

**ГИДРОЛОГИЯ**

*В.А. Румянцев, Л.К. Ефимова, В.Ч. Хон*

**ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА ВОДОСБОРА ЗАПОЛЯРНОГО ОЗЕРА ИМАНДРА НА БАЗЕ МОДЕЛЕЙ КЛИМАТА**

*V.A. Rumyantsev, L.K. Efimova, V.Ch. Khon*

**SIMULATION OF TEMPERATURE-HUMIDITY REGIME OF WATERSHED F HIGHT LATITUDE LAKE IMANDRA BY MODERN CLIMATE MODELS**

*Выполнен анализ данных современной гидродинамической региональной модели климата RCA3 (Центр Россби, SMHI, Швеция), реализующей сценарий IPCC A1B и использующей глобальные гидродинамические модели климата ECHAM5 (Институт Макса Планка, Германия) и HadCM3 (Центр Хэдли, Великобритания) в качестве граничных условий для водосбора заполярного озера Имандра с привлечением соответствующих эмпирических данных. Обсуждаются изменения температуры приземного воздуха (T), атмосферных осадков (P), испарения (E), а также (P-E) в период 1961-2100 гг. в изучаемом водосборном бассейне озера Имандра, в том числе в будущем в связи с антропогенными изменениями глобального климата, обусловленными возрастанием эмиссий в атмосферу парниковых газов и аэрозоля.*

*Ключевые слова: водосбор, моделирование, температурно-влажностный режим, глобальные и региональные модели климата.*

*Analysis of data of hydrodynamic modern regional climate model RCA3 (Rossby Centre, SMHI, Sweden) with using global climate models ECHAM5 (Max Planc Institute, Germany) and HadCM3 (Centre Hadley, Great Britain) as boundary conditions, in accordance with IPCC scenario A1B and with using corresponding empirical data for watershed of high latitude lake Imandra was performed. Changes of surface air (T), precipitation (P), evaporation (E) and also (P-E) in period 1961-2100 including future anthropogenic global climate changes caused by increasing emissions of greenhouse gases and aerosol are discussed.*

*Key words: watershed, simulation, temperature-humidity regime, regional and global climate models.*

Анализ модельных воспроизведений температурно-влажностных изменений на водосборе озера способствует решению ряда задач рационального природопользования, а также актуальной задачи лимнологии – оценке будущих водных запасов озер в связи с антропогенными изменениями глобального климата, обусловленными возрастанием эмиссий в атмосферу парниковых газов и аэрозоля. Для такого анализа модельных воспроизведений на сравнительно не-

большой территории водосбора озера наиболее подходящим достаточно совершенными теоретическими аппаратами являются, как известно, современные гидродинамические региональные модели климата, использующие в качестве граничных условий данные глобальных моделей климата. Современные гидродинамические региональные модели климата имеют очень детальное горизонтальное разрешение, что очень важно для корректного воспроизведения сложных моделируемых процессов на относительно небольшом по площади водосборе.

Современная успешная гидродинамическая региональная модель, широко известная достаточно адекватным воспроизведением климата в регионе, охватывающем Европу и часть Атлантического океана [2] разработана в Центре Россби SMHI (Шведский Метеорологический и Гидрологический Институт). В данной публикации рассмотрены модельные воспроизведения её усовершенствованной версии – RCA3. Глобальные гидродинамические модели климата ECHAM5 (Институт Макса Планка, Германия) [5] и HadCM3 (Центр Хэдли, Великобритания) [3] использованы в RCA3 в качестве граничных условий, при этом заметим, что по ряду показателей воспроизведений модели климата ECHAM5 и HadCM3 входят в число лучших глобальных моделей климата. В RCA3 воспроизведение изучаемых процессов осуществляется для временного интервала 1961–2100 гг. и предусмотрена выдача результатов, в отличие от её предыдущей версии, с дискретностью один год. Тридцатилетний период 1961–1990 гг. использован в качестве контрольного периода, после которого начинается учет антропогенных изменений глобального климата по сценарию IPCC [6, 7], в данной публикации рассмотрен сценарий IPCC антропогенного возрастания эмиссий парниковых газов и аэрозоля в атмосферу – A1B.

Для анализа температурно-влажностного режима водосбора озера Имандра рассмотрены: температура приземного воздуха ( $T$ ), атмосферные осадки ( $P$ ), испарение ( $E$ ), а также важная составляющая водного баланса ( $P-E$ ) – эффективное испарение, являющееся косвенным показателем водного запаса озер и способное репрезентативно отражать изменения водных запасов в будущем, поскольку его изменения влияют на сток в озеро и его уровень. Модельные данные в узлах сетки модели осреднялись по всем точкам, приходящимся на водосборный бассейн озера Имандра, с весами, пропорциональными широте. Данные модельных воспроизведений RCA3 температуры приземного воздуха и атмосферных осадков сопоставлялись с имеющимися для водосбора Имандры эмпирическими данными, что отражено на приводимых далее соответствующих рисунках.

Итак, многолетний ход среднегодовой температуры приземного воздуха за временной интервал 1961–2100 гг. по данным воспроизведения RCA3, осредненным для водосбора Имандры, представлен на рис. 1 совместно с имеющимися эмпирическими данными.

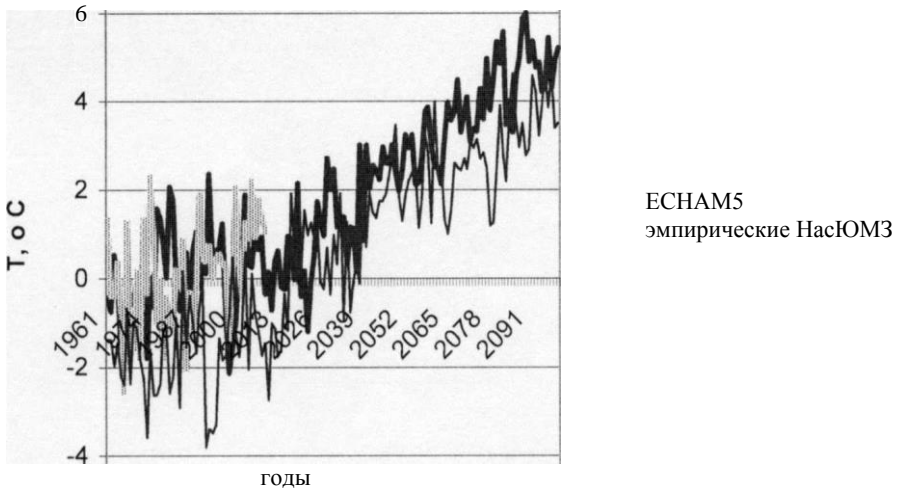


Рис. 1. Многолетний ход среднегодовой температуры приземного воздуха на водосборе озера Имандра по данным региональной модели RCA3 с граничными условиями гм ECHAM5 и HadCM3, сценарием IPCC A1B и по эмпирическим данным

Рис. 1 хорошо иллюстрирует для высокоширотного водосбора озера Имандра проявление эффекта глобального потепления, вызванного возрастанием антропогенных эмиссий в атмосферу парниковых газов и аэрозоля. Основная характерная черта воспроизведения среднегодовой температуры приземного воздуха заключается в тенденции её увеличения с 90-х годов XX в. вплоть до окончания нынешнего столетия. Эта тенденция воспроизводится RCA3 с применением граничных условий глобальных атмосферных моделей климата ECHAM5 и НасЮМЗ, но использование ECHAM5 даёт несколько большее возрастание на водосборе приземной температуры воздуха в будущем. Так, увеличение среднего значения среднегодовой температуры приземного воздуха за тридцатилетний период 2071–2100 гг. составляет 4,5 °C с использованием граничных условий ECHAM5 и 3,52 °C с использованием граничных условий HadCM3 по сравнению с контрольным периодом 1961–1990 гг. Сопоставление с эмпирическими данными на водосборе озера Имандра указывает на их хорошее соответствие, что демонстрирует рис. 1.

Информация о воспроизведении RCA3 внутригодовой изменчивости температуры приземного воздуха содержится на рис. 2. На нем приведены результаты расчетов среднего годового хода температуры приземного воздуха на водосборе озера Имандра, воспроизведенной региональной моделью RCA3 с граничными условиями глобальных моделей климата ECHAM5 и HadCM3, средней за контрольный период 1961–1990 гг. и при реализации сценария IPCC возрастания антропогенных эмиссий парниковых газов и аэрозоля в атмосферу – A1B, средней за период 2071–2100 гг.

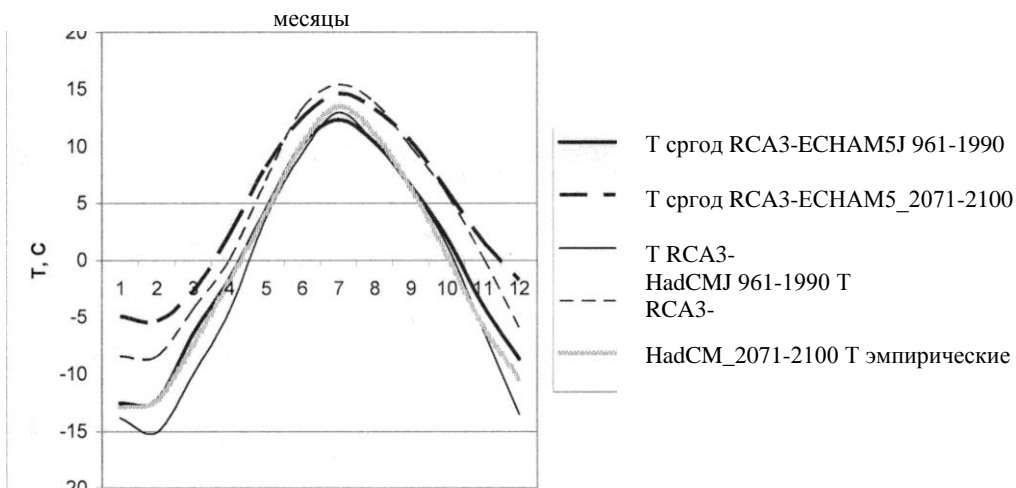


Рис. 2. Средний годовой ход температуры приземного воздуха на водосборе озера Имандра по данным региональной модели RCA3 с граничными условиями модели глобальных моделей климата ЕСНАМ5 и HadCM3 для сценария IPCC - A1B и по эмпирическим данным

Согласно модельным данным, наиболее существенно среднемесячные температуры приземного воздуха на водосборе озера Имандра увеличиваются в зимние месяцы, а наименьшие их изменения происходят в летний период. В плане соответствия модельных данных эмпирическим можно отметить, что хорошее их соответствие для контрольного периода 1961–1990 гг. с января по июнь наблюдается для граничных условий ЕСНАМ5, а в период с июня по сентябрь воспроизведение ЕСНАМ5 несколько занижает среднемесячные значения температуры, а в ноябре и декабре – лишь немного завывает. В летние месяцы, сентябрь и октябрь хорошее соответствие эмпирическим данным наблюдается для граничных условий HadCM3, но с ноября же по апрель модельные расчеты с использованием граничных условий HadCM3 показывают заметное занижение температуры приземного воздуха в от ЕСНАМ%. Диапазон изменений среднемесячных значений температуры приземного воздуха, средних за период 2071–2100 гг., также показан на рис. 2.

Суммируя, можно отметить, что и межгодовая изменчивость, и средний годовой ход температуры приземного воздуха воспроизводятся региональной моделью RCA3 достаточно адекватно, и результаты ее модельных расчетов можно рекомендовать в качестве сценарных оценок будущих изменений температуры приземного воздуха на водосборе озера Имандра.

Сложнее ситуация с воспроизведением моделями климата атмосферных осадков. Это связано главным образом с их большой изменчивостью в пространстве и времени, параметризациями процессов осадкообразования. В ряде работ по Ладожскому озеру [1] отмечалось наличие некоторой доли неопределенности в интерпретации годового хода при воспроизведении атмосферных

осадков. Есть и проблемы корректного сопоставления модельных осадков с эмпирическими данными. Результаты расчетов региональной моделью RCA3 многолетнего хода годовых сумм атмосферных осадков на водосборе озера Имандра за период 1961–2100 гг. представлены на рис. 3.

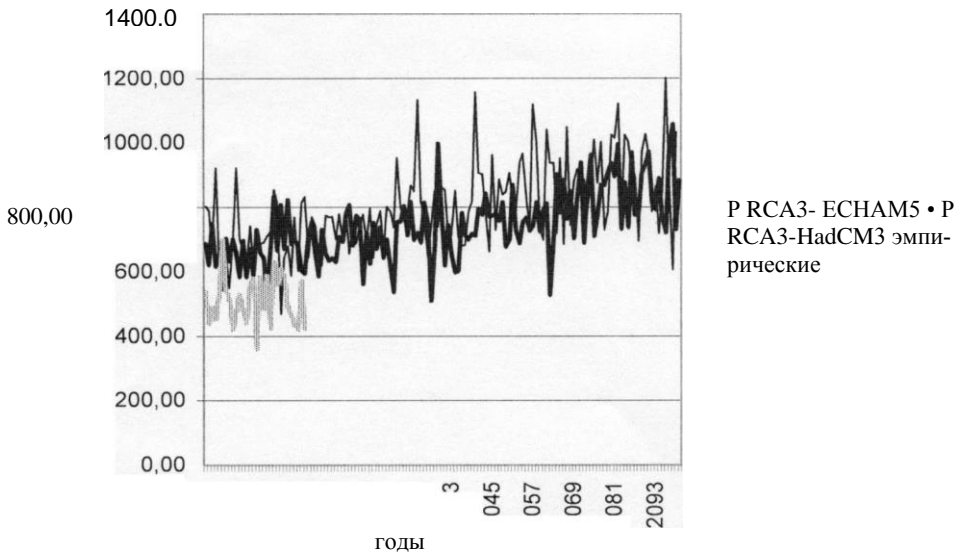


Рис. 3. Многолетний ход годовых сумм атмосферных осадков на водосборе озера Имандра по данным RCA3 с граничными условиями ECHAM5 и HadCM3 с использованием сценария IPCC A1B и по эмпирическим данным

Главное в воспроизведениях RCA3 на водосборе Имандры годовых сумм атмосферных осадков – это наличие тенденции их увеличения. Эта тенденция воспроизводится RCA3 с использованием обоих граничных условий глобальных моделей климата ECHAM5 и HadCM3. Соответствие модельных данных эмпирическим для контрольного периода 1961–1990 гг. удовлетворительно, но при этом воспроизведения RCA3 с обоими граничными условиями завышают годовые суммы атмосферных осадков. В количественном отношении увеличение годовых сумм атмосферных осадков в среднем за период 2071–2100 гг. на водосборе Имандры составляет 28 % с использованием граничных условий ECHAM5 и незначительно больше, 28,5 %, с использованием граничных условий HadCM3 по отношению к контрольному периоду 1961–1990 гг.

Обращают на себя внимание существенные амплитуды межгодовых колебаний годовых сумм осадков, свойственные воспроизведениям RCA3 с обоими граничными условиями.

Рассчитанный средний годовой ход месячных сумм атмосферных осадков, осредненных за два тридцатилетних периода (1961–1990 гг. и 2071–2100 гг.), по данным RCA3 с .., представлен на рис. 4.

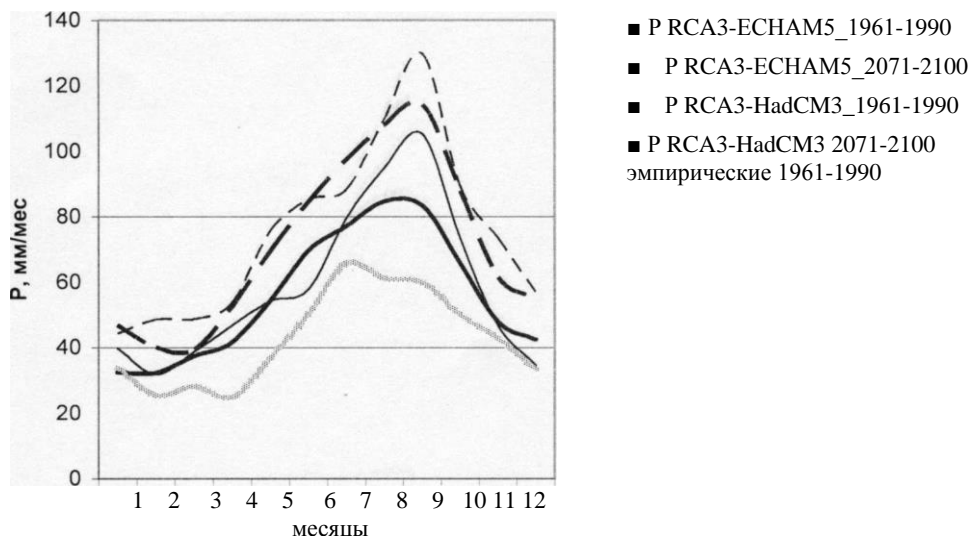


Рис. 4. Средний годовой ход месячных сумм атмосферных осадков, осредненных за два тридцатилетних периода 1961–1990 гг. и 2071–2100 гг., по данным региональной модели RCA3 с граничными условиями глобальных моделей климата ECHAM5 и HadCM3, для сценария IPCC-A1B и по эмпирическим данным на водосборе озера Имандра

Рис. 4 хорошо иллюстрирует значительную долю неопределенности в интерпретации среднего годового хода воспроизводимых атмосферных осадков.

Очевидно, что годовой ход атмосферных осадков воспроизводится RCA3, как, впрочем, и другими моделями климата, значительно менее успешно, чем температуры (рис. 2) и модельные оценки изменений осадков на водосборе озера Имандра в будущем с детализацией изменений их годового хода будут содержать известную долю неопределённости.

Что касается важной составляющей водного баланса (P-E) – эффективного испарения, то выполненный анализ многолетнего хода модельных воспроизведений RCA3 на водосборе Имандры годовых сумм (P-E) также выявляет тенденцию их увеличения, как и АО. Тенденция возрастания годовых сумм (P-E) воспроизводится RCA3 с использованием обоих граничных условий моделей климата ECHAM5 и HadCM3, при этом использование ECHAM5 приводит к несколько большему возрастанию годовых сумм (P-E). Согласно полученным количественным оценкам, увеличение (P-E) на водосборе Имандры при реализации сценария IPCC-A1B довольно значительно и составляет для периода 2071–2100 гг. 30 % с использованием модели климата HadCM3 и 33 % с использованием модели ECHAM5 в качестве граничных условий региональной модели RCA3 по сравнению с контрольным периодом 1961–1990 гг.

Поскольку в трактовке среднего годового хода атмосферных осадков по данным RCA3 содержится доля неопределенности, очевидно, и интерпретации годового хода (P-E) – разности годовых сумм осадков (P) и испарению (E) на

водосборе Имандры с детализацией внутригодовых изменений – тоже свойственна известная степень неопределенности. С учетом вышесказанного всё же заметим, однако, что по данным RCA3 для водосбора Имандры значения (P-E) положительны во все месяцы года, то есть дефицит воды не возникает ни в одном из месяцев года.

Учитывая полученные модельные данные RCA3 по воспроизведению многолетнего и среднего годового хода (P-E), можно отметить, что значения (P-E) на водосборе Имандры при реализации сценария IPCC-A1B возрастают, способствуя тем самым увеличению водных запасов озера Имандра.

Итак, выполненное исследование, проведенное впервые на базе современных моделей климата для водосбора озера Имандра, дало полезную существенную информацию об изменениях температурно-влажностного режима, недостаточно изученного водосбора этого заполярного озера, в том числе в будущем при антропогенных изменениях глобального климата, вызванных возрастанием эмиссий в атмосферу парниковых газов и аэрозоля.

### Литература

1. Румянцев В.А., Ефимова Л.К., Голицын Г.С., Чон В.Ч. Вариации температурного и гидрологического режимов на водосборном бассейне Ладожского озера в XX и XXI вв. по данным современных моделей климата // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана, 2010, № 1, с. 26-34.
2. Bringfelt B., Raisanen J., Gollvik S., Lindstrom G., Graham L.L.P. and Ullerstig A. 2001. The land surface treatment for the Rossby Centre Regional Atmospheric Model – version 2(RCA2). SMHI Reports Meteorology and Climatology 98. 2001. 40 p.
3. Collins M., Tett S.F.B., Copper C. The internal climate variability of HadCM3 a version of the Hadley Centre coupled model without flux Adjustments // clim. Dyn., 2001, vol. 17, p. 61-81.
4. Doscher r., Willen U., Jones C., Tutgensson A., Meier H.E.M., Hansson U. and Graham L.P. 2002. The development of the regional coupled ocean-atmosphere model RCAO // Boreal Environmental Res., 2002, vol. 7, p. 183-192.
5. Jungclaus J.H., Haak H., Latif M., et al. Arctic-Noth Atlantic interactions and multidecadal variability of the meridional overturning circulation // J. of climate, 2004, vol. 18 (19), p. 4013-4031.
6. Houghton J., Ding Y., Gtiggs D.J., Noquer M., van der Linden P.J., Dai X., Maskell K. and Johnson C.A. Climate Change 2001: the Scientific Basis // Cambridge University Press, 2001. 881 p.
7. Nakicenovic N. And coauthors. Emission Scenatios. A special report of Worcing Group III of the Intergovernmental panel on Climate Change // Cambridge University Press, 2000. 599 p.
8. Roeckner E., et al. The atmospheric general circulation model ECHAM5. Part 1: Model description Rep. 349, Max Planck Institute for Meteorology, Hamburg, Germany, 2003.

Данная работа выполнена при поддержке Российского Фонда фундаментальных исследований (РФФИ), проект 10-05-00109.