

ВОЗМОЖНОЕ ИЗМЕНЕНИЕ УВЛАЖНЕНИЯ РАВНИН РОССИИ В СЕРЕДИНЕ XXI ВЕКА

Е.А. Черенкова

Россия, 119017 Москва, Старомонетный пер., д.29, Институт географии РАН, lcherenkova@marketresearch.ru

Реферат. В статье исследовано возможное изменение увлажнения равнин России в первой половине XXI века на основе данных региональной климатической модели ГГО и глобальных климатических моделей проекта СМIP5. Выявлено, что в период 2011-2030 гг. по сравнению базовым периодом (1981-2000 гг.) ожидаются незначительные и статистически незначимые изменения годового и летнего увлажнения. В 2041-2060 гг. изменения увлажнения станут более существенными: практически на всей территории России (согласно данным ансамбля моделей СМIP5) и на большей части ее территории (согласно данным РКМ ГГО). Будет наблюдаться усиление засушливости по отношению к базовому периоду. Полученные на основе анализа модельных расчетов результаты согласуются с тенденцией изменения увлажнения равнин России в ближайшей перспективе, экстраполированной ранее по данным наблюдений.

Ключевые слова. Изменение увлажнения, коэффициент увлажнения Торнтвейта, глобальные климатические модели, региональная климатическая модель, равнины России.

POTENTIAL CHANGE IN HUMIDIFICATION OF RUSSIAN PLAINS BY MID 21ST CENTURY

E.A. Cherenkova

Institute of Geography RAS, 29, Staromonetny per., 119017 Moscow, Russia, lcherenkova@marketresearch.ru

Abstract. A potential change in moistening of Russian plains in the first half of the 21st century is studied using data of the Voeykov Main Geophysical Observatory (MGO, St.Petersburg, Russia) regional climate model (RCM MGO) and the СMIP5 ensemble of global climate models.

It was found out that only small and statistically insignificant changes in the annual and summer humidification are expected in 2011-2030 vs.

basic period (1981-2000). In 2041-2060, changes in humidification will become more substantial practically over entire Russia (as CMIP5 models predicted) and over most of the Russian territory (according to RCM MGO model). Increasing aridity vs. basic period will be observed. The models' outcomes are consistent with the nearest decade trend in moistening in Russian plains obtained through extrapolation of the observation data.

Key words. Change in humidification, Thornthwaite Moisture Index, global climate models, regional climate model, Russian plains.

Введение

Проблема глобального изменения климата приобрела наибольшую актуальность в инструментальный период, и по мере накопления данных пик активности ее обсуждения исследователями из разных стран пришелся на последние 30 лет. Ученые все чаще стали обращаться к теме исследования факторов климатической изменчивости, соотношения естественной и антропогенной составляющей изменений, а также к выявлению механизмов воздействия компонентов системы дальних связей на природные флуктуации климатических изменений (Володин, 2007; Мохов и др., 2008; Мохов и др., 2011; Оценочный доклад..., 2008; Панин и др., 2009; Попова, Шмакин, 2010; Салугашвили, 2013; Сидоренков, Сумерова 2012; Latif et al., 2007; Schlesinger, 1994 и многие другие).

На фоне меняющегося климата увлажнение равнин России в XX – начале XXI века претерпело как периоды устойчивого роста, так и периоды устойчивого понижения увлажнения. Снижение увлажнения равнинной территории России наблюдалось с начала XX века вплоть до середины 30-х годов, а затем начался его постепенный рост. На рубеже XX – XXI века на большей части территории увлажнение вновь начало уменьшаться (Золотокрылин, Черенкова, 2013; Золотокрылин и др., 2014). На основе анализа данных наблюдений с применением эмпирического подхода было сделано предположение, что выявленная смена тенденции увлажнения является откликом на собственные колебания климатической системы Земли и носит не временный, а устойчивый характер на территории всей зерновой зоны России (Золотокрылин, Черенкова, 2013).

Цель данной статьи – попытаться ответить на вопрос о том, когда формирующаяся тенденция увлажнения равнин России может стать устойчивой, а также исследовать региональные особенности будущих изменений увлажнения к середине XXI века на основе результатов численного моделирования климата на региональной и глобальных климатических моделях.

Территория, данные и методы

В климатологии принято определять увлажнение (влагообеспеченность) территории как соотношение между приходной и расходной компонентами водного баланса (количеством выпадающих атмосферных осадков и испаряемостью). Увлажнение численно выражается с помощью коэффициентов увлажнения (КУ). В свою очередь, испаряемость, являющаяся условной величиной, характеризующей максимально возможное (потенциально возможное, не ограниченное запасами воды) испарение в данной местности при существующих атмосферных условиях (Хромов, Мамонтова, 1974), может быть рассчитана аналитическими методами на основе метеорологических параметров. В данной статье при расчете испаряемости предпочтение отдано методу К.Торнтвейта, основанному на применении нелинейной функции температуры воздуха с поправкой на локальную широту местности (Thorntwaite, 1948). Пытаясь избежать повторений, отметим, что в более ранних публикациях, в том числе в настоящем издании, коэффициент увлажнения Торнтвейта (КУТ) неоднократно анализировался автором для различных периодов XX и XXI веков с применением различных массивов данных наблюдений и результатов моделирования, подробно был рассмотрен алгоритм и формула расчета коэффициента, его особенности, преимущества, ограничения, а также проведено сравнение с другими методами получения испаряемости (Черенкова, Шумова, 2007; Черенкова, Титкова, 2009; Черенкова, Золотокрылин, 2010).

Исследования проводились для равнинной территории России, расположенной южнее 60 параллели и ограниченной с запада примерно 30° в.д., с востока – 90° в.д.

Для сравнительного анализа предстоящих изменений увлажнения в заданные периоды XXI века были рассмотрены результаты осреднения по мультимодельному ансамблю климатических моделей общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО) международного проекта CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project), предоставленные сотрудниками ГГО им. А.И. Воейкова в рамках работы над текстом «Второго оценочного доклада Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации» (ОД_РФ-2). Среднегодовое и летние (с мая по август): испаряемости, осадков и КУТ были получены на основе временных рядов среднемесячной приземной температуры воздуха и ежемесячных сумм осадков в периоды 2011-2030 гг. и 2041-2060 гг. по отношению к периоду 1981-2000 гг. Использовались значения в узлах сетки $1^\circ \times 1^\circ$, полученные путем осреднения результатов расчетов по 31 МОЦАО. В качестве данных для базового периода сравнения были взяты данные реанализа MERRA (значения температуры воздуха, Rienecker et al., 2011) и климатологии осадков (Xie and Arkin, 1998).

В статье рассматривается «жесткий» сценарий RCP 8,5 (Representative Concentration Pathways) из семейства современных сценариев антропогенного воздействия на климатическую систему Земли, получивший свое название в соответствии с ожидаемым к 2100г. уровнем радиационного форсинга ($8,5 \text{ W/m}^2$) (WCRP..., 2011).

Дополнительно в те же временные интервалы оценены результаты численного эксперимента на региональной климатической модели (РКМ) Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (ГГО Росгидромета). Региональная модель была создана в конце 90-х годов и с тех пор претерпела множество улучшений, среди которых одним из наиболее важных является увеличение пространственного разрешения по сравнению предыдущей версией модели (Школьник и др., 2006; Школьник и др., 2007).

Региональная модель ГГО (Школьник и др., 2012; Shkolnik et al., 2010) встроена в глобальную модель общей циркуляции атмосферы ГГО T42L25. Обе модели включают описание всех основных физических процессов в атмосфере и на подстилающей поверхности – это конвекция и конденсация, радиационный перенос в облачной атмосфере с учетом суточного хода, горизонтальный и вертикальный турбулентный обмен теплом, влагой и моментом количества движения, гравитационно-волновое сопротивление, тепло- и влагообмен в деятельном слое почвы. В качестве граничных условий на поверхности океана использованы результаты расчетов совместных моделей из проекта СМIP3. Особенностью РКМ является то, что в отличие от глобальных моделей низкого пространственного разрешения, региональная модель с горизонтальным разрешением в 25 км и 25-ю вертикальными слоями учитывает географические особенности территории России с высокой степенью детализации: наличие больших внутренних естественных и искусственных водоемов и рек, играющих существенную роль в формировании локального влагооборота, а также мезомасштабную орографию, влияющую на перемещение воздушных масс над равнинами России. Все это очень важно для воспроизведения пространственно-временной изменчивости регионального климата. В модели использован сценарий увеличения концентрации парниковых газов и аэрозолей в атмосфере SRES A2 по номенклатуре МГЭИК, соответствующий одному из наиболее сильных вариантов потепления климата. Для уменьшения влияния внутренней климатической изменчивости рассмотрены ансамблевые оценки (3 расчета с разными начальными условиями).

В узлах сетки РКМ ГГО по аналогии с ансамблем МОЦАО СМIP5 были рассчитаны средние многолетние годовые и за летний сезон значения климатических характеристик в указанные периоды. В качестве базового периода, относительно которого проанализированы будущие изменения, рассмотрен период 1981 – 2000 гг. Для сравнения «модель-климат» в базовом периоде использованы среднемесячные данные наблюдений температуры воздуха и сумм осадков из климатического архива ВНИИГМИ-МЦД

(www.meteo.ru) (174 метеостанции в пределах территории исследования).

На основе интерполированных методом кригинга данных с помощью ГИС MapInfo были построены карты пространственного распределения среднесезонных: испаряемости, осадков и коэффициента увлажнения в указанные периоды. Статистическая значимость результатов оценивалась с помощью критерия Стьюдента (t -test с уровнем значимости 0,95) для временных рядов разной длины.

Проведенное сравнение температур воздуха, осадков и КУТ в среднем за год, с мая по август по региональной модели с данными наблюдений за базовый период (1981-2000 гг.) показало, что модель воспроизводит несколько заниженные по сравнению с наблюдаемыми значения приземной температуры на всей исследуемой территории. Наиболее заметные погрешности РКМ обнаруживаются на азиатской части территории. В летний сезон 1981-2000 гг. модель воспроизводит заниженные по сравнению с наблюдаемыми значения приземной температуры на европейской части территории исследования (до 10%) и до 25-30% на азиатской части. Занижение средней годовой изменчивости температуры немного больше, особенно на территории, близкой к Алтаю (в отдельных точках достигает 50-60%). Модель завышает суммы годовых осадков и осадков с мая по август вблизи горных массивов – в Предуралье (до 25-40%), а отклонения от данных наблюдений на Алтае еще больше. На остальной территории осадки занижены в пределах 7-10%. Аналогичные оценки справедливы в отношении коэффициента увлажнения, поскольку его изменения определяются в большей степени вариациями осадков. С учетом выявленных недостатков воспроизведения моделью рассмотренных показателей в работе оцениваются не их средние значения, а возможные изменения и тенденции.

Определенное внимание было уделено исследованию воспроизведения климатическими моделями пространственного распределения границ зон увлажнения. Для этого была построена карта-схема пространственного распределения изолиний годового

КУТ со значениями 0,35, 0,5, 0,65, 0,8 и 1,0, являющихся северными границами соответственно аридной, семиаридной, сухой субгумидной, субгумидной, влажной субгумидной зон увлажнения (World..., 1992). Необходимо отметить, что пространственное изменение местоположения границ зон от периода к периоду по данным РКМ ГГО в статье не рассматривается по причине того, что модель еще недостаточно хорошо воспроизводит зоны увлажнения, отображая мозаичное распределение границ зон увлажнения.

Анализ результатов

Обратимся к исследованию прогнозируемой в первой половине XXI века динамики увлажнения. Как показано на рисунке 1а, изменения годового увлажнения в период 2011-2030 гг. по отношению к 1981-2000 гг. по данным ансамбля МОЦАО имеют пространственно неоднородную структуру. В центре и на северо-западе европейской части территории исследования ожидается незначительное (до 1%) увеличение увлажнения, а на территории Южного Урала – до 3%. На юге европейской части возможное уменьшение годового увлажнения составит 4%, а на востоке азиатской территории оно напротив возрастет до 5%. Согласно ансамблевым оценкам, в летний сезон 2011-2030 гг. на территории будет доминировать уменьшение увлажнения: в среднем до 3-4%, а на юге европейской части России – до 7% (рис.1б).

По данным ансамбля МОЦАО в период 2041-2060 гг. почти на всей территории (за исключением небольшого района на юго-востоке) будет наблюдаться иссушение, как в целом за год, так и с мая по август, а изменения ожидаются больше, чем в предыдущий период. Прослеживается широтное распределение изменений, возрастающих с севера на юг. В северной половине исследуемой территории к середине XXI века годовое увлажнение уменьшится на 5-6%, а в летний сезон – на 5-10%. На юге европейской России годовое увлажнение может понизиться до 15%, летнее – до 19%, а на юге Западной Сибири – до 12% (рис.1в, г).

Таким образом, сценарий изменений увлажнения равнин России к середине XXI века по данным ансамбля МОЦАО можно отнести к аридному типу.

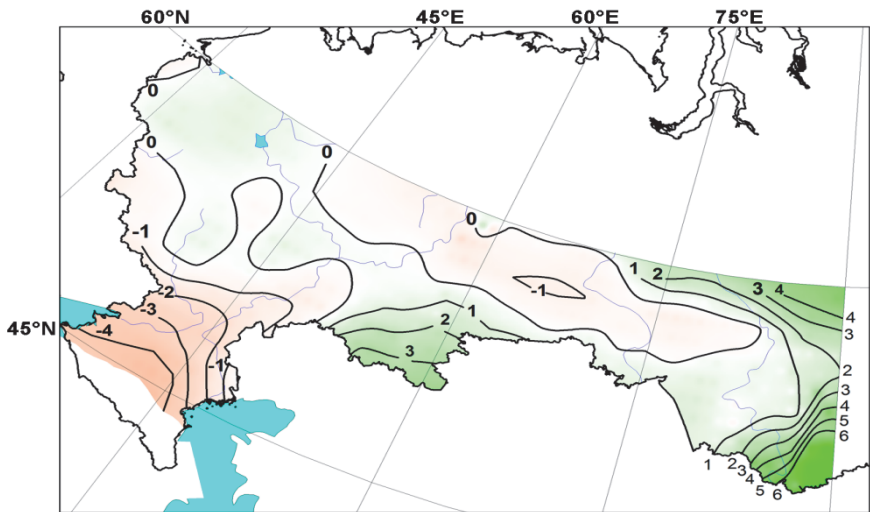


Рис. 1а.

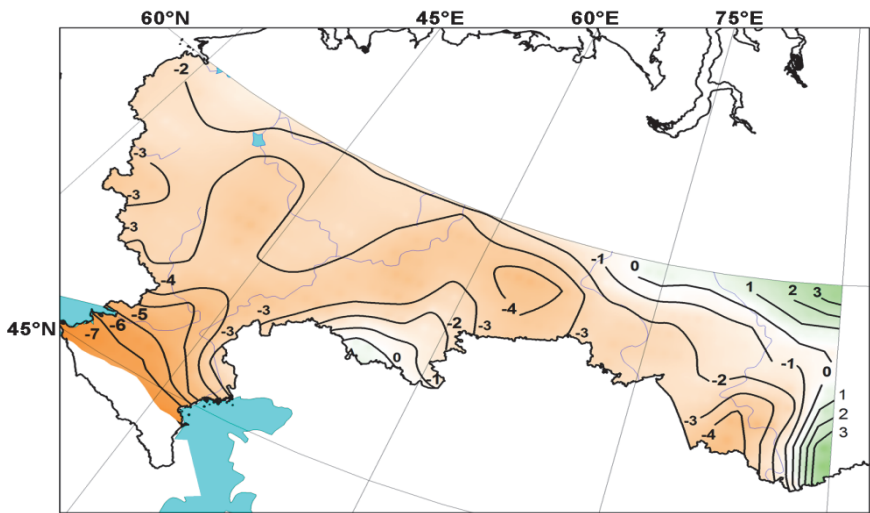


Рис. 1б.

Рис. 1 а, б. Изменение увлажнения (%) по ансамблю 31 МОЦАО в период 2011-2030 гг. по сравнению с 1981-2000 гг.: а) годового и б) с мая по август. Отрицательные значения означают уменьшение увлажнения, а положительные – его рост. Области статистически значимых результатов показаны штриховкой.

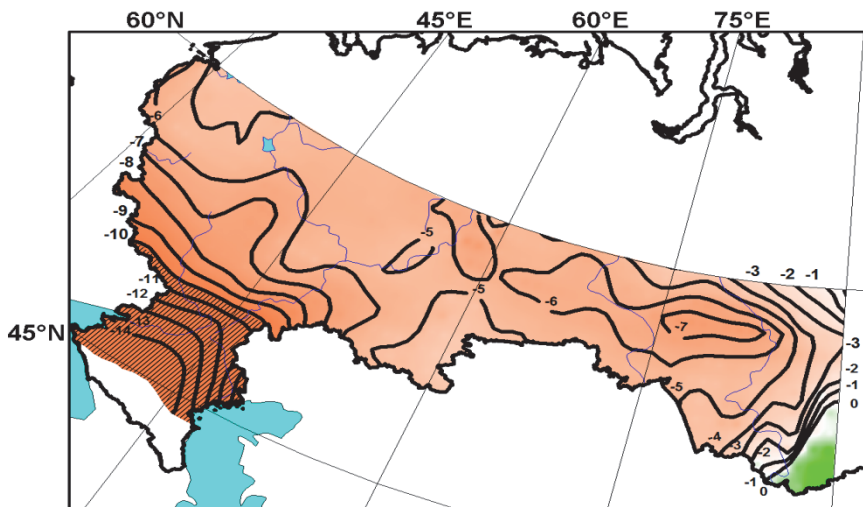


Рис. 1в.

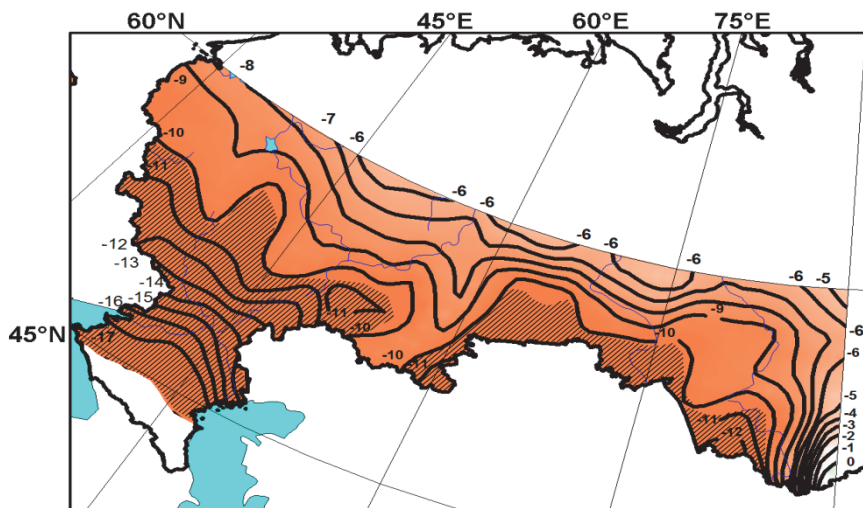


Рис. 1г.

Рис. 1 в, г. Изменение увлажнения (%) по ансамблю 31 МОЦАО в период 2041-2060 гг. по сравнению с 1981-2000 гг.: в) годового и г) с мая по август. Отрицательные значения означают уменьшение увлажнения, а положительные – его рост. Области статистически значимых результатов показаны штриховкой.

Смещение северных границ зон увлажнения, показанное на рисунке 2, позволяет наглядно оценить расстояние, на которое могут переместиться границы по данным ансамбля МОЦАО в периоды 2011-2030 гг. и 2041-2060 гг. Отметим, что в первый период местоположение границ почти не изменится, а во второй период границы предположительно сдвинутся к северу на всей территории исследования. Величина ожидаемого смещения границ зон увлажнения (кроме аридной зоны) к середине XXI века будет увеличивается с юга на север на европейской части территории от 50 км для семиаридной зоны увлажнения до 150-200 км для влажной субгумидной зоны и на азиатской части – от 30 км до 100-110 км. Северная граница аридной зоны в период 2041-2060 гг. может подвинуться приблизительно на 70-80 км в западном направлении.

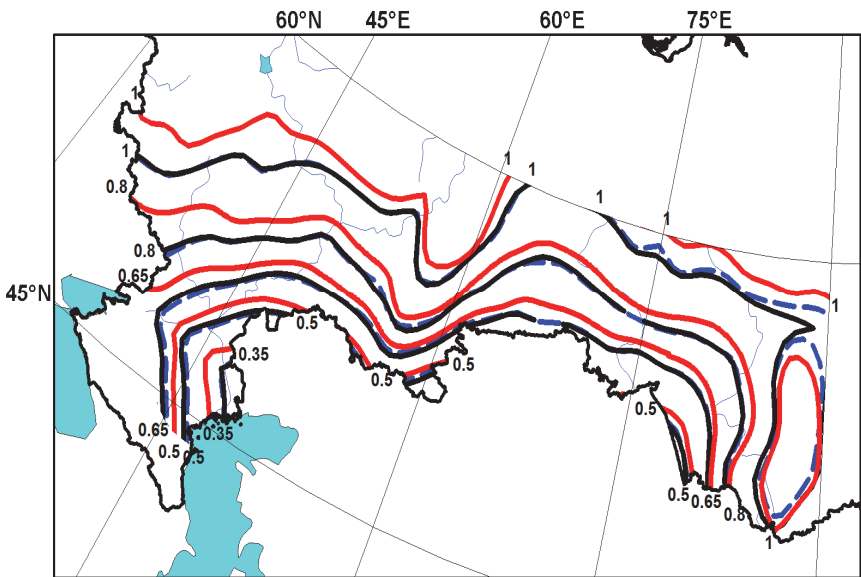


Рис. 2. Пространственное распределение северных границ зон увлажнения по данным ансамбля МОЦАО в периоды: 1981-2000 гг. (синяя пунктирная линия), 2011-2030 гг. (черная сплошная линия) и 2041-2060 гг. (красная сплошная линия).

Результаты численного эксперимента на региональной модели демонстрируют изменение увлажнения исследуемой территории к середине текущего столетия по более гумидному типу. Пространственное распределение годовых и сезонных изменений имеет сходную структуру. В период 2011-2030 гг. по сравнению с 1981-2000 гг. будет преобладать увеличение увлажнения: на севере и востоке европейской части территории рост годового увлажнения может составить до 3-5%, летнего – до 5-10%, на юге: годового и летнего до 10%. В азиатской части увлажнение вырастет в среднем за год на 3-5%, в летний период на 4-8%, а в Омской области – до 11% и 15% соответственно (рис. 3а и 3б). Демонстрация слишком больших изменений на востоке территории, возможно, связана с особенностями воспроизведения РКМ осадков вблизи горных массивов. По данным РКМ ГГО снижение увлажнения прогнозируется в центре ЕЧР (годового до 5-7% и летнего до 10%) и на территории Южного Урала (годового до 2% и летнего до 7-8%).

Как видно из рисунков 3в и 3г, согласно сценарному прогнозу РКМ ГГО в период 2041-2060 гг. на исследуемой территории будет преобладать годовое и летнее уменьшение увлажнения. Иссущение не только продолжится в центральной европейской части территории, но и распространится во всех направлениях. При этом снижение увлажнения за год будет меньше, чем в предыдущий период (2-4%), зато увеличится иссущение летом (до 13-15% в южной части ЕТР). Рост увлажнения продлится только на севере ЕЧР, но замедлится до 1-3% по сравнению с периодом 2011-2030 гг. Годовое увлажнение азиатской части территории понизится на 3-5%, летом может стать суше на 5-10%. Рост годового и сезонного увлажнения на Алтае сохранится.

Таким образом, сценарий РКМ ГГО изменения увлажнения равнинной территории России в первой половине XXI века можно отнести к аридно-гумидному типу, при котором увлажнение зернового пояса европейской части (в особенности летнее увлажнение) будет развиваться согласно аридной составляющей сценария.

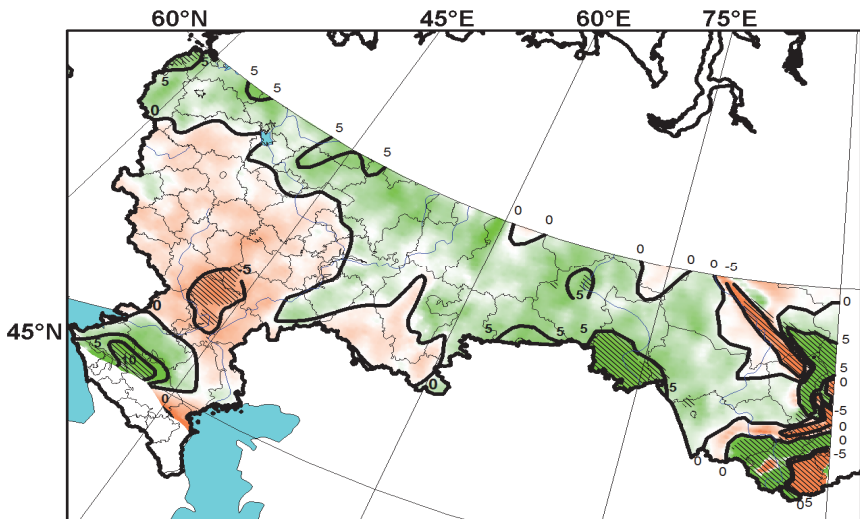


Рис. 3а.

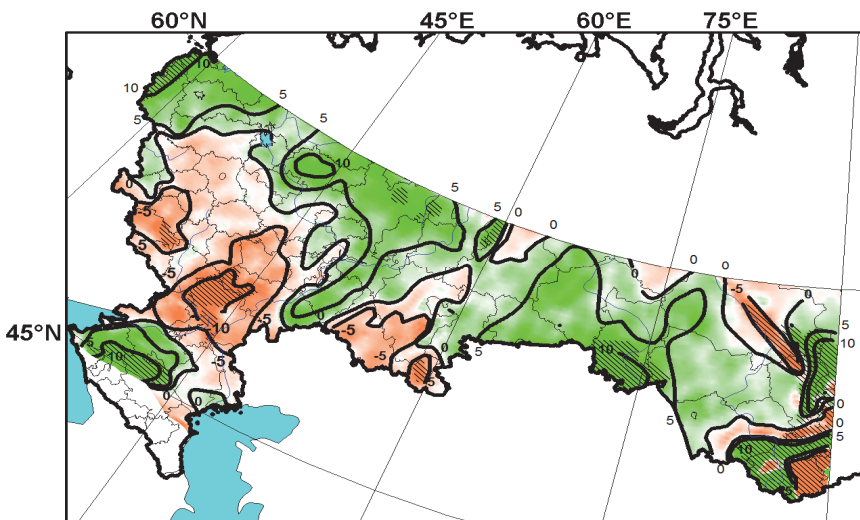


Рис. 3б.

Рис. 3 а, б. Изменение увлажнения (%) по данным РКМ ГГО в период 2011-2030 гг. по сравнению с 1981-2000 гг.: а) годового и б) с мая по август.

Отрицательные значения означают уменьшение увлажнения, а положительные – его рост. Области статистически значимых результатов показаны штриховкой.

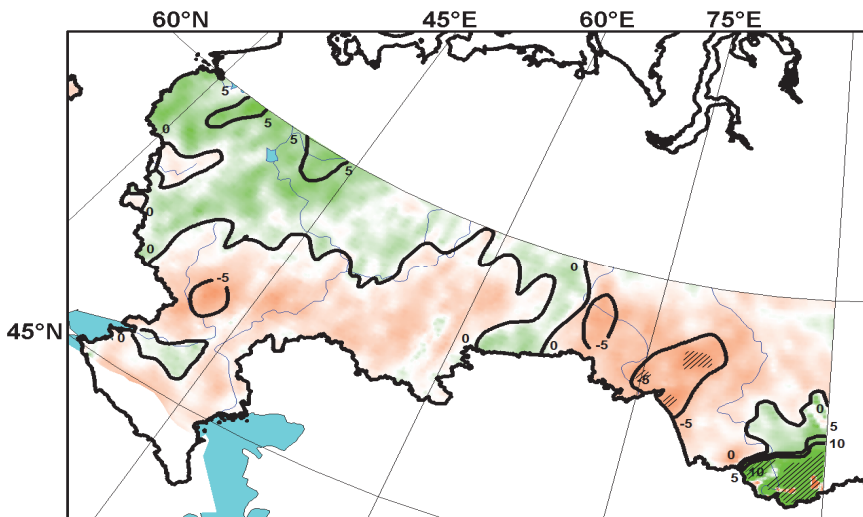


Рис. 3в.

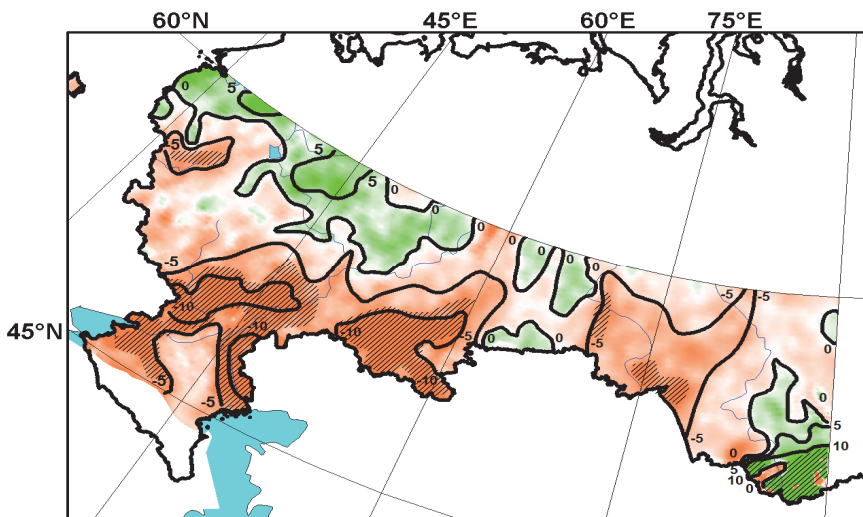


Рис. 3г.

Рис. 3 в,г. Изменение увлажнения (%) по данным РКМ ГГО в период 2041-2060 гг. по сравнению с 1981-2000 гг.: в) годового и г) с мая по август.

Отрицательные значения означают уменьшение увлажнения, а положительные – его рост. Области статистически значимых результатов показаны штриховкой.

Заключение

Анализ результатов численного моделирования на региональной и глобальных климатических моделях позволяет сделать вывод о том, что в период 2011-2030 гг. по сравнению с 1981-2000 гг. ожидаются незначительные и статистически незначимые изменения годового и летнего увлажнения равнин России. К середине XXI века изменения увлажнения возрастут, практически на всей территории (согласно данным ансамбля МОЦАО) и на большей части территории (согласно данным РКМ ГГО) будет наблюдаться усиление засушливости, которое может превысить 10%. Особенно это касается юга европейской части России, где в летний сезон на обширной территории предполагается статистически значимое уменьшение увлажнения.

Сценарный прогноз изменений увлажнения равнин России к середине XXI века по данным ансамбля МОЦАО можно отнести к аридному типу. Согласно данным РКМ ГГО изменение увлажнения в первой половине XXI века будет проходить по смешанному аридно-гумидному сценарию, при котором увлажнение зернового пояса европейской части (в особенности летнее увлажнение) будет развиваться согласно аридной составляющей.

Полученные на основе анализа модельных расчетов результаты вполне согласуются с тенденцией изменения увлажнения равнин России в ближайшей перспективе, экстраполированной ранее по данным наблюдений. Формирующаяся в настоящее время тенденция к середине XXI-го века может стать устойчивой.

Благодарности

Автор благодарит профессора А.Н. Золотокрылина за консультации в процессе подготовки статьи и И.М. Школьника за предоставление данных РКМ ГГО. Работа выполнена при финансовой поддержке Программы ОНЗ-13 РАН (Проект «Опустынивание засушливых земель юга России в контексте изменений климата»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Володин Е.М. 2007. Математическое моделирование общей циркуляции атмосферы. ИВМ РАН. 155 с.

2. Золотокрылин А.Н., Черенкова Е.А. 2013. Тенденции увлажнения зернового пояса России в начале XXI века. – Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. –М.: ФГБУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН». Том 25. (В печати).
3. Золотокрылин А.Н., Титкова Т.Б., Черенкова Е.А. 2014. Увлажнение засушливых земель европейской территории России: настоящее и будущее. Аридные экосистемы. (В печати).
4. Мохов И.И., Смирнов Д.А., Карпенко А.А. 2011. Связь изменений глобальной приповерхностной температуры с различными естественными и антропогенными факторами: оценки на основе данных наблюдений. Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. М.: ФГБУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН». Том XXIV. С. 71-82.
5. Мохов И.И., Семенов В.А., Хон В.Ч., Латиф М., Рекнер Э. 2008. Связь аномалий климата Евразии и Северной Атлантики с естественными вариациями Атлантической термохалинной циркуляции по долгопериодным модельным расчетам. Доклады РАН. Т.419, №.5. С. 687-690.
6. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. 2008. Т. I. Изменения климата. –М.: Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). 227 с.
7. Попова В.В., Шмакин А.Б. 2010. Региональная структура колебаний температуры приземного воздуха в северной Евразии во второй половине XX – начале XXI веков. Известия РАН. Физика атмосферы и океана. Т. 46, № 2. С. 15-29.
8. Панин Г.Н., Соломонова И.В., Выручалкина Т.Ю. 2009. Климатические тенденции в средних и высоких широтах Северного полушария. Водные ресурсы. Т. 36, №6. С. 743-756.
9. Салугашвили Р.С. 2013. Дальние связи колебаний температуры воздуха Европейской территории России в конце XX – начале XXI века. Метеорология и гидрология. №1. С. 57-66.
10. Сидоренков Н.С., Сумерова К.А. 2012. Геодинамические причины декадных изменений климата. Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. № 348. С. 195-214.
11. Хромов С.П., Мамонтова Л.И. 1974. Метеорологический словарь. –Л.: Гидрометеоиздат. 568 С.
12. Черенкова Е.А., Золотокрылин А.Н. 2010. Реакция границ зон увлажнения равнин России на изменения климата. Метеорология гидрология. №12. С. 17-25.
13. Черенкова Е.А., Титкова Т.Б. 2009. Изменение увлажнения суббореальных равнинных ландшафтов России в условиях глобального потепления. Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. –М.: ФГБУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН». Т. 22. С. 66-80.
14. Черенкова Е.А., Шумова Н.А. 2007. Испаряемость в количественных показателях климата. Аридные экосистемы. Том 13, № 33-34. С. 57-69.
15. Школьник И.М., Мелешко В.П., Ефимов С.В., Стафеева Е.Н. 2012. Изменения экстремальности климата на территории Сибири к середине XXI века: ансамблевый прогноз по региональной модели ГГО. Метеорология и гидрология. № 2. С. 5-23.

16. Школьник И.М., В.П. Мелешко, В.М. Катцов. 2007. Региональная климатическая модель ГГО для территории Сибири. *Метеорология и Гидрология*. №6. С. 5-17.
17. Школьник И.М., Мелешко В.П., Катцов В.М. 2006. Возможные изменения климата на европейской территории России и сопредельных территориях к концу XXI века: расчет с региональной моделью ГГО. *Метеорология и гидрология*. №3. С. 5-16.
18. Latif M., Böning C.W., Willebrand J., Biastoch A., Alvarez-Garcia F., Keenlyside N., Pohlmann H. 2007. Decadal to Multidecadal Variability of the Atlantic Ocean: Mechanisms and Predictability, in *Ocean Circulation: Mechanisms and Impacts – Past and Future Changes of Meridional Overturning* (eds A. Schmittner, J. C. H. Chiang and S. R. Hemming). American Geophysical Union, Washington, D. C.
19. Thornthwaite C.W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geograph. Rev.* V. 38, №1. P. 55-94.
20. Rienecker, M.M., Suarez M.J., Gelaro R., Todling R., Bacmeister J., Liu E., Bosilovich M.G., Schubert S.D., Takacs L., Kim G.-K., Bloom S., Chen J., Collins D., Conaty A., da Silva A. et al. 2011. MERRA: NASA's Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications. *J. Climate*. 24. P. 3624-3648.
21. Schlesinger M.E. 1994. An oscillation in the global climate system of period 65-70 years. *Nature*. V. 367. P. 723-726.
22. Shkolnik I.M., Nadyozhina E.D., Pavlova T.V., Molkentin E.K., Semioshina A. A. 2010. Snow cover and permafrost evolution in Siberia as simulated by the MGO regional climate model in the 20 and 21 centuries. *Environmental Research Letters*. V. 5, №1. P. 1-8.
23. Xie P., Arkin P.A. 1998. Global monthly precipitation estimates from satellite-observed outgoing-longwave radiation. *J. Climate*. V. 11. P. 137–164.
24. WCRP Coupled Model Intercomparison Project – Phase 5. 2011. Special Issue of the CLIVAR Exchanges Newsletter. No. 56. Vol. 15. No. 2.
25. World Atlas of Desertification. 1992. UNEP. London: Edward Arnold. 63 P.