

Г.М. Виноградова, Н.Н. Завалишин, В.И. Кузин, П.Ю. Пушистов

О ВНУТРИВЕКОВОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ КЛИМАТА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

*Сибирский научно-исследовательский гидрометеорологический институт Роскомгидромета,
г. Новосибирск*

*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, г. Новосибирск
Новосибирский филиал Института водных и экологических проблем СО РАН*

Поступила в редакцию 3.03.99 г.

Принята к печати 30.03.99 г.

Представлен анализ гидрометеорологических данных по суммам осадков, приземной температуре воздуха за период 1901–1996 гг. по сети станций Западной Сибири. Были проанализированы первые естественно-ортогональные функции, а также усредненные по 30-летнему периоду гидрометеохарактеристики для северного и южного районов. Температурный тренд за последние девяносто лет характеризуется общим потеплением по всей области, в то время как осадки увеличились на севере и уменьшились на юге региона. Циркуляция стала более меридиональной, число дней с антициклональной циркуляцией уменьшилось.

Введение

Согласно данным Всемирной метеорологической организации (ВМО) [9] за последние 100–130 лет глобальная средняя температура приземного слоя воздуха увеличилась на 0,3–0,6 °С. Повышение температуры происходило неравномерно по времени и пространству и отличалось в течение двух периодов: 30-летнего периода с 1910 по 1940 г. и последних 20 лет. Имеется тенденция потепления на больших площадях континентов за несколько последних десятилетий, главным образом из-за увеличения ночных температур.

Изменчивость потепления за последнее столетие в целом согласуется с прогнозами, полученными по климатическим моделям, учитывающим концентрацию парниковых газов, но по величине она находится в пределах естественных климатических колебаний, поэтому однозначного ответа о причинах усиливающегося потепления пока дать не удалось. Дальнейшее увеличение температуры приземного слоя атмосферы может привести к изменению радиационного баланса Земли, что повлечет за собой изменение географического распределения почвенно-климатических зон, а отсюда и переориентацию в таких отраслях экономики, как производство продуктов питания, использование водных ресурсов, энергетика и других. Проблема настолько актуальна, что исследования по ней осуществляются с 1979 г. под эгидой ВМО. Особо подчеркивается необходимость эффективного содействия развитию исследований, направленных на обнаружение региональных откликов изменений климата более крупного масштаба.

В публикациях по климатическим исследованиям последних лет, при отсутствии единого мнения об основных причинах потепления климата [2, 10, 12, 14, 15], на фоне разнообразия временных и региональных проявлений отмечается рост температуры в среднем на 0,5 °С за 100 лет [4, 8, 13, 16, 17 и др.].

Цель настоящего исследования — выявление изменений климата, происходивших в Западной Сибири в XX в.

Методика

Такие фундаментальные понятия, как «климат» и «норма», должны, на наш взгляд, интерпретироваться через математическое ожидание (МО) процесса. Действительно, если (в одномерном случае) под нормой понимать наиболее вероятное значение, либо значение, разделяющее выборку на две равные части, то при симметричной одномодальной функции распределения, эти определения нормы совпадают и между собой, и с математическим ожиданием. Поэтому под «нормой метеоэлемента» будем понимать математическое ожидание стохастического процесса, соответствующее данному метеоэлементу. Будем различать норму метеоэлемента как МО и оценку нормы, полученную какой-либо аппроксимацией МО.

На практике, ввиду существования единственной реализации процесса, норму метеоэлемента обычно оценивают с помощью аппроксимации МО кусочно-постоянной функцией. Такой способ, конечно, удобен с технической точки зрения, но иногда бывает более оправдана кусочно-линейная аппроксимация с помощью локально-климатической модели [4] и другие, с более сложными типами классов аппроксимации МО.

Если норма — это характеристика метеоэлемента в конкретном году, то климат — интегральная (по времени и пространству), многомерная характеристика состояния атмосферы данного региона. Пространственная характеристика климата может изменяться во всем диапазоне: от Земли в целом до отдельного пункта. По времени различают набор климатов в зависимости от анализируемого временного интервала: внутривековой, вековой, сверхвековой и т.д. [3]. Следовательно, используя термин «климат», необходимо указывать минимальный

интервал времени, характеризующий данный климат, который будем называть «климатическим интервалом». Например, ВМО рекомендует выбирать климатический интервал, равный 30 годам, для моделирования внутривековых изменений климата.

Для анализа будем использовать три метода: сглаживание скользящей средней (с 30-летним климатическим интервалом), интегрально-разностное преобразование и локально-климатическую модель (ЛК-модель).

Некритическое применение метода сглаживания скользящей средней может привести к выявлению ложных колебаний, известных под именем эффекта Слущого – Юла. Будем избегать этого эффекта с помощью двух приемов: во-первых, полученные результаты будем сопоставлять с результатами других методов и, во-вторых, оценивать статистическую значимость выявленных колебаний климата.

Интегрально-разностное преобразование изменяет постоянную функцию в линейную, а линейную – в параболу и т.д. В частности, если преобразованная функция окажется близкой к кусочно-линейной функции, то исходная, очевидно, должна быть кусочно-постоянной функцией. На этом факте основан метод выделения кусочно-постоянных норм гидрометеозлементов с помощью локально-климатической модели. Суть метода заключается в следующем. Пусть имеется стохастический процесс с кусочно-постоянным МО и аддитивным «красным» шумом. Применив интегральное преобразование к этому процессу, получим процесс с кусочно-линейным МО и аддитивным «белым» шумом, по выборочным значениям которого с помощью локально-климатической модели оценивается МО исходного процесса.

Локально-климатическая модель представляет исследуемый процесс суммой кусочно-линейного МО и шумовой компоненты, например «белого» шума [5]. С помощью этой модели создан Каталог внутривековых кусочно-линейных трендов среднемесячных температур воздуха и месячных сумм осадков и их пяти первых естественных ортогональных составляющих (ЕОС) [6]. В Каталоге

климатический интервал выбран по ряду соображений равным 12 годам. Воспользуемся результатами Каталога в части применения ЛК-модели к ЕОС.

Данные

Для анализа взяты данные за период 1901–1996 гг. по индексам атмосферной циркуляции, по среднемесячным, сезонным и годовым суммам атмосферных осадков и по приземной температуре воздуха по сети гидрометеорологических станций (ГМС) Западной Сибири: Салехард, Ханты-Мансийск, Тарко-Сале, Сургут, Тобольск, Колпашево, Александрово (по температуре), Октябрьское (по осадкам), Томск, Омск, Барабинск, Новосибирск, Барнаул, Кемерово (по температуре). Атмосферная циркуляция характеризовалась индексами циркуляции Вангенгейма–Гирса в первом естественном синоптическом районе [1], а также числом дней с антициклональной циркуляцией по Вителюсу в третьем и восьмом районах (север Западной Сибири и юг Западной Сибири с севером Казахстана [3]).

С целью контроля достоверности полученных результатов привлекались данные по гидрологии: стоки рек Западной Сибири, их замерзание и вскрытие.

Анализ

Для Западной Сибири на две первые ЕОС (ЕОС-1, ЕОС-2) приходится в среднем 88% общей дисперсии среднемесячных температур приземного воздуха и 47% общей дисперсии сумм атмосферных осадков. ЕОС-1 температуры воздуха интерпретируется как некое среднее по всей сети значение метеозлемента. У осадков интерпретация такая же, за исключением летних месяцев, в которых самые северные ГМС дают вклад в ЕОС-1 противоположного остальным станциям знака. ЕОС-2 представляет собой разность средних значений северных и южных ГМС региона, иначе говоря, контраст температур (или осадков) между севером и югом Западной Сибири. Линия раздела проходит по 58° с.ш. (табл. 1, 2).

Таблица 1

Месячные суммы осадков по Западной Сибири

Метеостанция	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Коэффициенты ЕОС-1											
Салехард	21	21	20	22	8	-17	-5	-21	-20	-11	19	11
Тарко-Сале	25	19	17	15	32	3	15	-16	-1	-12	21	22
Ханты-Мансийск	32	29	34	38	30	17	22	7	9	19	34	28
Октябрьское	32	31	33	30	23	7	7	1	-6	-2	31	26
Сургут	38	36	38	36	33	12	30	-3	12	17	34	33
Тобольск	33	28	34	30	23	19	30	27	24	25	31	28
Колпашево	37	29	30	26	34	34	35	29	29	29	28	32
Томск	31	30	27	30	28	39	34	37	38	42	31	34
Омск	30	33	26	29	30	30	27	22	36	30	34	36
Барабинск	26	31	29	31	34	41	38	39	40	40	33	27
Новосибирск	20	27	23	30	35	37	31	35	40	43	24	34
Барнаул	6	23	20	19	20	37	35	42	38	31	18	18
Семипалатинск	0	18	18	13	16	31	26	35	23	24	9	19
%D	32	36	31	29	24	25	22	24	28	28	29	27

О внутривековой изменчивости климата Западной Сибири

Метеостанция	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Среднее	76	61	68	83	140	154	223	131	105	108	120	95
СКО	23	22	23	28	36	51	63	55	40	36	32	24
Коэффициенты ЕОС-2												
Салехард	-31	-42	-18	-28	-32	29	43	23	27	33	32	-40
Тарко-Сале	-22	-28	-38	-40	-21	28	35	37	28	38	31	-31
Ханты-Мансийск	-25	-33	-23	-24	-32	44	39	51	51	40	24	-29
Октябрьское	-27	-33	-11	-26	-32	43	46	33	42	42	32	-31
Сургут	-14	-21	-13	-27	-40	49	31	48	47	43	23	-33
Тобольск	-05	-13	-16	-13	4	28	16	30	32	31	13	-12
Колпашево	7	15	-5	4	-6	10	2	24	14	20	-12	6
Томск	35	39	37	18	5	2	33	-1	-9	-10	-28	27
Омск	14	9	-26	22	29	-8	-20	17	4	6	-6	6
Барабинск	31	24	23	21	22	0	-11	-5	5	-7	-29	22
Новосибирск	36	36	35	35	26	-21	-23	3	-12	-14	-38	29
Барнаул	45	29	49	43	39	-7	-23	-5	-13	-22	-41	34
Семипалатинск	36	11	31	33	36	-28	-23	-17	-16	-6	-28	33
%D	21	17	13	18	15	16	19	17	19	25	23	18
Среднее	-2	10	7	-2	-14	109	88	175	125	91	-14	-3
СКО	17	7	17	22	28	43	59	52	41	35	31	21

Таблица 2

Среднемесячная температура воздуха по Западной Сибири

Метеостанция	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Коэффициенты ЕОС-1												
Салехард	15	15	19	20	21	21	22	21	20	19	12	13
Тарко-Сале	23	23	25	23	24	23	25	26	25	25	22	21
Ханты-Мансийск	25	25	25	26	25	25	26	24	26	26	26	24
Октябрьское	22	23	24	23	24	23	23	22	24	23	24	21
Сургут	27	27	27	28	26	28	28	28	27	28	27	24
Тобольск	28	28	27	26	24	24	24	24	25	27	28	28
Колпашево	29	29	29	29	28	28	28	29	28	29	29	30
Томск	28	29	28	29	28	27	27	28	28	28	29	29
Омск	29	29	27	26	27	27	27	28	28	28	26	30
Барабинск	30	30	28	28	29	29	29	29	29	29	29	30
Новосибирск	29	29	28	28	28	28	28	29	28	29	29	30
Кемерово	28	28	28	28	26	28	24	26	27	27	28	29
Барнаул	27	27	26	26	27	27	27	26	25	26	27	27
Онгудай	15	15	19	20	21	20	21	18	20	16	16	16
Волчиха	26	26	24	24	27	26	26	26	26	24	26	27
%D	70	69	73	71	74	71	71	66	71	71	72	68
Среднее	-74	-69	-43	-2	30	58	69	57	34	1	-39	-66
СКО	13	12	11	9	7	6	6	5	5	7	12	14
Коэффициенты ЕОС-2												
Салехард	-45	-44	-44	-42	-39	33	35	37	-41	-41	-49	-44
Тарко-Сале	-32	-33	-29	-30	-24	21	10	17	-23	-28	-34	-35
Ханты-Мансийск	-30	-30	-31	-29	-33	34	33	35	-31	-28	-27	-32
Октябрьское	-35	-34	-35	-37	-39	39	40	39	-36	-35	-34	-37
Сургут	-25	-25	-24	-21	-22	22	20	23	-20	-26	-25	-24
Тобольск	-15	-12	-13	-18	-23	30	34	29	-25	-19	-10	-16
Колпашево	2	-6	-2	0	6	-9	-14	-6	2	0	-3	2
Томск	14	12	13	13	17	-20	-24	-18	17	16	12	14
Омск	8	12	13	4	-1	6	11	2	3	6	8	5
Барабинск	11	11	14	15	9	-9	-7	-11	8	8	10	10
Новосибирск	18	18	17	18	20	-21	-21	-20	20	19	17	16
Кемерово	19	20	18	18	25	-23	-32	-23	19	21	19	18
Барнаул	25	26	23	27	28	-30	-27	-31	31	29	25	23
Онгудай	41	40	40	38	39	-35	-29	-35	40	42	41	39
Волчиха	25	27	33	33	23	-26	-21	-26	29	31	25	26
%D	20	20	17	17	13	14	14	18	15	19	20	23
Среднее	9	10	9	11	11	-5	-2	-2	4	7	10	12
СКО	7	7	6	5	3	3	3	3	2	4	7	8

Эти результаты позволяют заменить анализ внутривековой изменчивости метеоэлементов по сети из 15 ГМС анализом ЕОС-1 и ЕОС-2, имеющих к тому же ясную метеорологическую интерпретацию.

Иногда нам будет удобнее рассматривать вместо пары ЕОС-1, ЕОС-2 другую, эквивалентную пару статистик: средние значения метеоэлементов севернее и южнее 58-й широты.

Применение сглаживания скользящей средней с 30-летним климатическим интервалом к годовым и сезонным значениям северной и южной частей Западной Сибири дало следующие результаты. В годовом масштабе климат юга Западной Сибири потеплел с начала века на $0,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 1), причем потепление началось примерно с 1940 г. со средним подъемом на $0,05\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{г}$. В северной части региона повышение температуры на $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ от начала века до конца 30-х гг. сменилось похолоданием до 60-х гг. на такую же величину и затем новым потеплением, с темпом, как и на юге, по $0,05\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{г}$.

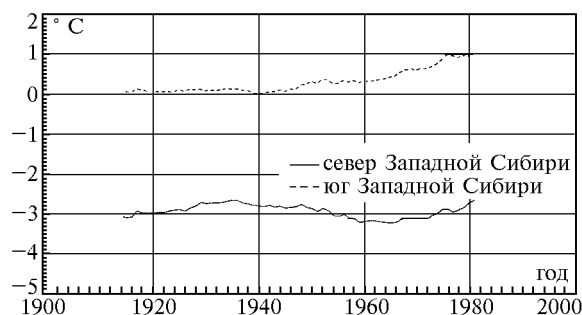


Рис. 1. Сглаженная по 30 годам средняя по региону температура воздуха (1901–1996 гг.). Среднегодовые значения

В сезонном масштабе положительный тренд температуры с амплитудой $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ наиболее четко заметен в весенний период на юге и $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ — на севере Западной Сибири. По северу региона положительные аномалии преобладают в период 1920–1950 гг. и последние 20 лет, а по югу — в 1920–1940 гг. и последние 20 лет.

Изменчивость увлажненности в годовом масштабе усреднения представлена на рис. 2. Картина увлажнения разная по северу и югу региона: по северу годовые осадки возросли от начала века до середины на 60 мм, а по югу уменьшились на 50 мм. Причем максимум контраста осадков между севером и югом Западной Сибири пришелся на начало 60-х гг.

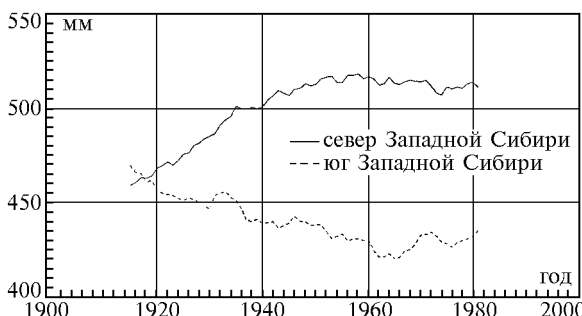


Рис. 2. Сглаженные по годам средние по региону суммы осадков (1901–1996 гг.). Среднегодовые значения

По сезонам осадки в целом повторяют годовую картину, кроме летних осадков по югу территории.

Число дней с антициклональной циркуляцией и по северу, и по югу региона уменьшилось в XX в. на 20 дней в году.

За этот век общая циркуляция атмосферы над Западной Сибирью стала более меридиональной (рис. 3). Количество дней с западной формой циркуляции (*W*) уменьшилось на 55 дней в году, а с меридиональной увеличилось на 59 дней в году, т.е. имела место тенденция стационарирования высотного

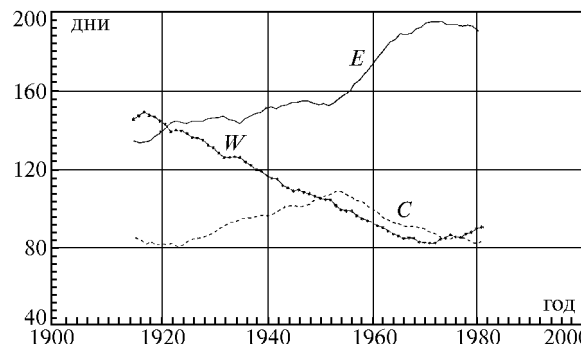


Рис. 3. Сглаженные по 30 годам индексы циркуляции *W*, *E*, *C*. Среднегодовые значения

гребня над Европейской частью СНГ и высотной ложбины над Западной Сибирью. Эта тенденция прекратилась в 1984 г., и намечился рост западной формы циркуляции, особенно заметной в зимний сезон.

В целом за прошедшее столетие уменьшилась континентальность климата, о чем свидетельствует динамика индекса континентальности (разность между летними и зимними температурами), представленная на рис. 4. Одновременно увеличилась продолжительность вегетационного периода по югу Западной Сибири.

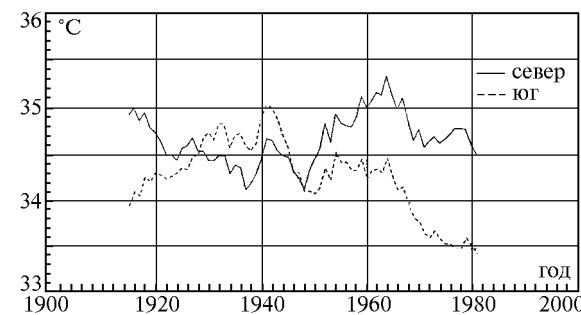


Рис. 4. Сглаженный по 30 годам индекс континентальности

Достоверность результатов проверялась сопоставлением изменчивости метеорологических параметров климатического вектора с изменчивостью соответствующих гидрологических параметров: продолжительность периода без льда коррелирует с изменениями вегетационного периода, сроки замерзания—вскрытия р. Оби согласованы с температурами воздуха осени и весны. Но в целом изменчивость гидрологических параметров климатического вектора имеет свою собственную структуру и тре-

бует отдельного исследования независимо от атмосферных параметров.

Выводы

1. Изменчивость климата Западной Сибири имеет разный характер на севере и юге региона. Граница раздела проходит в районе 58-й параллели.

2. Климат Западной Сибири в этом столетии потеплел почти на 1 °С. Потепление значительнее на юге, нежели на севере региона. Основной вклад в потепление климата внесли весенний и зимний сезоны.

3. Наблюдаются увеличение осадков по северу Западной Сибири и уменьшение по югу до 1980 г. После 1980 г. наметились стабилизация и даже рост в зимний и летний периоды.

4. Циркуляция атмосферы стала более меридиональной: количество дней в году с западной формой циркуляции уменьшилось на 55 дней, а с меридиональной — увеличилось на 59 дней в году. Эта тенденция прекратилась в середине 80-х гг., что особенно проявилось в зимний сезон. Число дней с антициклональной циркуляцией уменьшилось на 20 дней в году.

5. Уменьшилась континентальность климата, и одновременно увеличилась продолжительность вегетационного периода по югу Западной Сибири.

1. Багров Н.А., Кондратович К.В., Педь Д.А., Угрюмов А.И. // Долгосрочные метеорологические прогнозы. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 248 с.
2. Байдал М.Х. // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 1983. Вып. 98. С. 3–17.

3. Гирс А.А., Кондратович К.В. Методы долгосрочных прогнозов погоды. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 342 с.
4. Чичасов Н.Г., Шамен А.М. // Гидрометеорология и экология. 1997. N 3. С. 29–41.
5. Завалишин Н.Н. // Труды ЗапСибНИГМИ. 1990. Вып. 93. С. 12–24.
6. Локально-климатическая модель (Методические рекомендации для работы с Каталогом внутривековых трендов метеорологических элементов). ЗапСибНИГМИ, ЗапСиб УГМС, Иркутское УГМС. Новосибирск, 1995. 20 с.
7. Завалишин Н.Н. // Труды СибНИГМИ. 1995. Вып. 101. С. 22–31.
8. Изменение климата в центре Русской равнины // Вести МГУ. Сер. 5. 1995. N 6. С. 75–78.
9. Изменение климата. Оценки МТЭИК. 1990 и 1992 г. ВМО. 1992. С. 168.
10. Коваленко В.Д. // Труды ЗапСибНИГМИ. 1990. Вып. 93. С. 33–58.
11. Марчук Г.И. // Метеорология и гидрология. 1979. N 7. С. 25–26.
12. Предстоящие изменения климата: Совместный советско-американский отчет о климате и его изменениях / Под ред. М.И. Будыко, Ю.А. Израэля, М.С. Шакаркена, А.Д. Хукта. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 227 с.
13. Жданова Н.В. Сравнение основных климатических показателей периода 1961–1990 гг с базовыми нормами на территории Башкартостана. М., 1995. Деп. в ИЦ ВНИГМИ-МЦД 01.11.95. N1191-ГМ95.
14. Roteliff R. // Weather. 1995. 50. N 2. P. 54–57.
15. Forced global warming? Report says to prove it // Civ. Eng. (USA). 1995. V. 65. N 9. P. 16–18.
16. Konstantinova T.S., Korodov R.M. // Global Changes and Geogr.: JGU Conf. Abstr. M., 1995. P. 172.
17. Gan Th.Y. // Int. J. Climatol. 1995. 15. N 10. P. 1115–1134.

G.M. Vinogradova, N.N. Zavalishin, V.I. Kuzin, P.Yu. Pushistov. On Century Variability of Climate in West Siberia.

Analysis of the hydrometeorological data based on precipitations amount and air temperatures during the period 1901–1996 years in the West-Siberian region are presented in the paper. First empirical orthogonal functions as well as 30-year – averaged hydrometeorological characteristics for the Southern and Northern regions were analysed. Temperature trend for the last ninety years is positive for the region, whereas the precipitations amount is increased in the North and decreased in the South. The circulation in the region became more meridional, and the number of days with aticyclonic circulation was decreased.