

А.Е. Шадурский, В.А. Лобанов

ОЦЕНКА РЕГИОНАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА СЕВЕРЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

A.E. Shadursky, V.A. Lobanov

ASSESSMENT OF REGIONAL CLIMATE CHANGE IN NORTHERN WEST SIBERIA

Рассмотрено проявление климатических изменений в рядах среднемесячных температур воздуха, месячных сумм осадков и максимальных в году суточных осадков на севере Западной Сибири. На основе применения статистических критериев оценки однородности и стационарности получено, что ряды температур воздуха являются практически стационарными за исключением температур марта. Ряды осадков оказались нестационарными в месяцы холодной части года, но эта нестационарность имеет ступенчатый вид и обусловлена сменной регистрирующей прибором в 1960-е годы. Установлены пространственно-временные закономерности осадков.

Ключевые слова: изменение климата, температура воздуха и осадки, статистические критерии, оценка однородности и стационарности, пространственно-временные закономерности.

Result of impact of climate change is considered for time series of monthly air temperature and precipitation as well as maximum daily precipitation in the northern Western Siberia. On the basis of statistical criteria for assessing the homogeneity and stationarity, we show that the time series of air temperatures are almost stationary except for the temperature of March. Time series of precipitation were nonstationary in the cold months of the year, but this unsteadiness has step-like and is due to the replacement recording devices in 1960 s. Spatial and temporal regular properties of precipitation have been obtained.

Keywords: climate change, temperature and precipitation, statistical tests, assessment of homogeneity and stationarity, space-time regular properties.

Современное изменение климата по-разному влияет как на различные метеорологические характеристики, так и на одни и те же характеристики в разных районах Земли. Поэтому наиболее актуальной становится проблема оценки региональных изменений климата, от результатов решения которой зависит дальнейшая стратегия принятия решений и адаптации. В качестве одного из ключевых районов России выбран север Западной Сибири, включающий Ямало-Ненецкий и Ханты-Мансийский автономные округа. С одной стороны этот регион является основным источником нефти и газодобычи для России, а с другой, по сценарным оценкам изменений климата, территорией, где, например, по модели HadCM3 разработанной Хадли Центром (Великобритания), будут иметь место наибольшие на Земле повышения температуры воздуха на 8–10 °С при увеличении глобальной температура на 4 °С [Gordon, 2000]. Поэтому очевидно, что именно

здесь следует ожидать наиболее существенное воздействие изменения климата на экономику и инфраструктуру, состоящую из построенных и проектируемых нефте и газопроводов, автомобильных и железных дорог, населенных пунктов.

Для анализа выбраны 16 метеостанций в рассматриваемом районе с наиболее продолжительными рядами наблюдений за среднемесячной температурой воздуха, суммами осадков за месяц, а также наибольшими в году суточными осадками, расчетные 1 %-ные значения которых являются важной характеристикой при строительном проектировании. Чтобы оценить насколько климатические изменения проявляются в рядах выбранных метеорологических характеристик уже сегодня, были использованы статистические методы оценки стационарности средних значений и дисперсий. Расчетные формулы статистик критерия Фишера для оценки однородности дисперсий и Стьюдента для оценки однородности средних значений имеют следующий вид [Закс, 1976]:

$$F = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2}; \quad (1)$$

$$t = \frac{Y_{cp1} - Y_{cp2}}{\sqrt{n_1\sigma_1^2 + n_2\sigma_2^2}} \sqrt{\frac{n_1n_2(n_1 + n_2 + 2)}{n_1 + n_2}}, \quad (2)$$

где F , t – расчетные значений статистик критериев Фишера и Стьюдента; Y_{cp1} , Y_{cp2} , σ_1^2 , σ_2^2 – средние значения и дисперсии двух последовательных выборок при условии $\sigma_1^2 > \sigma_2^2$; n_1 и n_2 – объемы выборок.

Если в анализируемых рядах имели место статистически значимая автокорреляция и асимметрия, то они учитывались при оценке по критериям в соответствии с Рекомендациями [Рекомендации, 1984]. Кроме того, на неоднородность средних значений и особенно дисперсий могут влиять аномальные экстремумы, однородность которых априори оценивалась по критериям Диксона и Смирнова-Граббса [Рекомендации, 1984]. Многолетние ряды разбивались или на две равные по количеству лет наблюдений подвыборки или по дате наибольшего ступенчатого изменения, если такое имело место. Уровень значимости (α) обычно задается равным 5 %, что соответствует принятию нулевой гипотезы об однородности с вероятностью 95 %. В результате гипотеза однородности может быть принята в том случае, если расчетное значение статистики меньше соответствующего критического. Вместе с тем, расчетное значение статистики критерия может быть и больше критического, но ненамного. Поэтому лучше рассматривать диапазон области принятия гипотезы [Закс, 1976], в соответствии с которым можно считать, что если уровень значимости, соответствующий расчетному значению статистики, находится в диапазоне $\alpha = 3-5$ %, то гипотеза может быть условно принята, а при α в диапазоне 1–2,9 % – условно отклонена.

Прежде всего, был проведен анализ стационарности многолетних рядов среднемесячных температур воздуха, на основе которого получено, что из 384

случаев проверки гипотезы стационарности (16 метеостанций \times 12 рядов среднемесячных температур \times 2 критерия) нестационарность выявлена всего в 19 случаях, что составляет 4,9 % от их общего числа. Причем практически половина всей нестационарности приходится на март и характеризуется ступенчатым увеличением температуры с начала 1960-х годов. В качестве примера на рис. 1 приведен график нестационарного ряда наблюдений температуры марта на метеостанции Октябрьское, где ступенчатое увеличение температуры, характерное для большинства станций этого района, обусловлено вероятнее всего сменой условий атмосферной циркуляции.

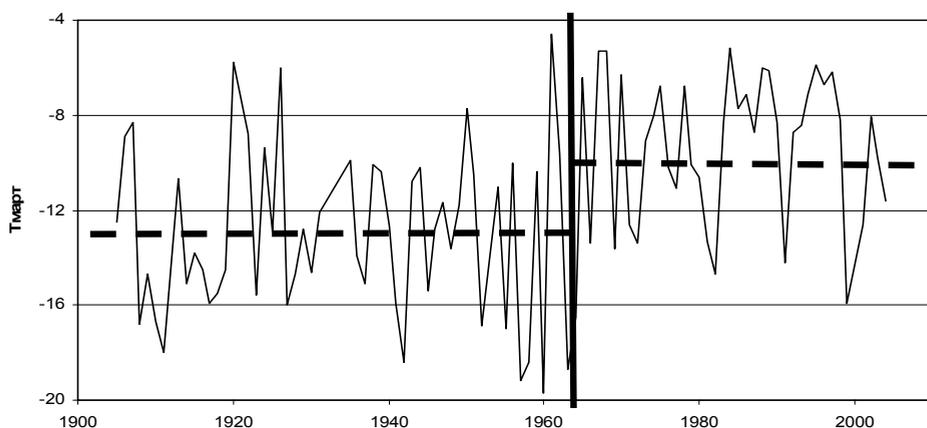


Рис. 1. Нестационарность средних значений в многолетнем ряду среднемесячных температур марта на метеостанции Октябрьское

В остальных случаях вывод о нестационарности приходится в основном на диапазон $\alpha = 1\text{--}2,9\%$, имеет место для дисперсии и для отдельных метеостанций в отдельные месяцы.

Следующей рассматриваемой характеристикой были суммы осадков за отдельные месяцы года. Анализ исходных графиков показал ступенчатое увеличение осадков в начале 1960-х годов и поэтому многолетние ряды разбивались на две подвыборки по этой дате. В результате получено, что нестационарных данных было уже намного больше (17,7 % от общего числа случаев) и практически все они (85 % всех случаев нестационарности) приходились на холодный период года и имели место большей частью на северных метеостанциях станциях района. Типичный график нестационарного многолетнего ряда осадков приведен на рис. 2 для ноября по метеостанции Новый Порт. Этот и другие подобные графики нестационарных рядов свидетельствуют о том, что нестационарность обусловлена сменой приборов для регистрации осадков как раз в 1960-е годы, причем предшествующий осадкомер не позволял нейтрализовать ветровое выдувание осадков, что особенно характерно для твердых осадков и для станций, находящихся на морском побережье в зоне больших ветров.

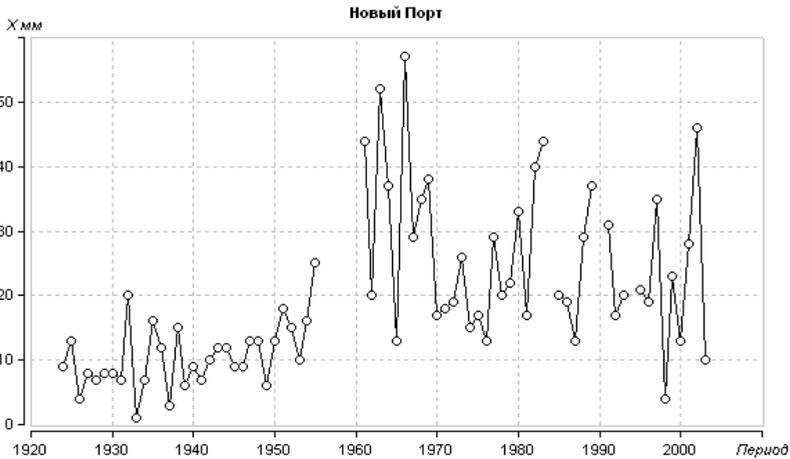


Рис. 2. Хронологический график сумм осадков за ноябрь по метеостанции Новый Порт

В результате проведенного анализа можно сделать вывод, что выявленная нестационарность осадков обусловлена не изменением климата, а особенностями инструментальных наблюдений, связанными со сменой регистрирующих приборов. После приведения рядов к однородным условиям последнего полу-периода, многолетние ряды осадков становятся однородными.

Еще одной важной в практическом отношении метеорологической характеристикой являются наибольшие в году суточные осадки. При проверке по статистическим критериям получено, что для многолетних рядов максимальных в году суточных осадков гипотезы однородности распределений и стационарности средних и дисперсий приняты практически во всех случаях. Исключением является нестационарность дисперсий на метеостанции Диксон (рис. 3), которая обусловлена одним экстремальным максимумом (1954 г.), и на метеостанции Сургут, где она обусловлена несколькими максимумами осадков в первую половину ряда.

В связи с тем, что нестационарность за счет потепления климата пока практически не проявляется в рассматриваемом районе, а неоднородность из-за смены регистрирующих приборов может быть устранена, было осуществлено статистическое пространственно-временное моделирование осадков. Получение подобной модели позволяет определить осадки в любой точке территории при отсутствии наблюдений, что важно при строительном проектировании. На основе многолетних рядов сумм месячных осадков были получены параметры их распределений (среднее значение и коэффициент вариации) и расчетные значения 1 %-ной обеспеченности. Средние многолетние внутригодовые распределения месячных сумм осадков для метеостанций на территории Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО) приведены на рис. 4. Как следует из рис. 4, средние внутригодовые распределения осадков имеют максимум в июле – августе. Также имеет место и некоторая пространственная закономерность в амплитуде

годового хода осадков: на севере у побережья она несколько меньше и составляет 40 мм, а на юге региона несколько больше – до 50 мм, причем максимальные летние осадки на юге больше и составляют 65–70 мм, а на севере 55–60 мм.

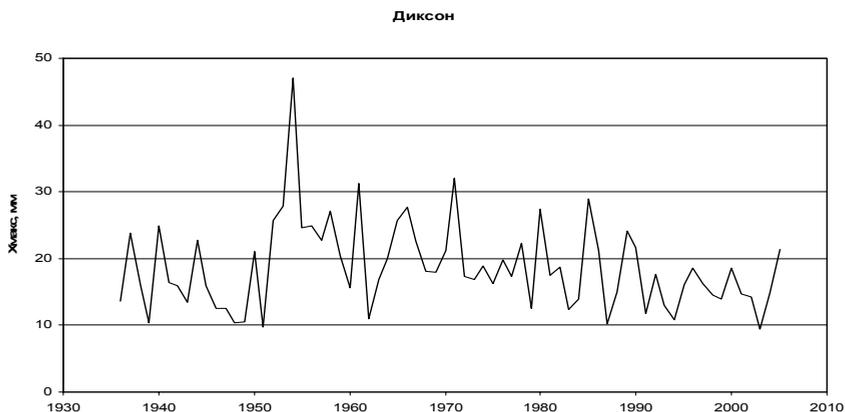


Рис. 3. Нестационарный по дисперсиям ряд максимальных суточных осадков на метеостанции Диксон

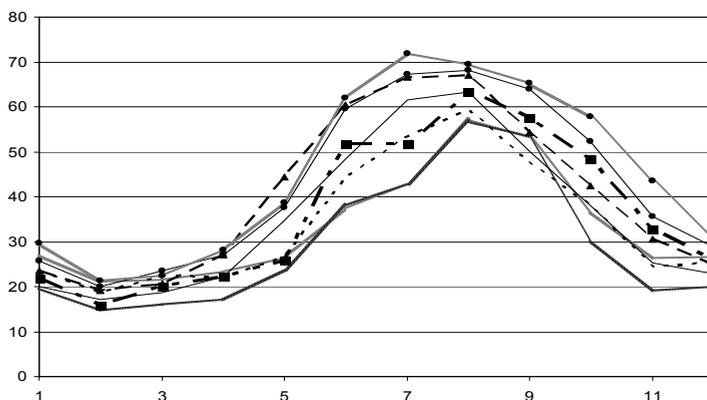


Рис. 4. Средние многолетние распределения месячных сумм осадков на метеостанциях ЯНО

Анализ внутригодовой изменчивости коэффициентов вариации (C_v) показал, что для трех северных станций (Мыс Каменный, Новый Порт и Тазовское) наблюдается их некоторый внутригодовой ход с минимумом изменчивости в августе–сентябре и с максимумом в зимние месяцы. Однако, эта внутригодовая закономерность обусловлена инструментальной неоднородностью измерения осадков. После исключения неоднородных рядов, годовой ход в коэффициентах вариации, отсутствует и его среднее значение для территории ЯНО можно принять равным 0,5 как для всех месяцев, так и для всех метеостанций. Отношение C_s/C_v (C_s – коэффициент асимметрии) варьирует как по территории, так и от месяца к месяцу от 1,0 до 5,0, но если также исключить неоднородные ситуации, то отношение C_s/C_v в среднем составляет 3–4.

Еще одной важной климатической характеристикой являются пространственно-временные распределения расчетных 1 %-ных сумм месячных осадков. Так же как и средние многолетние осадки, расчетные 1 %-ные имеют внутригодовой ход с максимумом в июле. Каких-либо пространственных закономерностей в параметрах внутригодовой изменчивости не наблюдается и поэтому в качестве расчетного внутригодового распределения осадков 1 %-ной обеспеченности для территории ЯНАО можно считать верхнюю огибающую всех внутригодовых графиков. Наибольшее значение 1 %-ных месячных осадков имеет место в июле и составляет 225 мм, а наименьшие – в зимние месяцы и равны 100–120 мм.

Для суточных максимумов осадков также были определены параметры распределений и расчетные максимальные суточные осадки 1 %-ной обеспеченности (табл. 1). При этом, приведение рядов наблюдений к многолетнему периоду не дало положительных результатов из-за низкой пространственной связанности максимальных осадков.

Таблица 1

Параметры распределений и 1 %-ные расчетные максимальные суточные осадки ($X_{1\%}$)

Код станции	Название станции	Параметры распределения			$X_{1\%}$, мм
		Среднее, мм	C_v	C_s/C_v	
20674	Остров Диксон	18,7	0,40	4,0	43,2
23146	Мыс Каменный	24,4	0,53	5,0	71,1
23631	Березово	29,9	0,40	5,0	71,2
23724	Ханты-Мансийск	29,8	0,36	5,0	66,2
23849	Сургут	29,9	0,42	5,0	73,6
23933	Няксимволь	30,3	0,42	5,0	74,6
23955	Александровское	31,4	0,40	5,0	74,8

Если исключить из рассмотрения аномальные осадки на метеостанции Диксон, то средние по территории 1 %-ные максимальные осадки составляют 72 мм, а их пространственная изменчивость незначительна. Значение 1 %-ных максимальных суточных осадков равно 72 мм можно рекомендовать как вероятностный максимум. При этом региональное отношение наибольших месячных осадков к наибольшим суточным составляет 3.1.

Таким образом, проведенный анализ свидетельствует, что проявления глобального потепления на севере Западной Сибири пока не наблюдаются, но вместе с тем необходим постоянный мониторинг динамики климатических показателей, наиболее важных для развития экономики данного региона.

Литература

1. Закс Л. Статистическое оценивание. – М.: Статистика, 1976. – 598 с.
2. Рекомендации по статистическим методам анализа однородности пространственно-временных колебаний речного стока. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 78 с.
3. Gordon C., Cooper C., Senior C.A., Banks H., Gregory J.M., Johns T.C., Mitchell J.F.B., Wood R.A. (2000). The simulation of SST, sea ice extents and ocean heat transports in a version of the Hadley Centre coupled model without flux adjustments. *Climate Dynamics* 16: 147 – 168.