

Выводы. Особенность сезонной трансформации гидрохимического состава рек Брестской области формируется под воздействием ряда факторов, основными из которых являются гидрологический режим и антропогенное воздействие. В изменении минерализации и ионного состава речных вод прослеживается тенденция уменьшения в половодье и увеличения в межень. Так же наблюдается увеличение минерализации в реках, на которых расположены промышленные центры.

Характер распределения общего железа, цинк, марганец, медь, взвешенные вещества достаточно нестабильны. Поверхностные воды Брестской области характеризуются повышенным фоновым содержанием железа общего, что обусловлено природными факторами. Кроме того, увеличение антропогенной нагрузки приводит к превышению фоновых среднемесячных концентраций до 3 раз. Практически во всем рассматриваемых реках наблюдается превышение фоновых концентраций по марганцу и характер внутригодового распределения также нестабильны. Повышенное содержание цинка наблюдается на рр. Ясельда, Мухавец, Западный Буг и Лесная. По содержанию меди наиболее сложная ситуация на рр. Ясельда и Припять.

Список использованных источников

1. Государственный водный кадастр: Водные ресурсы, их использование и качество воды (за 2016 гг.). – Минск, ЦНИИКИВР, 2017. – 172 с.
2. Моисеенко, Т.И., Дину, М.И., Гашкина, Н.А., Кремлева, Т.А. 2013. Формы нахождения металлов в природных водах в зависимости от их химического состава. Водные ресурсы, том 40 №4: 375-385.
3. Шулькин, В.М., Богданова, Н.Н., Перепелятников Л.В., 2009. Пространственно-временная изменчивость химического состава речных вод юга Дальнего Востока РФ. Водные ресурсы, том 36 №4: 428-439.

УДК 551. 583

С.А. Лысенко, В.Ф. Логинов

Государственное научное учреждение «Институт природопользования НАН Беларуси», г. Минск

ОСОБЕННОСТИ ГЛОБАЛЬНЫХ И РЕГИОНАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ СОВРЕМЕННОГО КЛИМАТА: ВОЗМОЖНЫЕ ПРИЧИНЫ И ПОСЛЕДСТВИЯ

Рассмотрены внешние и внутренние факторы глобальных и региональных изменений климата за период инструментальных наблюдений. С использованием модели переноса излучения в системе «атмосфера – подстилающая поверхность», данных дистанционного зондирования Земли и реанализа определены естественные и антропогенные механизмы замедления скорости роста температуры Земного шара. Оценено влияние изменчивости и изменений современного климата на биопродуктивность экосистем Беларуси.

Особенности и возможные причины современных изменений температуры воздуха над континентами Северного полушария. На протяжении последнего столетия характер изменения глобальной и региональной температуры в различные сезоны года существенно различался. Если в период предыдущего потепления климата, известного из литературы, как «период потепления Арктики», рост температуры наблюдался особенно ярко в теплое время года, то начиная с конца 60-ых и до конца 90-ых годов прошлого столетия, наибольший рост температуры отмечался зимой.

Потепление зимнего типа хорошо укладывается в современные представления об изменениях климата, согласно которым зимой эффекты глобального потепления должны усиливаться за счет сокращения снежного покрова подстилающей поверхности и уменьшения ее альбедо. Однако в последние 15–20 лет происходит быстрый рост летних температур, а

зимняя температура растет сравнительно слабо, т. е. снова формируется потепление летне-го типа. В период 1998–2014 гг. зимняя температура воздуха над континентами Северного полушария даже понижалась со средней скоростью -0.038 К/год, а снежный покров увеличивался со скоростью 1.4×10^5 км²/год (рис. 1).

Для понимания причин изменений зимней температуры воздуха над сушей Северного полушария рассмотрим особенности формирования радиационного баланса для региона Сибири, в котором с 1998 по 2014 гг. наблюдалось наибольшее понижение температуры приземного воздуха в зимние месяцы ($43\text{--}63^\circ$ с.ш., $47\text{--}110^\circ$ в.д.).

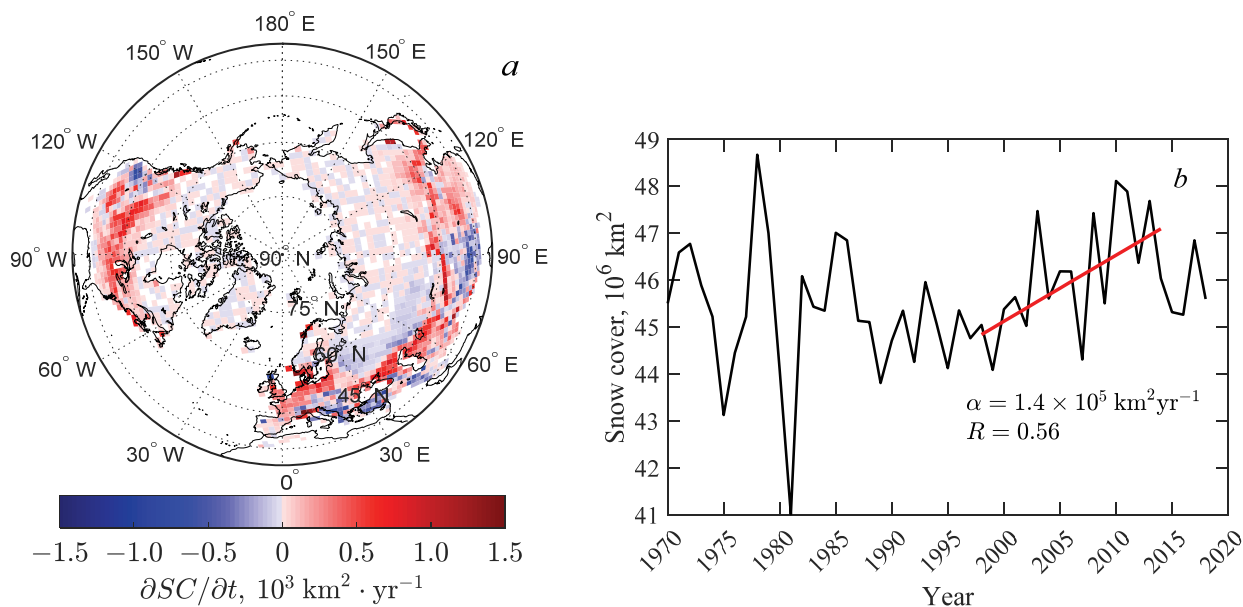


Рисунок 1 – Карта тренда снежного покрова материков Северного полушария (а) и временная динамика их суммарного снежного покрытия (б) с декабря по январь в период 1998–2014 гг.

Радиационный баланс на верхней границе атмосферы представлен как данными измерений спутниковой системой CERES (Clouds and the Earth's Radiant Energy System), так и результатами его численного моделирования на рис. 2. Коэффициент корреляции между смоделированным радиационным балансом на верхней границе атмосферы и зимней температурой воздуха составляет 0.85, что практически не отличается от коэффициента корреляции этой температуры с реально измеряемым радиационным балансом (0.86). При этом расчеты по переносу излучения в атмосфере показывают, что общим содержанием водяного пара в атмосфере (TCWV, Total Column Water Vapor) объясняется около 85 % дисперсии радиационного баланса.

Если сопоставить скорости изменения зимней температуры приземного воздуха за периоды 1968–1998 гг. и 1998–2013 гг. на всей территории Земного шара, то можно обнаружить, что с 1998 г. произошла смена тенденций изменений температуры во многих крупных регионах Северного полушария Земли (быстрый рост зимней температуры сменился ее столь же быстрым понижением). Коэффициент пространственной корреляции между скоростями изменений зимней температуры в Северном полушарии для указанных двух периодов составляет -0.62 , что говорит о неслучайном характере этих изменений. Можно предположить, что такая инверсия тенденции изменения зимней температуры воздуха на территории Северного полушария является следствием смены фазы некоторого глобального процесса в климатической системе. В связи с этим рассмотрим связь TCWV с одним из наиболее энергоемких циклических процессов в климате Земли – Эль-Ниньо – Южной осцилляцией (ENSO).

Корреляции между среднемесячными индексами Южной осцилляции Niño 3.4 и TCWV рассчитывались при их сдвиге во времени от 0 до 24 месяцев. Расчеты показали, что для су-

ши средних и высоких широт Северного полушария (30–75°с.ш.) наиболее тесные корреляции между Niño 3.4 и TCWV проявляются в зимние месяцы с отставанием от фазы Niño 3.4 не более месяца. Зимние значения TCWV для суши широтного пояса 30–75°с.ш., полученные на основе реанализа ERA-Interim, сопоставлены с индексом Niño 3.4 на рис. 3а. Видно, что изменения TCWV происходят в фазе с Niño 3.4. Коэффициент корреляции между ними $R = 0.61$, т. е. изменения индекса Niño 3.4 объясняют около 40 % дисперсии TCWV.

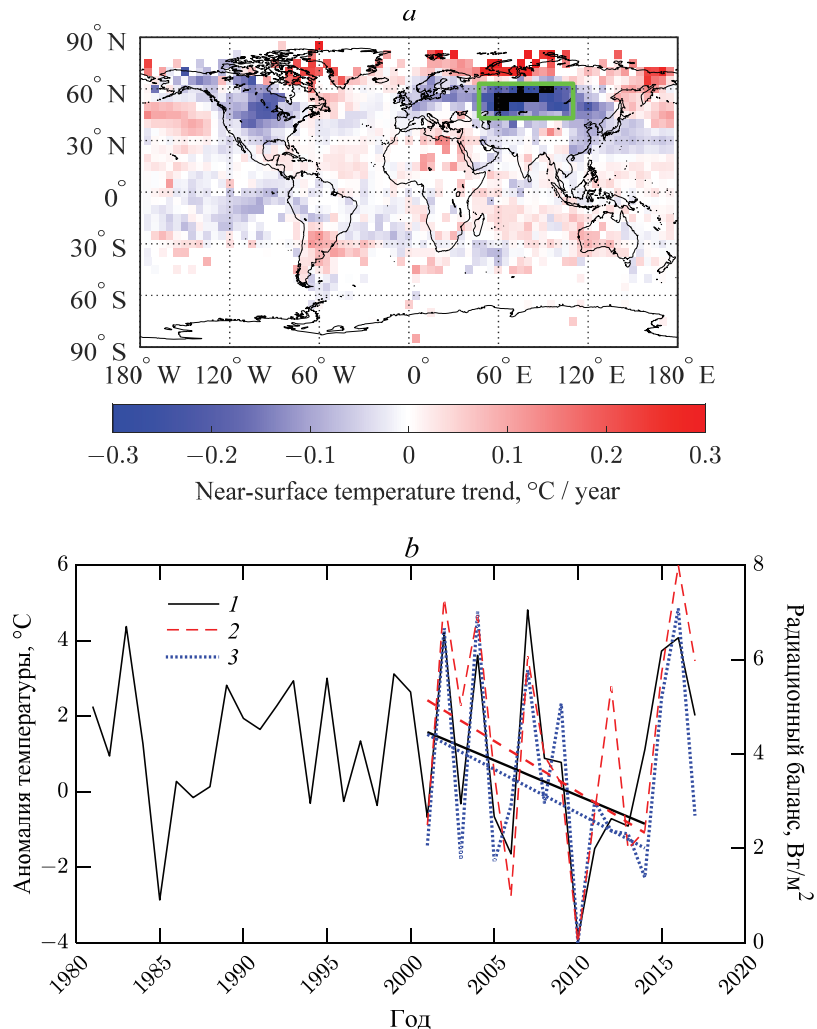


Рисунок 2 – Карта тренда температуры приземного воздуха в период 1998–2014 гг. (а) и сопоставление средних за январь и февраль значений температуры приземного воздуха в регионе, выделенном на верхнем рисунке прямоугольником, с радиационным балансом на верхней границе атмосферы, измеренным спутниковой системой CERES и рассчитанным по модели переноса излучения в атмосфере (б)

Если сопоставить данные реанализа NCEP, охватывающего более длинный временной ряд, чем реанализ ERA-Interim, с индексом многолетней тихоокеанской осцилляции IPO, характеризующим асимметрию температурной аномалии в экваториальной и внетропических частях Тихого океана (рис. 3b), то можно заметить, что для суши широтного пояса 30–75° с.ш. периоды понижения TCWV (1948–1968, 1998–2013 гг.) примерно совпадают с отрицательными фазами IPO. Понижение TCWV в указанные периоды, очевидно, приводило к ослаблению парникового эффекта водяного пара и к замедлению роста зимней температуры воздуха над континентами. С 1968 по 1998 г. содержание водяного пара в атмосфере над сушей средних и высоких широт медленно повышалось на фоне положительной фазы IPO, что наряду с увеличением концентрации CO₂ и других антропогенных парниковых газов обуславливало рост приземной температуры воздуха.

Естественные процессы, способствовавшие замедлению темпов роста температуры земного шара с 1998 по 2014 гг., исследованы в нашей работе [2]. На основе данных дистанционного зондирования Земли и реанализа показана тесная связь глобального и регионального содержания водяного пара в атмосфере со скоростью приземного ветра и аномалиями температуры поверхностного слоя воды в тропической зоне Тихого океана (рис. 4). Усиление ветра в тропической зоне Тихого океана наблюдается с 1980 года (коэффициент линейного тренда $0.017 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}/\text{год}$).

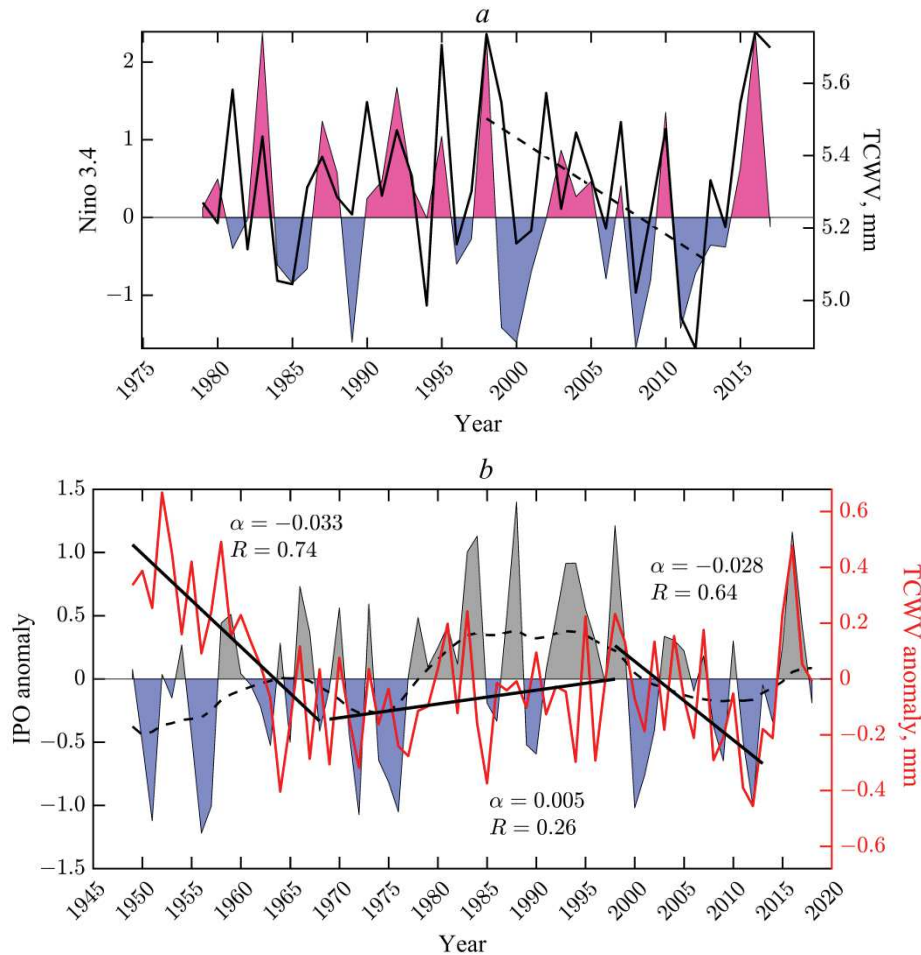


Рисунок 3 – Сопоставление средних значений TCWV из реанализов ERA-Interim (a) и NCEP (b) с индексами Южной осцилляции – Niño 3.4 (a) и IPO (b)

Наибольшее усиление ветра пришлось на период 1992–2013 гг. ($0.025 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}/\text{год}$). В эти годы температура поверхностного слоя воды в центрально– и восточно-экваториальной зоне Тихого океана понижалась со скоростью $0.024 \text{ К}/\text{год}$, а глубинные воды на западе Тихого океана (к северу от экватора) накапливали тепло. Указанные тенденции способствовали уменьшению испарения с поверхности Тихого океана, которое с задержкой около года сказывается на глобальном содержании водяного пара в атмосфере (коэффициент корреляции 0.88). В результате среднее по планете содержание водяного пара в столбе атмосферы понижалось до 2014 г. со средней скоростью $0.12 \text{ мм}/\text{год}$. Расчеты модели переноса излучения в атмосфере показывают, что уменьшение интегрального содержания водяного пара в атмосфере с 2001 по 2014 годы снизило приходную часть радиационного баланса подстилающей поверхности примерно на $0.93 \text{ Вт}/\text{м}^2$, что в 11 раз превышает усиление парникового эффекта CO_2 за этот период. Такие тенденции изменений содержаний парниковых газов в атмосфере обуславливали понижение зимней температуры воздуха в Северном полушарии.

В тоже время, на фоне циклической смены фаз IPO не наблюдается смена тенденций изменений летней температуры воздуха. Причиной этому может быть положительная обрат-

ная связь между температурой воздуха и содержанием водяного пара в атмосфере, наиболее отчетливо проявляющаяся при высоких температурах. Известно, что потепление тропосферы происходит при практически неизменной относительной влажности [3]. Поддержание одного и того же уровня относительной влажности при увеличении температуры воздуха и соответствующего ей давления насыщенного водяного пара возможно только за счет увеличения концентрации водяного пара в атмосфере. Поскольку температурная зависимость давления насыщенного водяного пара усиливается с ростом температуры, то летом рост влагоемкости воздуха происходит быстрее, чем зимой, соответственно большим будет и усиление водяным паром парникового эффекта.

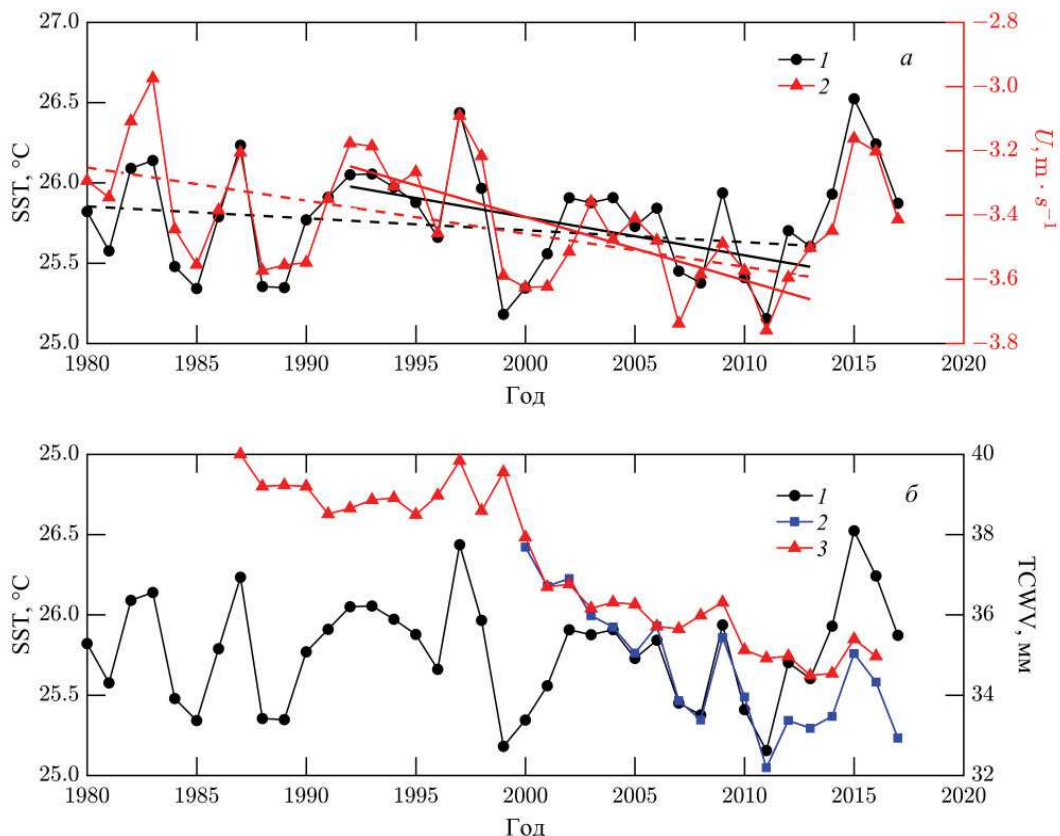


Рисунок 4 – Межгодовая изменчивость температуры поверхности океана SST, зональной компоненты скорости приповерхностного ветра (U) и TCWV;

a: 1 – SST, 2 – U , прямые линии – тренды за 1992–2013 гг., пунктир – тренды за 1980–2013 гг.;
б: 1 – SST, 2 – TCWV в летние месяцы над тропической зоной Тихого океана с отрицательным трендом SST, 3 – среднглобальные значения TCWV, умноженные на коэффициент 1.6 и сдвинутые на один год назад для их сопоставления с TCWV над тропиками

Другим фактором, обуславливающим различие скоростей изменения зимней и летней температур воздуха, может быть аэрозольное загрязнение атмосферы. Природоохранные мероприятия, проводимые в последние десятилетия во многих развитых странах, наряду с повышением экологического уровня промышленности и автотранспорта способствуют снижению аэрозольной эмиссии. Это, в свою очередь, способствует увеличению количества поступающего на Землю солнечного излучения и дневному прогреванию подстилающей поверхности. На территории Европы, где, как минимум с 2000 г. происходит очищение атмосферы от аэрозолей (о чем свидетельствуют данные спутникового спектрометра MODIS), скорость роста температуры приземного воздуха летом в дневное время действительно опережает скорость роста ночной температуры – 0.041 К/год против 0.035 К/год, что говорит о важной роли солнечной радиации в летнем потеплении.

Некоторые аэрозоли с высокой светопоглощающей способностью, способны увеличивать теплосодержание атмосферы и охлаждать подстилающую поверхность, вследствие че-

го замедляется атмосферная конвекция и затрудняется формирование облаков. Если судить по данным спутникового прибора MODIS, определяющего параметры облаков с 2000 г., то оптическая толщина облаков – их важнейший радиационный параметр – в средних и высоких широтах Северного полушария устойчиво уменьшается, а значит, на Землю поступает больше солнечной радиации. Это согласуется с данными реанализа ERA-Interim, демонстрирующими положительный линейный тренд потока нисходящего солнечного излучения на нижней границе атмосферы, причем отклонения потока солнечного излучения от этого тренда для суши широтного пояса 30–75°с.ш. отрицательно коррелируют с производением оптической толщины облаков и степени покрытия ими атмосферы (рис. 5).

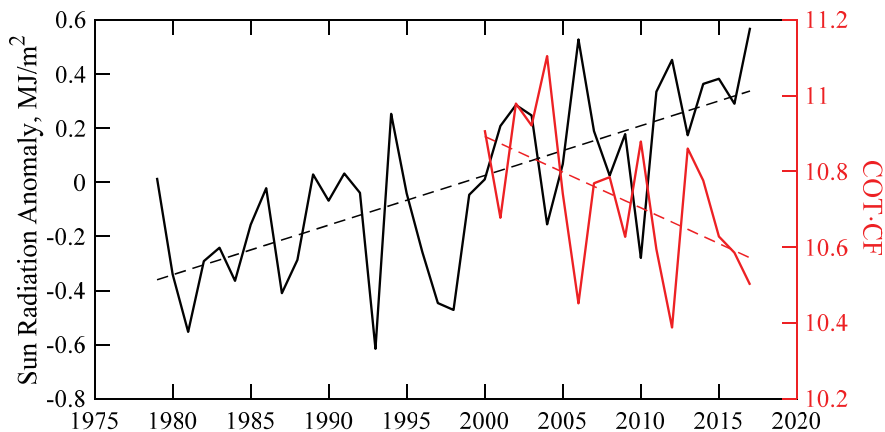


Рисунок 5 – Поток солнечной радиации на нижней границе атмосферы и оптический «объем» облаков (произведение оптической толщины облаков и степени покрытия им атмосферы) над сушей широтного пояса 30-75°с.ш.

Климатообусловленные изменения растительных экосистем Беларуси. Анализ спутниковых измерений вегетационного индекса подстилающей поверхности NDVI, показывает, что NDVI на 84 % площади Беларуси с начала текущего столетия возрастает, причем на 37 % площадей рост NDVI является статистически значимым. По расчетам современных компьютерных моделей глобальной динамики экосистем увеличение листового покрытия планеты за период 1982 – 2009 гг. на 70.1 ± 29.4 % объясняется эффектом увеличения концентрации CO_2 в атмосфере. Эксперименты с растениями в теплицах и замкнутых камерах показывают, что при увеличении содержания в воздухе CO_2 интенсивность фотосинтеза растет до значений концентрации CO_2 около 800–1000 ppm. Однако из-за нехватки элементов минерального питания и дефицита влаги насыщение растительности углеродом может происходить и при более низких концентрациях CO_2 , что ограничивает возможности растительности по противодействию росту концентрации CO_2 .

Неблагоприятные метеорологические явления, такие как заморозки и засухи, частота которых возрастает с глобальным потеплением, также оказывают негативное влияние на рост растений и урожайность сельскохозяйственных культур. С 1982 по 2012 годы число дней с заморозками в Северном полушарии выше 30°с.ш. возросло примерно на 43 %. На территории Европы это увеличение составило около 82 %.

Еще более существенные ограничения на фотосинтез накладывает дефицит влаги. В настоящее время этот фактор ограничивает рост деревьев на большей части суши, а площадь северных регионов, в которых рост деревьев ограничивается низкими температурами, стремительно сокращается. Расчеты глобальных климатических моделей последнего поколения (CMIP5), несмотря на большую неопределенность их климатических проекций, прогнозируют статистически значимое усиление засушливости климата в глобальном масштабе при всех сценариях развития парникового эффекта к концу текущего столетия.

Анализ корреляций между аномалиями NDVI, солнечной радиации, температуры воздуха и количества осадков, усредненными за наиболее активную часть вегетационного периода (май–август), показывает, что на территории Беларуси главным фактором изменчи-

ности NDVI является количество осадков (рис. 5). Наиболее тесная корреляция NDVI и осадков характерна для территорий, отведенных под сельскохозяйственные угодья.

Для исследования влияния изменений климата Беларуси на продуктивность ее растительных экосистем нами построены уравнения множественной регрессии между NDVI и метеорологическими параметрами для всей территории Беларуси с пространственным разрешением 500 м.

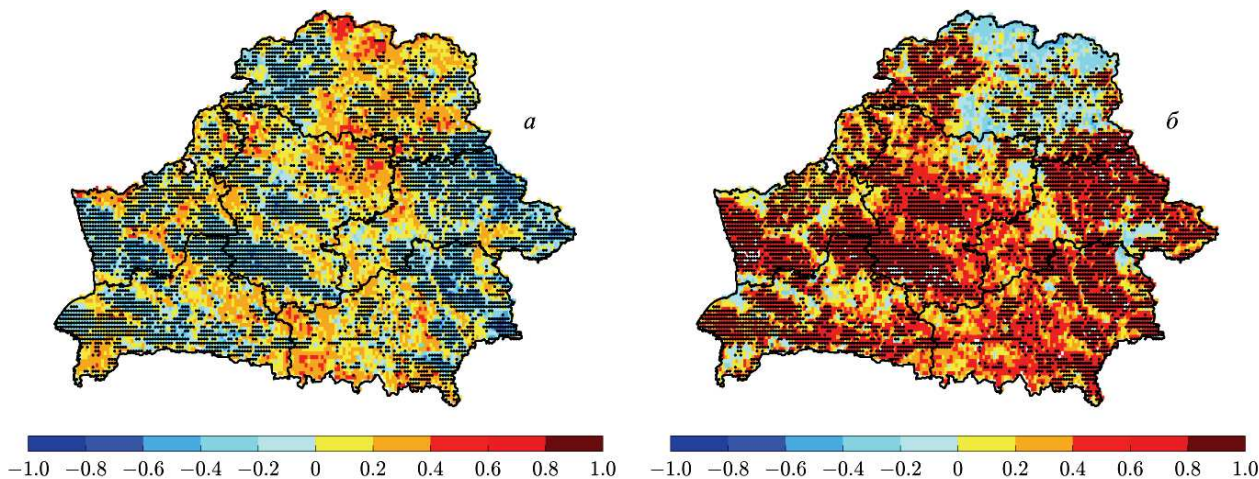


Рисунок 6 – Карты коэффициентов корреляции между отклонениями от линейных трендов NDVI и метеорологических параметров: средней температуры воздуха (а) и количества осадков (б) с мая по август; точками обозначены сельскохозяйственные угодья

Карты NDVI скомпилированы из 16-дневных композиционных изображений MODIS. Карты метеорологических параметров получены на основе интерполяции методом кригинга данных метеорологических станций Республики Беларусь и ближайших 20 станций соседних государств. На основе полученных уравнений рассчитаны климатообусловленные составляющие трендов NDVI. Полученные результаты представлены на рис. 6. Видно, что практически во всех сельскохозяйственных районах Беларуси изменения климата приводят к снижению фотосинтетически активной биомассы, пропорциональной индексу NDVI. Это связано с быстрым ростом температуры воздуха в вегетационный период при практически неизменном количестве осадков, что способствует усилению засушливости климата. Особое опасение вызывает тот факт, что отрицательное влияние изменений климата на биопродуктивность сельхозкультур Беларуси со временем усиливается: если до 2000 г. негативное влияние изменений климата в основном проявлялось в западной части Беларуси, то с 2000 г. этому влиянию стал подвержен и восток Беларуси.

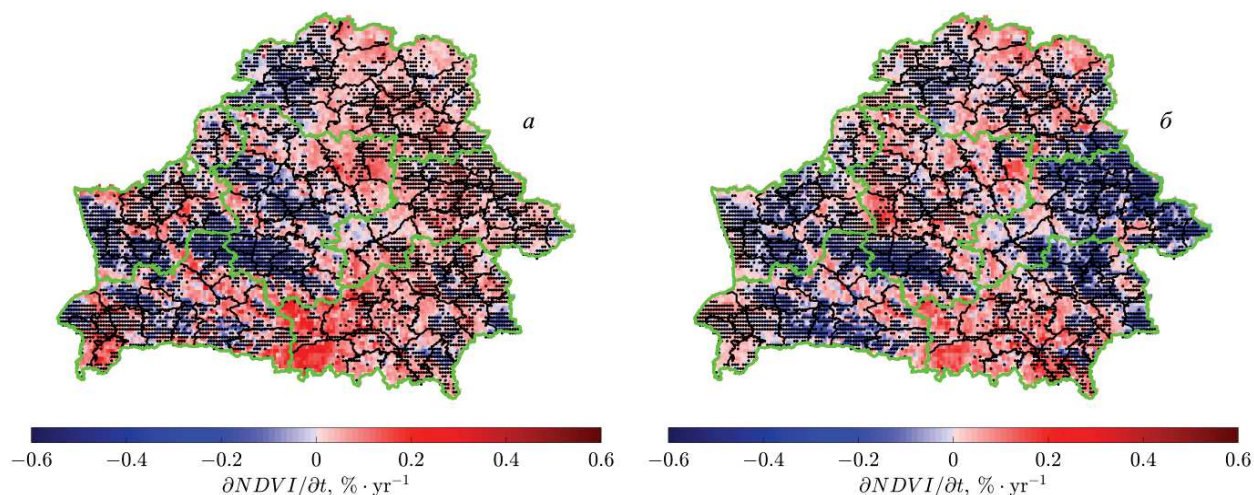


Рисунок 7 – Климатообусловленные составляющие тренда NDVI за периоды 1975–2000 г. (а) и 2000–2018 гг. (б); точками обозначены сельскохозяйственные угодья

В тоже время лесные массивы Беларуси в целом положительно реагируют на изменения климата, что, вероятно, связано с их лучшей способностью удерживать влагу по сравнению с растительностью пашни. Кроме того высокие кроны деревьев отбрасывают тень и эффективно охлаждают почву в дневное время. Нельзя также исключать из рассмотрения и способности некультивируемых видов растительности адаптироваться к изменениям климата. У многих растений открытие устьиц (микроотверстий в листьях, через которые происходит испарение и газообмен с окружающей средой) зависит в первую очередь от содержания CO_2 в воздухе. Повышенный уровень CO_2 в воздухе ослабляет транспирацию и уменьшает потерю влаги почвой.

Список использованных источников

1. Robinson, David A., Estilow, Thomas W.; and NOAA. CDR Program (2012): NOAA Climate Data Record (CDR) of Northern Hemisphere (NH) Snow Cover Extent (SCE), Version 1. NOAA National Centers for Environmental Information.
2. Логинов В.Ф., Лысенко С.А. Оценка роли Тихого океана в изменениях современного климата // Известия РАН. Серия географическая. 2019. № 3 (в печати).
3. Deser C., Guo R., Lehner F. Trajectories toward the 1.5°C Paris target: Modulation by the Interdecadal Pacific Oscillation // Geophys. Res. Lett. 2017. V. 44. № 9. P. 4256–4262.
4. Santer B.D., Santer B.D., Po-Chedley S., Zelinka M.D. et al. Human influence on the seasonal cycle of tropospheric temperature // Science. 2018. V. 361, No. 6399.

УДК 504.064.2(476)

Л.С. Лис, доц., канд. техн. наук

ГНУ Институт природопользования НАН Беларуси, г. Минск

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕРРИТОРИИ И ОЦЕНКА УРОВНЕЙ ЗАБОЛЕВАНИЯ ПРОЖИВАЮЩЕГО НАСЕЛЕНИЯ

В настоящее время в среде мирового сообщества происходит переоценка приоритетов в путях дальнейшего устойчивого развития человеческого общества. На передний план в большинстве государств выдвигаются экологические проблемы, приобретающие все более масштабный характер на всем пространстве Земли. Перечень этих проблем постоянно расширяется, выдвигая в различных направлениях все новые аспекты и требования их незамедлительного решения. Обеспечение для человеческого общества благоприятного состояния окружающей среды становится стержнеопределяющей политикой всех государств и народов.

Задачи по обеспечению благоприятной окружающей среды в различных регионах Земли имеют свои особенности и различия. Мировым сообществом предпринимаются огромные усилия по решению экологических проблем, однако в целом они достаточно далеки от окончательных побед. Необходимо признать, что отрицательные глобальные изменения в окружающей среде продолжаются, их динамика нарастает в результате экономического роста многих стран континента. Именно такие тенденции в ухудшении состояния окружающей среды связываются также и с прогрессирующим нарастанием численности населения в мире, как следствие, его возрастающим воздействием на элементы окружающей среды. И в этой же связи на повестку дня возникает проблема связи и взаимодействия состояния ОС, и здоровья населения. Именно общество приходит к выводу, что показатели здоровья населения следует отнести к характеристикам состояния ОС [1].

Задавшись такой задачей, в первую очередь следует обосновать перечень показателей, отнесенных к комплексной характеристике состояния ОС, ровно как и обозначить перечень индексов здоровья населения, которое проживает и трудится в определенном регионе. При этом, чтобы выявить и характеризовать установление взаимосвязей отмеченных категорий, необходимо в исследованиях оперировать численными показателями их характеристик.