

В.И. Кузин, В.Н. Крупчатников, А.А. Фоменко

АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ В КЛИМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ ДЛЯ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Приведены результаты обработки и анализа многолетних рядов наблюдений изменчивости климатических характеристик Западной Сибири на основе простейших статистических моделей. Дано описание основных параметров климатической модели атмосферы, разработанной в ВЦ СО РАН, и используемых в ней параметризаций. Приведены предварительные результаты по моделированию межгодовой изменчивости.

1. Введение

Задача прогнозирования и оценки влияния изменений климата, происходящих в настоящее время и предстоящих в будущем, на развитие биосферы, общества и всей земной системы в целом является первостепенной задачей современной науки. Важность решения этой проблемы определяется необходимостью выбора стратегии в дальнейшем развитии общества для предотвращения глобальных и региональных климатических и экологических катастроф.

Начало пониманию важности этих исследований положила Всемирная климатическая программа (WCRP), в которой было обращено внимание на возможные последствия естественных и антропогенных изменений климата. В дальнейшем комплексный подход к исследованию этой проблемы был сформулирован в Международной геосферно-биосферной программе «Глобальные изменения» (IGBP), сформированной в 1986 г. В программе «Глобальные изменения» существенным образом трансформировалась роль региональных компонентов в оценке глобальных последствий изменений климата, вследствие того что практические интересы общества концентрируются на региональных проявлениях изменений климатической системы, а также на возможном влиянии отдельных зон земного шара на климат в глобальном масштабе.

Эта идея явилась основой организации исследований в вычислительном центре СО РАН, направленных на изучение взаимодействия климатических изменений глобального масштаба и региональных климатических особенностей для Сибирского региона.

Сибирский регион является особой климатической зоной, характеризующейся умеренно-континентальным климатом в ее центральной части. Эта климатическая зона находится под влиянием Арктического бассейна и воздушных масс Центральной Азии. В связи с этим глобальные климатические изменения могут своеобразно проявиться в этих рай-

онах, вызывая изменения региональных климатических компонентов.

Кроме того, хозяйственная деятельность по использованию ресурсов Западной Сибири, сопровождаемая процессами дефорестации, осушением болот, загрязнением воздушного и водного бассейнов, может вызывать изменения климатических характеристик регионального и, возможно, глобального масштабов.

Исследование изменчивости климатических характеристик Западной Сибири в Вычислительном центре СО РАН осуществляется в двух направлениях: 1) обработка и анализ многолетних наблюдений климатических характеристик на основе статистических моделей; 2) проведение сценарных расчетов по изучению изменений состояния климата Западной Сибири на основе численных моделей динамики атмосферы и океана.

2. Анализ многолетних рядов наблюдений гидрометеорологических характеристик Западной Сибири

Региональные проявления климатических изменений для Сибирского региона могут быть обнаружены прежде всего по данным гидрометеорологических станций, насчитывающих измерения в период до сотни лет. Рассмотрим для примера данные для таких климатических характеристик, как среднегодовая температура, осадки, сток и вскрытие рек для некоторых достаточно удаленных пунктов Западной Сибири. Данные были предоставлены Сибирским региональным научно-исследовательским гидрометеорологическим институтом.

Не вдаваясь в глубокий анализ данных, представляющий несомненный интерес и являющийся предметом дальнейших исследований, отметим только основные черты существующих тенденций гидрометеорологических характеристик за столетний период, подтверждающие их пространственную не-

однородность даже для Западной Сибири. Для анализа выберем временные ряды по двум из существующих станций в Западно-Сибирском регионе. Это измерения на станциях г. Барнаула, характеризующие условия южной части региона и нижнего течения р. Оби, и г. Салехарда, находящегося на севере региона и всего Обско-Иртышского бассейна.

На рис. 1 представлены среднегодовые значения и линейные тренды для среднегодовых значений температуры и осадков. Из рис. 1 видно, что для температуры характерна заметная положительная тенденция для обоих пунктов. В то же время распределение осадков существенно более неоднородно. Так, для южной части рассматриваемого региона (г. Барнаул) характерна тенденция к уменьшению осадков. Для Салехарда, однако, количество осадков значимо возрастает. Эти климатические изменения количества осадков также коррелируют со стоком р. Оби в выбранных пунктах.

Таким образом, приведенные данные свидетельствуют о существенной пространственной неоднородности ряда климатических характеристик, таких как, например, осадки и сток рек. Для выяснения причин и механизмов, определяющих такое распределение, необходим анализ климатической системы на уровне математического моделирования. Рассмотрим далее некоторые предварительные результаты, полученные в этом направлении.

3. Математическое моделирование климата атмосферы

Атмосферная климатическая модель Новосибирского вычислительного центра (ECSib) является развитием одной из версий модели Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (ЕЦСПП). В основу пакета параметризаций физических процессов подсеточных масштабов положены результаты работ [6–8], в то время как динамическая часть полностью развита в Новосибирске [2, 5]. При разработке модели учтен опыт ведущих специалистов Европейского центра и Института вычислительной математики Российской академии наук, при этом мы исходили из реально доступных вычислительных возможностей.

Модель формулируется в терминах σ -системы координат и имеет 15 неравномерно распределенных уровней в тропосфере и нижней стратосфере. По горизонтали используется C -сетка Аракавы с разрешением $5 \times 4^\circ$. Используется конечно-разностная схема второго порядка аппроксимации, удовлетворяющая закону сохранения потенциальной энтропии при адвекции вихря с горизонтальной скоростью (в баротропной атмосфере [1, 4]).

Специальный выбор аппроксимации уравнения гидростатики позволяет конструировать схемы по

вертикали, сохраняющие угловой момент. Возможность долгопериодного интегрирования обеспечивается сохранением в разностном виде ряда глобальных инвариантов, имеющих место в дифференциальной задаче (помимо указанных, это масса, энергия, удельная влажность). В статистическом смысле это должно обеспечивать близость динамики атмосферы, воспроизводимой дискретной моделью, динамике непрерывной атмосферы. В основу конструкции интегрирования системы уравнений по времени положена полуневная схема.

Учет горизонтальной диффузии в модели осуществляется на основе использования линейной схемы четвертого порядка. Вычисление приземных потоков основано на теории подобия Монина–Обухова, где профили ветра и температуры зависят от внешних параметров и приземных потоков момента количества движения и тепла. Уравнения, используемые в модели для потоков момента, явного тепла и влаги, различны для устойчиво и неустойчиво стратифицированного приземного слоя.

Потоки над приземным слоем вычисляются на основе теории длины смешения, при этом коэффициенты диффузии определяются по-разному для устойчивой и неустойчивой стратификаций. Перед вычислением основных переменных на каждом временном шаге выполняется общее конвективное приспособление.

Для исключения отрицательных значений поля влажности, которые могут появиться из-за трункционных ошибок схемы центральных разностей совместно с процессами конденсации, используется схема, сохраняющая общее содержание влаги.

Параметризация конвективной облачности, реализованная в рассматриваемой модели, основана на методе Куо [7]. Главное отличие используемой схемы от параметризации Куо заключается в том, что рассматриваются не только конвективные облака, порожденные подъемом воздуха с поверхности Земли, но и облака, зарождающиеся на более высоких уровнях, где также может наблюдаться конвергенция влажности.

Температура моря считается заданной. Это предположение делается как для открытой воды, так и для водной поверхности, покрытой льдом. На суше выделяется тонкий слой почвы определенной теплоемкости, который обменивается теплом и влагой с атмосферой и глубокой почвой (деятельный слой почвы). Таяние снега рассматривается всякий раз, когда присутствует снег и температура суши превышает температуру таяния льда. Над морем влажность равна значению насыщения при данной температуре. Влажность почвы и снежный покров прогнозируются с учетом осадков, испарения, талой воды, стока и диффузии влаги в почву.

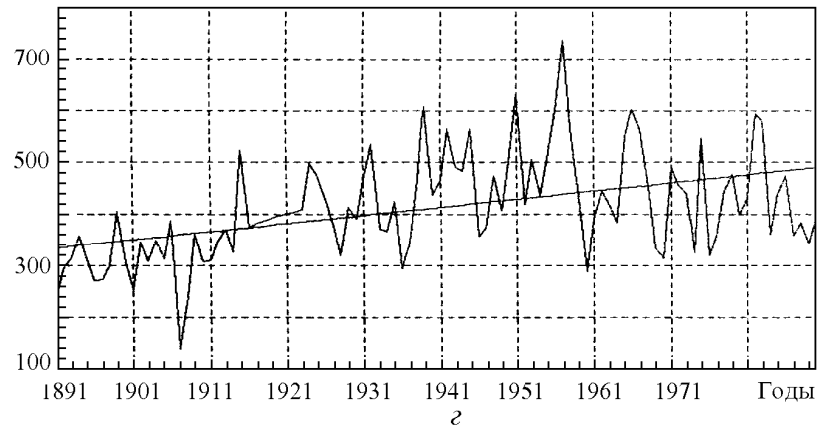
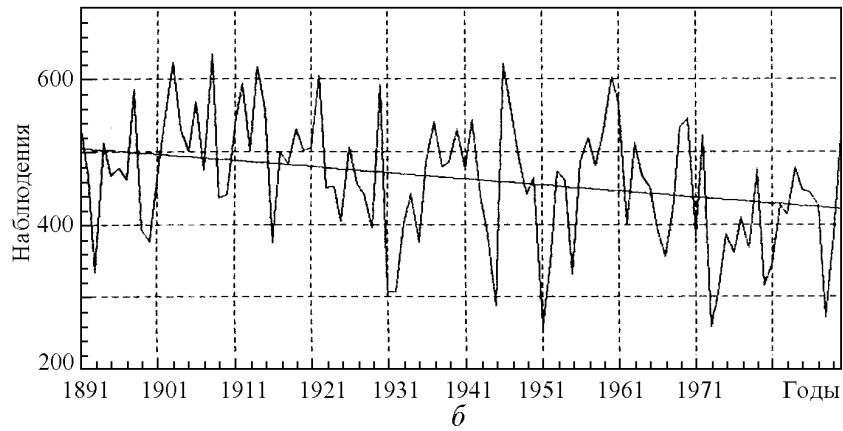
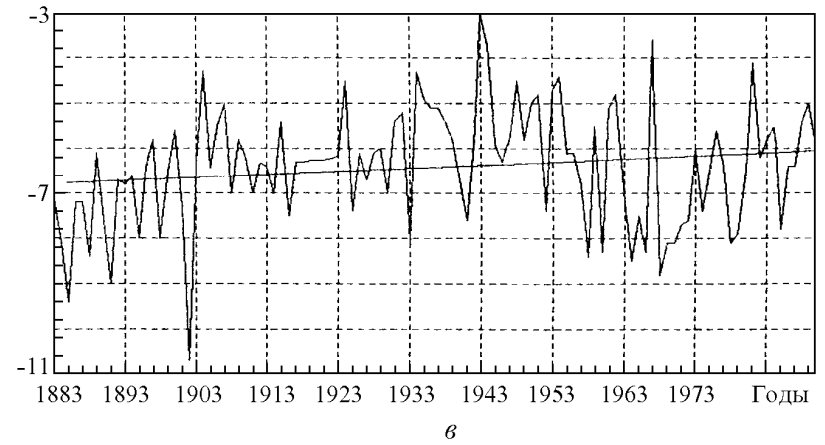
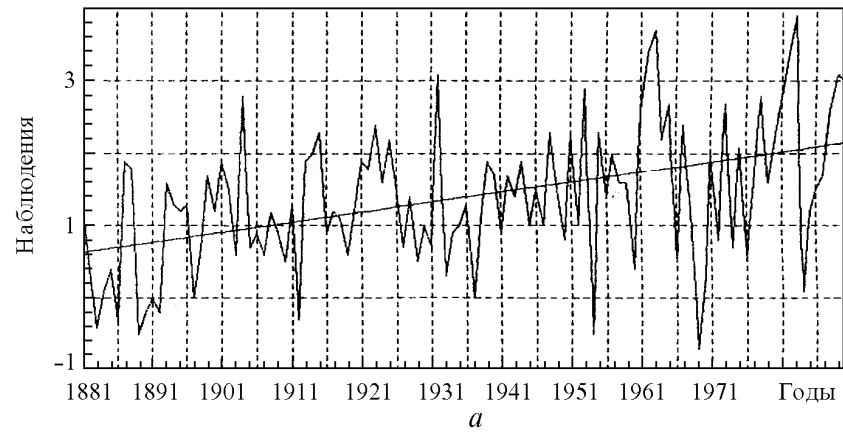


Рис. 1. Изменения климатических характеристик: *a* – среднегодовая температура для г. С; *б* – годовые осадки для г. Барнаула (мм); *в* – среднегодовая температура для г. С; *г* – годовые осадки для г. Салехарда (мм)

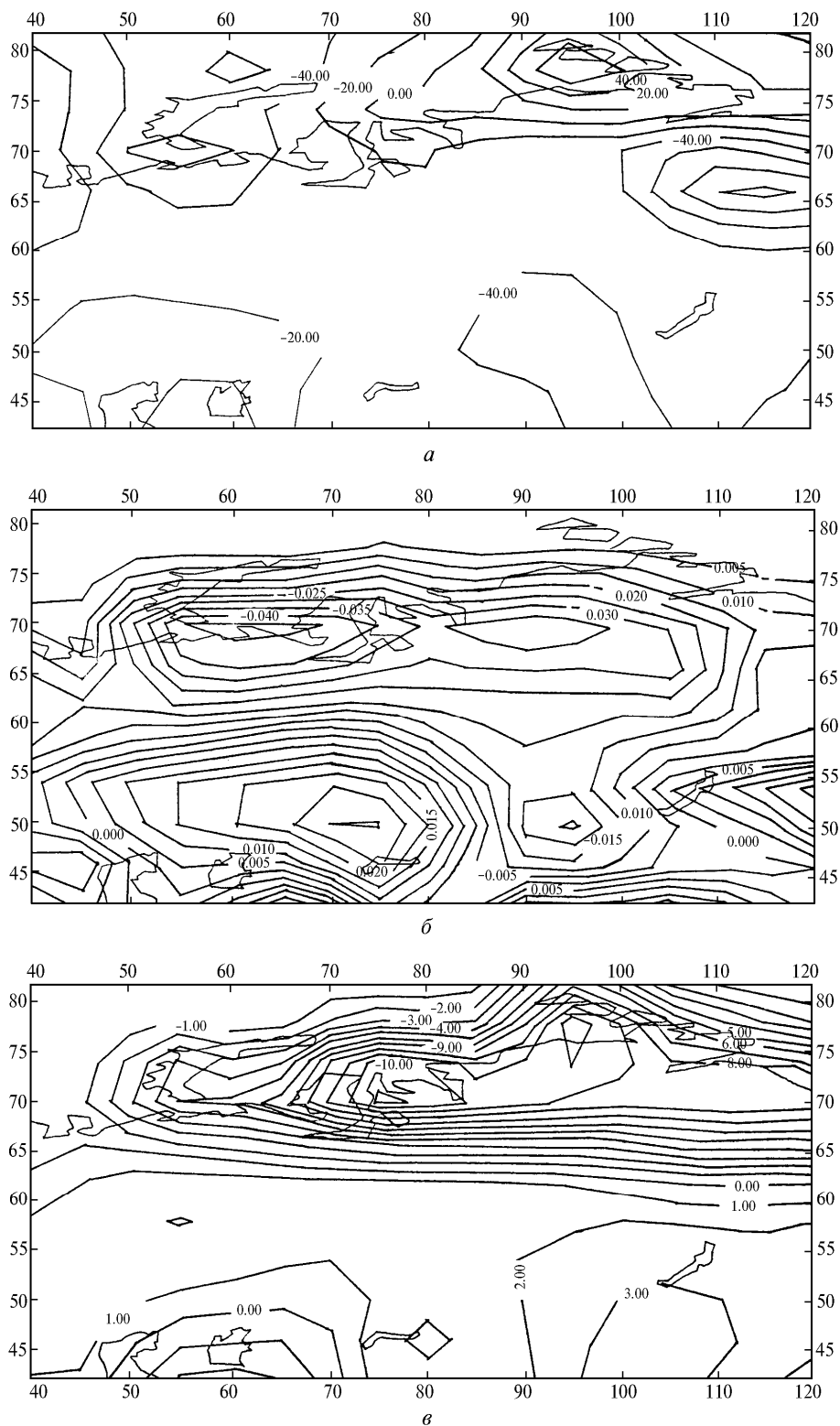


Рис. 2. Изменчивость гидрометеорологических характеристик, полученных на основе интегрирования модели ECSib: *a* – радиационного баланса; *б* – влажности почвы; *в* – температуры

На базе указанной климатической модели было осуществлено интегрирование на 10 лет с учетом годового хода солнечной радиации. В процессе интег-

рирования зенитный угол склонения Солнца ежедневно менялся в зависимости от дня года. Учет суточного хода не производился. В качестве внешнего

параметра использовалась среднемесячная температура подстилающей поверхности (океан), вычисленная из данных АМР. Очевидно, что для получения достоверных климатических характеристик 10-летнего периода интегрирования явно недостаточно, однако определенные выводы можно сделать. На рис. 2 приведены изменчивости ряда характеристик за последний год интегрирования (в условных единицах). Анализ результатов свидетельствует о принципиальной пространственной неоднородности моделируемых характеристик, что подтверждается данными натурных наблюдений, приведенных в предыдущем разделе, и свидетельствует о необходимости детального учета региональных особенностей. В настоящее время для этого разработана новая схема параметризации взаимодействия атмосферы с подстилающей поверхностью, более адекватно учитывающая компоненты гидрологического цикла и процессы взаимодействия с растительным покровом.

Заключение

Предварительные результаты анализа гидрометеорологических данных за последние сто лет сви-

детельствуют о существенной пространственной неоднородности изменений климатических характеристик даже для такого ограниченного региона, как Западная Сибирь. Сюда относятся такие величины, как годовое количество осадков и пр. Эти факты подтверждаются результатами численного моделирования на основе климатической модели ECSib. Результаты расчетов свидетельствуют о неоднозначных региональных проявлениях глобальных климатических изменений для Сибири.

Работа поддержана РФФИ, гранты 95-05-14588, 97-05-65194.

1. Дымников В.П., Фоменко А.А. Вычислительные процессы и системы. М.: Наука, 1986. Вып. 4. 123 с.
2. Крупчатников В.Н., Маев В.К., Фоменко А.А. // Известия АН СССР. Сер. ФАО. 1992. Т. 28. N 1. С. 33.
3. Солдатова И.И. // Метеорология и гидрология. 1993. Т. 9. С. 89.
4. Arakawa A., Lamb V.R. // Mon. Wea. Rev. 1981. V. 109. P. 18.
5. Fomenko A.A., Krupchatnikoff V.N. // Bulletin of the Novosibirsk Computing Center, Numerical Modelling in Atmosphere // Ocean and Environment Studies. 1993. V. 1. P. 17.
6. Geleyn J.-F., Hollingsworth A. // Beitr. Phys. Atmos. 1979. V. 52. P. 1.
7. Kuo H. // J. Atm. Sci. 1974. V. 31. P. 1232.
8. Louis J.-F. // Boundary-layer Meteorol. 1979. V. 17. P. 187.

Институт вычислительной математики и математической геофизики, Новосибирск

Поступила в редакцию
4 февраля 1998 г.

V.I. Kuzin, V.N. Krupchatnikov, A.A. Fomenko. Analysis and Modelling of Variations in the Western Siberian Climatic System.

The work has been carried out in the Computing Center SB RAS. It is concerned with the study of the climatic variations in the Western Siberia. The results of the statistical analysis of the long-term series of the hydrometeorological characteristics observed are presented in the paper. The main features of the Computing Center climatic model are described as well as the preliminary results of the interannual variability simulated with the use of the model.