

УДК 631.423.2:551.583.13

**ДИНАМИКА ВЛАЖНОСТИ ПОЧВ ЗАПОВЕДНЫХ УЧАСТКОВ ЛЕСОСТЕПИ
НА ФОНЕ ВНУТРИВЕКОВОЙ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ**

**DYNAMICS OF SOIL MOISTURE CONSERVATION AREAS OF FOREST-STEPPE
ON THE BACKGROUND OF INTERDECADAL CLIMATE VARIABILITY**

Н.С. Кухарук¹, Л.Г. Смирнова², А.Г. Нарожняя¹, Ю.Г. Чендев¹, Г.П. Глазунов³

N.S. Kukharuk¹, L.G. Smirnova², A.G. Narozhnyaya¹, Y.G. Chendev¹, G.P. Glazunov³

¹ Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85

² Белгородский федеральный аграрный научный центр РАН,
Россия, 308001, г. Белгород, ул. Октябрьская, 58

³ Всероссийский НИИ земледелия и защиты почв от эрозии,
Россия, 305021, г. Курск, ул. Карла Маркса, 70б

¹ Belgorod State National Research University, 85 Pobeda St, Belgorod, 308015, Russia

² Belgorod Federal Agrarian Research Center of the Russian Academy of Sciences,
58 Oktyabryskaya St, Belgorod, 308001, Russia

³ All-Russian Research Institute of Agriculture and Soil Erosion Control,
70b Karl Marks St, Kursk, 305021, Russia

E-mail: kuharuk@bsu.edu.ru; lidya.smirnova@yandex.ru; chendev@bsu.edu.ru;
narozhnyaya_a@bsu.edu.ru; gennadij-glazunov@yandex.ru.

Аннотация

Выявлению отклика влажности черноземов лесостепной зоны на динамику климатических параметров на фоне внутривековой климатической изменчивости посвящены данные исследования. Анализировались первичные исходные величины влажности почв под естественной растительностью в режиме абсолютного заповедования начиная с 1946 г. и по настоящее время. Влажность почвы изучалась в толще мощностью от 0 до 3-х м в течение вегетационного периода – с апреля по октябрь – один раз в месяц. Для выявления отклика влажности почвы на короткопериодические климатические флуктуации использовали полином 5-ой степени, который позволил установить засушливые и влажные периоды. В засушливый период влажность почв, в среднем, составляла 25.0%, во влажный – 27.4%. За изучаемый период выявлена средняя связь между влажностью почвы и ГТК ($r=0.51$). При этом отмечается запаздывание изменения значения влажности почв от значений ГТК на 2–3 года. Графическая модель поведения влажности отражает распределение областей увлажнения и иссушения в 0–300 см слое почвы. С 1948 по 1954 гг. наблюдается нарастание влажности вплоть до 2-х метров. Временной интервал с 1977 по 1984 гг. характеризуется увеличением глубины промачивания до 2.5 м. С 1989 по 2005 гг. наблюдаются усиление увлажненности территории и увеличение глубины промачивания до 300 см. Происходит смыкание зон увлажнения в интервале 30–40%. С 2006 г. и до конца периода наблюдения заметно нарастание зон с влажностью почвы от 10 до 20%. Выделяются пространственные области на глубине более 2-х метров с влажностью от 0 до 10%. В этот период отмечается нарастание положительных температур, которые усиливают процессы испарения и иссушают почву на значительной глубине. Такая ситуация наблюдается в почвах южных степей и не характерна для мицелярно-карбонатного чернозема.



Abstract

The purpose of scientific research is to identify response of soil moisture of chernozems in the forest-steppe zone to the dynamics of climatic parameters against the backdrop of the age-old climatic variability. Initial values of soil moisture under natural vegetation in absolute conservation areas of forest-steppe (from 1946 to the present) were analyzed. Soil moisture was measured once a month at a depth of 0 to 3 meters during the growing season (from April to October). By dint of a smoothing of the soil moisture data series by a polynomial trend (5th degree) arid and wet periods are identified. In the arid period soil moisture averaged 25.0%, in wet – 27.4%. During the study period, a moderate correlation was observed between soil moisture and hydrothermal coefficient (HTC) ($r=0.51$). Soil moisture reacts to HTC with a delay of 2–3 years. The tendency of increase in HTC values is noted, this means that there is an increase in the humidity of the territory against the background of positive temperatures growth during the study period. There is a decrease in the continentality of the climate. Chronosplit humidity 3 meter thickness of the chernozem was constructed. On the chronosplit the graphical display of areas with different humidity values reflects the distribution of humidification and drying areas in the 0–3 meters layer of soil. There was an increase in humidity up to 2 meters from 1948 to 1954 years. From 1977 to 1984 noted an increase in the depth of soaking of the soil to 2.5 meters. From 1989 to 2005 there is an increase in the moisture content of the territory and an increase in the depth of soaking to 3 meters. The humidifying zones are closed in the range of 30–40%. The only exception is the seasonal decrease in humidity along the profile. From 2006 until the end of the study period, the zones with a soil moisture content of 10 to 20% increase markedly. Spatial regions are distinguished at a depth of more than 2 meters with a moisture content of 0 to 10%. During this period, positive temperatures increase, which intensify evaporation processes and dry the soil to a considerable depth. Similar facts are observed in the soils of the southern steppes and are not characteristic of micellar-carbonate chernozem.

Ключевые слова: влажность почв, черноземы, заповедные участки лесостепи, климатическая изменчивость, температура воздуха, осадки, гидротермический коэффициент, циклы Брикнера.
Keywords: soil moisture, chernozems, conservation areas of forest-steppe, climatic variability, air temperature, precipitation, hydrothermal coefficient, climatic Bruckner cycle.

Введение

Глобальные климатические изменения и ожидаемые в связи с ними негативные последствия требуют регулярной оценки наблюдаемых региональных изменений в климатической системе. На климатической конференции ООН в декабре 2016 г. принято Парижское соглашение, определяющее рамки многостороннего сотрудничества в связи с изменением климата на период после 2020 года [Доклад ..., 2017].

Для углубления фундаментальных представлений о влиянии меняющегося климата на развитие и функционирование природных и природно-антропогенных геосистем на юге лесостепи Среднерусской возвышенности необходим комплексный анализ существующих многолетних данных о состоянии водного режима черноземов.

Закономерности климатических изменений, отмеченные в литературных источниках, позволяют выявить влияние короткопериодических изменений климата на компоненты окружающей среды. Тем не менее, существует огромный дефицит сведений о влиянии внутривековых климатических циклов на почвы и почвенный покров. Поэтому изучение влияния изменений климата на почвы приобретает особую важность в сельскохозяйственных регионах России.

При обосновании отклика почв на короткопериодические климатические флуктуации целесообразно выявить основные ранее установленные закономерности. Исследования А.А. Роде [1960], А.Ф. Большакова [1961], В.В. Герцык, А.А. Роде [1978], проведенные еще в 1960–70-х гг., показали, что наблюдавшееся в этот период нарастание атмосферного увлажнения повлекло за собой изменение режима влажности



черноземов лесостепи на территории природного биосферного заповедника имени В.В. Алехина: увеличение в них запасов влаги, более частое сквозное промачивание трехметровой почвенной толщи, а также изменение карбонатного профиля и ряда диагностических признаков.

Ряд современных авторов [Базыкина, Бойко, 2008; Сухарев, 2012; Базыкина и др., 2015] отмечают, что в течение различных климатических циклов, особенно продолжительных, происходят существенные изменения в растительном и почвенном покровах. Потепление холодных и увеличение увлажненности теплых полугодий, начавшиеся в 70-х годах прошлого столетия, привели к заселению некосимой целинной степи древесно-кустарниковой растительностью и усилению олуговения травяного покрова косимой степи. Исследователи отмечают изменение водного режима черноземов, увеличение их влажности [Базыкина, Бойко, 2010]. Кроме того, отмечены циклические закономерности формирования карбонатного профиля в соответствии с режимом влажности миграционно-мицелярных черноземов разных экосистем Курской области [Овечкин, Базыкина, 2011, 2012].

Установлено, что изменение климата может значительно влиять на почвы и их свойства. В частности, исследования, проведенные в Центральной Канаде, показывают реакцию почвенного органического вещества на климатическую динамику [Purton, 2015]. Другой аспект, касающийся эрозии почв, связанной с количеством выпавших осадков в период 1989 по 2007 годы, был рассмотрен в статье немецких исследователей [Routschek, et al., 2014]. Определив тренд климатических изменений, они разработали прогнозные модели до 2100 года, отражающие темпы эрозионных процессов почв.

В работах D.T. Mihailovich et al. [2016] и V.I. Ciric et al. [2017] выявлено, что черноземы оказались более чувствительными к климатическим параметрам (температуре воздуха и количеству выпадающих осадков), чем почвы, имеющие повышенное увлажнение (Fluvisols, Gleysols и Vertisols). Черноземы имели более высокие значения, характеризующие испарение почвенной влаги из профиля и внутрипочвенную миграцию. В результате была получена региональная модель поведения почвы в заданных климатических параметрах.

Динамика свойств почв, обусловленная климатическим фактором на территории лесостепи Среднерусской возвышенности, позволила выявить влияние короткопериодических изменений климата на окружающие природные объекты [Chendev, 1997; Chendev et al., 2012].

Актуальным является проведение комплексного сопряженного анализа полученных данных о влажности почв и климатических показателей в природном лесостепном ландшафте под естественной растительностью в режиме абсолютного заповедования, а также установление цикличности происходящих процессов в почве под действием меняющихся климатических факторов и условий.

Целью научного исследования явилось выявление отклика влажности черноземов лесостепной зоны на динамику климатических параметров на фоне внутривековой климатической изменчивости.

Объекты и методы исследования

Исследование динамики влажности почв до 300 см было проведено на основе материалов, полученных в пределах заповедных участков ФГБУ «Центрально-Черноземный государственный природный биосферный заповедник имени профессора В.В. Алехина [Материалы ..., 1979; Анализ ..., 2000; Летопись природы, 2002].

Был проанализирован водный режим целинных почв в природном лесостепном ландшафте под естественной растительностью в режиме абсолютного заповедывания.



Анализировались первичные исходные величины влажности почв (в % к абсолютно сухому весу почвы).

Многолетние данные о влажности мощных черноземов являются уникальными, т.к. наблюдения на протяжении всех лет, начиная с 1946 г. и по настоящее время, ведутся по одной методике. Важным является также то, что влажность почвы изучается в толще большой мощности – от 0 до 3-х м.

Участок заповедника, где ведутся наблюдения, расположен в юго-западной части Среднерусской возвышенности, в 20 км к югу от г. Курска. Рельеф заповедника представляет собой разновысотные выпуклые водоразделы, расчлененные балками. Склоны балок задернованы, современная эрозия не выражена. Водоразделы плавно переходят в приводораздельные склоны. Абсолютные высоты водоразделов 240–260 м над уровнем моря.

Почвообразующая порода – светло-палевый лессовидный суглинок двучленного сложения. Верхний тяжелый суглинок мощностью 2–3 м подстилается средним пылеватым суглинком, граница между наносами большей частью нерезкая. Двучленное сложение материнской породы оказывает большое влияние на водный режим мощных черноземов. Грунтовые воды на территории заповедника лежат на глубине 12–16 м. Питание почв влагой происходит за счет атмосферных осадков, со среднегодовой суммой, составившей за столетний период (с 1897 по 1996 гг.) 590 мм. Средняя многолетняя сумма осадков холодного периода за этот же срок наблюдений составила 245 мм, а теплого периода – 345 мм. Основную влагозарядку мощные черноземы получают за осенне-зимне-весенний период. Наибольшие запасы влаги в почве бывают, как правило, весной после снеготаяния. Почвенный покров заповедника как в степи, так и в лесу представлен в основном мощными типичными и выщелоченными черноземами, тяжелосуглинистыми по механическому составу.

Летние осадки обычно увлажняют лишь верхние 10–20 см почвы. Только когда в летние месяцы выпадает много осадков, мощные черноземы промокают до глубины 80–100 см и более. Но это наблюдается сравнительно редко. В пополнении запасов влаги в почве, в отдельные годы, большую роль играют осенние дожди, так как в этот период расход влаги на транспирацию и физическое испарение незначителен. В целом, водный режим мощных типичных и слабовыщелоченных черноземов лесостепной полосы Среднерусской возвышенности относится к периодически промывному типу.

Изучались черноземы типичные мощные (или, в соответствии с действующей классификацией, черноземы миграционно-мицелярные) под разнотравно-луговой степью.

Методика определения влажности почвы в заповеднике проводилась по А.А. Роде [1960]. Определение влажности почвы основано на термостатно-весовом методе. Образцы почвы брались почвенным буром. Влажность почвы определялась до глубины 3 м, послойно, в каждом 10-сантиметровом слое (в верхних 10 см через каждые 5 см: 0–5 и 5–10 см). Повторность при взятии образцов до глубины 1 м принята четырехкратной, ниже (от 1 до 3-х м) – двукратной. Влажность почвы определена в процентах от абсолютно сухого веса почвы. При этом следует отметить, что периодичность наблюдений за режимом влажности почв варьировала: наблюдения в течение всего года; только в течение вегетационного периода – с апреля по октябрь, один раз в месяц; летом наблюдения могли проводиться дважды в месяц. Но это не влияет на выявление отклика почвенной влажности на климатические параметры, так как рассчитываются их среднегодовые значения.

Проводили анализ метеорологических данных, полученных на метеостанции заповедника «Стрелецкая степь» (Стрелецкого участка) с постоянными восьмисрочными наблюдениями. Комплекс этих параметров, представленный по



годам, разнообразен: ежемесячная сумма осадков, средняя температура поверхности почвы, число дней с атмосферными явлениями, средняя температура воздуха, экстремальные значения температуры воздуха и поверхности почвы, высота снежного покрова зимой, результаты снегомерных съемок, климатическая характеристика года по сезонам, климатические особенности года исследования. Для задач нашего исследования первостепенное значение имели такие показатели, как ежемесячная сумма осадков, средняя температура воздуха для расчета и построения динамики ГТК. На основе этих данных были сформированы вариационные ряды для выявления климатообусловленных реакций почв за длительный период: с 1946 по 2000 гг. Установлен коэффициент корреляции между влажностью почв и значениями ГТК. Для характеристики представленных рядов и выявления тренда их динамики использовали полином 5-ой степени.

Результаты и их обсуждение

Гипотеза о циклических изменениях климата – чередовании прохладно-влажных и тепло-сухих периодов в интервале 35–45 лет – выдвинута еще в конце XIX в. русскими учеными Э.А. Брикнером и А.И. Воейковым [Почвы и растительность ..., 2016]. Впоследствии эти научные положения были существенно развиты А.В. Шнитниковым [1957, 1969] в виде стройной теории о внутривековой и многовековой изменчивости климата и общей увлажненности материков Северного полушария.

По А.В. Шнитникову [1969], длительность отдельных внутривековых «брикнеровских» климатических циклов колеблется от 20–30 до 45–47 лет, и на их фоне развиваются циклы продолжительностью 7–11 лет. В каждом втором «брикнеровском» цикле максимальные и минимальные значения температуры и влажности существенно превышают внутривековые показатели и классифицируются как циклы векового масштаба проявления. Вековые циклы развиваются в интервале 60–80 лет, приближаясь в северных районах к 90 годам.

С начала 50-х годов прошлого века по 2000-е годы, согласно циклам Брикнера, в условиях внутривековой прохладно-влажной фазы климата развивается диаметрально противоположная тенденция – многовековая тепло-сухая эпоха 2000-летнего цикла, начавшаяся в середине XIX века [Смирнова и др., 2016].

При этом вековой тренд потепления и внутривековой рост увлажнения создают различные комбинации в климатических тенденциях. Увеличение скорости таяния ледников как следствие вековой тенденции потепления, с одной стороны, и повышение зимних осадков как следствие внутривековой прохладно-влажной фазы – с другой, вызывают резкие увеличения стока рек, повышенное влагонакопление в отдельных регионах и последующий интенсивный перенос накопленных водно-воздушных масс, которые обрушиваются обильными дождями или снегопадами в несвойственных ранее районах. Вековые тепло-сухие фазы обрушиваются на землю жарой и засухой, а иногда в начале их развития и обильными осадками на локальные территории. Следствиями вековой и внутривековой климатических тенденций, а также векового гелиогеоритма являются обильные снегопады и мощнейшие наводнения, прокатившиеся в 2004–2006 гг. по Западной Европе, Американским континентам, Австралии, землетрясения последних лет на Сахалине и в Японии, Иране, Турции, Индии, цунами 2004 г. в странах Юго-Восточной Азии [Израэль и др., 2001; Изменение климата ..., 2001; Груза, Ранькова, 2003; Разуваев и др., 2005; Переведенцев и др., 2007].

Данные полиномиального сглаживания хода средних летних температур воздуха и средних летних количеств атмосферных осадков дают возможность построить модель поведения климатических циклов, начиная с конца 19 века и по

настоящее время. На рисунке 1 представлена волнообразная динамика метеорологических данных, которые подтверждают чередование фаз циклогенеза и антициклогенеза в соответствии с циклами Брикнера. Фаза циклогенеза, отмеченная на рисунке 1, начинается с 1902 года и заканчивается в 1935 году. Затем наступает определенная температурная норма в фазу антициклогенеза, когда волны осадков и температуры находятся в равновесном состоянии, которое затем, постепенно, начиная с конца 40-х годов, сменяется фазой циклогенеза. Характерной особенностью этой фазы является повышенная увлажненность и понижение средних температур. В этот период в заповеднике было выполнено определение почвенной влажности – важного показателя климатической изменчивости.

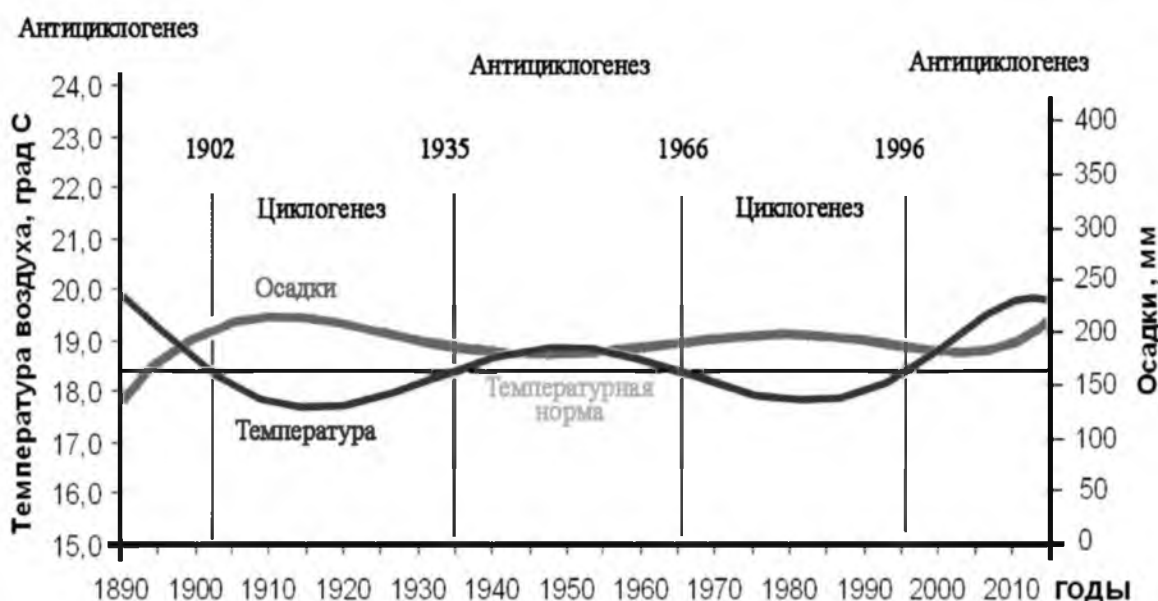


Рис. 1. Циклы Брикнера по данным полиномиального сглаживания хода средних летних температур воздуха и средних летних количеств атмосферных осадков (июнь–август) [Почвы и растительность ..., 2016]

Fig. 1. Cycles Brickner according to the polynomial of smoothing the progress of average summer air temperatures and mean summer precipitation amounts (June–August) [Pochvy i rastitel'nost' ..., 2016]

Проведена обработка материалов по многолетней динамике влажности почв на абсолютно заповедном участке с целью выявления отклика показателя влажности на короткопериодические внутривековые климатические флуктуации в природных условиях лесостепных ландшафтов. Выбор д

анного участка обоснован тем, что было необходимо исключить влияние антропогенных факторов. Для этого подготовлены вариационные ряды данных для выявления климатообусловленных реакций почв за длительный период: с 1946 г. и по 2013 г.

Графическое отображение влажности толщи миграционно-мицелярных черноземов абсолютно заповедных участков в сопряжении с температурой воздуха и количеством выпадающих осадков представлено на рисунках 2 и 3.

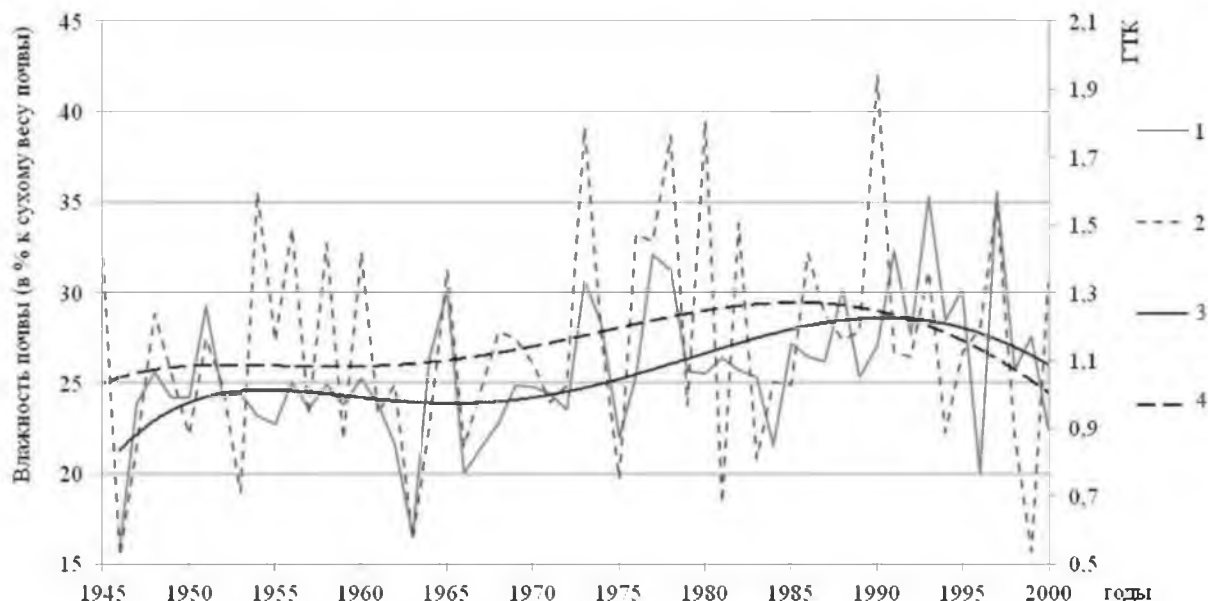


Рис. 2. Динамика влажности чернозема типичного в метровом слое на заповедном участке:
 1 – влажность почвы (в % к абсолютно сухому весу почвы), 2 – значения ГТК,
 3 – полиномиальная кривая влажности почвы, 4 – полиномиальная кривая ГТК
 Fig. 2. The dynamics of the moisture content of typical Chernozem
 in the m layer at the protected site:
 1 – soil Moisture (in % to dry weight of soil), 2 – values of the SCC, 3 – polynomial curve of soil
 moisture, 4 – polynomial curve, SCC

На рисунке 2 отображена динамика влажности почвы в метровом слое как наиболее ярко реагирующем на климатическую изменчивость. За изучаемый период, представленный на графике, почвенная влажность варьирует в зависимости от климатических параметров, таких как количество выпавших осадков и температура воздуха. Период исследования длился 55 лет: с 1946 по 2000 гг.

Для выявления отклика влажности почвы на короткопериодические климатические флуктуации были проанализированы гидротермический коэффициент и полевая влажность почв, выраженная в %. Для характеристики представленного ряда наблюдений за влажностью почв и установления тренда ее динамики использовали полином 5-й степени. Построенный полином позволил установить засушливые и влажные периоды. В засушливый период влажность почв, в среднем, составляла 25.0%, во влажный – 27.4%. За изучаемый период выявлена заметная связь (по шкале Чеддока) между влажностью почвы и ГТК ($r=0.51$). При этом отмечается запаздывание на 2–3 года изменения значений влажности почв от изменения значений ГТК. На представленном графике (см. рис. 2) полиномиальные влажность и ГТК в период с 1946 по 1983 гг. более синхронны, чем с 1984 по 2000 гг., когда наблюдается наибольшее расхождение показателей.

Общая направленность климатического процесса выражена в сторону увеличения значений ГТК, т. е. происходит нарастание увлажненности территории на фоне роста положительных температур за период исследования. Наблюдается снижение континентальности климата. Полином, характеризующий ГТК, варьирует от 1.0 до 1.28.

Необходимо отметить, что влажность почвы миграционно-мицелярного чернозема заповедного участка степи в абсолютно заповедном режиме описывается внутривековой цикличностью в зависимости от синоптических изменений в составе климатических факторов.

Для пространственно-временного анализа, с выделением областей увлажнения и иссушения почвенного профиля исследуемых почв, нами были построены хроноизоплеты влажности 3-метровой толщи миграционно-мицелярного чернозема (рис. 3).

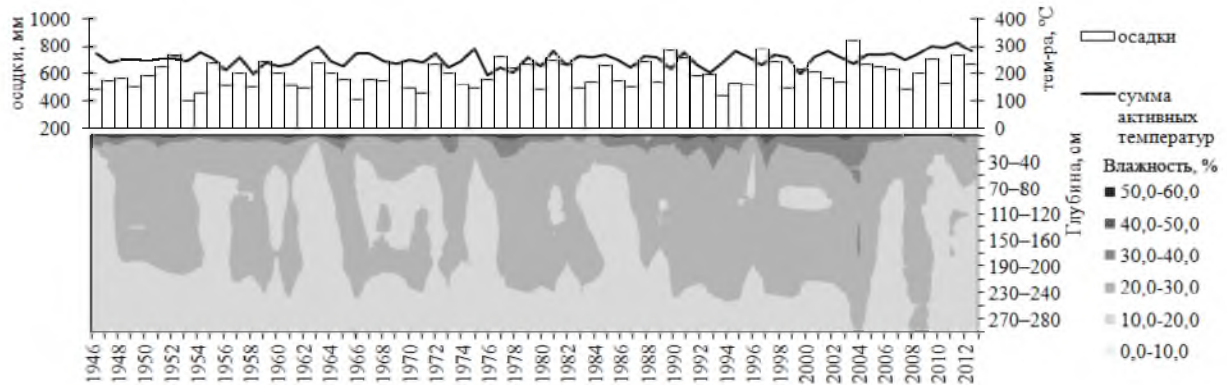


Рис. 3. Хроноизоплеты влажности 3-метровой толщи миграционно-мицелярного чернозема (среднегодовые значения за теплый период влажности почвы в % к абсолютно сухому весу почвы)

Fig. 3. Chronosplit humidity 3 meter thickness of the migration-michelango of black soil (average value for the warm period soil moisture in % to dry weight of soil)

Было получено двухмерное отображение зон с различной влажностью почвы (в % по отношению к абсолютно сухой почве), хронологически связанное с метеопараметрами температуры воздуха и количеством выпавших за анализируемый период осадков по вегетационным периодам отдельных лет. В целом, данные представляют единый ряд динамики влажности почв со среднегодовыми значениями всех показателей, используемых в анализе.

Области влажности почв разбиты на шесть классов: 0–10%; 10–20%; 20–30%; 30–40%; 40–50%; 50–60 % и 60–70%, – реально зафиксированных в почвенном профиле.

Полученное графическое отображение областей с различными значениями влажности весьма наглядно для выявления отклика почвы, обусловленного изменениями климатических показателей. Определение запасов влаги не является целью нашего исследования, заключающегося в выявлении отклика почвы на климатическую изменчивость.

Анализируя представленный временной график влажности чернозема, можно отметить определенную закономерность в распределении областей увлажнения и иссушения в 300-сантиметровом слое почвы. На рисунке 3 выделяются несколько областей состояния влажности почвы. До 1948 г. значения показателей влажности в % по отношению к абсолютно сухому весу почвы колеблются от 10 до 20%. С 1948 по 1954 гг. наблюдается нарастание влажности в слоях почвы вплоть до 2-х метров, при этом ее уровень составлял, преимущественно, 30–40%. Следует отметить, что особенностью данного периода является относительно неглубокое промачивание. Аналогичные циклические изменения в состоянии почвенной влажности наблюдались в следующие разновременные периоды: 1955–1956, 1957–1962, 1963–1965 и 1966–1969 годы, – когда фазы иссушения сменялись фазами увлажнения.

Следует отметить, что внутри вегетационного периода каждого года имеет место разнородная динамика увлажнения почвы по месяцам, обусловленная метеорологическими особенностями, что увеличивает общую вариабельность количественных характеристик влажности почв, отраженных на рисунке 3.



Особенностью временного интервала с 1977 г. по 1984 г. является длительный влажный период. Промачивание почвы тогда достигло глубины 2.5 м. Наблюдалось чередование сухих сезонных периодов, сменяемых влажными фазами, различными по длительности. На глубине 250–300 см в 1988 и 1989 годах отмечалось иссушение этого почвенного слоя до 10%.

Однако с 1989 г. по 2005 г. наблюдаются возрастание увлажненности территории и увеличение глубины промачивания до 3.0 м. Происходит, практически, смыкание зон увлажнения в интервале 30–40%. Исключения составляют области сезонного уменьшения влажности по профилю. С 2006 г. и до конца периода наблюдения заметно увеличение площадей зон с влажностью почвы от 10 до 20%. Выделяются пространственные области на глубине более 2-х метров с влажностью от 0 до 10%. В этот период отмечается нарастание положительных температур, которые усиливают процессы испарения и иссушают почву на значительной глубине.

Закономерно, что особое внимание в ходе исследовательских работ было уделено изучению современных тенденций в режиме влажности миграционно-мицелярных черноземов под разнотравно-луговой степью. Так, при сопоставлении многолетних метеорологических показателей и элементов водного режима трехметровой толщи черноземов заповедной степи и в ходе анализа временного интервала с 2006 по 2013 гг. было установлено, что с увеличением атмосферного увлажнения и ростом температур за 7 лет произошло увеличение числа случаев сквозного промачивания черноземов вследствие увеличения их осенне-зимней влагозарядки.

Анализ метеорологических данных, предоставленных метеостанцией, функционирующей на территории заповедника, показал, что рассматриваемый временной интервал накладывается на фазу антициклогенеза (по Брикнеру). Данный хроносрез характеризуется аномально высокими температурами при высоком увлажнении, что не могло не повлиять на состояние влажности мицелярно-карбонатных черноземов и их режимов.

На рисунке 3 области влажности фиксируются на уровне диапазона влажности разрыва капилляров (ВРК) и наименьшей влагоемкости (НВ) в пределах 40–50% на глубинах 30–40 см в период времени с 2000 по 2005 гг., что свидетельствует о периодически происходящем сквозном промачивании этого слоя, наблюдающемся в период обильного увлажнения. Ниже слоя 40 см отмечается влага на уровне ВРК. На уровне глубин 230–240 см и ниже (до глубины 3 м) присутствует зона, соответствующая влаге завядания (ВЗ). Она, в общем, стабильна, во времени, но начиная с 2006 г. область иссушения распространяется на вышележащие слои почвенной толщи, достигая в отдельные годы поверхности. Интенсивность процессов иссушения нарастает в почвах с течением времени. Так, отмечаются фрагментарные зоны ниже ВЗ на разных глубинах в 2007 г., 2010 г., 2012 г., 2013 г. Такая ситуация наблюдается в почвах южных степей и не характерна для мицелярно-карбонатного чернозема. Таким образом, влажность почвы можно отнести к наиболее ярко выраженным показателям и возможности рассматривать её в качестве индикатора внутривековой динамики климата.

Заключение

На основании сопряженного анализа многолетних значений влажности почвы, количества выпавших осадков и температуры воздуха выявлены определенные взаимоотношения абиотических показателей. Так, исследования, проведенные на участке абсолютно заповедного режима, показывают климатообусловленную динамику состояния почвенной влажности, обладающую определенной цикличностью, которая варьирует в пространственно-временной модели, полученной в ходе исследования.



Связь климатических параметров и отклика почвы в виде динамики влажности описывается полиномом 5-го порядка, который позволил установить засушливые и влажные периоды. В засушливый период влажность почв, в среднем, составляла 25.0%, во влажный – 27.4%. За изучаемый период выявлена умеренная связь между влажностью почвы и ГТК ($r=0.51$). При этом отмечается запаздывание на 2–3 года изменения значений влажности почв от изменения значений ГТК.

Графическая модель поведения влажности почвы во внутривековом климатическом цикле отражает периоды увлажнения и иссушения в слое 0–300 см. Отмечается постепенное увеличение увлажненности территории во времени. С 1948 по 1954 гг. наблюдается нарастание влажности вплоть до 2-х метров. Временной интервал с 1977 по 1984 гг. показывает увеличение глубины промачивания до 2.5 м. С 1989 по 2005 гг. наблюдаются усиление увлажненности территории и увеличение глубины промачивания до 3-х м.

Анализ временного интервала с 2006 по 2013 гг., который накладывается на фазу антициклогенеза (по Брикнеру), было установлено, что с увеличением атмосферного увлажнения и ростом температур за 7 лет произошло увеличение числа зон с влажностью почвы от 10 до 20%. В этот период отмечается нарастание положительных температур, которые усиливают процессы испарения и иссушают почву на значительную глубину.

Таким образом, влажность черноземов может быть использована в качестве индикатора отклика на синоптические изменения в составе климатических факторов.

Благодарности

Исследование «Региональные отклики компонентов окружающей среды на изменения климата разной периодичности: юг лесостепи Среднерусской возвышенности» выполнено при поддержке Российского научного фонда (проект № 14-17-00171).

Список литературы References

1. Анализ многолетних данных мониторинга экосистем Центрально-Черноземного государственного заповедника. 2000. В кн.: Труды Центрально-Черноземного государственного заповедника. Вып. 16. Тула: 7–22.

Analiz mnogoletnih dannyh monitoringa jekosistem Central'no-Chernozemnogo gosudarstvennogo zapovednika [Analysis of multi-year monitoring data for the ecosystems of the Central Black Earth State Reserve]. 2000. In: Trudy Central'no-Chernozemnogo gosudarstvennogo zapovednika [Proceedings of the Central Black Earth State Reserve]. Vol. 16. Tula: 7–22. (in Russian)

2. Базыкина Г.С., Бойко О.С. 2008. Влияние аномальных погодных условий последних десятилетий на водный режим мощных черноземов заповедной степи (Курская область). *Почвоведение*, (7): 833–844.

Vazykina G.S., Wojko O.S. 2008. Influence of abnormal weather conditions of recent decades on the water regime of powerful chernozems of the protected steppe (Kursk region). *Eurasian Soil Science*, (7): 833–844. (in Russian)

3. Базыкина Г.С., Бойко О.С. 2010. Особенности режима влажности типичных черноземов косимой степи и пашни (Курская область) в условиях аномальной погоды последних десятилетий. *Почвоведение*, (1): 58–70.

Vazykina G.S., Wojko O.S. 2010. Features of the moisture regime of typical chernozem chernozem steppe and arable land (Kursk region) in the conditions of abnormal weather of recent decades. *Eurasian Soil Science*, (1): 58–70. (in Russian)

4. Базыкина Г.С., Извеков А.С., Жданов С.Г. 2015. Водный режим и продуктивность предкавказских агрочерноземов обыкновенных в период аномальных погодных условий 2007–2013 гг. *Почвоведение*, (3): 296–308.



Bazykina G.S., Izvekov A.S., Zhdanov S.G. 2015. Water regime and productivity of pre-Caucasian agrochernozems in the period of anomalous weather conditions in 2007-2013. *Eurasian Soil Science*, (3): 296–308. (in Russian)

5. Большаков А.Ф. 1961. Водный режим мощных черноземов Среднерусской возвышенности. М., 200.

Bol'shakov A.F. 1961. Vodnyj rezhim moshhnyh chernozemov Sredne-Russkoj vozvyshennosti [Water regime of powerful chernozems of the Middle Russian Upland]. Moscow, 200. (in Russian)

6. Герцык В.В., Роде А.А. 1978. Элементы баланса влаги в целинных черноземах в некосимой степи и дубовом лесу. *Почвоведение*, (7): 77–86.

Gercyk V.V., Rode A.A. 1978. Elements of the moisture balance in virgin chernozems in an open steppe and oak forest. *Eurasian Soil Science*, (7): 77–86. (in Russian)

7. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. 2003. Колебания и изменения климата на территории России. *Известия РАН. Физика атмосферы и океана*, 39 (2): 166–185.

Gruza G.V., Ran'kova Ye.Ja. 2003. Fluctuations and climate change in Russia. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, 39 (2): 166–185. (in Russian)

8. Израэль Ю.А., Груза Г.В., Катцов В.М., Мелешко В.П. 2001. Изменения глобального климата. Роль антропогенных воздействий. *Метеорология и гидрология*, (5): 5–21.

Izrael' Ju.A., Gruza G.V., Katcov V.M., Meleshko V.P. 2001. Changes in the global climate. The role of anthropogenic impacts. *Meteorologiya i Gidrologiya*, (5): 5–21. (in Russian)

9. Летопись природы. Научный отчет Центрально-Черноземного государственного природного биосферного заповедника имени профессора В.В. Алехина. 1951–2002. Кн. 1–51.

Chronicle of nature. Scientific Report of the Central Black Earth State Natural Biosphere Reserve named after Professor V. Alekhin. 1951–2002. Book 1–51. (in Russian)

10. Материалы стационарного изучения компонентов лесостепных заповедных биогенотозов. Климат, влажность почвы и фитофенология. 1979. Л., 427.

Materials of stationary study of components of forest-steppe protected biogeocenoses. Climate, soil moisture and phytophenology. 1979. Leningrad, 427. (in Russian)

11. Овечкин С.В., Базыкина Г.С. 2011. Карбонатный профиль и режим влажности миграционно-мицелярных черноземов разных экосистем Курской области. *Почвоведение*, (12): 1475–1486.

Ovechkin S.V., Bazykina G.S. 2011. Carbonate profile and moisture regime of migratory-micellar chernozems of different ecosystems in the Kursk region. *Eurasian Soil Science*, (12): 1475–1486. (in Russian)

12. Овечкин С.В., Базыкина Г.С. 2012. Миграционно-мицелярные черноземы курской области в климатических и биосферных циклах. *Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева*, (70): 3–17.

Ovechkin S.V., Bazykina G.S. 2012. Migratory-micellar chernozems of the Kursk region in climatic and biospheric cycles. *Bulleten' Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva*, (70): 3–17. (in Russian)

13. Переведенцев Ю.П., Гоголь Ф.В., Наумов Э.П., Шанталинский К.М. 2007. Глобальные и региональные изменения климата на рубеже XX и XXI столетий. *Вестник ВГУ. Серия: География. Геоэкология*, (2): 5–12.

Perevedencev Ju.P., Gogol' F.V., Naumov Ye.P., Shantalinskij K.M. 2007. Global and regional climate change at the turn of the 20th and 21st centuries. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology*, (2): 5–12. (in Russian)

14. Почвы и растительность юга Среднерусской возвышенности в условиях меняющегося климата. 2016. Белгород, 326.

Pochvy i rastitel'nost' juga Srednerusskoj vozvyshennosti v uslovijah menjajushhegosja klimata [Soils and vegetation of the south of the Central Russian Upland in a changing climate]. 2016. Belgorod, 326. (in Russian)

15. Разуваев В.Н., Шаймарданов М.З. 2005. Меняющийся климат планеты. М., 320.

Razuvaev V.N., Shajmardanov M.Z. 2005. Menjajushhijsja klimat planety [Changing climate of the planet]. Moscow, 320. (in Russian)

16. Роде А.А. 1960. Методы изучения водного режима почв. М., 244.

Rode A.A. 1960. Metody izuchenija vodnogo rezhima pochv [Methods of studying the water regime of soils]. Moscow, 244. (in Russian)



17. Росгидромет. 2017. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2016 год. М., 70.
- Rosgidromet. 2017. Report on the peculiarities of climate on the territory of the Russian Federation for 2016. Moscow, 70. (in Russian)
18. Смирнова Л.Г., Кухарук Н.С., Чендев Ю.Г. 2016. Почвенный покров юга лесостепи Среднерусской возвышенности на фоне внутривековых климатических изменений. *Почвоведение*, (7): 775–784.
- Smirnova L.G., Kukharuk N.S., Chendev Ju.G. 2016. Soil cover of the south of the forest-steppe of the Central Russian Upland against the backdrop of the centuries-old climatic changes. *Eurasian Soil Science*, (7): 775–784. (in Russian)
19. Сухарев В.И. 2012. Грунтовый отток влаги из чернозема типичного под многолетним паром. *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*, 2 (2): 66–68.
- Suharev V.I. 2012. Ground outflow of moisture from chernozem typical under perennial steam. *Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'skhozjajstvennoj akademii*, 2 (2): 66–68. (in Russian)
20. Уотсон Р.Т. (ред.). 2001. Изменение климата. Обобщенный доклад об оценке Межправительственной группы экспертов по изменению климата. ВМО, ЮНЕП, 215.
- Watson R.T. (red.). 2001. Changing of the climate. The Synthesis Report on the Assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change. WMO, UNEP, 215. (in Russian)
21. Шнитников А.В. 1957. Изменчивость общей увлажненности материков Северного полушария. *В кн.: Записки Географического общества СССР. Вып. 16. М.–Л.*, 336.
- Shnitnikov A.V. 1957. Variability of total humidification of the continents of the Northern Hemisphere. *In: Zapiski Geograficheskogo obshhestva SSSR [Notes of the Geographical Society of the USSR]. Vol. 16. Moscow–Leningrad*, 336. (in Russian)
22. Шнитников А.В. 1969. Внутривековая изменчивость компонентов общей увлажненности. *Л.*, 244.
- Shnitnikov A.V. 1969. Vnutrivekovaja izmenchivost' komponentov obshhej uvlazhnennosti [Intra-century variability of components of total moisture]. Leningrad, 244. (in Russian)
23. Чендев Ю.Г. 1997. Agrotechnogenic Transformation of Dark Gray Forest Soils in the Central Forest-Steppe Zone during the Last 200 Years. *Eurasian Soil Science*, 30 (1): 5–15.
24. Чендев Ю.Г., Петин А.Н., Лупо А.Р. 2012. Soils as indicators of climatic changes. *Geography, Environment, Sustainability*, 1: 4–17.
25. Ciric V.I., Dreskovic N., Mihailovich D.T., Mimich G., Arsenis I., Đurdevis V. 2017. Which is the response of soils in the Vojvodina Region (Serbia) to climate change using regional climate simulations under the SRES-A1B. *Catena*, 158: 171–183.
26. Mihailovich D.T., Dreskovic N., Arsenis I., Ciric V., Durdevis V., Mimich G., Pap I.I., Balazh 2016. Impact of climate change on soil thermal and moisture regimes in Serbia: An analysis with data from regional climate simulations under SRES-A1B. *Science of The Total Environment*, 571: 398–409.
27. Purton K., Pennock D., Leinweber P., Walley F. 2015. Will changes in climate and land use affect soil organic matter composition Evidence from an ecotonal climosequence. *Geoderma*, 253–254: 48–60.
28. Routschek A., Schmidt J., Kreienkamp F. 2014. Impact of climatechange on soil erosion – A high-resolution projection on catchment scale until 2100 in Saxony. *Catena*, 121: 99–109.