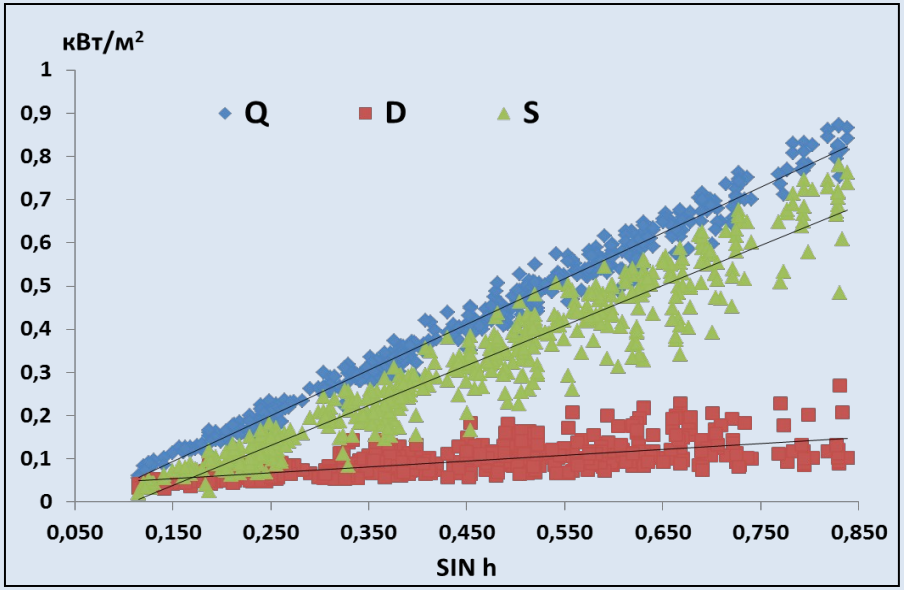
Высоцкий А.В., Котельников В.Г., Розенталь В.А., Голубицкий Д.Т.

Руководители группы наблюдений

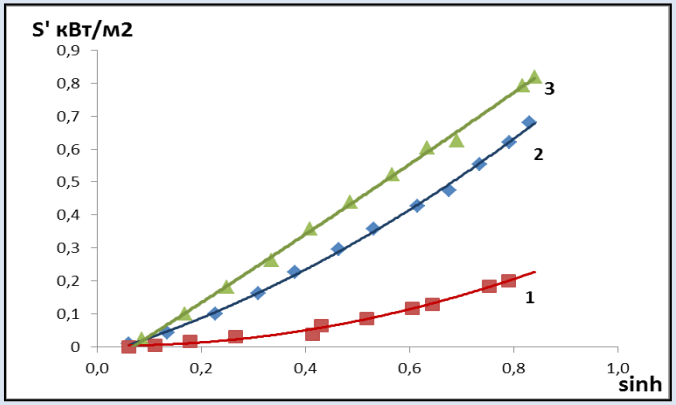
Шумаковский Е.К., Товстолес В.М., Летова Л.И., Бунина Н.А.

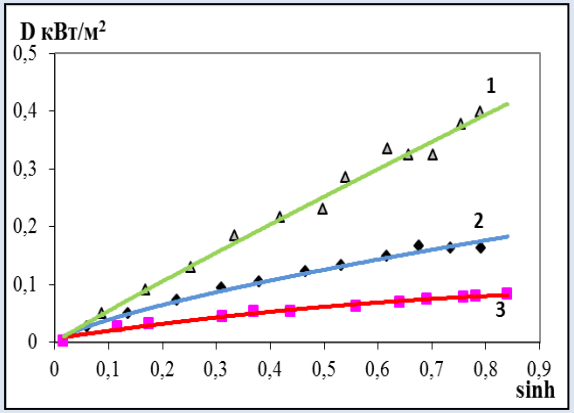
В представленном докладе на основе сравнения норм и средних за разные периоды осреднения, интерпретации формы и значимости трендов проведена оценка тенденций многолетней изменчивости радиационных параметров, потоков солнечного и земного излучений и основных факторов, определяющих их изменчивость.

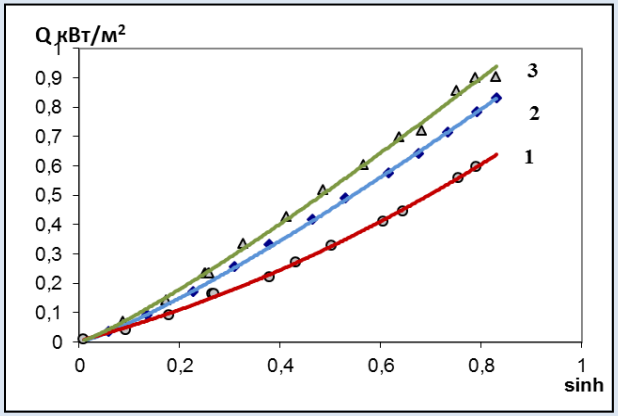
Безоблачная атмосфера



Периодические изменения коротковолновых составляющих В определяются высотой Солнца, длиной светового дня и связаны точной функциональной зависимостью с широтой места, склонением Солнца и временем суток. В безоблачной атмосфере важным фактором является **прозрачность атмосферы для солнечных лучей и ее основная аэрозольная составляющая – аэрозольная оптическая толщина (AOT550.)**



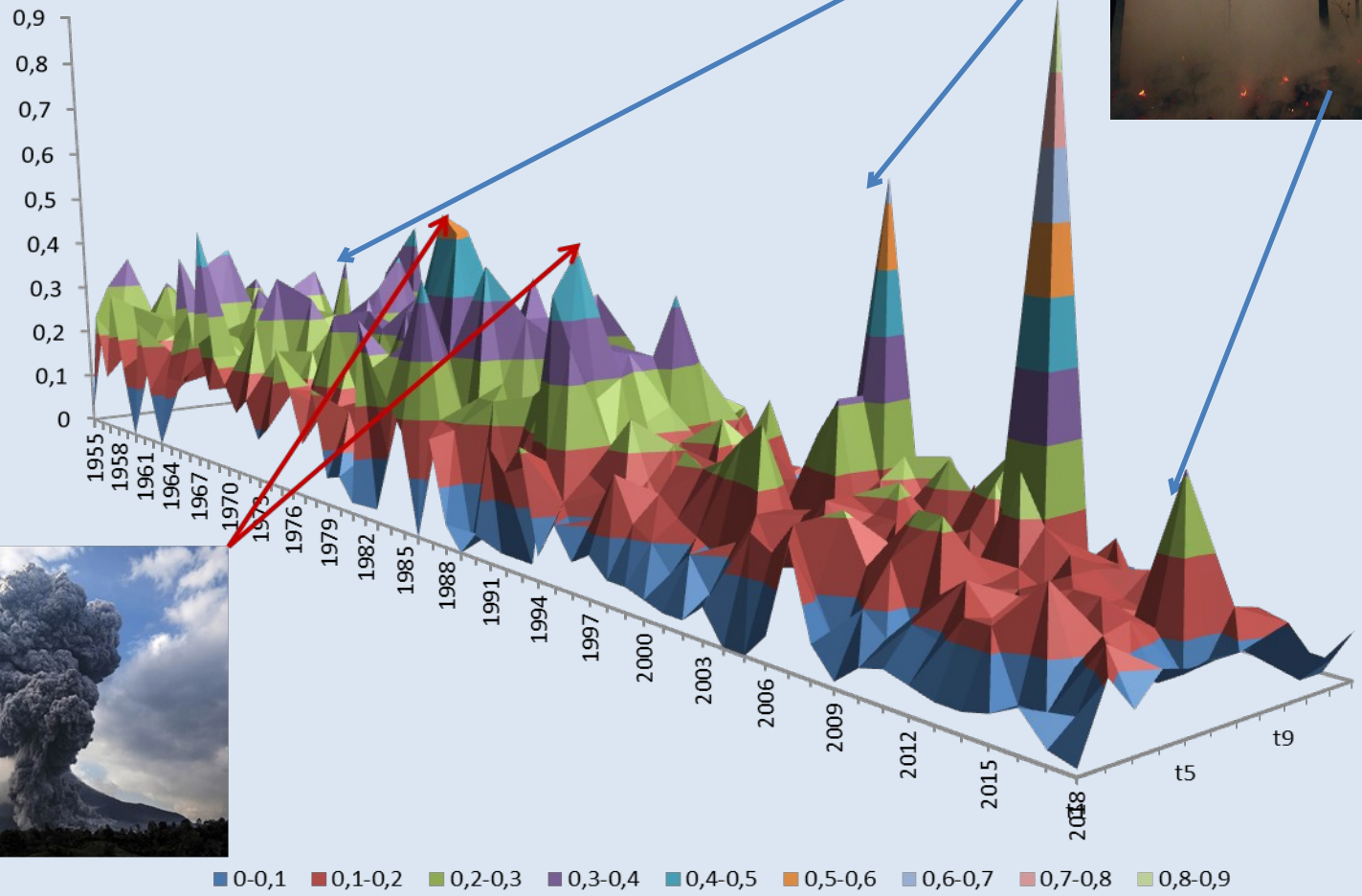




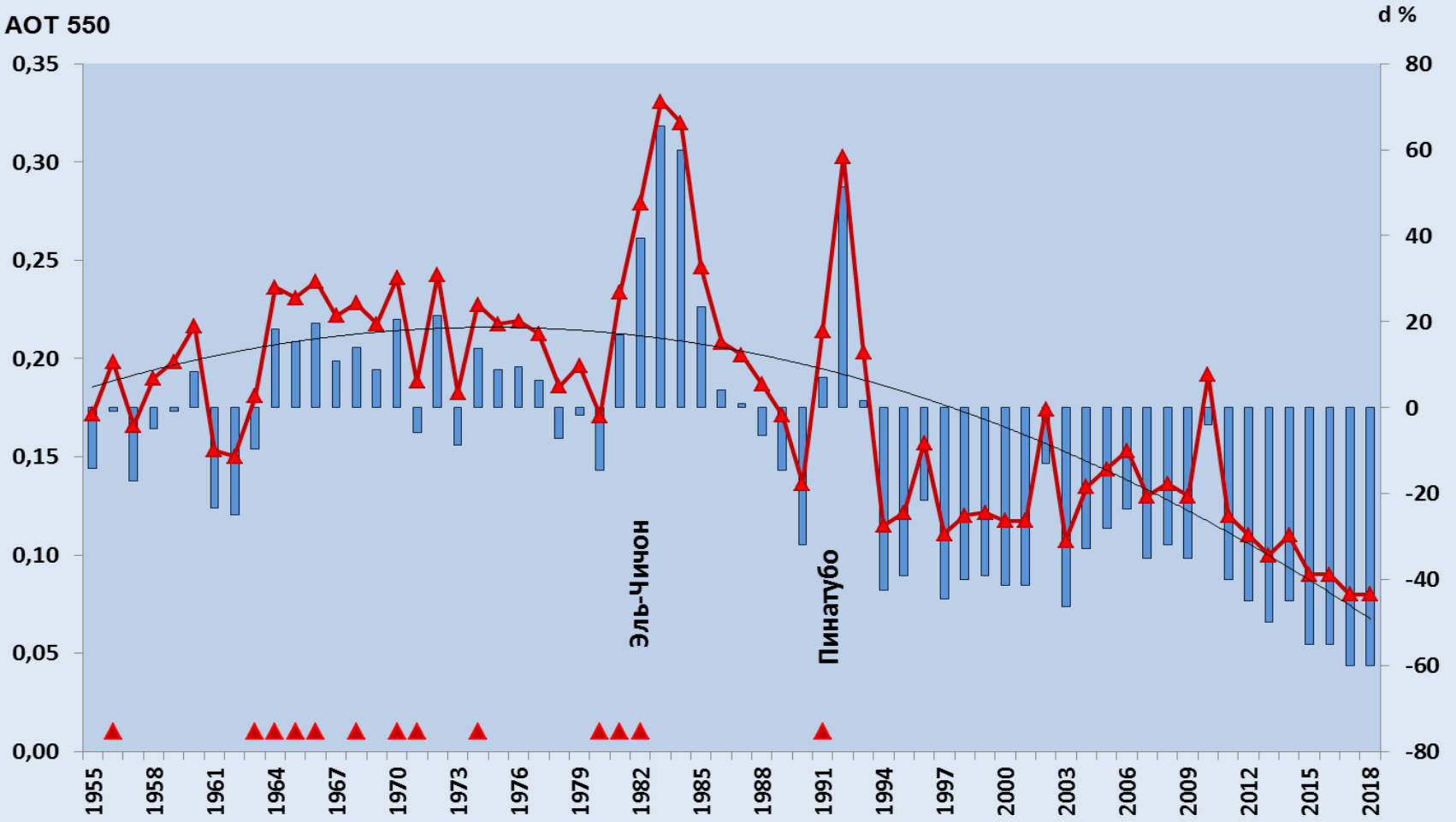
Зависимости прямой солнечной и суммарной радиации от синуса высоты Солнца при различных условиях прозрачности безоблачной атмосферы:
1— низкая прозрачность, 2 — средняя прозрачность, 3 — высокая прозрачность.

Многолетние изменения средних месячных значений AOT550

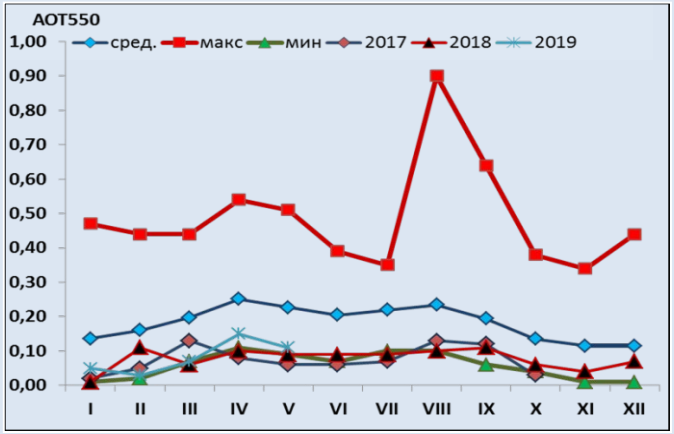
Изменчивость AOT 550 : для суточных значений от 0,01 до 3,29; средних месячных от 0,01 до 1,43; средних годовых от 0,10 до 0,35.



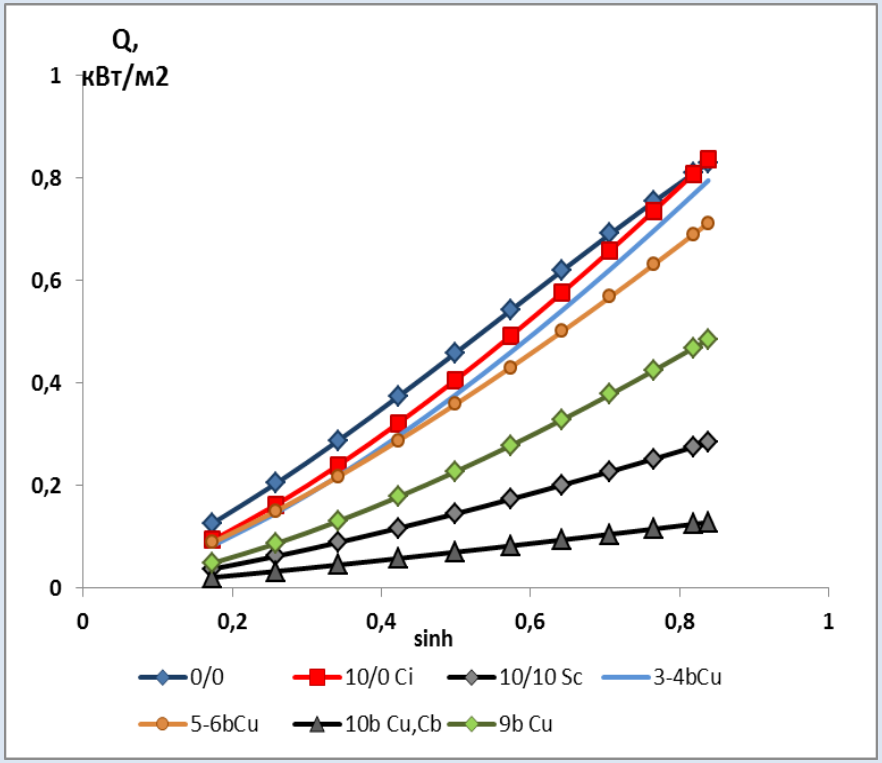
В условиях дымной мглы по сравнению с «чистыми условиями» прямая солнечная радиации уменьшалась от 35 до 95%, более чем на 50% увеличивалась рассеянная радиация, в результате суммарная радиация уменьшалась на 10-30%.

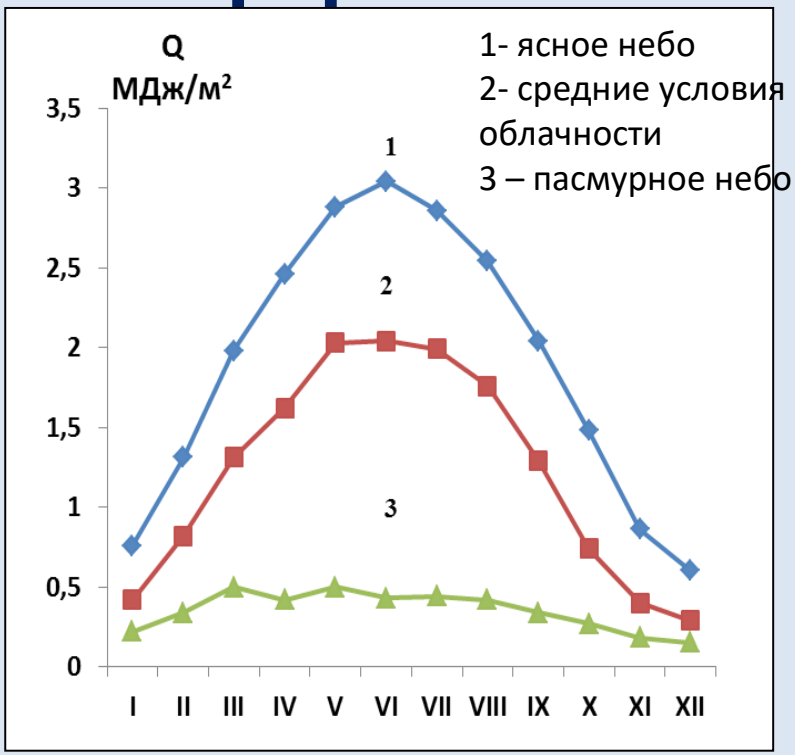


XXI век характеризуется существенным повышением прозрачности атмосферы и изменением режима AOT550 в Москве. Все минимальные месячные и годовые значения приходятся на XXI век. Среднегодовые значения в 2017 и 2018 годах (0.08) стали абсолютными минимума за весь период наблюдений



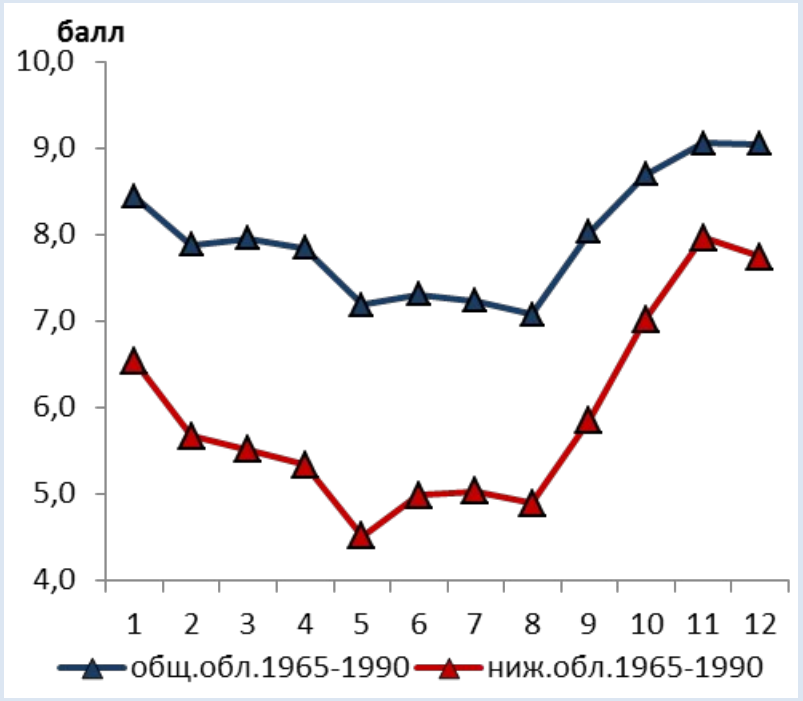
Облачная атмосфера

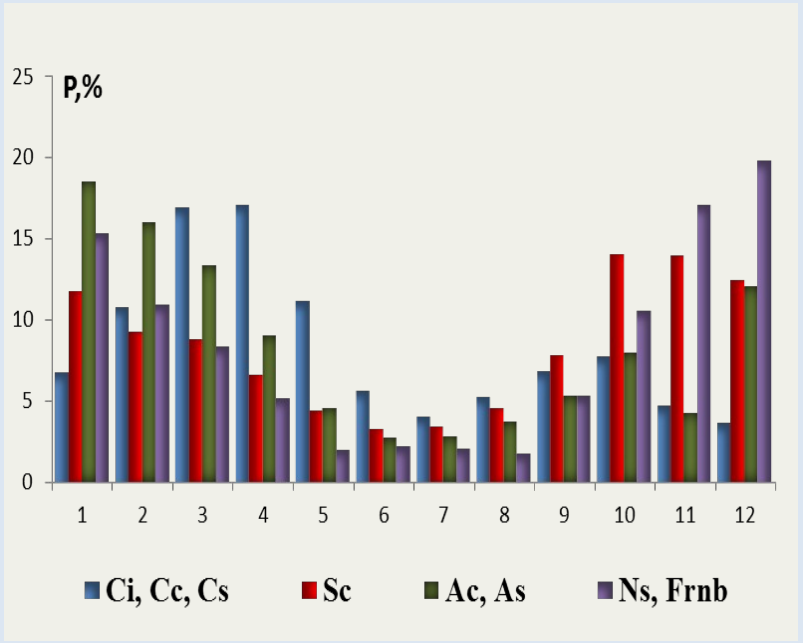




Главным естественным фактором, регулирующим радиационный режим атмосферы, является **облачность** При облачности и диске солнца не закрытом облаками Q может превышать соответствующие значения при ясном небе на 2-10%, при 10-бальной слоисто-кучевой облачности ослабление радиации может достигать 35—47 %, при дождевых облаках оно составляет 50—60 %, а при мощных дождевых облаках может достигать 98 %

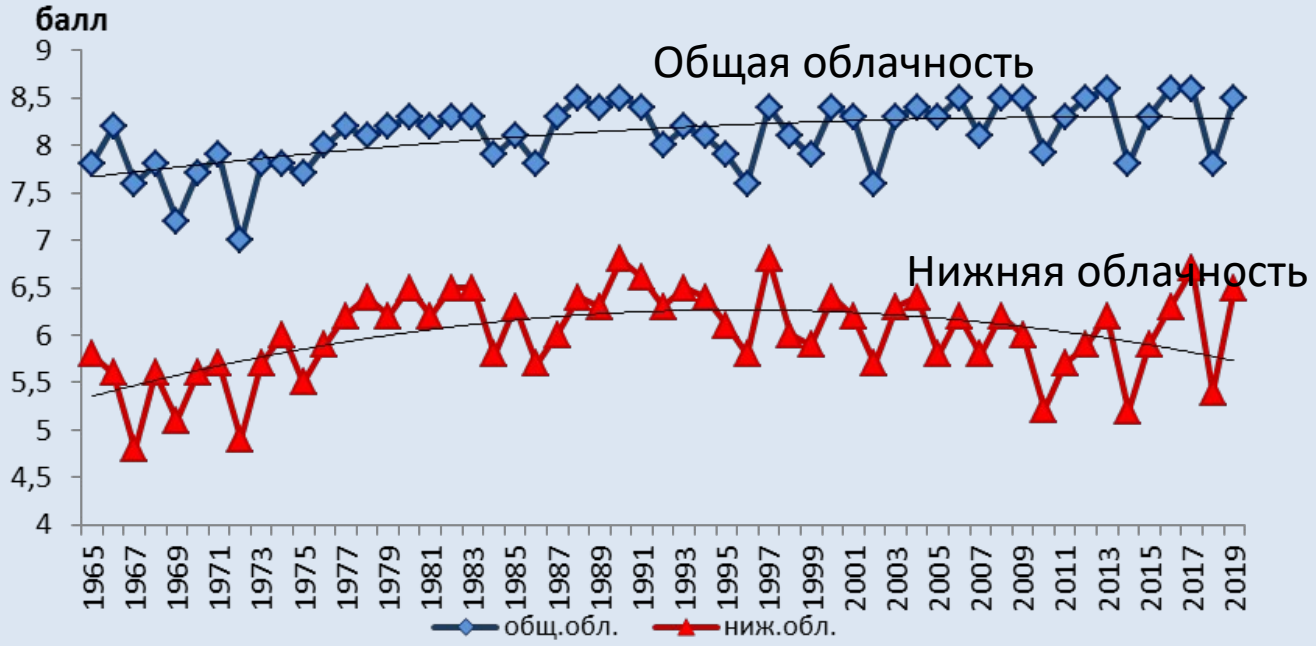
В МО МГУ наряду с наблюдениями в метеорологические сроки с 1954 года, с 1965 году начались ежечасные наблюдения параметров облачности в светлое время суток.



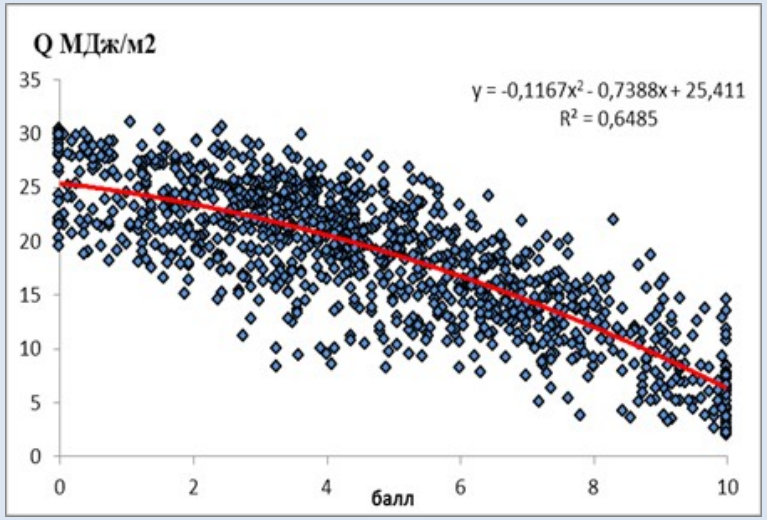


REDMI NOTE 8 PRO
AI QUAD CAMERA

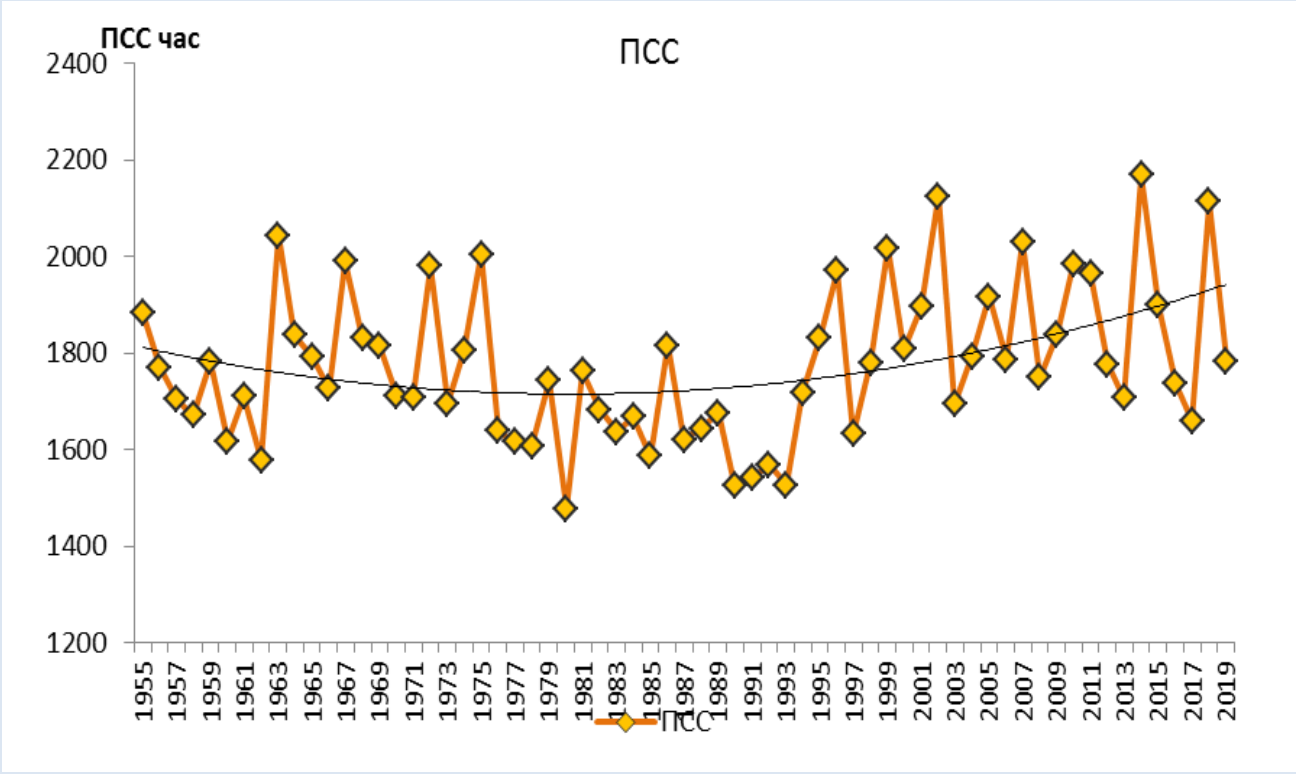
Многолетние изменения балла облаков



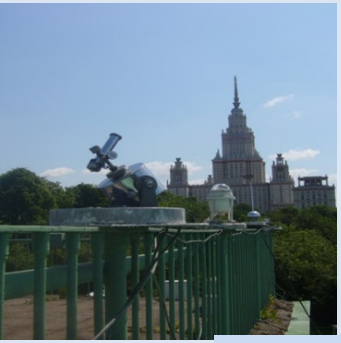
ЗАВИСИМОСТЬ СУММАРНОЙ РАДИАЦИИ ОТ БАЛЛА ОБЛАЧНОСТИ



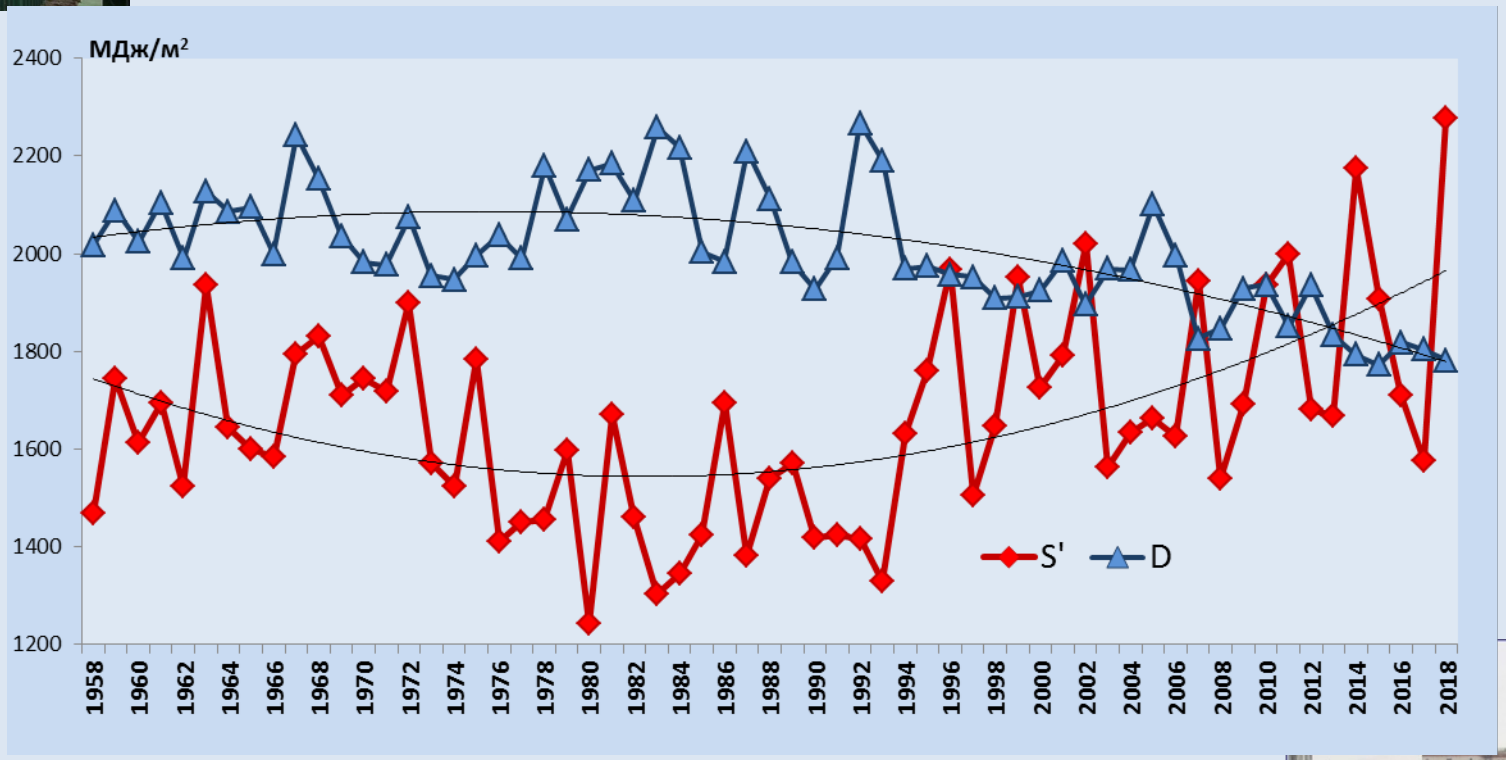
Многолетние изменения продолжительности солнечного сияния



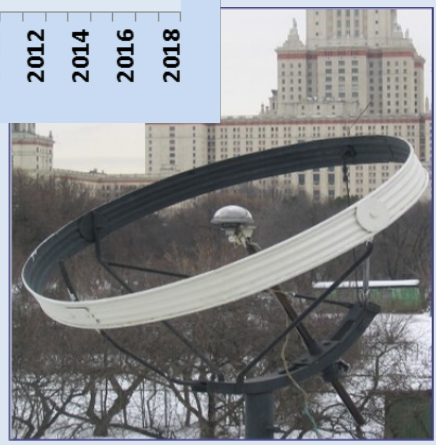
ПСС определяется астрономическими факторами и режимом облачности. Рост продолжительности солнечного сияния вызван значительным (более чем в 2 раза) уменьшением повторяемости сплошной облачности. Эта тенденция в годовых значениях проявилась в основном за счет статистически значимого роста ПСС в весенние и летние месяцы года. Тенденция к уменьшению ПСС наблюдается в январе, феврале и сентябре



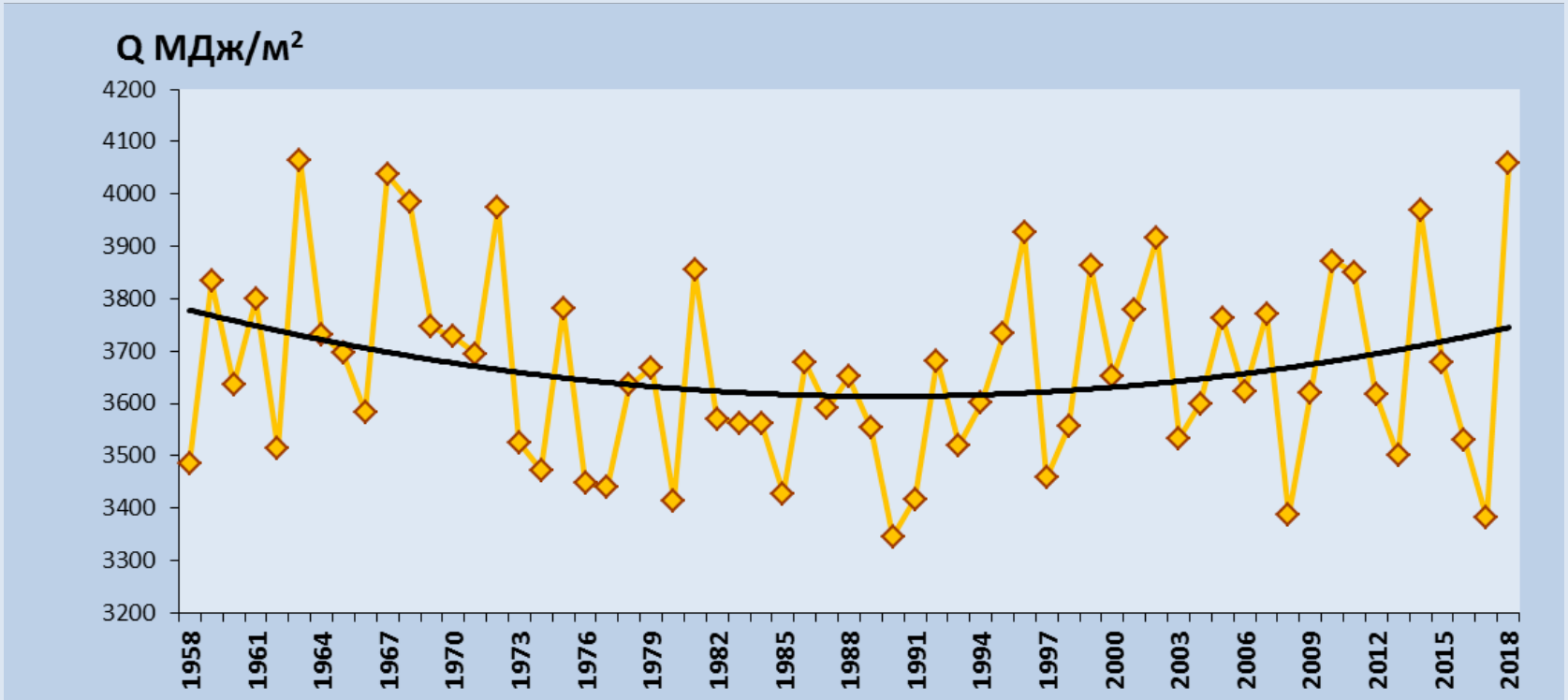
Изменение годовых сумм прямой S, рассеянной D



В последнее десятилетие наблюдается рост доли прямой радиации в суммарном потоке: в 1999, 2002, 2007, 2011, 2014, 2015 и 2018 гг. это соотношение превысило 50% .

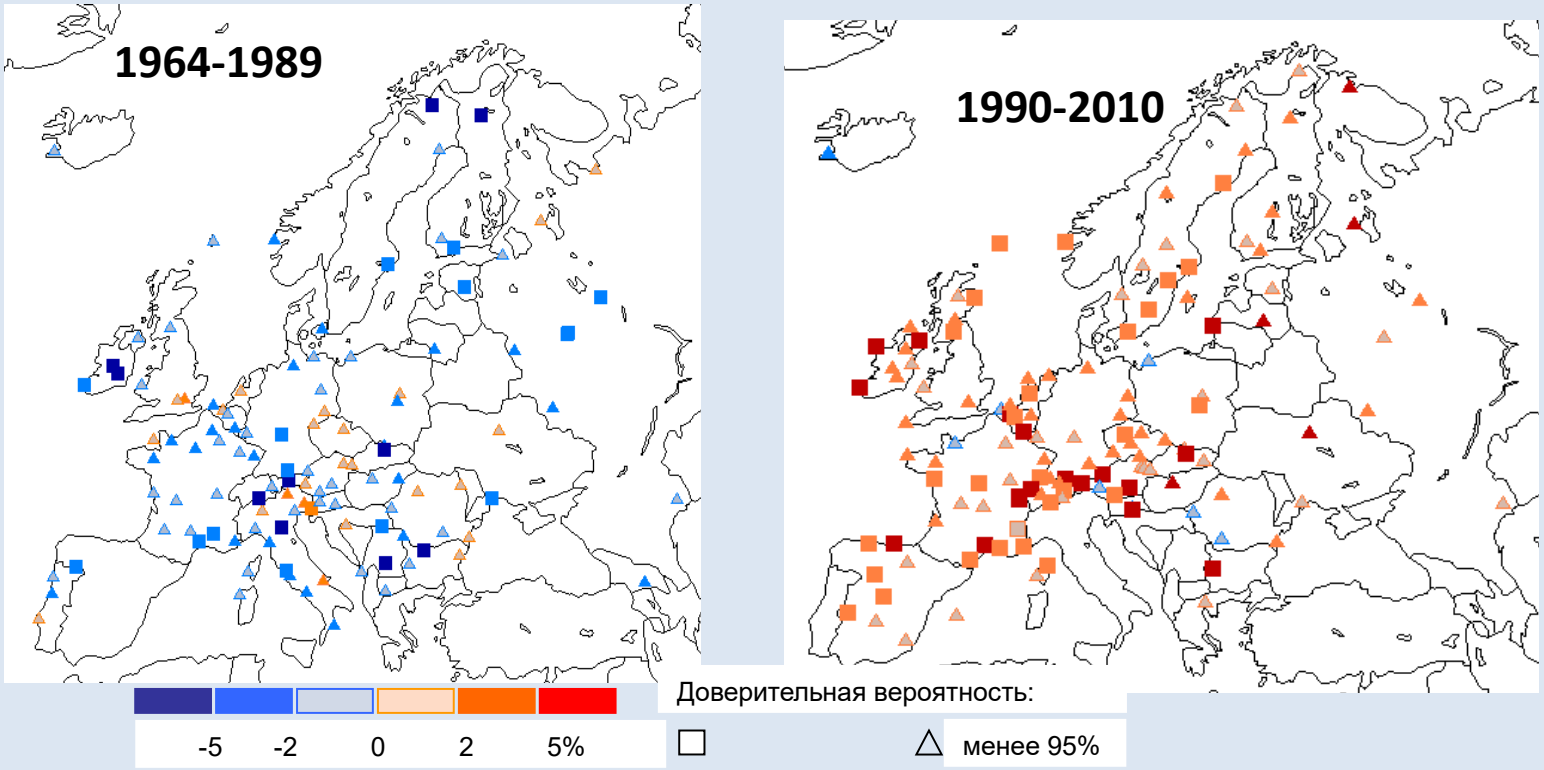


Изменение годовых сумм суммарной Q радиации



В многолетней изменчивости суммарной солнечной радиации выделяются два периода: уменьшение в начале наблюдений в МО МГУ и смена тенденции на противоположную в конце 1980-х годов . Для современного периода характерно (пока еще не значимое) увеличение суммарной интегральной радиации в Москве.

Относительные тренды средних за год значений суммарной радиации



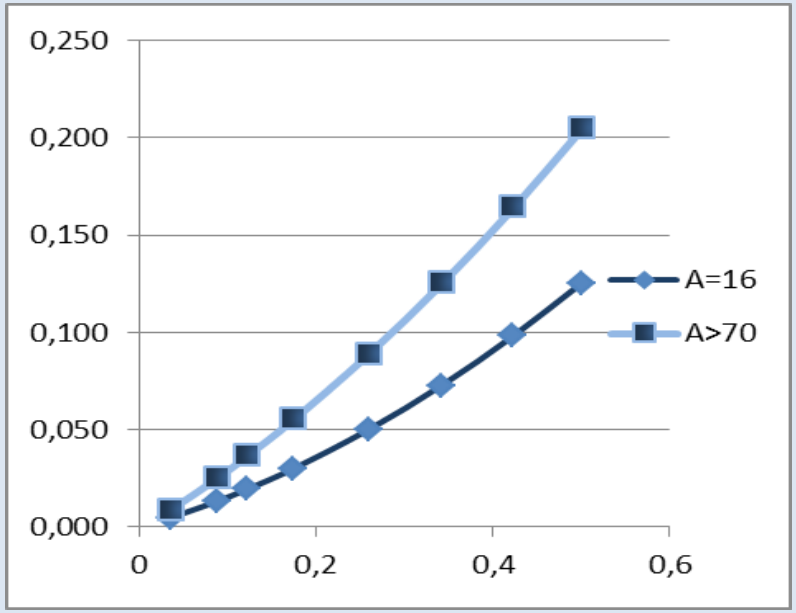
Long-term changes of solar radiation in Europe

Samukova E.A., Gorbarenko E.V., Erokhina A.E.

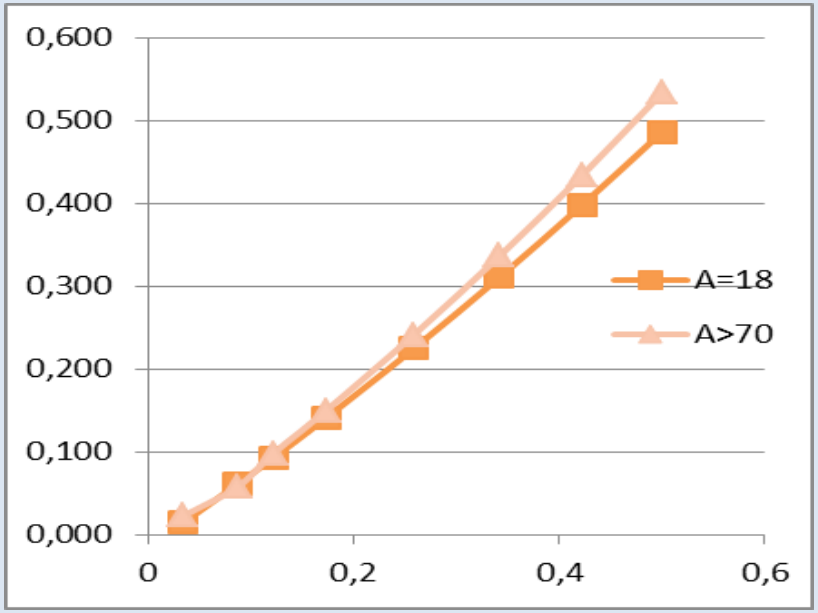
Влияние альбедо

Зависимость суммарной интегральной радиации (кВт/м²) от высоты солнца при разном альбедо подстилающей поверхности

сплошной покров слоисто-кучевых облаков

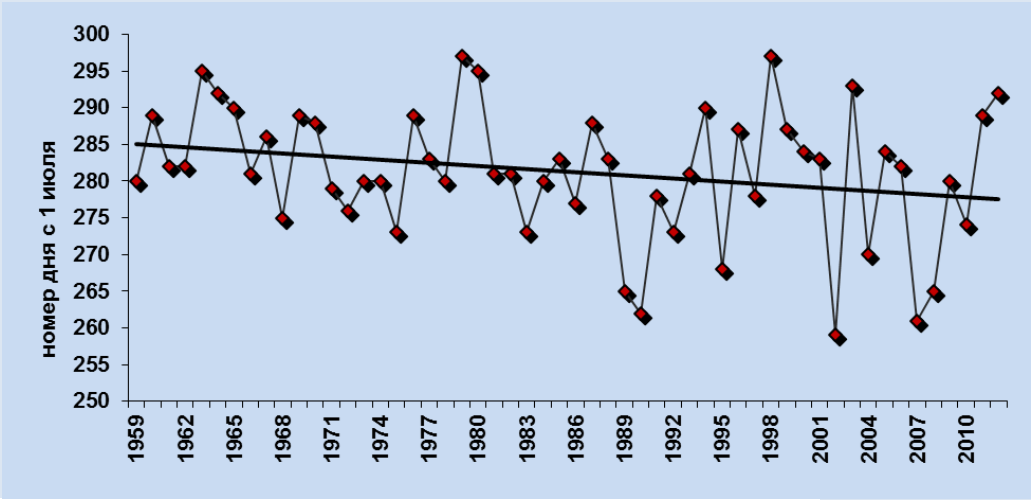


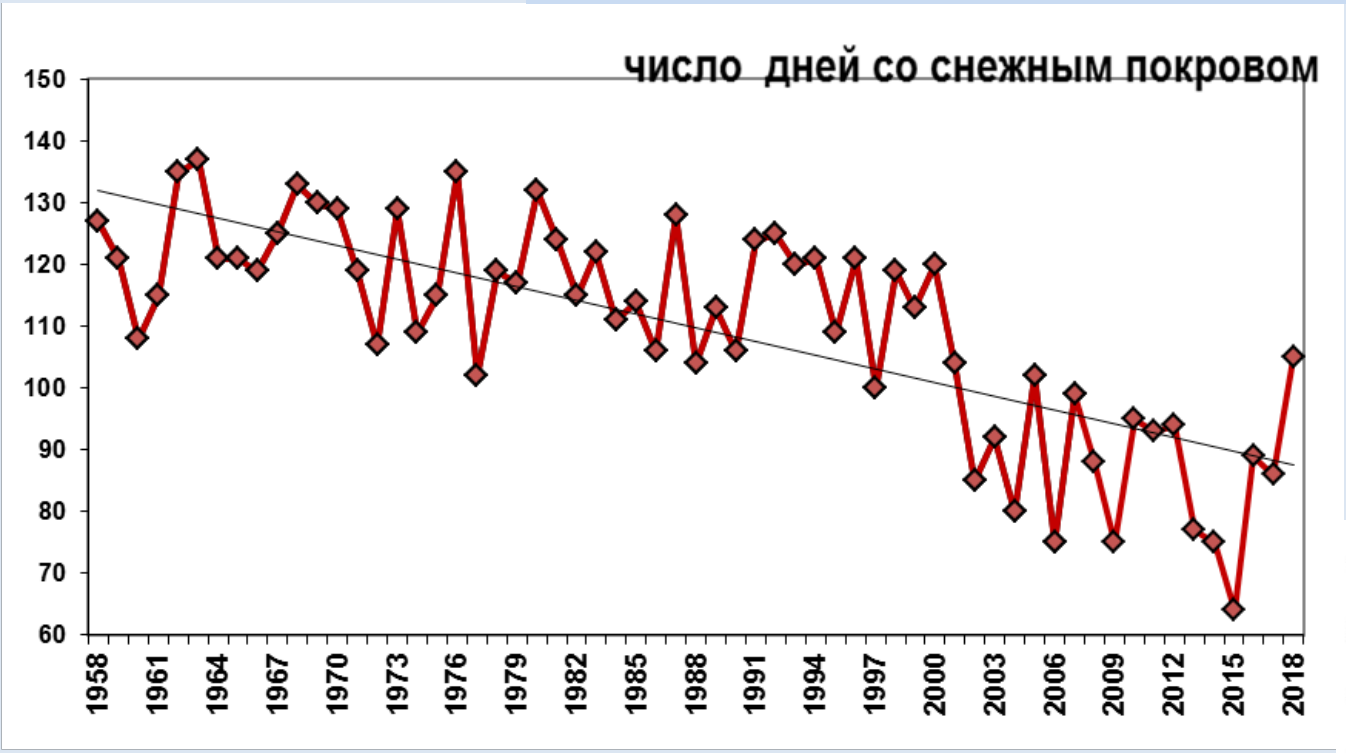
ясное небо

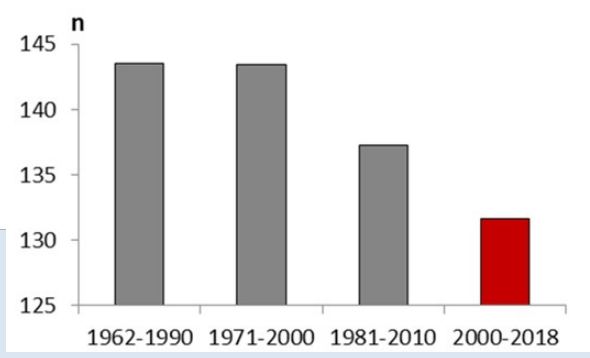


При ясном небе влияние альбедо невелико, при сплошной облачности за счет многократного переотражения от подстилающей поверхности и облаков влияние альбедо значительно, увеличение Q может составить до 80% от величины Q без снега

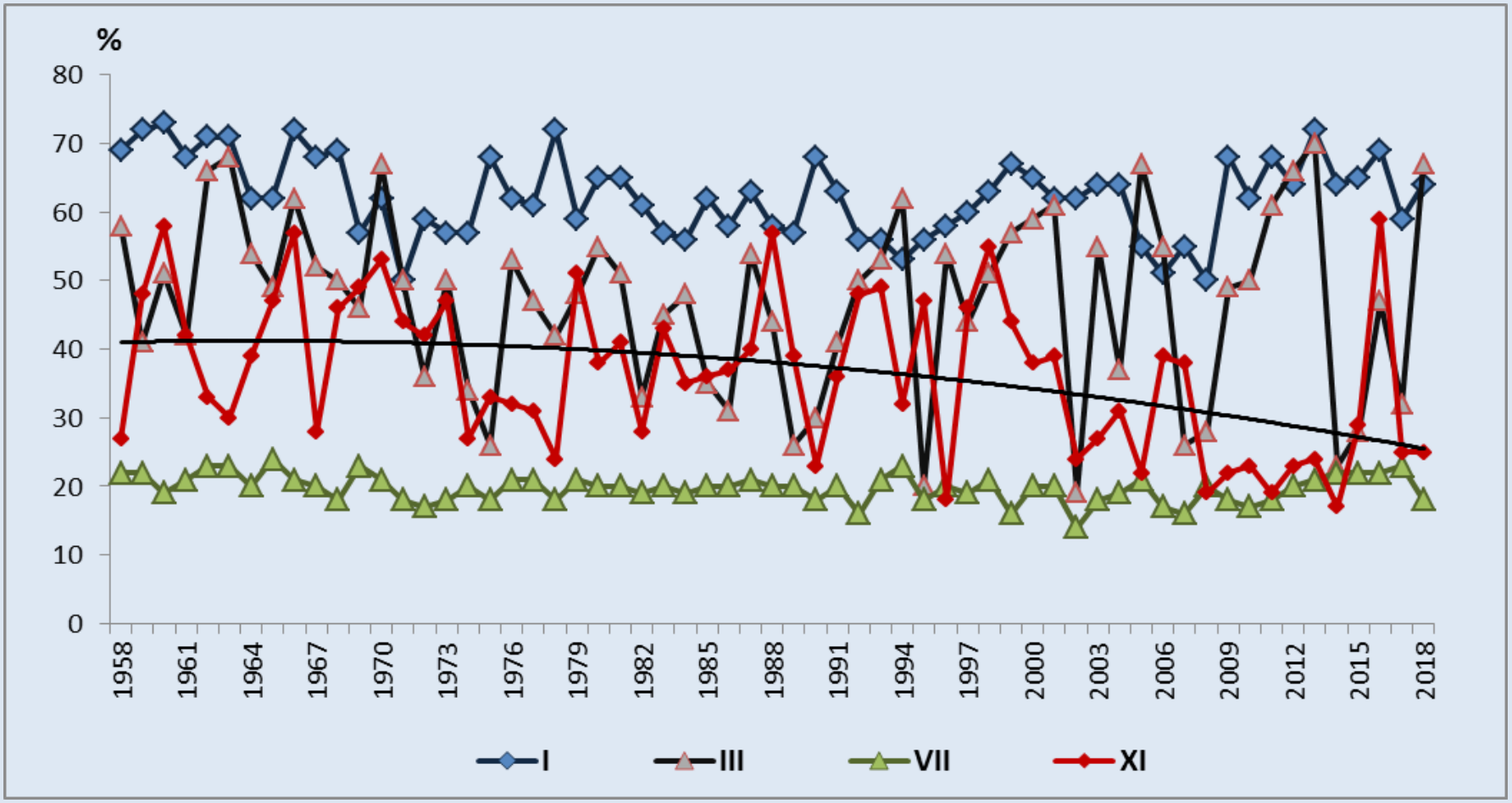
Дата схода снежного покрова



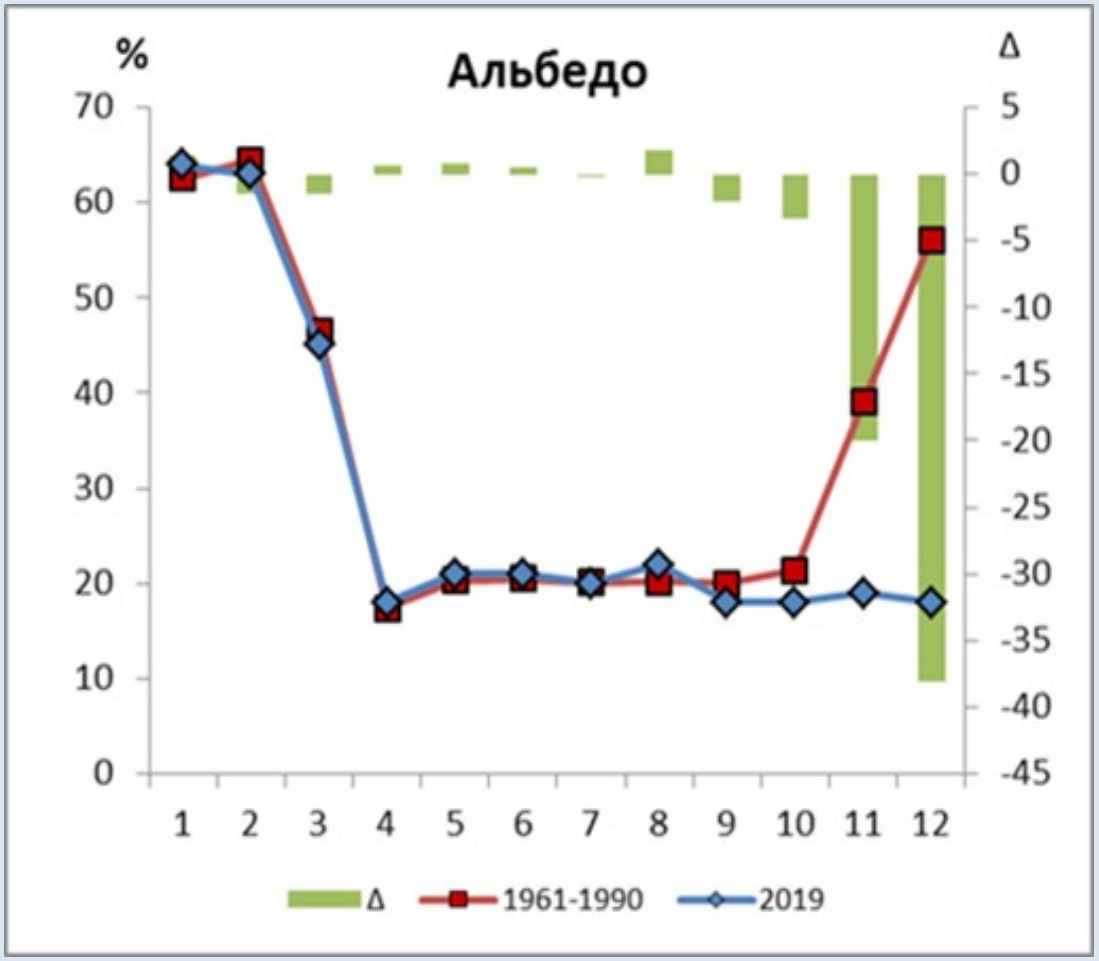




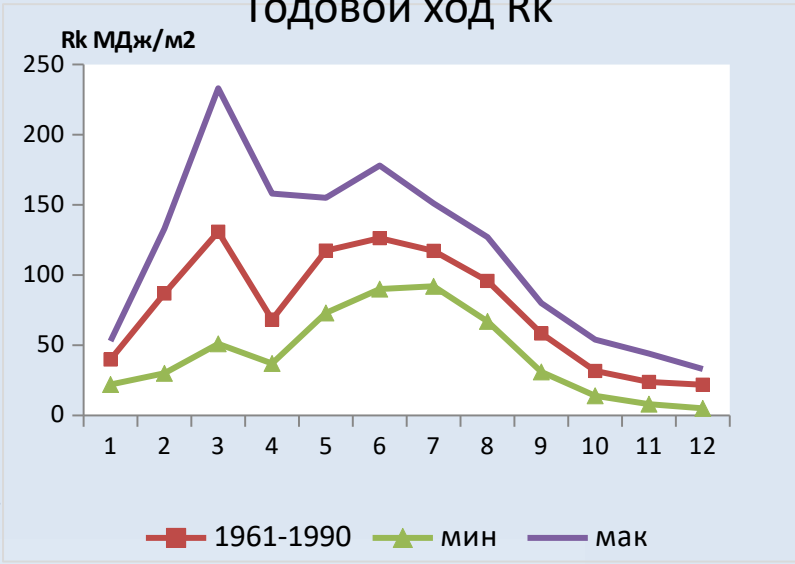
Многолетние изменения альбедо подстилающей поверхности в центральные месяцы года



Годовой ход альбедо подстилающей поверхности



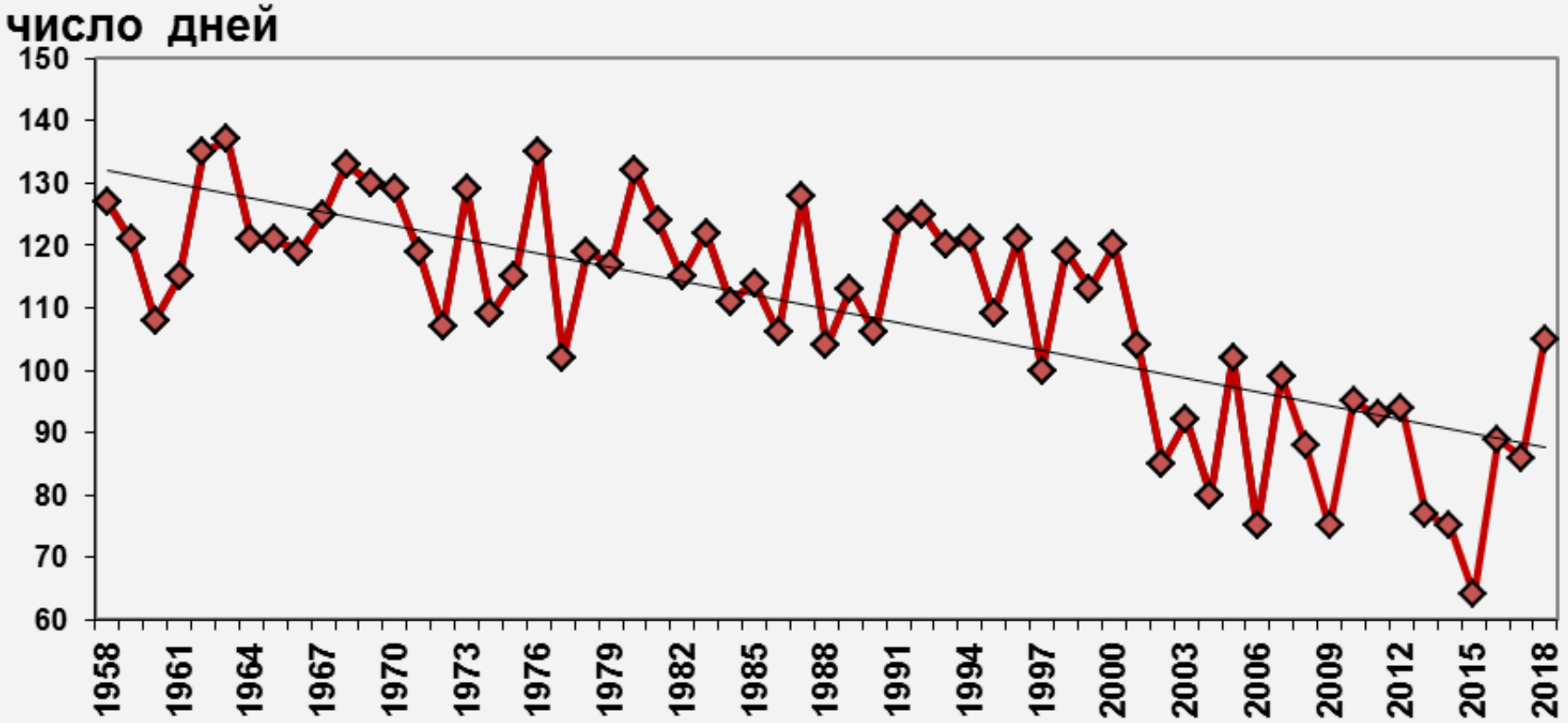
Интересной особенностью радиационного режима 2019 года стало состояние снежного покрова, вернее, его отсутствие в декабре. Декабрьское значение альбедо 18%, характеризует отражательные свойства зеленой травы, месячная сумма отраженной радиации и альбедо подстилающей поверхности стали минимальными значениями за весь период наблюдений



Изменение годовых сумм

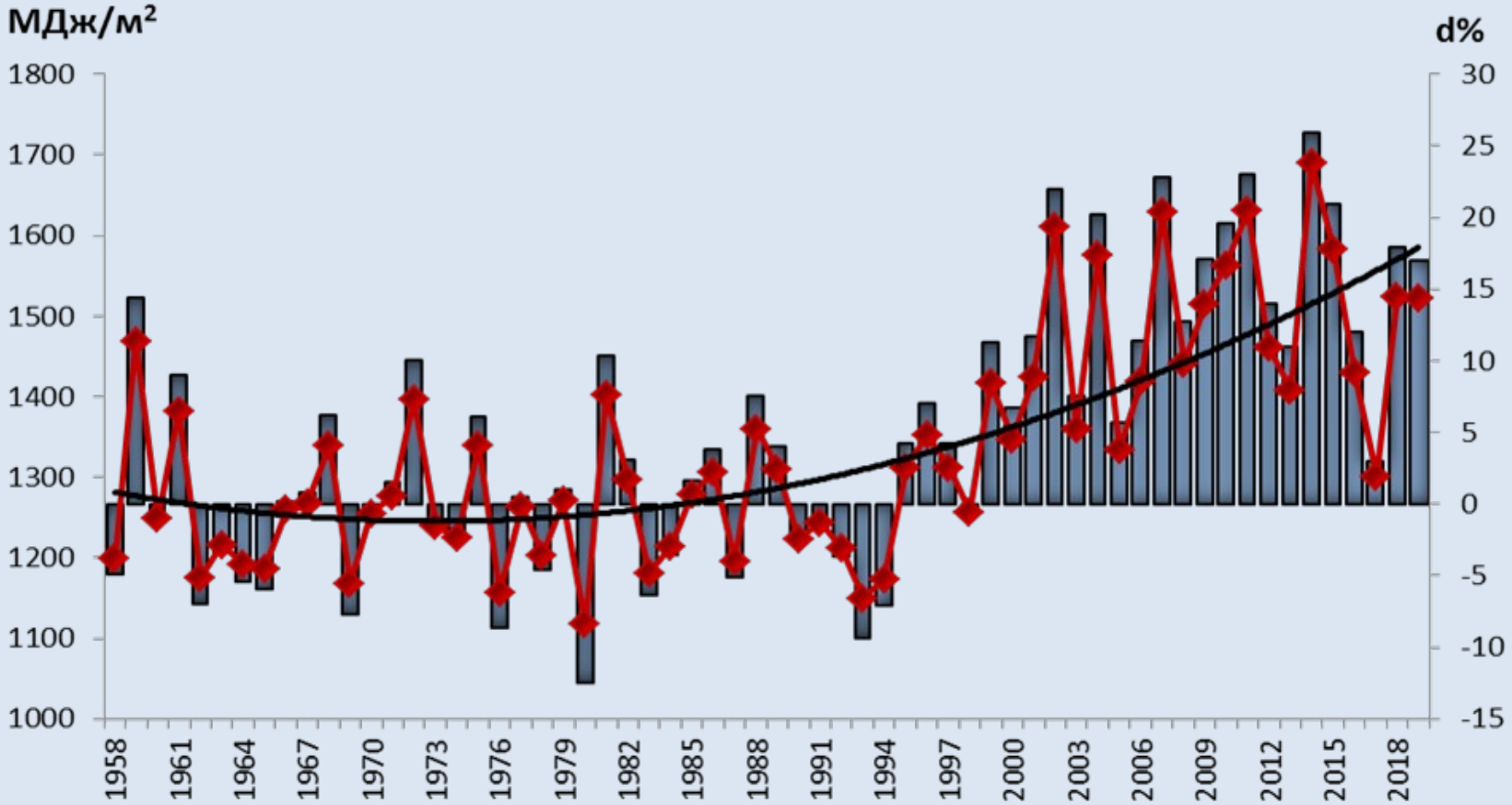
Существенные для Rk изменения отражающих свойств подстилающей поверхности происходят в зимние и переходные месяцы – в период установления и схода снежного покрова.

Многолетние изменения числа дней с отрицательными значениями суточных сумм радиационного баланса

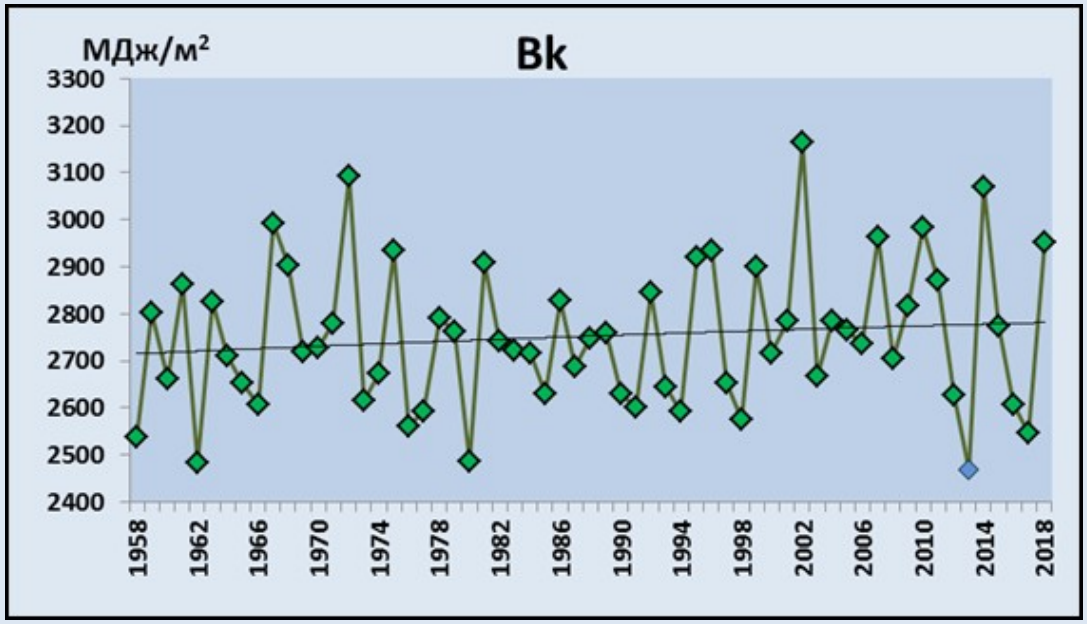


Изменение годовых сумм радиационного баланса земной поверхности, отклонений их от нормы

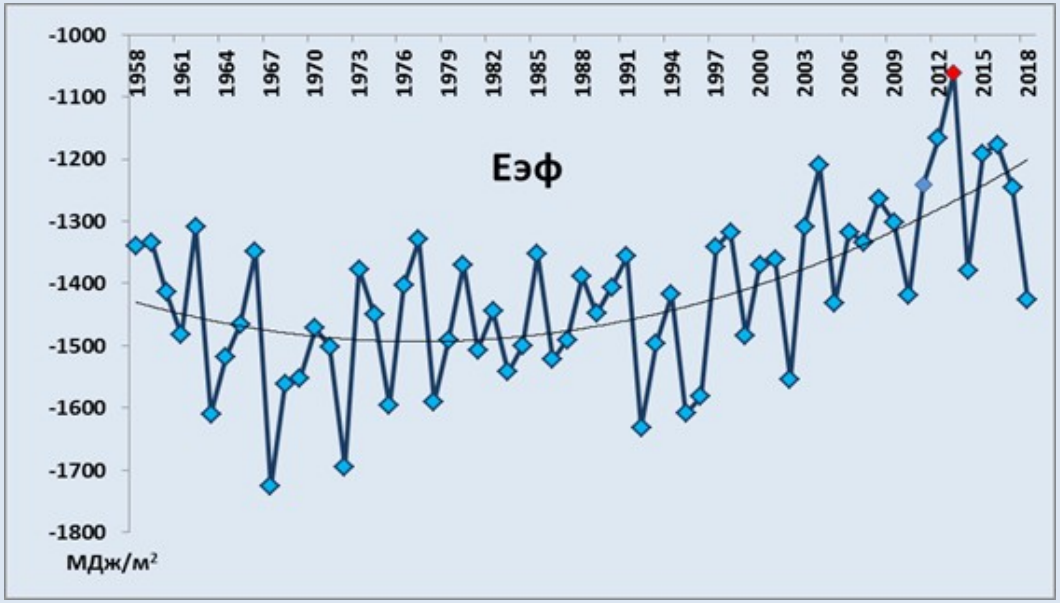
Самый значительный рост за весь период наблюдений отмечен для средних годовых значений радиационного баланса. Ежегодное существенное увеличение В началось с середины 1990-х годов, в последнее десятилетие скорость роста его годовых значений увеличилась в 2 раза



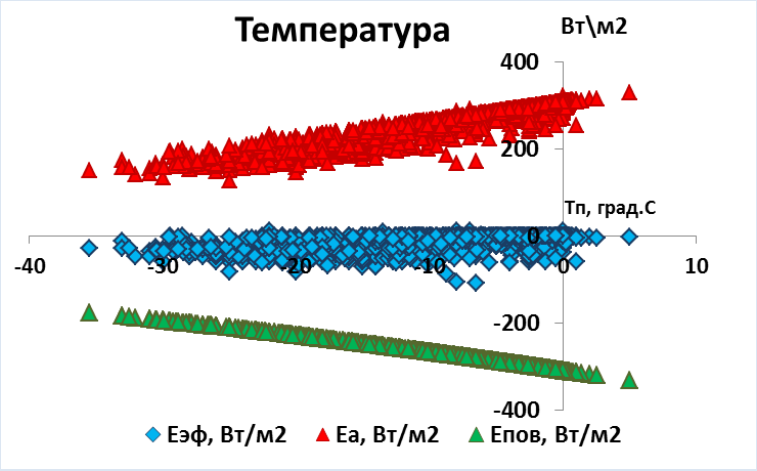
Межгодовая изменчивость поглощенной радиации и эффективного излучения

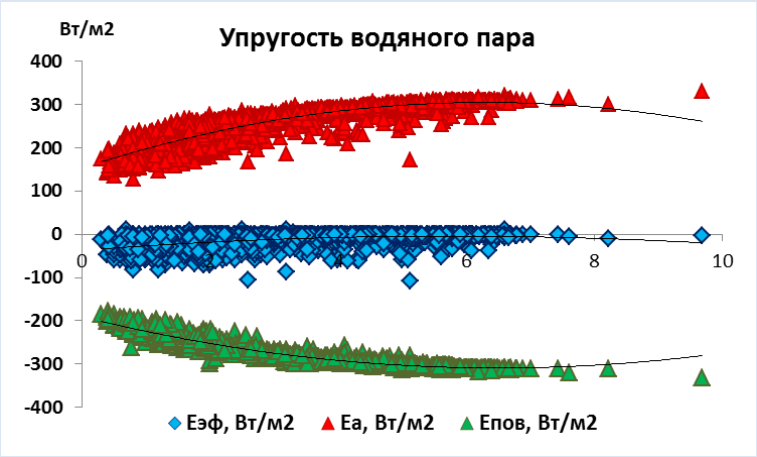


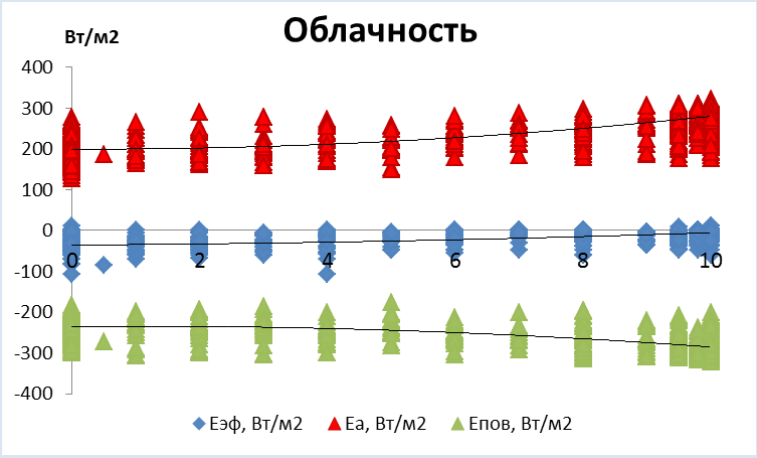
Годовой ход коэффициента корреляции между месячными суммами радиационного баланса, поглощенной радиации 1 и эффективного излучения 2



Тенденция увеличения B имеет годовой и суточный ход. Наибольший рост B наблюдается в ночные часы зимних месяцев







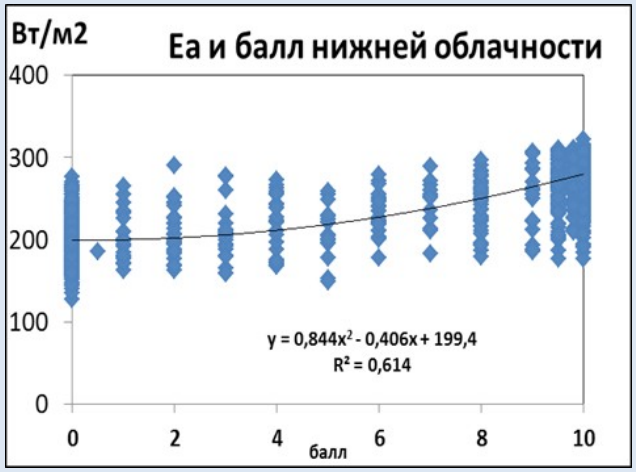
Зависимость длинноволновых потоков от различных метеорологических величин

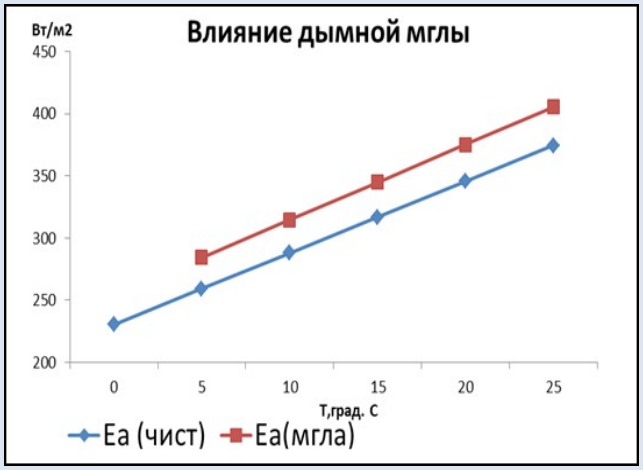
Составляющие эффективного излучения (собственное излучение ($Еп=\delta\sigma T_п^4$) и противоизлучение атмосферы ($Еа=Еэф-Еп$)) зависят от температуры почвы и воздуха, облачности, влажности воздуха, от аэрозольной оптической толщины атмосферы. Потоки имеют противоположные направления, поэтому значительные изменения метеорологических величин не вызывают соответствующих изменений в величине эффективного излучения.

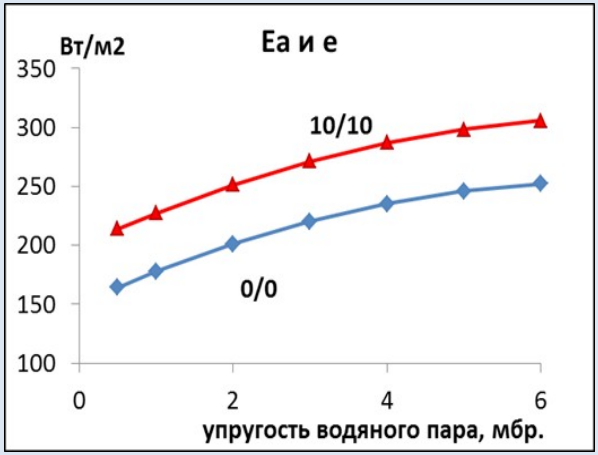
Коэффициенты корреляции между эффективным излучением и метеорологическими параметрами

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Балл общей облачности												
r(Еэф, n)	0,91	0,85	0,70	0,62	0,71	0,68	0,78	0,69	0,75	0,81	0,78	0,79
Альбедо подстилающей поверхности												
r(Еэф, A)	0,12	0,02	0,07	-0,01	0,04	0,01	0,42	0,46	0,02	0,18	0,02	0,07
Влагосодержание атмосферы												
r(Еэф, w)	0,69	0,68	0,54	0,51	0,06	0,04	0,24	0,23	-0,19	0,14	0,48	0,63
Температура воздуха												
r(Еэф,tв)	0,64	0,63	0,33	0,27	-0,44	-0,51	-0,47	-0,46	-0,58	-0,20	0,38	0,60
Температура поверхности почвы												
r(Еэф, tп)	0,62	0,66	0,36	0,16	-0,61	-0,66	-0,62	-0,55	-0,68	-0,08	0,39	0,59

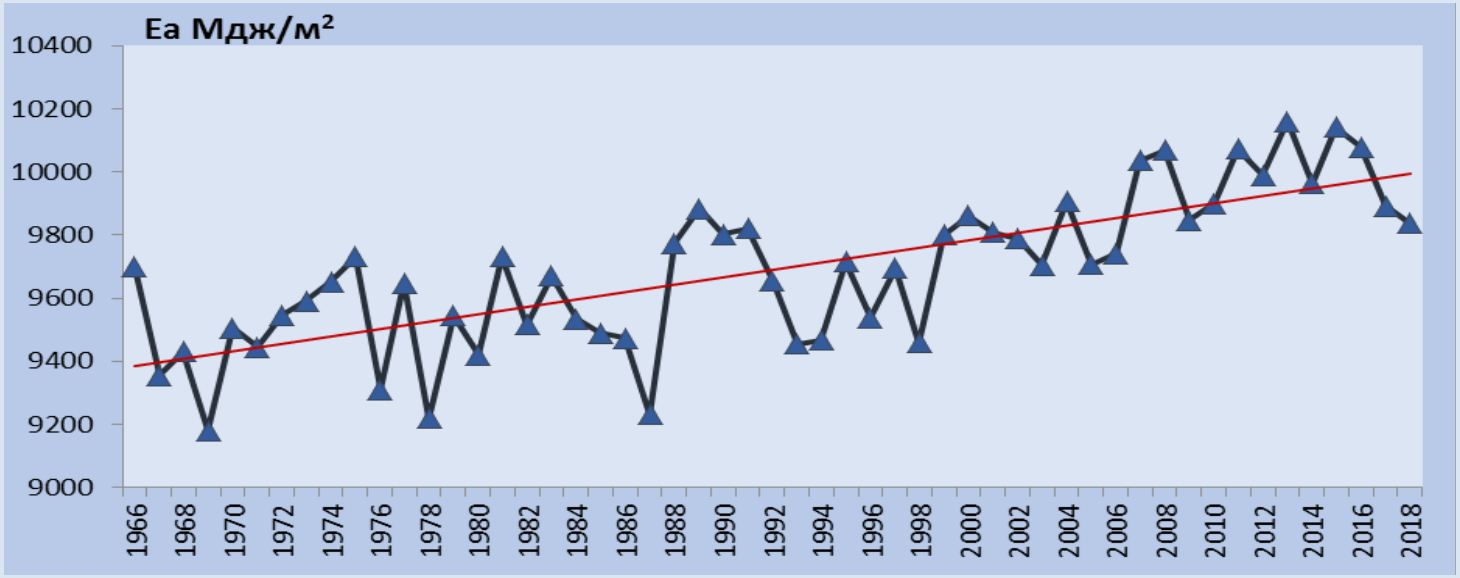
Зависимость противоизлучения атмосферы от различных факторов







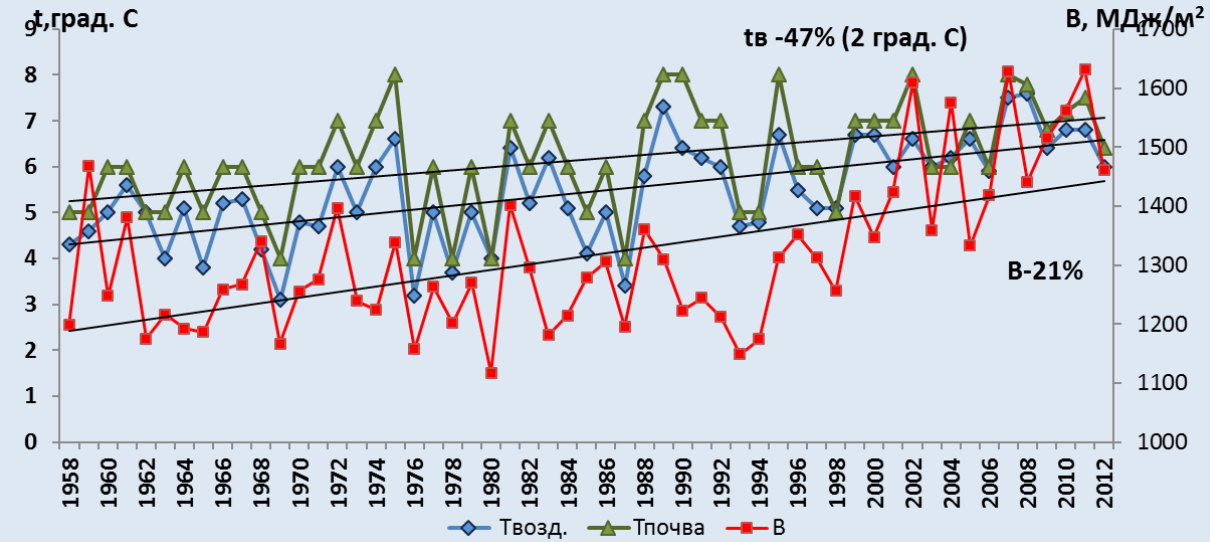
Изменение годовых сумм противоизлучения атмосферы

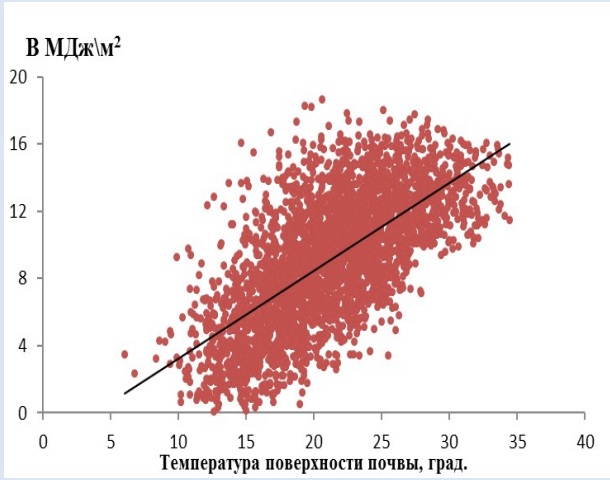


Влияние радиационных параметров в формировании теплового режима

Зависимость между радиационным балансом и температурой поверхности почвы

Межгодовая изменчивость годовых сумм радиационного баланса и средних годовых температур почвы и воздуха



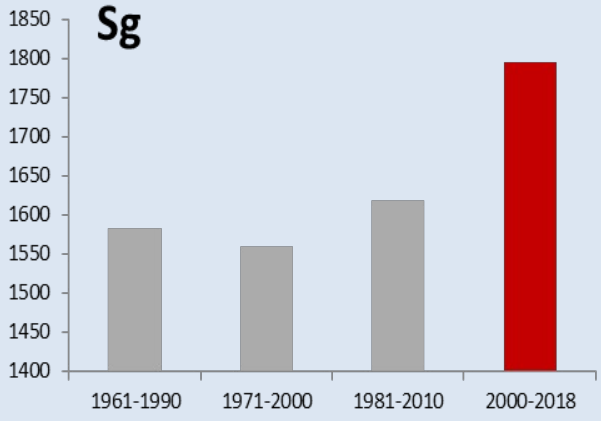


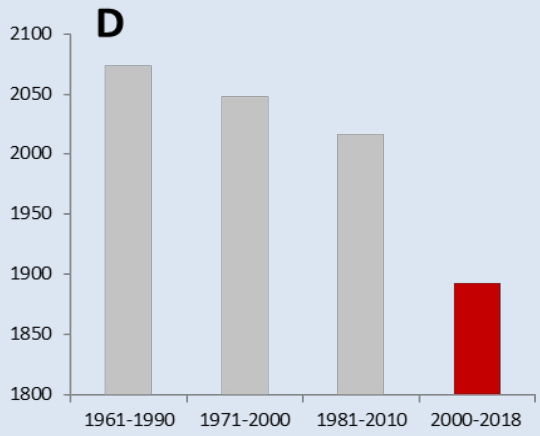
Годовой ход коэффициентов корреляции аномалий температуры с аномалиями радиационных параметров

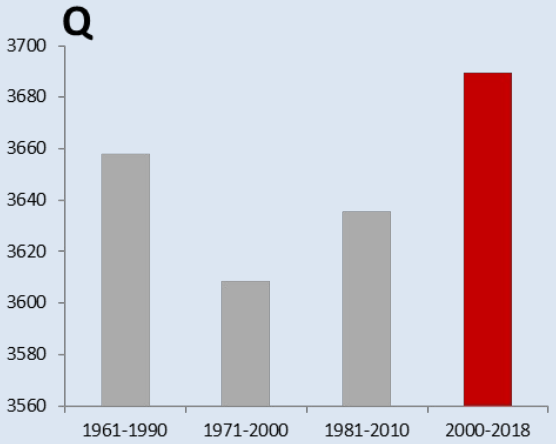
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Q	-0,806	-0,804	-0,558	-0,061	0,557	0,716	0,736	0,348	0,609	0,233	-0,586	-0,813	0,116
B	0,549	0,518	0,683	0,080	0,566	0,764	0,785	0,357	0,567	0,582	0,656	0,642	0,672
Bk	-0,533	-0,351	0,439	-0,121	0,520	0,723	0,773	0,447	0,614	0,411	-0,012	-0,320	0,398
Ea	0,853	0,921	0,840	0,874	0,837	0,860	0,852	0,699	0,654	0,685	0,912	0,924	0,896
общ.обл	0,618	0,616	0,225	0,333	-0,339	-0,490	-0,496	-0,342	-0,436	-0,081	0,558	0,674	0,022

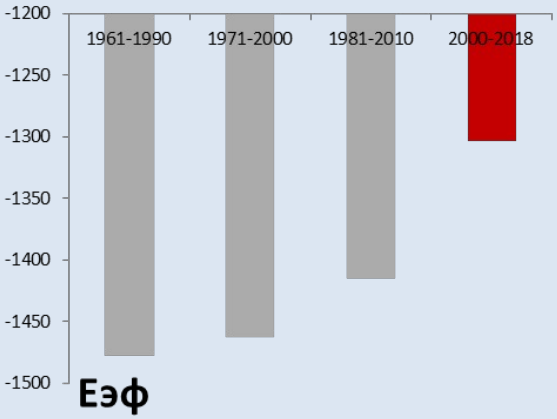
При формировании температурного режима в летние месяцы основное значение имеет коротковолновая солнечная радиация; в зимний период и в переходные сезоны возрастает роль противоизлучения атмосферы и адвекции.

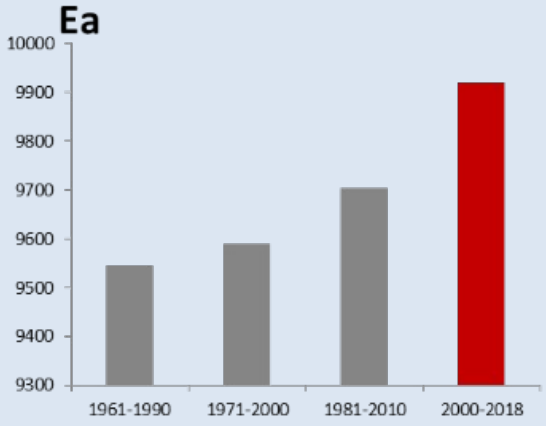
Сравнение радиационных потоков за три климатических нормы и современный период

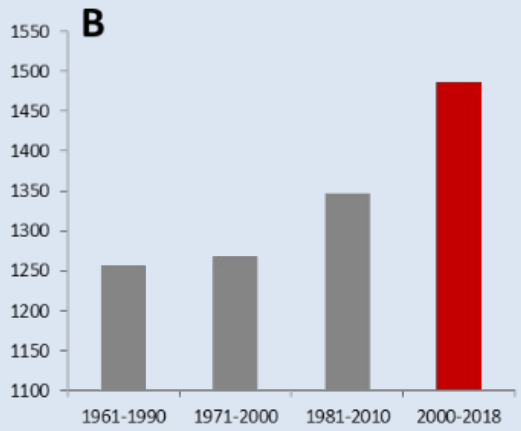












Характеристики многолетней изменчивости радиационных параметров атмосферы

Параметр	Период наблюдений, годы	Изменение параметров			
		за весь период наблюдений		за 2000-2018гг.	
		a×10*	P**	a×10*	P**
Общая облачность, балл	1965-2018	0,11	0,999	0,04	0,3
Нижняя облачность, балл	1965-2018	0,06	0,88	-0,02	0,65
AOT_{550}	1955-2018	-0,02	0,999	-0,03	0,99
Общее влагосодержание атмосферы, мм	1955-2018	0,3	0,99	0,5	0,93
A%	1958-2018	-0,23	0,80	1,6	0,80
ПСС	1955-2018	21,6	0,99	8,4	0,10
S', МДж/м^2	1958-2018	37	0,99	115	0,8
D, МДж/м^2	1958-2018	-42	0,99	-113	0,999
Q, МДж/м^2	1958-2018	-5,6	0,4	15,9	0,2
R, МДж/м^2	1958-2018	-16,9	0,999	54	0,8
B_kМДж/м^2	1958-2018	7,9	0,5	-53,7	0,5
B, МДж/м^2	1958-2018	49,3	0,999	35,7	0,5
$E_{эф}$, МДж/м^2	1958-2018	38,2	0,999	85,4	0,92
E_a, МДж/ м^2	1966-2018	11,7	0,999	13,7	0,99

Примечание: * a – коэффициент при линейном члене тренда (y=ax+в);
**P – статистическая значимость линейного тренда

Анализ многолетних изменений радиационных потоков и факторов, определяющих их приход и перераспределение в атмосфере, который был проведен на 65-летних однородных рядах метеорологических и актинометрических данных МО МГУ, позволяет говорить о **климатических изменениях** некоторых из них.

К числу таких изменений можно отнести:

- уменьшение аэрозольной мутности атмосферы,
- увеличение влагосодержания атмосферы,
- уменьшение рассеянной и увеличение прямой солнечной радиации,
- уменьшения периода со снежным покровом,
- уменьшение альбедо и отраженной радиации,
- увеличение противоизлучения атмосферы,
- **рост общего радиационного баланса**.

Наметилась тенденция уменьшения балла облачности. Стабильное снижение балла нижней облачности определило увеличение продолжительности солнечного сияния и рост суммарной солнечной радиации.

Спасибо за внимание !