

Комаровская Е.В. // НАН Беларуси, Полесский аграрно-экологический институт. Прыроднае асяроддзе Палесся: асаблівасці і перспектывы развіцця. – Брест: Альтернатыва, 2008 - Выпуск 1. – Том 1. – С. 51–54.

9. Мельник, В.И. Влияние современных изменений климата на ведение сельскохозяйственного производства в Белорусском Полесье / Мельник В.И., Комаровская Е.В. // Прыроднае асяроддзе Палесся: асаблівасці і перспектывы развіцця: Тезисы докладов 4-ой Международной научной конференции – Брест, 2008. С.46.

10. Мельник, В.И., Комаровская Е.В. Особенности изменения климата на территории Республики Беларусь за последние десятилетия / Мельник В.И., Комаровская Е.В. // Научно-методическое обеспечение деятельности по охране окружающей среды: проблемы и перспективы: сборник научных трудов – Минск, 2011. - С. 77–84.

УДК 631.95:551.5 (476)

ПРОГНОЗНЫЕ ОЦЕНКИ ИЗМЕНЕНИЯ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

Микуцкий В.С.

ГНУ «Институт природопользования НАН Беларуси», г. Минск, Республика Беларусь, m-vs@tut.by

Questions of definition and determination of dates of stable transition of temperature through temperature thresholds are considered; also forecasts of agroclimatic indices for territory of Belarus on the middle of current century are presented.

Введение

Одним из важных вопросов в агроклиматологии является оценка количества тепловых ресурсов, необходимых для завершения различных фенологических фаз развития растений. Данное направление исследований ведёт своё начало от работ А. Реомюра (1735). В англоязычной литературе для таких оценок широко используется концепция градусо-часов/дней (degrees hours/days), в основе которой лежат различные варианты расчёта сумм превышений температуры над 10 °С, причём учитываются все случаи (часы/дни) с температурой выше 10 °С [1]. В русскоязычной литературе получило распространение понятие сумм температур, согласно которому подсчитываются суммы температур периодов со среднесуточной температурой выше определённых температурных пределов (0, 5, 10, 15 °С). В отличие от концепции градусо-дней здесь учитываются возвратные весенние и осенние похолодания, для чего вводится понятие дат устойчивого перехода температуры воздуха через температурные пределы. Такой подход является более общим и представляется более целесообразным, поскольку позволяет привязать указанные суммы к фенофазам развития растений, как чувствительных, так и малочувствительных к возвратным похолоданиям.

В статье рассматриваются вопросы определения дат устойчивого перехода температуры через температурные пределы, а также приводятся прогнозы основных агроклиматических показателей для территории Беларуси на середину текущего столетия по ряду моделей общей циркуляции атмосферы и океана.

Материалы и методы

Существуют различные критерии для определения дат устойчивого перехода температуры воздуха через температурные пределы – как изначально приближённые, базирующиеся на месячном макете температурных данных, так и более точные, опирающиеся на суточные данные температуры воздуха [2]. Из методов, использующих среднесуточные температуры, выделим метод отклонений и метод сглаженной кривой. В последнем случае строится сглаживающая кривая годового хода температуры. Точка пересечения этой кривой с ординатой, равной температурному пределу, идентифицируется с датой перехода (так, для даты перехода через $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ – это точка пересечения кривой с осью Oy). Понятно, что определение дат перехода этим методом будет зависеть от выбора способа сглаживания. Так, при использовании месячных данных, в качестве сглаживающей кривой рассматривается парабола, проходящая через точки со значениями температуры трёх последовательных месяцев: предыдущего, данного и последующего.

Такие приближённые методы в силу своей относительной простоты стандартно использовались при составлении климатических справочников. В современной ситуации, когда распространение вычислительной техники стало повсеместным, представляется возможным использование хотя и более сложных, но в то же время более точных критериев. В данной работе использовался следующий метод отклонений [3]:

Дата устойчивого перехода средней суточной температуры через определённый температурный предел в сторону повышения (дата весеннего перехода) определяется как начало такого первого из периодов положительных отклонений среднесуточной температуры от предела, сумма которых (отклонений) превосходит модуль соответствующей суммы любого из всех последующих периодов отрицательных отклонений. Дата перехода в сторону понижения (осеннего перехода) определяется аналогично, с той разницей, что происходит взаимная замена периодов положительных и отрицательных отклонений.

Стандартно в качестве начала и окончания весеннего сезона, в пределах которого ищутся весенние даты устойчивого перехода, рассматриваются 16 января и 16 июля. Однако в условиях изменения климата, при аномально тёплой зиме или холодной затяжной весне и позднем лете (или, наоборот, ранней весне и коротком лете с ранней осенью), такие границы весеннего сезона могут дать неверные результаты при определении дат весеннего перехода. Если при ручном расчёте такие ошибки легко устранимы, то программная реализация данного критерия потребовала модификации границ весеннего сезона: начало его сдвигается на минимум восходящей ветви годового хода температуры, а конец устанавливается по её максимуму.

Поскольку само понятие устойчивого перехода предполагает наличие некоторого последующего достаточно длительного периода положительных отклонений среднесуточной температуры, то максимум указанной восходящей ветви не должен определяться по среднесуточным температурам, которые могут испытывать существенные колебания. В то же время, в случае нестабильного характера температуры, максимум её сглаженного годового хода может существенно зависеть от выбора метода сглаживания.

В агроклиматологии традиционно использование декадных климатических показателей. Поэтому, с учётом сказанного, естественно при нахождении конца восходящей ветви годового хода температуры ориентироваться на годовой максимум 10-суточных скользящих средних значений среднесуточной температуры. При правостороннем скользящем сглаживании в качестве максимума восходящей ветви мы выбирали правый конец скользящего окна, соответствующего такому максимуму. Начало весеннего сезона в этом случае определяется по левому краю скользящего окна, соответствующего минимуму сглаженного хода температуры от начала года до найденного конца восходящей ветви температуры.

При нахождении осенних дат перехода осенний сезон для каждого температурного предела отсчитывается от даты весеннего перехода через соответствующий температурный предел. Конец же осеннего сезона находится по минимуму сглаженного хода температуры от конца восходящей ветви до конца года и совпадает, таким образом, для всех температурных пределов.

В настоящее время существует три исследовательских подхода к проблеме долгосрочного прогнозирования изменений климата. В их основе лежат: экстраполяции закономерностей, установленных при статистическом анализе результатов инструментальных наблюдений и косвенных данных о климате; аналогии между палеоклиматическими реконструкциями состояний климатической системы в прошлом и ожидаемыми в будущем и расчеты по математическим моделям общей циркуляции атмосферы и океана (моделям циркуляции, МОЦАО). Среди исследований, выполненных в этих рамках за последние годы и представляющих значительный интерес для Беларуси, можно назвать работы С.Г. Бойченко [4], Б.Г. Шерстюкова [5], В.В. Клименко (2001, 2004), А.В. Кислова и др. [6], сотрудников Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова [7, 8, 9, 10]. Каждый из названных подходов имеет как сильные, так и слабые стороны, а вместе они дополняют и корректируют друг друга [11].

Современные МОЦАО разрабатываются ведущими мировыми климатическими центрами. Не следует преувеличивать сегодняшние успехи в моделировании климата, поскольку модели не обеспечивают полного описания физически значимых процессов в климатической системе и не учитывают влияния на атмосферу некоторых «малых» климатообразующих факторов. При этом, поскольку модели разрабатываются на основании существующего уровня знаний о поведении природных систем, нет оснований полностью отказываться от использования МОЦАО для прогнозных оценок в тех случаях, когда прогнозы, базирующиеся на объясненных закономерностях, не противоречат имеющимся экспериментальным данным. В силу этого модели циркуляции могут быть полезными для оценки изменений, которые происходят в климатической системе

при определенных сценариях внешних антропогенных воздействий на эту систему.

Несмотря на сохраняющиеся значительные проблемы, МОЦАО выступают основным инструментом долгосрочного прогнозирования изменений климата, а полученные по ним оценки показателей лежат в основе расчета теплообеспеченности, увлажненности и продуктивности сельского хозяйства различных регионов мира в XXI веке.

Расчёты проводились по данным четырёх моделей, участвовавших в Международном проекте *CMIP3*: BCCR-BCM2.0 (Норвегия), CCCma CGCM31 (модельный прогон 1, Канада), CNRM-CM3 (Франция), CSIRO MK3.5 (Австралия, модельный прогон 1). Был выбран наиболее употребительный в работах, использующих результаты экспериментов *CMIP3*, сценарий выбросов A2. Для сравнения полученных условных (зависящих от выбора сценария) прогнозов с реальными данными были рассчитаны агроклиматические параметры по наблюдаемым данным станции Марьина Горка, расположенной на неурбанизированной территории в центральной части Беларуси. Такое расположение станции позволяет использовать рассчитанные по данным этой станции агроклиматические параметры в качестве первого приближения соответствующих оценок по территории Беларуси.

Областью искомого агроклиматического прогноза являлась территория Беларуси. Поскольку планировалось дать пространственно-распределённую оценку агроклиматических изменений, были выделены покрывающие исследуемую территорию узлы координатной сетки МОЦАО с координатами, попадающими в координатный прямоугольник со сторонами 19.00 и 33.75 ° в.д. и 46.84 и 57.21 ° ю.ш. Поскольку каждая модель имеет свою координатную сетку, количество узлов и их расположение незначительно варьировались, при этом в среднем количество узлов было близко к 20. Ввиду того, что при сплайновом сглаживании данных при отсутствии данных за пределами области происходит искажение вблизи границ, важным являлся такой выбор узлов, чтобы они целиком покрывали территорию Беларуси. Для планировавшегося на середину текущего столетия прогноза были выбраны исходные данные по среднесуточным температурам и суточным осадкам за двадцатилетие 2046-2065 гг. По описанному выше методу находились даты устойчивого перехода через температурные пределы, а затем через суммирование среднесуточных температур – суммы температур и осадков соответствующих периодов. Вычислялся также такой широко используемый интегрированный агрометеорологический показатель, как гидротермический

коэффициент Г.Т. Селянинова $ГТК = \frac{\sum_{t>10^{\circ}C} r}{0,1 \sum_{t>10^{\circ}C} t}$.

Основные результаты, касающиеся оценок и прогнозов по территории Беларуси, приведены ниже.

Начала активных периодов наименее подвержены изменениям по условному прогнозу моделей CCCma CGCM31 (модельный прогон 1) и CNRM-CM3. По модели CSIRO MK3.5 начала указанных периодов смещаются на 15–20 дней назад. Для модели BCCR-BCM2.0 это касается только периода с температурой выше 15 °С, начала же остальных периодов даже смещаются

вперёд на 10–20 дней. Практически по всем моделям окончание периода с температурой выше 0 °С происходит позже, окончание же периода с температурой выше 15 °С изменяется весьма несущественно.

Совместное влияние изменений начала и окончания соответствующих периодов сказывается на изменении продолжительности периодов. Если у моделей CCCma CGCM31 (модельный прогон 1) и CNRM-CM3 изменения продолжительностей не существенны (кроме увеличения «15-градусного» периода у модели CNRM-CM3), то согласно модели CSIRO MK3.5 произойдёт увеличение продолжительности периодов на 20–30 дней, а по модели BCCR-BCM2.0, наоборот, «нулевой» и «5-градусный» активные периоды сократятся на 20–40 дней.

Прогнозные оценки температурно-влажностных показателей приведены на рисунках 2.2.8–2.2.10. На сумму активных температур (рисунок 2.2.8) влияют как продолжительность периода, так и сами среднесуточные температуры этого периода.

Прогнозные оценки температурно-влажностных показателей приведены на рисунках 1–2. На сумму активных температур (рисунок 1) влияют как продолжительность периода, так и сами среднесуточные температуры этого периода.

В наименьшей степени сумма активных температур меняется согласно модели CCCma CGCM31 (модельный прогон 1). По модели CNRM-CM3 суммы активных температур периодов выше 10 и 15 °С увеличиваются на 300–400 °С. Значительно более сильное увеличение прогнозируется по моделям BCCR-BCM2.0 и CSIRO MK3_5 (на 700 °С и выше).

Уменьшение осадков на территории Беларуси в большей или меньшей степени прогнозируют все модели за исключением модели CNRM-CM3.

Диаграммы наблюдаемых и прогнозных значений гидротермического коэффициента Г. Т. Селянинова, приведены на рисунке 2.

Если прогнозные значения ГТК по моделям CCCma CGCM31 (модельный прогон 1) и CNRM-CM3 достаточно близки к наблюдаемым данным периода 1971–2012 гг., то модели BCCR-BCM2.0 и CSIRO MK3_5 прогнозируют достаточно существенное уменьшение ГТК (соответственно, на $\approx 0,4$ – $0,6$ и $\approx 0,1$ – $0,7$ единиц для различных периодов выше 0, 5, 10 и 15 °С).

Заключение

В целом приведённые результаты согласуются с наблюдаемыми изменениями характера продолжающегося потепления, свидетельствующими о замедлении зимнего потепления и некотором росте летнего потепления, а также с тенденциями возникновения засушливых вегетационных периодов. Следует отметить чётко проявляющуюся 10–15-летнюю квазицикличность прогнозных значений температурно-влажностных агроклиматических показателей, что, очевидно, в большей степени отражает модельные эффекты, то есть заложенные разработчиками модельные походы к описанию физики атмосферы, а не реальные геофизические процессы.

Поскольку в настоящее время начат переход от использования результатов проекта *CMIP3* к результатам моделей проекта *CMIP5*, представляет интерес проведение более полного анализа условных прогнозов

по новым RCP-сценариям выбросов (representative concentration pathways emission scenario).

Автор признателен разработчикам климатических моделей за предоставление данных для анализа; участникам Программы диагноза и сравнения климатических моделей (the Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison, PCMDI) за сбор и хранение модельных данных; Рабочей группе по объединенным моделям (WGCM) Всемирной программы исследований климата (WCRP) за организацию деятельности по анализу модельных данных. Архив данных Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК, IPCC) в Ливерморской национальной лаборатории им. Э. Лоренса поддерживается управлением по науке министерства энергетики США.

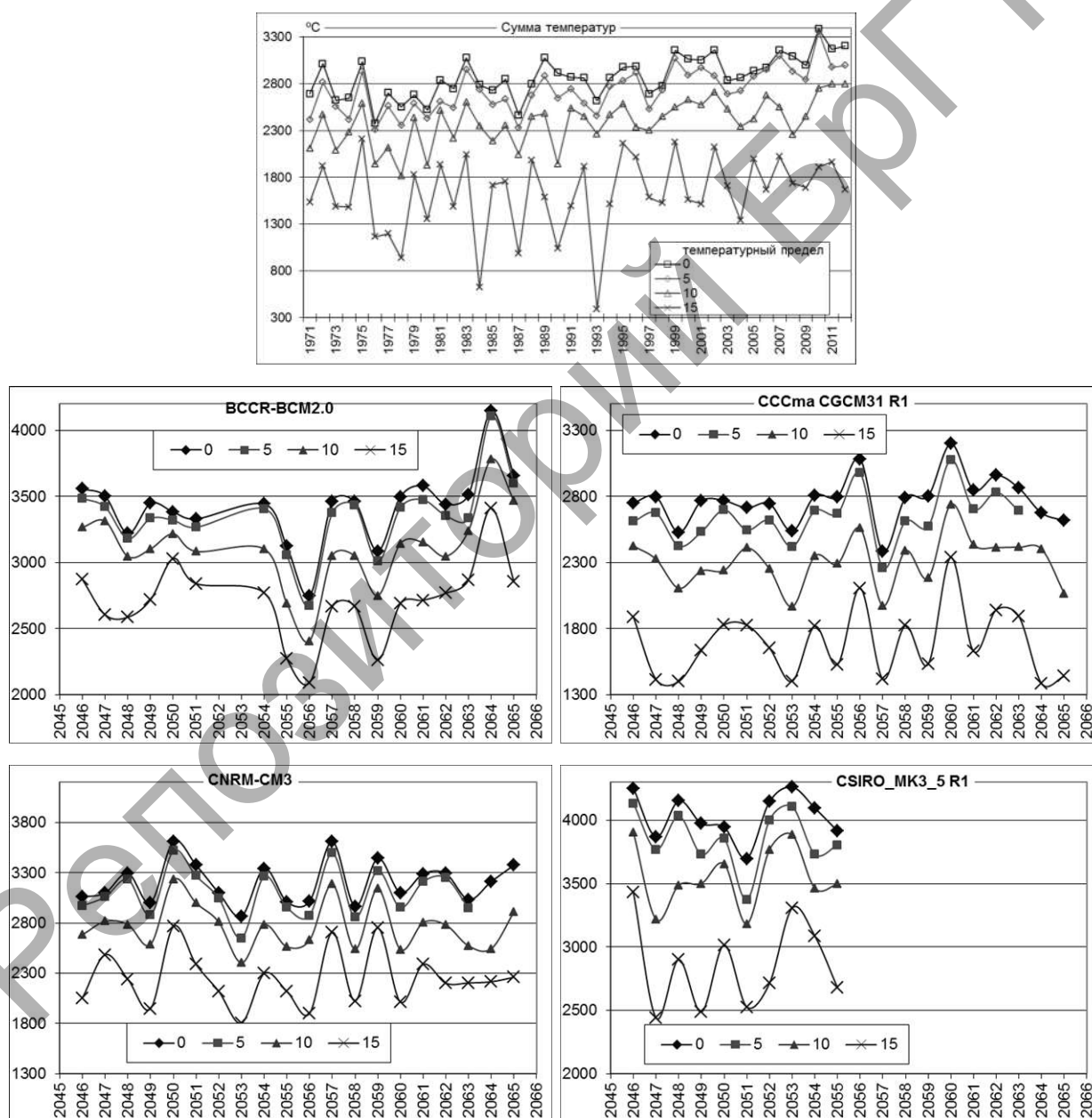


Рисунок 1 – Суммы температур периодов с устойчивой температурой выше температурных пределов 0, 5, 10 и 15 °С для станции Марына Горка (вверху, 1970-2012 гг.) и по моделям циркуляции СМIP3, осреднённые по территории Беларуси (2046–2065 гг.).

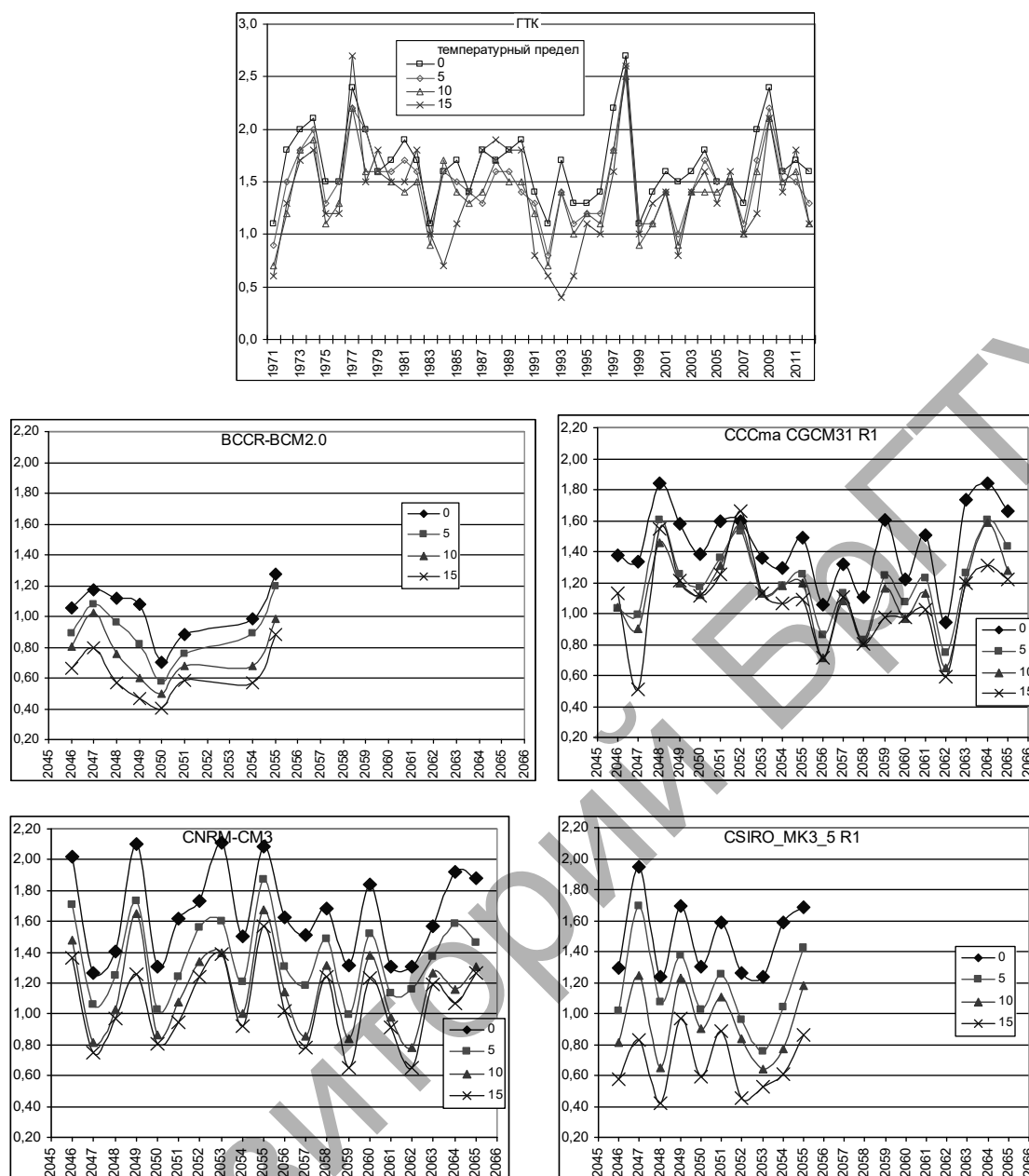


Рисунок 2 – Значения гидротермического коэффициента Г. Т. Селянинова для периодов с устойчивой температурой выше температурных пределов 0, 5, 10 и 15 °С для станции Марьяна Горка (вверху, 1970–2012 гг.) и по моделям циркуляции СМIP3, осреднённые по территории Беларуси (2046–2065 гг.).

Список литературы

1. Bonhomme, R. Bases and limits to using 'degree.day' units // European Journal of Agronomy. 2000. – V. 13. – Pp. 1–10.
2. Температура воздуха на Украине. Под ред. В.Н. Бабиченко. Л., Гидрометеиздат, 1987. – 400 с.
3. Методические указания по составлению агрометеорологического ежегодника (сер.1 «Научно-прикладной справочник по агроклиматологическим ресурсам СССР». - Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 144 с.
4. Бойченко, С.Г. Глобальные колебания (изменения) климата и возможные экологические последствия от них на территории Украины:

полуэмпирические модели, сценарии: автореф. дис... док. геогр. наук. - Одесса, 2005.

5. Шерстюков, Б.Г. Региональные и сезонные закономерности изменений современного климата / Б.Г. Шерстюков. - Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД. 2008. – 246 с.

6. Кислов, А.В. Прогноз климатической ресурсообеспеченности Восточно европейской равнины в условиях потепления XXI века / Кислов А. В. [и др]; под ред А.В. Кислова. - М., 2008. – 292 с.

7. Говоркова, В.А. Изменения климата стран «ближнего зарубежья» России в 21 веке / В.А. Говоркова, В.М. Катцов // Труды ГГО. - 2008. - Вып.558. - С. 64–84.

8. Говоркова, В.А. Климат России в XXI веке. Часть 2: Оценка пригодности моделей общей циркуляции атмосферы и океана СМIP3 для расчетов будущих изменений климата России / В.А. Говоркова, В.М. Катцов, В.П. Мелешко [и др.] // Метеорология и гидрология. - 2008. - № 8. - С. 5–19.

9. Мелешко, В.П. Изменения и изменчивость климата Северной Евразии в XXI веке: оценки основанные на ансамбле МОЦАО / В.П. Мелешко, В.М. Катцов, И.М. Школьник, В.М. Мирвис, В.А. Говоркова // Прогнозирование и адаптация общества к экстремальным климатическим изменениям: материалы Междунар. конф. по проблемам гидрометеорологической безопасности. - М., 2007. - С. 97.

10. Мелешко, В.П. Климат России в XXI веке. Часть 1. Новые свидетельства антропогенного изменения климата и современные возможности его расчета / В.П. Мелешко, В.М. Катцов, В.М. Мирвис [и др.] // Метеорология и гидрология. - 2008. - № 6. - С. 5–19.

11. Карпенко, А.А. Анализ естественных и антропогенных факторов изменений климата на основе данных палеореконокструкций, инструментальных наблюдений и модельных расчетов: автореф. канд. физ.-мат. наук. - М., 2007.

УДК 574

ЭКОЛОГИЯ – ВЕРШИНА ПИРАМИДЫ ЦИВИЛИЗАЦИИ

Минасян К.С.

ЗАО «АрмРосГазпром», г.Ереван, Армения

The struggle for ecology, clean technologies and creation of comfortable life of people by no means must go over the struggle with productive forces. Ecology in skillful hands is often used as a weapon for achieving improper purposes. Ecology is the top of pyramid of civilization. But to achieve it you can only by following the main demand, that is ecologically-energetically effective alliance with the power, civil society, science and industry with the aim of radical decrease of energy intensity of economy and sphere of economic-communal activity of a man.

В начале 80–х гг. прошлого века психологи провели эксперимент, попросив обычных среднестатистических граждан оценить 30 различных видов деятельности, веществ и технологий, и сравнили результаты опроса с