

ТЕНДЕНЦИИ УВЛАЖНЕНИЯ ЗЕРНОВОГО ПОЯСА РОССИИ В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА

А.Н. Золотокрылин, Е.А. Черенкова***

Россия, 109017 Москва, Старомонетный пер., д.29, Институт географии РАН.
*azolotokrylin1938@yandex.ru, **lcherenkova@marketresearch.ru

Реферат. По данным гидрометеорологических наблюдений Росгидромета исследовано изменение годового и летнего увлажнения зернового пояса в период 1936-2011 гг. Установлено, что во второй половине 1930-х годов увлажнение территории было наименьшим за весь период инструментальных наблюдений. Медленное повышение увлажнения (гумидизация климата) наблюдалось вплоть до 1990-х годов в западной части зернового пояса и примерно на 5 – 10 лет дольше в его восточной (европейской) части.

Предложена гипотеза, что в начале XXI века возможна смена тенденции увлажнения, по крайней мере, в европейской части зернового пояса России. Признаки этой смены уже устойчивы в его западной части и все чаще отмечаются в восточной части.

Ключевые слова. Региональное изменение, климат, коэффициент увлажнения Торнтвейта, гидротермический коэффициент Селянинова.

MOISTENING TENDENCIES IN GRAIN-GROWTH ZONE OF RUSSIA IN BEGINNING OF 21ST CENTURY

A.N. Zolotokrylin, E.A. Cherenkova***

Institute of Geography, RAS, 29, Staromonetnyi per., 119017 Moscow, Russia.
*azolotokrylin1938@yandex.ru, **lcherenkova@marketresearch.ru

Abstract. Changes of the annual and summer moistening in the grain-growth zone in 1936-2011 were studied using observational data from the weather stations of Russia. For the instrumental observations' period, it was found that moistening was the lowest in the second half of the 1930s. Slow increase in moisture (climate humidization) was observed up to 1990 in the western grain-growth zone. In the eastern (European) part it sustained 5 – 10 years more. Possibility of a change in the moistening tendency in the beginning of 21st century, at least in the

European part of the grain-growth zone of Russia, is hypothesized. Symptoms of this shift are stable in the western part, and are found more and more often in the eastern part.

Key words. Regional climate, change, moisture Thornthwaite index, Selyaninov hydrothermal coefficient.

Введение

Увлажнение в климатологическом смысле – соотношение между количеством выпадающих осадков и испаряемостью за год. Под летним увлажнением понимается отношение суммы осадков к испаряемости в сезон активной вегетации. Линейные тренды годового и летнего увлажнения преобладающей части зернового пояса были положительными за период с середины 1970-х годов – начало XXI в. (Сиротенко и др., 2007; Оценочный доклад...Т.2, 2008). Увеличение увлажнения подтвердили также его изменения в период 1976-2005 гг. по сравнению с периодом 1946-1975 гг. (Титкина и др., 2011). Повышение увлажнения не распространилось только на северо-западную часть зернового пояса (нечерноземные и часть центрально-черноземных районов Европейской территории России, ЕТР), где в последние десятилетия доминировал отрицательный тренд увлажнения.

Новые территориальные особенности изменения увлажнения были выявлены в работах (Черенкова, Золотокрылин, 2010; Золотокрылин, Черенкова, 2006, 2011). Авторы, дополнив период исследования данными с 1936г., пришли к выводу, что увлажнение, как в годовом, так и сезонном масштабе в среднем в полной мере медленно повышалось во всем зерновом поясе с 1936г. до начала 1990 годов, т.е. на протяжении более 50 лет. Затем в северо-западной части зернового пояса возникла тенденция уменьшения годового увлажнения. В то же время в остальной части пояса по направлению к востоку (часть Центрального Черноземья, Поволжье, Заволжье, Предуралье, Западная Сибирь) смены положительной тенденции увлажнения на отрицательную не было обнаружено и в начале XXI в. Важно отметить, что изменение летнего увлажнения не противоречило в общем положительной тенденции годового, но оно было более неоднородным на территории.

Повышение увлажнения происходило на фоне увеличения общего количества осадков в Европе и роста интенсивности экстремальных осадков за последние 60 лет с изменением их структуры: они перегруппировались из преимущественно односуточных в многосуточные (Золина, 2011). Также было отмечено общее повышение водности рек почти во все сезоны за последние 30 лет (Оценочный доклад...Т.2, 2008). Увеличение увлажнения нашло отражение в росте климатообусловленной урожайности (Павлова, Сиротенко, 2012) и восстановлении естественной степной растительности (Сажин и др., 2006; Новикова и др., 2011).

Возникает вопрос: можно ли рассматривать зафиксированное повышение увлажнения как временное или оно является признаком потепления регионального климата? Если данное увеличение увлажнения имеет флуктуационный характер, то возрастает вероятность возможной смены тенденции увлажнения зернового пояса в скором времени. Сигналом этой смены стали природные последствия засух 2010 и 2012 гг.

Методически ответ на данный вопрос целесообразно готовить, используя районирование территории по однородным колебаниям увлажнения (Черенкова, Золотокрылин, 2010). Дополнение временных рядов показателей увлажнения новыми данными и оценки его изменений в заданных районах поможет составить заключение по поставленному вопросу. Таким образом, данная статья направлена на изучение вопроса о возможной смене тенденции увлажнения зернового пояса.

Методы и материалы

Материалы включают средние месячные данные метеорологических наблюдений за температурой воздуха и осадками из климатического архива Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – Мирового центра данных (ВНИИГМИ-МЦД). Исследование проведено для периода, начиная с 1936г., когда наземная наблюдательная сеть метеостанций России существенно расширилась и получаемые результаты стали более точными.

Как известно, вычисляемые по данным метеостанций коэффициенты увлажнения (отношение годовой суммы осадков в мм к годовой испаряемости в мм) отличаются друг от друга способами расчета испаряемости. В данной работе испаряемость вычислена по методу К.Торнтвейта (Thorntwaite, 1948):

$$E_{0\text{Торнтвейт}} = 1,6 (10T / I)^a,$$

где $E_{0\text{Торнтвейт}}$ – испаряемость, см. мес.⁻¹;

T – средняя месячная температура воздуха, °С;

$a = f(I)$, где I – тепловой индекс, учитывающий поправку на широту. Для расчета годовой испаряемости учитываются только месяцы с положительной средней месячной температурой воздуха.

Значения коэффициента увлажнения Торнтвейта (КУТ) получены по формуле:

$$\text{КУТ} = P_{I-XII} / E_0,$$

где P_{I-XII} – годовая сумма осадков (мм), E_0 – суммарная годовая испаряемость по методу Торнтвейта (мм).

Для характеристики летнего увлажнения был рассмотрен гидротермический коэффициент Г.Т.Селянинова (ГТК) (Селянинов, 1928). Значения ГТК вычисляются за период с активными температурами воздуха по формуле:

$$\text{ГТК} = \Sigma P_{>10^\circ\text{C}} / 0,1 \Sigma T_{>10^\circ\text{C}},$$

где $T_{>10^\circ\text{C}}$ – сумма средних суточных температур воздуха за период с температурами воздуха выше 10°С, P – суточная сумма осадков за тот же период.

В данной работе мы стремились выделить районы, где колебания увлажнения на территории равнин России были бы сходными. Для выявления относительно однородных групп наблюдений – временных рядов, отражающих тенденцию ежегодного изменения КУТ в период 1936-2011 гг., применен кластерный анализ методом k -средних (Fraley, Raftery, 2002). В качестве меры сходства/различия использовано евклидово расстояние. Качество выполненного районирования определялось по методике расчета относительного показателя качества районирования, характеризующего уменьшение погрешности определения среднего при делении территории на районы (Мирвис, 1996). Полученное в работе значение показателя, равное 0,64,

свидетельствует о достаточно хорошем качестве выполненного районирования.

На исследуемой территории было выделено четыре района-кластера относительно однородных колебаний годового увлажнения. Необходимо отметить, что выявленные границы районов не являются строго фиксированными. Применение других методов математической статистики может привести к получению других, но достаточно близких результатов. Описанное здесь разбиение характеризуется наибольшими коэффициентами корреляции каждого элемента кластера с его центром (рис.1), причем все коэффициенты статистически значимы на уровне 0,95.

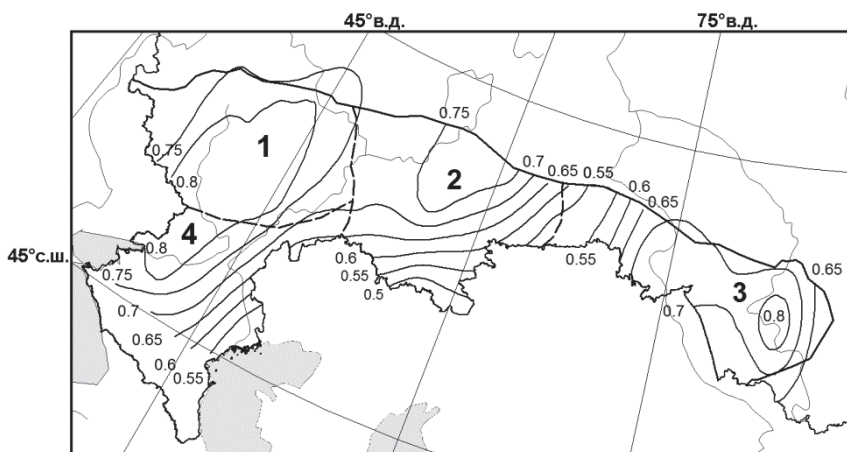


Рис. 1. Границы районов 1, 2, 3, 4 с однородными изменениями коэффициента увлажнения Торнтвейта (КУТ) в период 1936-2011 гг. (пунктирная линия). Сплошными линиями показаны коэффициенты корреляции КУТ с центрами районов.

Для определения периодов различной скорости изменения годового и летнего коэффициентов увлажнения были построены нелинейные тренды коэффициента увлажнения в каждом районе за период 1936-2011 гг. Дополнительно были определены средние скорости изменений увлажнения, соответствующие линейному тренду в каждом районе за периоды 1936-1990 и 1991-2011 гг., чтобы получить довод в пользу гипотезы смены тенденции увлажнения в последней декаде XXI в. на ЕТР.

Результаты и обсуждение

Включение в рассмотрение новых наблюдений за температурой и осадками вызвало подвижки границ районов с однородными изменениями увлажнения. Однако эти изменения были не столь существенными, поэтому было решено ими пренебречь. В итоге уточненное районирование коэффициента увлажнения осталось таким же, как прежде: три района на ЕТР (1, 2, 4) и один (3), находящийся на юге Западной Сибири и включающий Алтайский край (рис.1).

На рис. 2 приведены осредненные по районам межгодовые изменения годового коэффициента увлажнения, аппроксимированные полиномиальными трендами 3-го порядка. Для уменьшения разброса на графике приведены пятилетние средние значения коэффициента увлажнения, а прерывистыми линиями показаны интервалы их среднеквадратического отклонения от среднего. Как видно из рис. 2а, зафиксированная ранее в 1-м районе тенденция уменьшения увлажнения после 1990-х годов продолжала сохраняться (пятилетние средние значения вышли за пределы диапазона среднеквадратического отклонения). Во 2-м и 4-м районах тенденция уменьшения увлажнения обозначилась на рубеже веков, при этом пятилетние средние значения остались в коридоре среднеквадратического отклонения (рис. 2б и 2г). Особенностью поведения увлажнения в 3-м районе стало его падение в последние годы. Таким образом, возникшая вначале тенденция уменьшения увлажнения в северо-западной части зернового пояса выразилась восточнее и южнее (районы 2 и 4) с запаздыванием примерно в 5-10 лет. И к концу первой декады XXI в. тенденция уменьшения увлажнения проявилась в азиатской части зернового пояса (3 район). Отмеченный эффект запаздывания смены тенденции увлажнения в восточном направлении остается пока необъясненным. Можно лишь предположить, что увеличение такого запаздывания от более западных районов к более восточным не случайно и, прежде всего, связано с ослаблением влияния Атлантики к востоку. По-видимому, тенденция постепенной аридизации, сформировавшаяся в 1, 2 и 4-ом районе в 90-годах прошлого века, в конце концов, распространится и на 3-й район.

Дополнительно мы оценили изменения КУТ по данным отдельных длиннорядных метеостанций, ведущих наблюдения на территории исследования с начала XX-го века. Полученные результаты подтвердили предположение о том, что во второй половине 30-х годов XX-го века увлажнение зернового пояса России было наименьшим за весь период инструментальных наблюдений.

Межгодовые изменения увлажнения территории и соответственно смена тенденции в большей степени определяются вариациями осадков, чем испаряемости (Черенкова, Золотокрылин, 2010). Исследования многолетних колебаний годовых осадков на ЕТР показали преобладание масштаба с периодами 10-30 лет, причем на севере и востоке равнины доминируют долгопериодные колебания, а на юге вклад короткопериодных и долгопериодных примерно равен (Попова, 1997). Характерные масштабы (первые десятки лет), обусловленные изменением форм циркуляции атмосферы, были выявлены в многолетнем режиме температуры воздуха, величины осадков и стока бассейна Волги (Переведенцев и др., 2000). Эти масштабы примерно соответствуют продолжительности фаз Атлантической мультидекадной осцилляции (АМО) и Северо-Атлантического колебания (САК). Но они все же короче выявленных в межгодовом ходе увлажнения положительной тенденции продолжительностью 50-60 лет в 1, 2 и 3 районах (рис 2а, б, в).

Доводом в пользу гипотезы смены фазы гумидизации зернового пояса ЕТР на фазу аридизации служат коэффициенты линейного тренда, вычисленные в заданные периоды. Как видно из таблицы, в 1936-1990 гг. тренды КУТ были положительны во всех рассмотренных районах. Если принять в качестве меры существенности тренда долю дисперсии климатической переменной, объясняемой трендом, 15% и более, то гумидизация климата достоверно проявилась на ЕТР в 1936-1990 гг. В период 1991-2011 гг. знак тренда изменился в 1-м, 2-м и 4-м районе, но остался положительным в 3-м районе. Несущественность трендов КУТ во второй период вынуждает искать дополнительные доводы в пользу гипотезы.

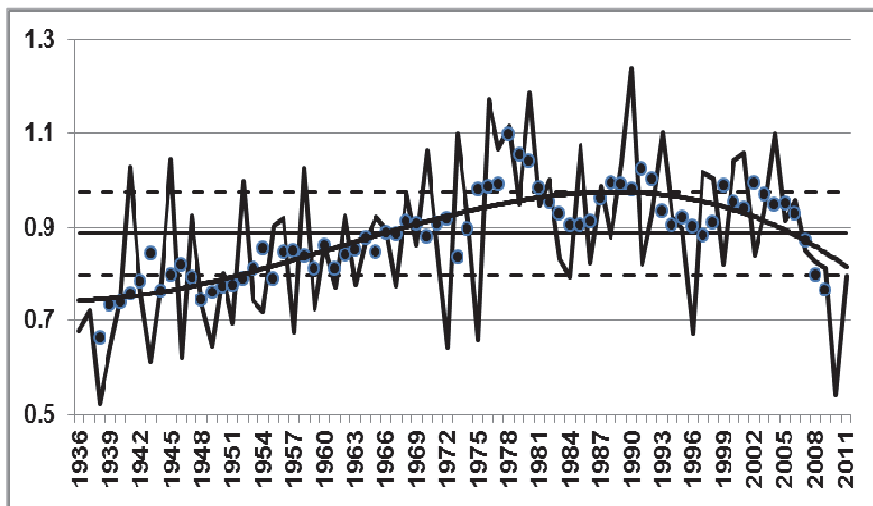


Рис. 2а.

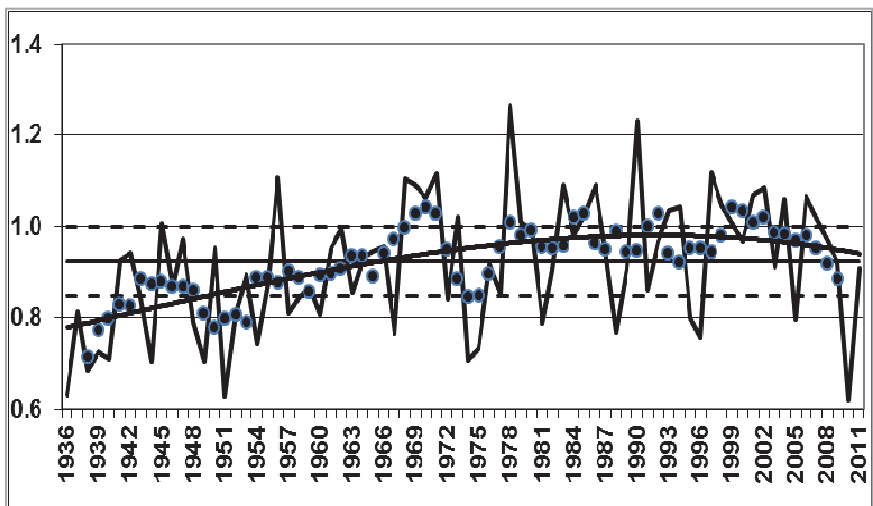


Рис. 2б.

Рис. 2 а,б. Изменения КВТ, осредненные по районам однородных колебаний: а) 1-му, б) 2-му в период 1936-2011 гг. и нелинейные тренды в районах. Точками показаны средние за 5 лет значения КВТ, сплошной прямой линией и пунктирными линиями отмечены среднее значение и диапазон среднеквадратического отклонения, вычисленные по средним КВТ за пятилетие.

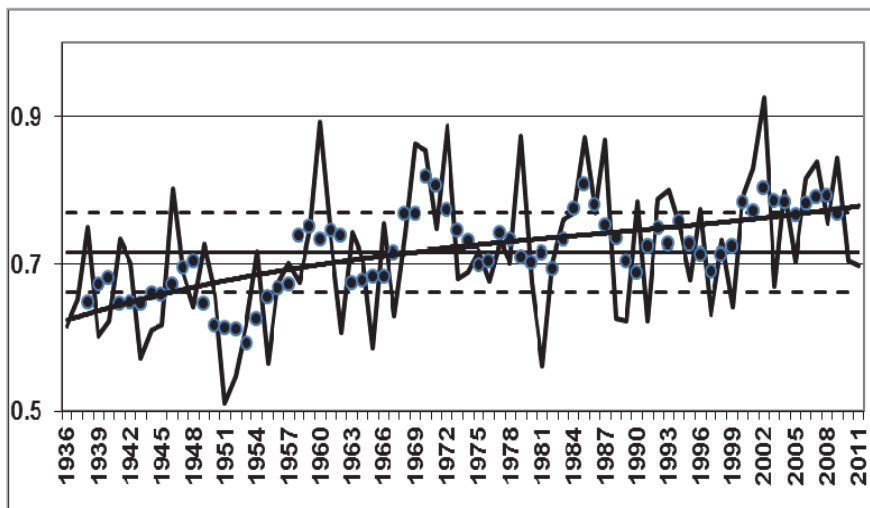


Рис. 2в.

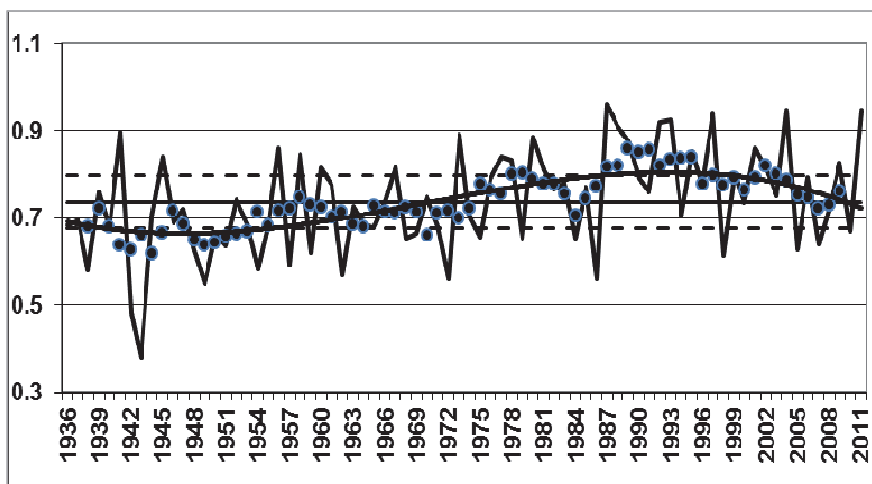


Рис. 2г.

Рис. 2 в, г. Изменения КУТ, осредненные по районам однородных колебаний: в) 3-му и г) 4-му в период 1936-2011 гг. и нелинейные тренды в районах. Точками показаны средние за 5 лет значения КУТ, сплошной прямой линией и пунктирными линиями отмечены среднее значение и диапазон среднеквадратического отклонения, вычисленные по средним КУТ за пятилетие.

Коэффициенты линейного тренда в районах однородных изменений КУТ и ГТК в периоды 1936-1990 и 1991-2011 гг. В скобках указана его доля в общей дисперсии (%)

Периоды	Районы КУТ				Районы ГТК			
	1	2	3	4	1	2	3	4
1936-1990 гг.	0,006 (32)	0,004 (23,3)	0,002 (14,4)	0,003 (15,4)	0,007 (15,5)	0,002 (2)	-0,002 (3,1)	0,003 (8,7)
1991-2011 гг.	-0,007 (10,9)	-0,003 (2,7)	0,003 (5,2)	-0,003 (3,6)	-0,008 (5,5)	-0,001 (0,1)	0,009 (14,2)	-0,003 (1,2)

В 1-м и 4-м районе направленность изменений годового увлажнения и увлажнения в сезон вегетации (рис. 3) совпадает на протяжении всего рассмотренного периода, характеризующие их временные ряды коррелируют с коэффициентами 0,8 и 0,81 соответственно. Во 2-м районе на протяжении шестидесяти лет колебания КУТ и ГТК были сходными. Начиная со второй половины 90-х годов XX-го века, здесь стала наблюдаться тенденция увеличения летнего увлажнения на фоне снижения годового увлажнения (коэффициент корреляции рядов КУТ и ГТК составил 0,71). В 3-м районе рассогласование направленности изменений годового и летнего увлажнения наблюдалось в период 1946-1980 гг.: увлажнение в сезон вегетации понижалось, а годовое увлажнение продолжало медленно нарастать (коэффициент корреляции рядов КУТ и ГТК – 0,66).

Независимым доводом в пользу выдвинутой авторами гипотезы о смене тенденции увлажнения может служить комбинированный анализ изменения сельскохозяйственных угодий и трендов нормированного разностного вегетационного индекса (NDVI), вычисленных по данным радиометра MODIS на территории всего зернового пояса СНГ за период 2001-2008 гг. (Wright et al., 2012). Авторы установили доминирование статистически значимых отрицательных трендов NDVI как для сельскохозяйственных, так и для естественных угодий в европейской и азиатской частях зернового пояса, причиной которых авторы считают возникший в течение нескольких лет дефицит почвенной влаги. Засуха 2010 и 2012 гг., несомненно, усугубила эту ситуацию.

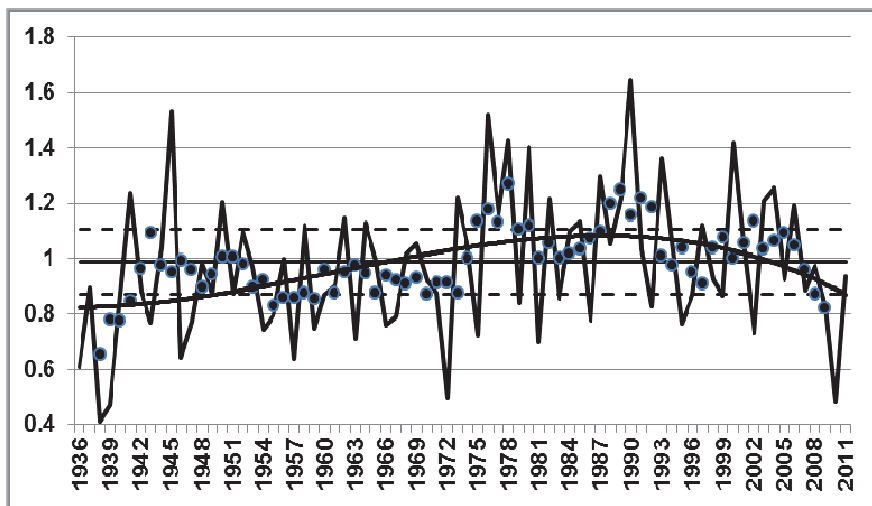


Рис. 3а.

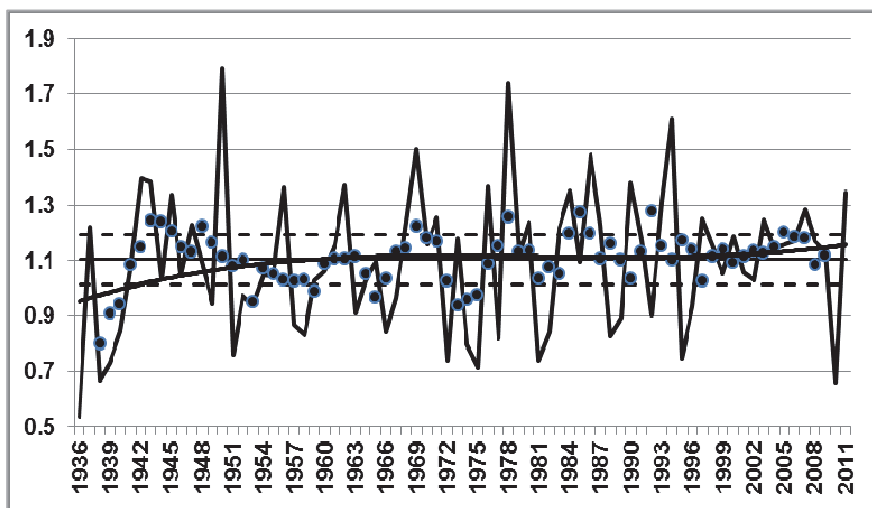


Рис. 3б.

Рис. 3 а, б. Изменения ГТК, осредненные в период 1936-2011 гг. по районам однородных колебаний: а) 1-му, б) 2-му и нелинейные тренды в районах. Точками показаны средние за 5 лет значения ГТК, сплошной прямой линией и пунктирными линиями отмечены среднее значение и диапазон среднеквадратического отклонения, вычисленные по средним ГТК за пятилетие.

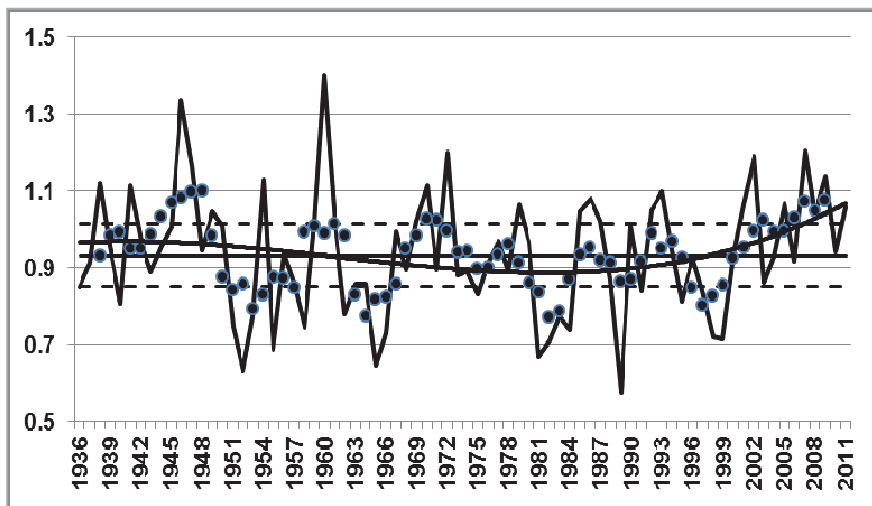


Рис. 3в.

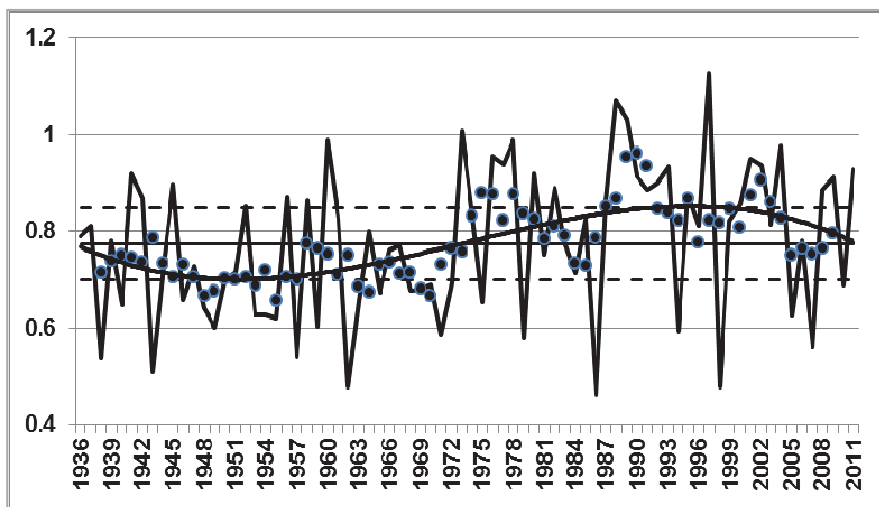


Рис. 3г.

Рис. 3 г, в. Изменения ГТК, осредненные в период 1936-2011 гг. по районам однородных колебаний: в) 3-му и г) 4-му и нелинейные тренды в районах. Точками показаны средние за 5 лет значения ГТК, сплошной прямой линией и пунктирными линиями отмечены среднее значение и диапазон среднеквадратического отклонения, вычисленные по средним ГТК за пятилетие.

Заключение

Во второй половине 30-х годов XX-го века увлажнение зернового пояса России было наименьшим за весь период инструментальных наблюдений. С этого времени началось его медленное повышение (гумидизация климата), которое остановилось в 1990-х годах вначале в западной части зернового пояса и затем через примерно 5-10 лет в восточной (европейской) части пояса. Тенденция повышения увлажнения пока еще сохраняется в азиатской части зернового пояса. Предложена гипотеза, что в начале XXI в. возможна смена тенденции увлажнения, по крайней мере, в европейской части зернового пояса. Признаки этой смены уже устойчивы в европейской западной части пояса и все чаще отмечаются в европейской восточной части.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Золина О.Г. 2011. Изменение длительности синоптических дождевых периодов в Европе с 1950 по 2008 годы и их связь с экстремальными осадками. Доклады РАН. Т.436, № 5. С. 690-695.
2. Золотокрылин А.Н., Черенкова Е.А. 2011. Динамика границ зон увлажнения суббореальных ландшафтов России в XX-XXI веках. Известия РАН. Серия географическая. №4. С. 33-41.
3. Золотокрылин А.Н., Черенкова Е.А. 2006. Изменение индикаторов соотношения тепла и влаги, биопродуктивности в зональных равнинных ландшафтах России во второй половине XXв. Известия РАН. Серия географическая. №3. С. 19-28.
4. Мирвис В.М. 1996. Районирование в целях изучения климатических аномалий (на примере основной зернопроизводящей зоны СНГ). Известия РАН. Серия географическая. №1. С.45-60.
5. Новикова Н.М., Волкова Н.А., Уланова С.С., Шаповалова И.Б., Вышивкин А.А. Ответные реакции экосистем на изменение водного режима территорий в степной зоне. Аридные экосистемы. 2011. Т. 17, № 3. С. 38-48.
6. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. 2008. Т.II. Последствия изменений климата. –М.: Росгидромет. 288 С.
7. Павлова В.Н., Сиротенко О.Д. 2012. Наблюдаемые изменения климата и динамика продуктивности сельского хозяйства России. Труды главной геофизической обсерватории. –С.-Пб. Вып. 565. С. 132–151.
8. Переведенцев Ю.П., Наумов Э.П., Шанталинский К.М. 2000. Многолетние изменения гидрометеорологических условий на территории Волжского бассейна. Тр. XI съезда РГО. Т. 5, С. 102-104.
9. Попова В.В. 1997. Структура многолетних колебаний осадков на Русской равнине. Автореферат дисс. на соиск учен. степ. геогр. наук. –М.: ИГ РАН. 24 С.

10. Сажин А.Н., Петров С.А., Погосян Н.В., Васильев Ю.И., Волошенкова Т.В., Козина О.В., Моников С.Н. 2006. Связь внутривековых изменений увлажнения со сменой циркуляционных эпох и ее отражение в природных процессах Атлантико-Европейского сектора Евразии. Известия РАН. Серия географическая. №1. С. 26-34.
11. Селянинов Г.Т. 1928. О сельскохозяйственной оценке климата. Труды по сельскохозяйственной метеорологии. Вып. 20. С. 165-177.
12. Сиротенко О.Д., Груза Г.В., Ранькова Э.Я., Абашина Е.В., Павлова В.Н. 2007. Современные климатические изменения теплообеспеченности, увлажненности и продуктивности агросферы России. Метеорология и гидрология. №8. С. 90-103.
13. Титкина С.Н., Гершиноква Д.А., Семенов С.М. 2011. Климатические изменения увлажнения на территории России и соседних стран в конце XX века – начале XXI века. Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. –М.: ФГБУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН». Том 24. С. 393-400.
14. Черенкова Е.А., Золотокрылин А.Н. 2010. Реакция границ зон увлажнения равнин России на изменения климата. Метеорология и гидрология. №12. С. 17-25.
15. Fraley C., Raftery A.E. 2002. Model-based clustering, discriminant analysis, and density estimation. Journal of the American Statistical Association. V. 97. №458. Pp.611-631.
16. Thornthwaite C.W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. Geograph. Rev. V. 38, №1. P. 55-94.
17. Wright C.K., de Beurs K.M., Henebry G.M. 2012. Combined analysis of land cover change and NDVI trends in the Northern Eurasian grain belt. Front. Earth Sci. V.6, №2. P. 177-187.