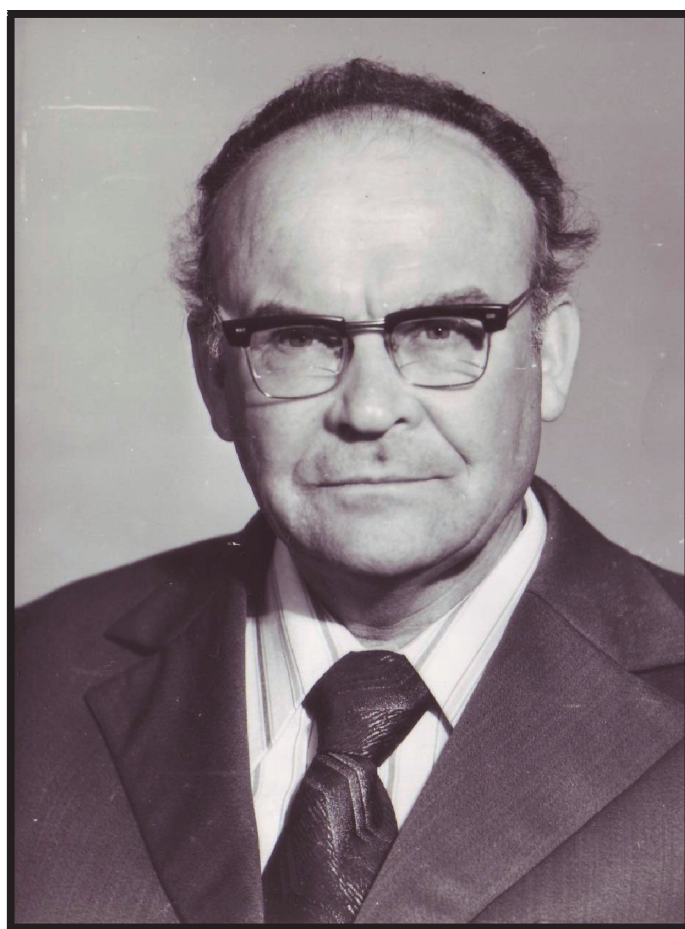


МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ –
МСХА имени К.А. ТИМИРЯЗЕВА

АГРОМЕТЕОРОЛОГИЯ XXI ВЕКА
МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ,
ПОСВЯЩЕННАЯ 100-ЛЕТИЮ Ю.И. ЧИРКОВА
ЧАСТЬ 2
Сборник статей



Ю.И. ЧИРКОВ
1919-2019 гг.

Москва
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева
2019

Агрометеорология XXI века, часть 2: материалы Международной научной конференции, посвященной 100-летию Ю. И. Чиркова, г. Москва, 26 ноября 2019 г. : сборник статей / Сост. : А. И. Белолубцев ; Российский государственный аграрный университет-МСХА имени К. А. Тимирязева. – Москва : Издательство РГАУ-МСХА, 2019. – 227 с.

ISBN 978-5-9675-1737-2

Редакционная коллегия: главный научный сотрудник ФГБУ «ВНИИСХМ» Росгидромета, заслуженный метеоролог РФ, д.б.н., профессор И.Г. Грингоф; зав.кафедрой метеорологии и климатологии, д.с.х.н., профессор А.И. Белолубцев; доцент кафедры метеорологии и климатологии, к.г.н., Е.А.Дронова.

Составитель и ответственный за выпуск – А.И. Белолубцев.

В сборнике представлены доклады участников Международной научной конференции «Агрометеорология XXI века», посвященной 100-летию выдающегося ученого, доктора географических наук, профессора Юрия Ивановича Чиркова, проводившейся 26 ноября 2019 г. на базе кафедры метеорологии и климатологии ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.

Издание представляет интерес для студентов и аспирантов, научных работников и преподавателей, руководителей и специалистов АПК.

ISBN 978-5-9675-1737-2

© Белолубцев А.И., составитель, 2019

© ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА

имени К.А. Тимирязева, 2019

ЖИЗНЬ И СУДЬБА ЮРИЯ ИВАНОВИЧА ЧИРКОВА (к 100-летию со дня рождения)

И.Г. Грингоф

*«Всероссийский научно-исследовательский институт
сельскохозяйственной метеорологии», г. Обнинск, igringof@gmail.com*

Передо мной выцветшие листки машинописи – копия Заявления Ю.И. Чиркова от 10 марта 1954 г. на имя Генерального прокурора СССР Р.А. Руденко Заявление начинается так: *«Ч. Диккенс, показывая инквизиторские нравы английской школы, описал нравственные страдания школьника Давида Копперфильда, которому, в наказание, было приказано в продолжение нескольких недель изо дня в день носить на спине картон с надписью: «Берегитесь его – он кусается». Это довело Давида до крайней степени отчаяния. Мне тоже в детском возрасте одели ярлык с надписью «контрреволюционер» и вот уже скоро мне исполнится 19 лет, как я незаслуженно ношу это клеймо, и ни моя безупречная работа, ни мои апелляции к закону до сих пор не избавили меня от всей тяжести дискриминации. Теперь, когда проводятся мероприятия по укреплению социалистической законности, обращаюсь к Вам и прошу Вас лично разобрать моё Заявление и пересмотреть дело».*

Далее Ю.И. излагает свою историю, когда его, ученика 7-го класса школы № 30 г. Москвы арестовали без предъявления ордера на арест (по-существу, выкрали, обманув родителей) по ложному доносу соседа по квартире студента Кожевенного института Власова Бориса Ивановича, бывшего на 10 лет старше его. При очной ставке с Власовым последний возводил фантастические обвинения на Юру: якобы Юра уговаривал его совершить диверсионные и террористические акты – убить Секретаря ЦК КП Украины – Коссиора, взрывать мосты на р. Волге и прочие нелепости. Своё Заявление Генеральному прокурору СССР Юра закончил словами: *«Прошу восстановить меня в правах советского гражданина, которыми в свои тридцать четыре года я не могу пользоваться в полной мере».* И это, очередное Заявление Юрия Ивановича во власть имущих, также осталось даже без ответа. Юру не освободили, заявив ему, что он виновен в том, *«что не донёс на Власова...».* Кстати, следователь обратил внимание на бездоказательность обвинений Власова, поэтому его задержали, и он вскоре был осуждён на 5 лет лишения свободы.

А Юра в итоге был осуждён в 1935 г. «тройкой» НКВД без права на защиту на 3 года, когда ему, подростку было всего 15 лет и 5 месяцев. В 1938 г. по истечении срока Юре Чиркову установили новый срок – 5 лет ссылки, хотя по закону увеличивать срок наказания за «то же дело» по закону было нельзя. Не трудно представить, какие страшные годы пережили родители Юры, понимая, что он попал в беспощадный молох сталинского террора, остановить который в те годы не мог никто. Родители, так и не дождались освобождения

Юры из заключения и последующей ссылки, они ушли из жизни, навсегда потеряв своего сына... В 1943 г. Юра был освобождён только от заключения. В 1945 г., находясь в ссылке, на Крайнем Севере, он закончил экстерном школу-десятилетку с золотой медалью, затем учился на биологическом факультете в Педагогическом институте, который окончил также дипломом с отличием. Однако в 1951 г. он был снова арестован и сослан в Красноярский край на вечное поселение по «старому делу», как осужденному ранее по статье 58 УК РСФСР; так была реализована новая директива Верховной власти, касающаяся лиц, осужденных, независимо от срока давности по этой статье. Следователи не обратили внимания на то, что Юра работал на *агро*метеорологической станции, как он писал в своих объяснениях, а не на *авиа*метеорологической (!) станции, как прочитал следователь. Но, поскольку, Юра – «старый террорист и диверсант», то может принести вред самолетам (?), как посчитал следователь. Юра доказывал следователю, что не имеет никакого отношения к авиации, но следователь ответил, что «это не важно» (?).

После всех нелепых и жестоких событий, лично коснувшихся Судьбы Юры, продолжавшихся около 20 лет, связанных с ними переживаниями, потрясших Юру, у него, еще очень молодого человека началась гипертоническая болезнь, оставшаяся с ним на все последующие годы его жизни. Из-за этой болезни (он получил инвалидность) ему не разрешалось работать ни физическим трудом, ни даже педагогом, как окончившему педагогический институт. Его жену – Валентину Максимовну также не допускали работать, поскольку она была женой ссыльного... А сколько еще было загубленных судеб безвинно осуждённых людей в тревожные 30 годы прошлого века!

После смерти «вождя всех времён и народов» (март 1953 г) в мае 1954 г. Юрий Иванович был освобождён со снятием всех судимостей, а затем, в декабре 1955 г. он был полностью реабилитирован «за отсутствием состава преступления». Ему, наконец, было разрешено жить в городах Москве и Ленинграде. Увы, своих родителей живыми он уже не застал (его мама умерла в декабре 1939 г., а его отец скончался в мае 1945 г). Они ушли из жизни, так и не узнав, что их Юра остался жив и вернулся к нормальной жизни, благодаря своей усидчивости в учебе и природной одарённости достиг высоких учёных званий, что он выполнил комплекс агрометеорологических и экологических работ, благодаря которым вышел на международную научную орбиту.

Все прошедшие годы Юрий Иванович упорно занимался и трудился, несмотря на тяжелейшие испытания, связанные с заключением, ссылкой, с возможностью свободно выбирать свой путь и перемещаться по стране. Об этом периоде жизни Юрием Ивановичем написано в его книге «А было всё так», буквально потрясающей читателей драматизмом и достоверностью описания тех мрачных годов. Книга была опубликована Политическим издательством в 1991 г.

Эта трагическая тема была многократно повторена в пронзительном кинофильме Марины Голдовской «Власть соловецкая» (1988 г.) и во многих публикациях бывших узников «Соловков». Назову только две знаковые книги:

«Архипелаг ГУЛАГ» Александра Исаевича Солженицына и исповедь, чудом уцелевшего очевидца трагических событий русской и советской истории, отдавшего 27 лет своей жизни тюрьмам, лагерям и ссылке. Я имею в виду книгу Олега Васильевича Волкова «Погружение во тьму», изданную в Москве в 2002 г. О.В. Волков – воспитанник дореволюционной России, в юности блестящий молодой человек, переводчик в Посольстве Греции, отказавшийся в НКВД от вербовки в «сексоты»¹, был там же арестован и, фактически, изолирован почти на 30 лет от общества и воли.

В 1954 году Юрий Иванович поступил в заочную аспирантуру Центрального института прогнозов (ЦИП) в Москве. В 1958 г. защитил кандидатскую диссертацию «Агрометеорологические условия произрастания кукурузы в центральных Нечерноземных областях СССР» по географическим наукам и остался работать в ЦИПе.

В 1960 году Юрий Иванович приехал из Москвы в Ташкент, чтобы познакомиться в корейском совхозе «Политотдел», прогремевшем в советской прессе уникальными рекордами в выращивании кукурузы, а также, заодно, познакомиться с недавно организованным усилиями В.А. Бугаева и М.А. Петросянца Среднеазиатским научно-исследовательским гидрометеорологическим институтом (САНИГМИ), в частности, с его отделом Агрометеорологии и его сотрудниками.

В тот год, в САНИГМИ я впервые познакомился с Юрием Ивановичем, мы долго беседовали с ним. Тогда я ещё только «вращался» с эту увлекательную науку – агрометеорологию. В итоге наших бесед я понял, что Юрий Иванович не только обаятельный, интересующийся человек, но и широко эрудированный во многих научных областях молодой ученый, растущий лидер в советской Агрометеорологии.

О его трагической Судьбе я узнал из его же уст много лет позднее, на одной из Всесоюзных конференций (1981 г.), проведенной в Украине, во время нашей прогулки с ним по городу Днепропетровску. Я был потрясён его рассказом. Он начал рассказ с 7-го класса, когда его неожиданно арестовали (1935 г.), о пережитых им лишениях и унижениях всех последующих 5 лет заключения и 15 годах ссылки. Невинно осуждённый по ложному доносу завистника и подлого человека, соседского парня, мстившего Юре только за то, что этот мальчуган Юрка, младший его на 10 лет, постоянно выигрывал у него в шахматных партиях...

В годы работы в Гидрометеорологическом центре СССР Ю.И. Чирков выполнил фундаментальные исследования по вопросам теории сельскохозяйственной оценки климата, агроклиматического районирования. Опираясь на достижения классической агроклиматологии, созданной трудами А.И. Воейкова, Г.Т. Селянинова, П.И. Колоскова, Ф.Ф. Давитая, С.А. Сапожниковой и других, он разработал принципы оценки агроклиматических ресурсов возделывания кукурузы, составил научно-методологическую основу

¹ Сексот – принятое в сталинские годы сокращённое понятие – секретный сотрудник НКВД

аналогичных исследований по другим сельскохозяйственным культурам в различных регионах СССР.

Впервые в агрометеорологии основные положения фотосинтетической продуктивности посевов, разработанные проф. А.А. Ничипоровичем, были успешно применены Ю.И. Чирковым. В этом проявилась широта научного кругозора, позволившая ему сформулировать основные принципы применения этой теории в агрометеорологии, в агрометеорологических прогнозах и в оценках агроклиматических ресурсов. В качестве основного объекта исследования Юрий Иванович выбрал кукурузу. К тому же эта культура оказалась с политическим, волюнтаристским окрасом, благодаря Н.С. Хрущёву – лидеру партийного и государственного аппарата страны. Н.С. Хрущёв энергично продвигал её посевы в северные регионы страны (конечно, без учёта агроклимата новых регионов и агроклиматических особенностей этой культуры).

Юрий Иванович установил зависимость интенсивности накопления растительной массы от основных агрометеорологических факторов. Обосновал целесообразность расчёта прироста растительной массы по отношению к площади листовой поверхности растения, независимо от фазы развития растений. Дальнейшие исследования привели его к использованию в агрометеорологии биометрических параметров кукурузы. Это направление также получило своё дальнейшее развитие в работах его аспирантов и последователей. Юрий Иванович установил, что значение сочетаний тепла, влаги, продолжительности дня и режима облачности, как факторов, определяющих интенсивность накопления растительной массы, следует учитывать при расчётах фотосинтетического потенциала, который представляет собой произведение площади листовой поверхности на число дней от всходов до конца активной «работы» листьев. Т.о. зависимость интенсивности прироста растений от изменений агрометеорологических факторов, выраженная системой уравнений, являлась многие годы основой метода количественной оценки условий произрастания кукурузы и прогноза урожайности растительной массы.

Ю.И. Чирков стал первым среди агрометеорологов страны и мира, вскрывшим особенности скорости развития растений на отдельных этапах органогенеза, учение о котором активно развивалось профессором МГУ Ф.М. Куперман. Он также первым использовал эти результаты при разработке методов агрометеорологических прогнозов сроков наступления фаз развития сельскохозяйственных культур.

Удивительная жизнестойкость, природная одарённость, гигантская энергия и трудоспособность, неуёмная жажда познания и увлеченность позволили Юрию Ивановичу подготовить и блестяще защитить докторскую диссертацию на тему «Основы агрометеорологических прогнозов темпов развития, формирования урожая кукурузы и оценки климатической обеспеченности её произрастания на территории СССР» по географическим наукам в 1966 году. А в 1968 году ВАК СССР присвоил ему учёное звание профессора.

Он активно работал членом Редакционного совета Гидрометеорологического издательства, где ему приходилось часто выступать в качестве рецензента рукописей монографий, подготовленных агрометеорологами СССР и зарубежными авторами. Юрий Иванович был также избран членом Редколлегии международного научного журнала «Agricultural and Forest meteorology», издаваемого в Нидерландах. На V сессии КСХМ ВМО (1971 г.) Ю.И. Чирков выступил с инициативой создания международного учебника по агрометеорологии, и был включен в состав авторов – пяти выдающихся агрометеорологов мира. В 1979 г. такой учебник «Agrometeorology» был ими опубликован на английском и французском языках, названный ими «Введением в агрометеорологию».

Благодаря этим, по существу, научно-общественным нагрузкам Юрий Иванович был отлично осведомлён в современных достижениях исследований в области сельскохозяйственной метеорологии в стране и за рубежом.

В 70-80 годах XX века Юрий Иванович переработал учебные программы по курсам метеорологии и агрометеорологии, читаемых на кафедрах метеорологии и климатологии в Тимирязевской Академии и в других сельскохозяйственных ВУЗах страны. О его активной работе в качестве заведующего кафедрой, по-видимому, будет рассказано на этой Конференции представителями этой кафедры. Отмечу только, что эта кафедра – метеорологии и климатологии – стала научно-методическим и консультативным центром в области агрометеорологии и агроклиматологии для учёных и преподавателей-специалистов, работающих в сельском хозяйстве страны и ряда других стран. В последние годы ученики и последователи Юрия Ивановича Чиркова, некоторые из них, ныне работают под руководством профессора Александра Ивановича Белолубцева, вывели эту кафедру в число передовых в рамках многопрофильного Российского Аграрного Университета – Московской сельскохозяйственной академии имени К.А. Тимирязева.

Как творчески работающий учёный, Юрий Иванович быстро набирал научный багаж; его огромные знания в различных разделах биологической и географической наук, в общей истории человечества, национальной культуры некоторых народностей, а также его феноменальная память и неугасимый интерес к окружающему миру, надёжно служили ему до конца его активной творческой жизни. Приведу один маленький пример: он на память знал годы правления всех Президентов США, начиная от первого – Георга Вашингтона. На мой вопрос, как он смог запомнить эти имена и, главное, годы их деятельности, Юрий Иванович ответил, что специально он не заучивал, а просто связывает годы их управления государством с крупными международными событиями за 100 последних лет. То есть он прекрасно знал историю мировых политических событий и прежде, чем назвать имя какого либо Президента, он вспоминал сначала эпохальное событие в мире, а затем и Президента США.

Ю.И. Чирков быстро выдвинулся в число ведущих ученых в области агрометеорологии и агроклиматологии в нашей стране, был избран в трёх Специализированных советах по защите докторских диссертаций: МСХА им.

К.А. Тимирязева, МГУ им. М.В. Ломоносова и ГМЦ СССР Росгидромета; являлся членом нескольких научных Советов по проблемам: «Агрометеорологии» (ВНИИСХМ), «Климатическим ресурсам национального Комитета по фотосинтезу при АН СССР», членом Межведомственного совета Министерства сельского хозяйства СССР по метеорологическому обеспечению сельскохозяйственного производства и членом Координационного совета «Программирование урожаев сельскохозяйственных культур». Он стал активным членом нескольких учёных советов институтов в системах Росгидромета и Министерства сельского хозяйства страны; был избран Председателем агрометеорологической секции ВАСХНИЛ, был избран экспертом Высшей Аттестационной комиссии страны (ВАК СССР). Он везде успевал, поражая окружающих его сотрудников своей энергией и плодотворной деятельностью.

Благодаря своей деловитости и серьёзным публикациям Ю.И. Чирков был избран председателем нескольких Рабочих групп КСХМ ВМО (г. Женева), стал часто выезжать в научные командировки за рубеж в социалистические страны содружества и капиталистические государства. Он был научным руководителем советских и иностранных аспирантов и соискателей (всего 21), из них 17 человек отечественных и 4 зарубежных специалистов. Четыре кандидата наук впоследствии стали докторами наук (Н.И. Хлыновская, А.Д. Клещенко, Н.С. Славов, Н.М. Пестерева). По существу, он создал научную агрометеорологическую школу, успешно развивавшую его научные идеи.

Ю.И. Чирков был автором около 300 научных работ, в том числе нескольких научных монографий и учебников, а также научных статей в Лесной Энциклопедии, изданной в двух томах (1985-1986 гг.), Сельскохозяйственном энциклопедическом словаре (1989 г.), выступил научным редактором 29 агрометеорологических изданий, включая монографии, труды НИУ, доклады секции ВАСХНИЛ, справочников и научно-методических изданий. Он автор 2-х изданий учебника «Агрометеорология» для вузов (1979 и 1986 гг.) и 3-х изданий учебников для сельскохозяйственных техникумов «Основы сельскохозяйственной метеорологии».

В 1987 г. Ю.И. Чирков вместе с Валентиной Максимовной предпринял мужественную туристическую поездку на теплоходе на Соловецкие острова. Нетрудно представить, сколько страшных, драматических воспоминаний навеяла эта поездка в памяти бывшего узника Соловков – профессора Ю.И. Чиркова!

Несмотря на очень плотный график своей деятельности, он умел выкраивать время для ежегодных туристических туров, круизов по странам мира, о которых оставлял свои воспоминания обычно в стихах или в прозе. Безусловно, он был поэтически одарённым человеком: писал проникновенные, высокохудожественные стихи, живо передающие его переживания, настроение, восприятие картин природы, часто с оттенком юмора или имеющие личный характер.

В последние годы жизни Ю.И. Чирков напряженно работал над рукописью своих воспоминаний «А было всё так...», в которой впервые

рассказал о трагических событиях своей жизни в молодые годы. Эта удивительная книга была посвящена, прежде всего, памяти людей, прошедших тяжелейшие испытания эпохи сталинского террора, большинство из их не вернулись из заключения и ссылок.

Огромный труд всех прошедших лет, когда он получил возможность полностью посвятить себя науке, болезнь, и лишения, пережитые им в молодые годы, серия тяжелых инфарктов и скоропостижная смерть в 1988 г. не позволили закончить рукопись этой запланированной им книги. Книгу закончила его верная спутница, жена – Валентина Максимовна Чиркова – более того, она при поддержке друзей Юрия Ивановича добилась опубликования этой рукописи «Политиздатом» в 1991 г.

О тяжелых годах заключения и ссылки Юрий Иванович написал несколько стихотворений, в которых запечатлелись его, скомканные эпохой и страданием юношеские мысли и мечты. Вот два из них, написанные в годы заключения.

*Чернь бескрайняя, холодная
Над застывшею землёй,
Жизнь звериная, голодная,
Ах, домой, домой, домой...
Люди – звери, люди призраки –
Воля снова далека...
Неужель, без оправданья,
Жизнь свою закончу тут,
И без гроба, без прощания
В мерзлоту мой труп швырнут.*

Январь 1939 г.

*Листья зноем опалённые
Золотым летят дождём.
Мы стоим с тобой под клёнами
И чего-то словно ждём.
Умолкают звуки дальние,
Городской нестройный гам,
У тебя глаза печальные,
Хорошо и грустно нам.
Там, над западной границей,
Запылал костёр зари,
На щеке твоей жар-птицею,
Локон бронзовый горит.
И мгновением навеянный,
Тайно, выросший в сердцах,
Поцелуй расцвёл вне времени
Без начала и конца...
Листья зноем опалённые
Золотым летят дождём,
Мы сидим с тобой под клёнами
И ещё чего-то ждём...*

50-е годы, Красноярский край.

После кончины Юрия Ивановича в результате очередного инфаркта, его жена – Валентина Максимовна – передала мне материалы его личного архива. В нём хранилось всё: научные наброски статей, рецензии, стихи, стихотворные наброски об увиденном, научная переписка, программы предстоящих маршрутов и итоги туристических поездок, фотоснимки (к сожалению, часто не подписанные им), а также газетные вырезки, относящиеся к событиям, к которым он прикоснулся, его выступления со своими стихами и критическими статьями на заседаниях Литературного объединения в г. Москве, членом которого он, естественно стал.

Разбирая эти бумаги, я обратил внимание на некоторые блокноты и записные книжки, в которых оказались записи планируемых им дел *на каждый день и отметки об их выполнении*. Вот коротко примеры таких записей, сделанных им в марте 1988 г., в то время он уже плохо себя чувствовал: 27 марта: 1. Подписаться на журнал «Огонёк». 2. Писать раздел II/4. 3. Печатать раздел II/2 (По-видимому, здесь имелась в виду работа над своей книгой «А было всё так»). 4. Текущая почта. 5. Прибрать кабинет. 6. Позвонить: Б.И. Огородникову, Н.А. Багрову. 7. Варить ингредиенты для салата. 8. Полить комнатные цветы. 9. Позвонить: в ДК «Каучук», узнать о пьесе «Лысая певица»; в «Гидрометеиздат» (Ленинград, напомнить о времени встречи с рецензентом).

И так, почти каждый день задания в 7...10 пунктах в течение многих лет. Мне стало понятно, каким образом Юрий Иванович успевал выполнять массу дел и намеченных мероприятий. Это – в высшей степени его внутренняя организованность и исполнительность своих ежедневных графиков трудовых дней. Многие годы он осуществлял жесткое реалистичное планирование своей деятельности, скрупулёзно экономил время, организовал самоконтроль выполнения своих планов. Он словно торопился наверстать упущенные возможности в прошедшие страшные годы его изоляции, стремился охватить открывшиеся для него возможности ездить, смотреть, выпитывать и запоминать. Юрий Иванович не вёл дневников в годы заключения в Ухтижемлаге и суровых лет ссылки в Красноярском крае.

В последние годы своей жизни Юрий Иванович присоединился к решению XIX партконференции КПСС о создании «Мемориала жертвам сталинского террора», написав обращение в Редакцию газеты «Советская культура». В этом письме он предложил *«установить мемориальные доски в местах нахождения наиболее «знаменитых» тюрем и лагерей, где трудились на Великих стройках миллионы заключённых, в большинстве реабилитированных посмертно. Такие памятные доски должны быть установлены на главной площади в городах: Магадан, Воркута, Норильск, Ухта и на шлюзах каналов Москва-Волга, Беломорско-Балтийского, особо нужно отметить Соловки и др., созданных трудом заключённых»*. В этом письме он коротко рассказал о своей судьбе и оставил свой адрес. К сожалению, ответа на это обращение я не нашел в его бумагах.

После полной реабилитации, из своих многочисленных поездок по многим странам, по возвращении из них, он привозил обычно уже законченные

стихи. После смерти Юрия Ивановича некоторые из них были опубликованы в книгах², а также во многих статьях о нём, написанных его коллегами и соратниками.

Среди не опубликованных «отчётных» стихотворений о заморских круизах, в которых он участвовал, я приведу только два. В них совсем другая тональность, когда Юрий Иваович, уже доктор наук, профессор вместе с Валентиной Максимовной ездили в 1984 году в путешествие по странам Юго-Восточной Азии:

*Юго-Восточная давно манит нас Азия,
Нам снился часто экзотический круиз,
И вот, в реальность обращается фантазия:
Несём мы «тыщи» трудовые в Интурист.
Холера привита, путёвочки получены,
Уже летим всю ночь над спящею Землёй,
Вчера от холода в Москве мы были скрючены,
Сегодня – тропики: Калькутта и Ханой.*

*В Ханое ждали мы напрасно чемоданчики,
Аэрофлот нам преподнёс большой сюрприз,
И сто семнадцать горьких неудачников
Вступили в валенках в тропический круиз.*

*Чрез героический Вьетнам мы мчались ночью,
Ханой прославленный мелькнул, как сон во тьме,
Мы лишь Дошон, Хайфон увидели воочию,
Где донги тратили в авральной суете.*

*Где только не были мы в дивном Таиланде,
Мимо дворцов и храмов шёл наш автокросс,
В плавающий рынок всё ж приплыли на шаланде,
И яства тайские вкушали в Парке Роз.*

*Бангкок-Манила – переход огромный,
И вдруг явился Бог-Нептун на теплоход,
Хоть ключ вручил он, но бесились волны,
И в Филиппины задержался наш приход.*

*В порту круиз встречает племя Лапу-Лапу,
Свирепый пляс, грохочет барабан,
Но нас не съели, мы сошли по трапу,
Нас повезли сквозь ночь на шоу в ресторан.*

*Квартал Макаати, мы смотрели обалдело:
«Манилки» шустрые манили из дверей,*

² - Книга – сборник «Средь других имён» под редакцией Е. Донцовой, М. Романчук и Л. Кузнецова, 1990 г.
- «Юрий Иванович Чирков», 1994 г. (авторы И.Г. Грингоф, А.Д. Клещенко, А.Н. Полевой, В.М. Чиркова

*А утром мчались мы на виллу Эскудеро,
Схватив купальники и плавки поскорей.*

*Там, в парке буйволы везли нас к водопаду,
Средь быстрых вод столы, пришлось разуться нам,
Здесь десять разных яств отведали в прохладе,
Обедая в воде под сенью стройных пальм.*

*И вот Япония. Дымит Сакураджима,
Под «самисен японки пляшут и поют»,
В салоне вечером забыта «Кагосима»,
Артисты Таллина большой концерт дают!*

*Огромный Токио мы зрели с телебашины,
Затем отправились в желанный Дисней-Ленд,
Пиратов, джунглей, привидений страшных
Мы не забудем до скончанья лет.*

*Ночная Гиза, блеск реклам, но цены, цены!
Смятенье чувств и выход лишь таков:
Конец круиза, надо тратить йены,
Ах, как купить бы на копейку пятаков!*

*Наш теплоход плывёт уверенно и ходко,
Уже пять тысяч миль остались за кормой
Круиз кончается и скоро порт Находка,
До новых встреч, друзья, в Москве нашей родной!*

*И описание круиза четы Чирковых «Вокруг Европы»:
Путевой дневник
Мы на «Карелию» путёвки получили,
И устремились в увлекательный круиз,
Нас злые штормы совершенно не страшили,
Нам в Чёрном море дул навстречу лёгкий бриз.*

*Проплыли мимо нас Стамбула минареты,
Другое море забурлило за винтом,
А впереди Пирей, к нему плывём скорей,
По вечерам мы все танцуем и поём.*

*В Афинах классикой нас славно угостили:
Акрополь видим наяву и Парфенон,
Хоть по музею мы галопом проскочили,
Но всё же к Лазарю свершили марафон.*

*Музеи, площади, фонтаны, храмы Рима!
Очарованье их так нас завлекло,*

*Но проносились они мимо, мимо, мимо,
Как телефильмы за автобусным стеклом.*

*Мы не увидели и чудный Рим полночный,
Весь в яркой радуге сверкающих реклам,
Мы совершали каждый день маршрут челночный,
Увы, «Карелия» была ночным отелем нам.*

*Чрез Гибралтар мы проплывали ночью,
Его не видели приветственных огней,
Но стены Кадиса увидели воочию,
И пили херес из подвала королей.*

*Хоть хмуро было небо над Севильей,
Над Португалией свирепствовал циклон,
Но угощали нас туристы «сегедильей»,
И был уютен музыкальный наш салон.*

*В Бискае нас совсем легонько покачало,
А впереди уже Ла Мани и город Гавр,
И вот автобусы столпились у причала,
И мчимся мы в Париж, паёк сухой забрав.*

*Париж велик, красив и безобразен:
В нём совмещается и Лувр и плас Пигаль,
Нас поразил Париж своим разнообразьем,
Центр Помпиду – почти очаровал.*

*Мы на холме мон Валериен воздали
Честь стойким, честным воинам маки,
При этом мы, наверно, вспоминали,
Что и в маки бывали москвичи.*

*Визит в Британию был очень, очень краток:
Винчестер, Виндзон, кладбище Хайгет,
Хотя Британский лев уже пришёл в упадок,
Но был империи, ещё заметен след.*

*И Гамбург в прошлое уходит за волною,
Как жаль, что через Киль нам плыть нельзя,
Уж чайки датские летают за кормою,
Всё ближе, ближе к нам советская Земля.*

*К концу подходит путь круиза дальний.
У нас семь тысяч миль осталось за кормой,
Нам вечер стал с «Карелией» прощальным,
До новых встреч, друзья,
в Москве нашей родной!*

Когда я перелистывал архивные бумаги Юрия Ивановича, многие из которых, конечно, прочитывал, я понял, что определённая часть стихотворений, написанная им в разные годы, осталась не опубликованной, а опубликованная часть оказалась размещенной в различных изданиях, собрать которые пока не удалось.

В этой связи я вношу предложение – создать добровольную группу специалистов в составе 3-5 человек и от имени нашей конференции, предложить ей:

- собрать, по возможности, полный перечень всех опубликованных и неопубликованных в разных изданиях и в разные годы, стихотворных и, конечно, прозаических произведений Юрия Ивановича Чиркова;

- собрать наиболее интересные поэтические отзывы и выступления друзей, учеников, соратников и его путевых сотоварищей, оставивших свои отзывы, воспоминания и оценки его деятельности;

- издать за счёт добровольно собранных средств небольшой тираж под условным названием «Поэзия и проза профессора Юрия Ивановича Чиркова».

В сентябре 2005 г. мне довелось вместе с участниками рабочего совещания, проведённого в Архангельске по проблемам «Музейной работы» в системе Росгидромета, слетать с одной ночёвкой на Соловецкие острова – места бывшего заключения тысяч и тысяч невинно осуждённых людей. Мы посетили «Музей жертв сталинских репрессий», от которого голова шла кругом... Библиотеке «Музея» я передал два экземпляра нашей коллективно написанной книги «Юрий Иванович Чирков» (1994 г.) и сделал запись в «Книге памяти жертв периода жестоких репрессий» о Судьбе Ю.И. Чиркова.

И последнее. В Приложении к этим воспоминаниям я решил поместить развёрнутый «Хронологический перечень» основных событий в трагической Судьбе Юрия Ивановича Чиркова. Это, по-моему мнению, необходимо для тех, кто не имел возможности прочитать его книгу «А было всё так» (1991 г.) и не знакомился с другими источниками, объективно описывающих историю жизни Юрия Ивановича. Этот «Хронологический перечень» поможет представить удивительный образ волевого юноши, пережившего жестокие годы заключения и ссылок, гнёта и унижения достоинства и элементарных прав человека, отдавшего по воле Судьбы лучшие свои годы беззаконию, несправедливости и суровому выживанию. Преодолев этот жестокий период ценой борьбы и потери здоровья, Юрий Иванович впоследствии стал известным учёным, талантливым педагогом, организатором одного из направлений современной науки, более того он оказался поэтической натурой, стал обаятельным, не ожесточённым на людей Человеком, любящим мужем и отцом, чья жизнь и созидательная деятельность осталась в наших сердцах навсегда.

Приложение. Этапы жизненного пути Юрия Ивановича Чиркова.

1919 г. 25 ноября – родился в г. Орлове Кировской области.

1928 – 1935 гг. – Учёба в московской школе.

1935 г. 5 мая. – Арест по вымышленному доносу. Лубянская тюрьма. Поиски родителями сына-семиклассника по московским моргам. Допросы,

ложные обвинения в планировании взрыва мостов на р. Волге, о подготовке покушений на Косиора и т. И.В. Сталина. Приговор «тройки»: 3 года Исправительно-трудовых лагерей (ИТЛ) по ст. 58, п. 8, 10, 11 Уголовного Кодекса СССР. Свидание с родителями, этап на Соловки.

1935 г. 1 сентября – 1938 г, июнь. – Прибытие на Соловки, судьбы заключённых в камере № 11 людей. Работа на ремонте дороги, Знакомство с сотрудниками библиотеки Соловков. Включение в состав бригады по сбору ягоды, болезнь; приём на должность уборщика в хирургическом отделении больницы лагеря. Переход по просьбе сотрудника библиотеки на работу в бывшую монастырскую библиотеку. Получение при помощи Н.К. Крупской разрешения на свидание с матерью на материке. Возвращение в Соловки. Работа в архиве-хранилище редких книг и особо ценных материалов. Закрытие библиотеки. Отправка в штрафной лагпункт Филимоново, объявление голодовки, пребывание в лазарете, отказ от разгрузки кирпича, предназначенного для строительства тюрьмы. Штрафной изолятор на Секирной горе.

1938 г. май. – Окончание срока заключения. Заключение в карцер.

1938 г., июль – 1941 г. – Приговор Особого Совещания при НКВД: продление срока заключения на 5 лет. Пребывание в камере-одиночке. Перевод в пересыльную камеру. Этап в Ухтижмлаг, Вологодская пересылочная тюрьма, Котласский пересыльный пункт. Прибытие в Усть-Вымь. Пеший переход до пересыльного лагпункта Ухтижемлага. Разгрузка баржи. Помещение в штрафной изолятор, а затем в госпиталь. Отправка на вывоз дров из леса, на себе. Болезнь, пребывание в лазарете. Работа на парниках в совхозе «Ухта». Переписка годового отчёта Ухтинской опытной сельскохозяйственной станции. Самостоятельные занятия по специальности техника-гидрометеоролога. Направление на метеорологическую станцию. Возвращение в Ухту. Назначение старшим техником Ухтижемлага. Переезд из лагеря на станцию. Разработка ежедневного бюллетеня погоды.

1942 г, февраль. – Перевод на работу на лесоповал.

1943 г. – Возвращение на работу в Гидрометслужбу, разработка метода зимнего хранения картофеля (Расстрельный эксперимент).

1943 г., 8 июня – Освобождение из лагеря с прикреплением к производству Ухтижмлага до конца войны. Разработка климатического атласа Ухтижмлага, получение комнаты.

1943 г, август – Открепление от производства и получение паспорта со статьёй 39 (запрещение проживания во всех столичных и республиканских центрах и ряде др. мест). Условное поступление на заочное отделение факультета естествознания в Молотовский университет (г. Пермь).

1945 г., начало. – Продолжение работы на опытной сельскохозяйственной станции. Преподавание физической географии и метеорологии на курсах по подготовке массовых профессий при Ухтижемском комбинате ГВД СССР.

1945, май. – Известие об окончании Великой Отечественной Войны. Получение аттестата зрелости и золотой медали за окончание десятилетки.

Поиски работы. Приглашение в Ростовское Управление Гидрометслужбы, подготовка к отъезду.

1945 г. сентябрь. – Посещение квартиры родителей в Москве. Приезд на новое место работы в совхоз «Агроном» Краснодарского края. Работа начальником агрометеорологической станции «Кущёвка». Поступление в заочное отделение историко-филологического факультета Ростовского Университета. Занятия. Предупреждение деканата о невозможности на основе анкетных данных работать по избранной специальности. Уход из Университета.

1947 г., апрель. – Назначение начальником агрометстанции «Краснодар», установление деловых связей с учёными Института масличных культур. Поступление на биологический факультет заочного отделения Краснодарского пединститута.

1948, июнь – декабрь. – Знакомство и дружба с будущей женой – преподавателем русского языка этого Института – Валентиной Максимовной, женитьба.

1950 г. Досрочное окончание этого Института (сдача всех экзаменов за 5-летний курс) с получением красного диплома. Рекомендация в заочную аспирантуру по агрометеорологии при Всесоюзном институте растениеводства в Ленинграде. Рождение сына.

1951 г., май – декабрь. Повторный арест. Вызов жены к следователю в Управление МГБ. Следствие. Перевод в тюрьму. Приговор: пожизненная ссылка в Красноярский край. Работа на лесоповале. Обострение гипертонической болезни. Пребывание в больнице г. Енисейска. Приезд жены. Поиски работы.

1952-1954 г., май. Переезд в г. Енисейск. Знакомство и общение с семьями ссыльных.

1953 г., март – Известие о смерти И.В. Сталина. Поездка в Москву с ходатайством о пересмотре дела (сентябрь). Направление на ВТЭК для определения инвалидности. Получение справки о снятии судимости (28 мая 1954 г.) Отъезд в Москву. Установление связи с Институтом прогнозов (Гидрометцентр СССР).

1954 г., июль. – Назначение Ю.И. Чиркова старшим инженером агрометстанции «Ленино-Дачное» при Всесоюзном Институте лекарственных растений. Переезд в деревню Михайловское, зачисление в заочную аспирантуру по специальности агрометеорология.

1955 г., весна – Перевод старшим инженером в Московское Управление Гидрометслужбы.

1955 г., 10 декабря – полная реабилитация за отсутствием состава преступления.

1956 г., декабрь – получение комнаты в Москве.

1958 г. – Защита кандидатской диссертации и присвоение Ю.И. Чиркову учёной степени кандидата биологических наук.

1966 г. Защита диссертации на соискание учёной степени доктора географических наук.

1968 г. Присвоение ВАК ом СССР учёного звания профессора.

1970 г. – Поступление по конкурсу на должность заведующего кафедрой метеорологии и климатологии СХА им. К.А. Тимирязева.

1988 г., 11 августа – в результате очередного обширного инфаркта Ю.И. Чиркова не стало.

В составлении этого материала использована компьютерная база данных «Воспоминания о ГУЛАГе и их авторы», составленная Музеем и общественным Центром «Мир, прогресс, права человека» имени Андрея Сахарова.

УДК 551.521.31

О ЮРИИ ИВАНОВИЧЕ ЧИРКОВЕ И ЕГО МУЗЕ – КУКУРУЗЕ

И.А. Шульгин

*Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
Москва; Гидрометеорологический научно-исследовательский центр
Российской Федерации, Москва, ufarin@yandex.ru.*

Аннотация: в воспоминаниях автора о Ю. И. Чиркове рассматриваются некоторые общебиологические принципы жизнедеятельности растений, проявляющиеся в его исследованиях продукционного процесса кукурузы как одной из важнейших возделываемых зерновых культур.

Ключевые слова: агрометеорология, кукуруза, развитие, урожайность.

Мое личное знакомство с Ю. И. Чирковым произошло в июле 1954 года. В лабораторию фотосинтеза Института физиологии растений АН СССР, где я – студент 3-го курса Биолого-почвенного факультета МГУ – проходил научную практику по рекомендации академика Н. А. Максимова, вошел худощавый человек, представился и сказал, что хочет встретиться с А. А. Ничипоровичем.

В лаборатории он увидел новый прибор для измерения интенсивности поглощения воды и транспирации растением, камеры-щипцы для измерения фотосинтеза и термодатчики (термоиглы), введенные в листья для измерения их температуры. Растения получали свет от зеркальных ламп накаливания, который приходил непосредственно на листья или вначале проходил через кювету с водой.

Ю. И. Чирков был очень удивлен, что при температуре воздуха в 23-24°C она в листе достигала 32-34°C. Понятно, сказал он: «водный экран не позволяет листьям нагреваться. Хорошо бы посмотреть на тепловой режим листьев кукурузы в природе» и попросил рассказать, как самому сделать такой же прибор. Тогда впервые мы (А. А. Ничипорович, А. Ф. Клешнин, Ю. И. Чирков и я) обсуждали методические вопросы, касающиеся роста и развития кукурузы.

Осенью 1954 года, после нескольких встреч, он познакомился по нашему совету с работами кафедры физиологии растений МГУ, уже занимавшейся физиологией кукурузы [1] и лабораторией биологии развития растений, изучавшей этапы органогенеза растений, в том числе у кукурузы [2].

Вполне возможно, что уже тогда Ю. И. Чирков посчитал желательным объединить свои агрометеорологические интересы с новыми направлениями физиологического и морфофизиологического характера, полезными для изучения роста и развития кукурузы.

Способность воспринимать новые знания, глубоко вникать в новые проблемы, была реализована им уже в первых его работах. Так, уже в 1955 году в журнале «Метеорология и гидрология» была напечатана работа о применении на агрометеостанциях метода определения жизнеспособности озимых культур по состоянию конуса нарастания. Буквально на следующий год там же вышла его статья о фотосинтетической значимости учета размеров листьев в агрометеобслуживании.

Легко впитывая новые знания, оценивая их значение для агрометеорологических исследований, Ю. И. Чирков признал целесообразным использовать этапы органогенеза в делении онтогенеза не только на возрастные, но и функциональные периоды и применял их на практике. Он посчитал желательным ввести в практику наблюдений агрометеостанций, наряду с традиционными наблюдениями за фазами развития растений, и учет этапов органогенеза, о чем позднее было сказано в книге, написанной совместно с Ф. М. Куперман [3]. К сожалению, по ряду технических причин наблюдения за ходом развития растений на основе этапов органогенеза не вошли в широкую агрометеорологическую практику, хотя это было бы и остается весьма целесообразным [4]. Тем не менее, наблюдения и учет этапов органогенеза, которым много внимания уделял Ю. И. Чирков, по-прежнему используются во многих научно-исследовательских учреждениях и селекционных центрах, а так же при изучении процессов морфогенеза, устойчивости растений к неблагоприятным условиям среды.

В течение научной агрометеорологической деятельности Ю. И. Чирков основное внимание уделял изучению продукционных возможностей «королевы полей» – кукурузе и ее отношению к климатическим ресурсам, как это хорошо видно по его многочисленным публикациям [5-7].

Разумеется, никто не считал и не считает кукурузу лучшим представителем мира культурных растений, но, возможно, потому, что пшенице, подсолнечнику и ряду других видов уделялось большое внимание ученых (селекционеров и генетиков, физиологов и растениеводов, агрометеорологов и почвоведов и т.д.), тогда как кукурузе – намного меньшее. Между тем, кукуруза, будучи эволюционно молодым видом, вобрала в себя многие положительные, прогрессивные черты в своей функциональной деятельности, в своей структурной организации, выделяющие ее из многих других растений. Видимо, не случайно, Ю. И. Чирков оценил не только практическую значимость кукурузы, как продовольственной и кормовой культуры, но и ее внутренне богатый физиологический характер. Можно лишь

радоваться тому, что вольно или не вольно кукуруза на многие годы явилась для Ю. И. Чиркова музой, доставляя ему радость открывать в ней интересные агрометеорологические черты и количественно их интерпретировать.

Уже в период 1954-1957 годов стала четко видна научная целеустремленность Ю. И. Чиркова. Была видна реализация принципа значимости и необходимости восприятия нового, обеспечивавшего высокую жизненность организма. Он много читал, приходил на семинары в ИФР и МГУ и, что особенно важно для ученого, не страшился задавать вопросы, уточнять понятия и высказывать при этом свое мнение. Он непрерывно учил самого себя и очень активно самосовершенствовался.

Сразу же отметим, что один из важных принципов жизнедеятельности организма – это принцип селективного восприятия условий среды, желательных или необходимых для развития [8]. Действительно, растения в ряде своих черт, свойств можно рассматривать как своеобразные индикаторы тех или иных условий среды, и, в частности, многих из них, как концентраторов в своих органах химических соединений (кальция, магния, железа, натрия), извлекаемых из почвы и указывающих на ее состав.

Кукуруза так же является одним из таких растений, но она, будучи высокой в своем росте, урожайной и «благородной» культурой, накапливает в себе золото, хотя это и не указывает, что она растет только на золотоносной земле.

Нужно ли говорить о том, что Ю. И. Чирков вольно или невольно следовал ее примеру, накапливая в себе живые «золотые» знания и щедро делился ими – всегда, везде, всем.

Конечно, не только в этом, но и во многом другом существовали, как и ныне имеют место, тесные связи между принципами в деятельности человека и других организмов. Как отмечал еще Ч. Дарвин, а вслед за ним и принявший его учение К. А. Тимирязев, «природа щедра – «изобретая» что-то хорошее, она делится этим со всеми живыми существами, включая человека» [9].

Поэтому, говоря о Ю. И. Чиркове, о его принципах, мы, несомненно, увидим некоторые аналогии с принципами физиологической деятельности любимой им культуры.

Позже, в беседах, особенно запомнившихся мне, когда они проходили с А. М. Шульгиным и Ф. М. Куперман в нашем доме, Ю. И. Чирков с удовлетворением говорил о том, что сами растения с их колоссальными и удивительными способностями приспособления к условиям жизни «толкают» его к познанию их жизни. Он же неоднократно высказывался о том, что растения для него давно стали «молчаливыми учителями» в отношении хорошей организации в своей собственной деятельности.

Используя для самого себя принцип самосовершенствования живых организмов, выработанный им в тяжелейших условиях лагерной «жизни» и не потеряв при этом своего достоинства, верой в лучшее будущее, Ю. И. Чирков с большим желанием не только осваивал, но и принимал к использованию новые знания из разных областей науки [6].

Так к примеру, работая над проблемами продуктивности кукурузы, он с большим успехом не только вникал в разработанную в 1960-1970 годах теорию фотосинтетической деятельности растений как основу их продуктивности [10-13], которую создавал большой коллектив ученых разных специальностей, объединенных Научным советом по фотосинтезу АН СССР, Всесоюзным семинаром «Погода-урожай-математика» [14-20], но и полноценно использовал в исследованиях физиологические критерии оценки состояния растений в посевах. Это касается таких показателей, как размеры листовой поверхности, индекс листовой поверхности, фотосинтетический потенциал, интенсивность фотосинтеза и многие другие. Эти критерии, наряду с оценкой скорости развития растений, позволили Ю. И. Чиркову получить большой, принципиально значимый материал, позволивший намного детальнее подходить к оценке продукционного процесса кукурузы, к оценке оптимальности или не оптимальности условий своего роста.

В этом же ключе большое значение имели его работы и по оценке самих метеорологических условий в самом посеве и важно отметить при этом, что он одним из первых агрометеорологов посчитал необходимым уделять большое внимание радиационному режиму. Можно считать большой заслугой Ю. И. Чиркова то, что он, расширяя большой свой научный кругозор и став высоко-эрудированным ученым, понимал необходимость учета солнечной радиации как фактора урожайности [6, 21]. Параметрами, подлежащими учету он справедливо считал длину дня, количество приходящей солнечной радиации за сутки и другие периоды онтогенеза, интенсивность радиации и т.д. Именно поэтому он указывал на необходимость введения этих показателей в общую систему оценок агроклиматических ресурсов и продукционных факторов среды.

Ю.И. Чирков, реализуя принципы познания от более общего к частному, подчеркивая необходимость детального изучения процессов, обуславливающих урожайность, уделял в своей научной и последующей педагогической деятельности большое внимание к работам основоположника агрометеорологии – П. И. Броунова, в которых обоснована необходимость выявления и изучения отдельных критических периодов развития растений, в течение которых наиболее велика отзывчивость организмов к благоприятным и неблагоприятным условиям среды, в том числе и, особенно, к солнечной радиации, в отношении которой растения «создали» 3-4 критических радиационных периода [22, 23].

Можно не сомневаться в том, что научная любовь Ю. И. Чиркова к кукурузе была не просто таковой, как к одной из многих с.-х. культур, а была обусловлена знаниями особенностей, ярко выраженных черт своего физиологического, морфологического, продукционного совершенства, достигнутого в процессе эволюции и последующей селекцией.

Полагая, что читателям этой книги, особенно студентам сельхозвузов было бы интересным знать об уникальности ряда свойств кукурузы, приведем здесь несколько примеров, хорошо известных физиологам, и которые часто обсуждались с Ю. И. Чирковым.

Реализуя принцип самосовершенствования [24], на основе изменчивости, наследственности и с помощью естественного отбора улучшения своих функций, кукуруза повышала уровень своей чувствительности к условиям среды, используя для этого системы фоторегуляции (системы фотоморфогенеза) [23].

Кукуруза в процессе эволюции вида испробовала ценность фотопериодизма – реакции на длину дня как указателя тенденции изменения гидротермических условий для перехода растений к формированию генеративных органов – у разных типов растений – длиннодневных, коротко-длиннодневных, длинно-короткодневных, стенофотопериодических, амбифотопериодических, – но не захотела, в угоду «моде», менять свой пол короткодневной культуры на другой. Однако, она добавила к одной классической фазе восприятия фотопериодической индукции генеративного развития еще две отдельных, разделенных во времени, фазы чувствительности к длине дня.

Это позволило кукурузе несколько раз в течение онтогенеза (до цветения) соотносить эндогенно обусловленную скорость развития и экзогенно-обусловленную средой, чтобы наилучшим образом, эффективнее и в соответствующие сроки формировать репродуктивные органы.

Реализуя принцип совершенствования процессов в целях обеспечения организма максимально возможной продуктивностью вегетативных и или репродуктивных органов [15, 16], кукуруза решала экономические проблемы фотосинтеза, связанные с улучшением процесса поглощения CO_2 и интенсификации транспирации.

В данном случае речь идет о том, что кукуруза не изобрела дополнительные, улучшенные, более экономичные механизмы трансформации энергии и ее переработки. Она лишь несколько изменила биохимический путь превращений углерода – вместо трикарбоновых кислот в цикле Кальвина идет образование дикарбоновых кислот, но с тем же конечным результатом.

Кукуруза, как очень светлюбивая культура, нуждающаяся в поступлении CO_2 и в снижении интенсивной транспирации в жарких и засушливых условиях, стала экономичнее: вместо того, чтобы высвобождающийся CO_2 из листьев на свету в процессе дыхания выбрасывался на воздух, он, наряду с поступлением из воздуха, не выходя из листа, использовался в истинном фотосинтезе [25].

В результате наблюдений газообмена листа кукурузы некоторые экологи и физиологи стали считать, что у нее на свету отсутствует фотодыхание, выше интенсивность фотосинтеза и поэтому она более продуктивна, чем обычные C_3 -растения.

Между тем, эффект более высокой интенсивности фотосинтеза – эффект измерения кажущегося, видимого фотосинтеза вне листа: больше разность между поглощенным и выделенным CO_2 , которая регистрируется в опыте.

На самом же деле кукуруза использовала этот способ для облегчения работы устьичного аппарата при транспирации и ее регуляции при высоких интенсивностях приходящей ФАР.

Поэтому, «нельзя считать доказанным, что по показателям, характеризующим фотосинтез, C_4 -виды имеют определенные преимущества по сравнению с C_3 -видами...Трудно считать, что они лучше адаптированы к повышенной температуре» [25].

Более того, исследования показали, что эффективность использования поглощенной ФАР, как и у других высокопродуктивных видов, достигает в период максимальных суточных приростов биомассы тех же 12% за сутки [22]. Величина суточных приростов биомассы так же не превышает в этот период 600-800-1000 кг/га, как это наблюдалось неоднократно и у других культур (сахарной свеклы, картофеля) [10].

В наших работах так же показано, что на образование единицы биомассы затрачивается у кукурузы (как, к примеру, и у томатов, и у картофеля) одинаковое количество поглощенной энергии.

Важно отметить и другое – кукуруза, как эволюционно молодой вид – функционально лабильнее и лучше использует свою структурную организацию листьев, свои адаптационные возможности. В частности, сам баланс между C_4 и C_3 – метаболизмом может существенно изменяться в ходе онтогенеза, в зависимости от условий роста и минерального питания, влаги, а так же под влиянием биорегуляторов [25].

Принцип самоусовершенствования (принцип адаптации, самооптимизации процессов) к меняющимся условиям, как основа сохранения эффективной деятельности организма, у кукурузы прекрасно реализуется.

Так, в частности, поддержание высокоэффективной фотосинтетической деятельности в течение дня со средним за сутки КПД поглощенной ФАР в 12% при закономерно меняющейся интенсивности приходящей ФАР достигается достаточно быстрыми изменениями световых кривых газообмена с изменяемым углом наклона этих кривых, с изменяемой величиной интенсивности радиации приспособления [15, 22]. «Внешнее проявление» изменений газообмена реализуется за счет многих структурных и функциональных изменений в листьях и, в частности, идущих в клетках непрерывно в течение дня изменениях положения хлоропластов относительно света, величины их поверхности и объема.

Но именно о своей адаптационной возможности к разной, но очень напряженной работе в течение дня говорил Ю. И. Чирков, отмечая не только полезность, но и необходимость смены занятий, движений, позы, громкости речи, интонации голоса и даже переключения образов во время размышлений.

Два разных живых объекта, но оба используют одинаковые или сходные по существу принципы в своей работе.

Кукуруза явилась примером «поиска» и «нахождения» тех способов существования в объеме пространства, которые позволили ей наилучшим образом адаптироваться к приходящей и поглощаемой лучистой энергии Солнца в чрезвычайно изменчивой радиационной среде в течение дня.

Кукуруза могла бы иметь контурную форму конуса (как например, у ели), могла бы иметь форму воронки (как например, у разеточно-расположенных листьев свеклы), причем иметь ту же площадь листьев,

расположенных на 1 м^2 площади земли (т.е. иметь одинаковый индекс листовой поверхности, ИЛП) и быть при этом так же высокопродуктивной культурой.

Она могла бы иметь в основном эректоидную ориентацию листьев, т.е. такую, какую при селекции на большую массу колоса пшеница одновременно изменяет свою конструкцию и приобретает при этом более короткий стебель.

Но эти формы (конструкции) – более «стабильные», более специализированные – лучше адаптированы к радиационному режиму районов с высокой интенсивностью солнечной радиации в южных широтах умеренного пояса и, тем более к субтропическим и тропическим широтам. Кукуруза же в своих самооптимизационных «поисках» способов формирования наибольшей в данных условиях общей и семенной («зерновой») продуктивности, выбрала иную, физически и физиологически наилучшую архитектурную форму распределения количества и ориентации листьев по высоте стебля – т.н. полусферическую форму «кроны» с равномерной азимутальной и наклонной ориентации листьев относительно поверхности земли [15, 23]. Ценность такой конструкции заключается в том, что практически все листья «смотрят» своими листовыми пластинками на полусферический небосвод и у каждого листа есть свой телесный угол, в пределах которого он обращен к приходящей рассеянной радиации как при безоблачном, так и облачном небе [15, 27, 28].

Такая ориентация листьев – от практически горизонтальной у нижних и практически вертикальной у верхних листьев – позволила прежде всего иметь равномерно распределенную по высоте листовую поверхность, которую можно представить в виде двух «монослоев» листьев, превосходящую в два раза по площади максимальную площадь сечения условной сферы [12, 14, 22]. В этом случае растение в наиболее оптимальных условиях может сформировать площадь листьев, равную 4 м^2 на м^2 земли, являющуюся проекцией поперечного сечения «кроны» кукурузы по отношению к занимаемой ею радиационной площади земли. Такая ориентация листьев позволяет максимально полно поглощать приходящую ФАР – как рассеянную, так и прямую в течение всего дня: при малых высотах Солнца – прямую радиацию верхними листьями, а при увеличении высоты Солнца – все более нижними листьями с почти горизонтальной их ориентацией [12, 27, 28].

В результате равномерной ориентации листьев кукуруза стала получать за сутки больше приходящей радиации, чем приходит суммарной ФАР на горизонтальную поверхность. Естественно, что при тех же оптических свойствах листьев, кукуруза поглощает за сутки больше ФАР и, используя ее с высокой эффективностью в течение всего дня, создает за сутки и наиболее высокое по величине количество общей биомассы, как затем и зерновок в своих соцветиях.

Действительно, кукуруза по своей урожайности значительно превосходит большинство зерновых культур, и эта урожайность – результат структурной адаптации оптико-фотосинтетического аппарата к солнечной радиации, но отнюдь не за счет якобы лучших механизмов использования поглощенной энергии, не за счет более высокой эффективности ее

использования, а исключительно за счет прекрасной, селективно отобранной отбором архитектурной, адаптивной к свету, организации.

Так, к примеру, в солнечно-богатой степной предгорной зоне Кабардино-Балкарской АССР в 1936-1938 годах урожайность кукурузы на арычно-орошаемых полях госселекстанции и ряда колхозов достигала 130-140 ц зерна с гектара и, на отдельных полях, до 160 ц/га [29]. Были использованы такие гибридные сорта как «Зубовидная белая Харьковская», «Стерлинг», сорта «ГС-1» «ГС-2» Дневнопетровской селекции.

Позже, в 1960-1970 годы, такую же урожайность в 120-130 ц/га давали сорта ВИР-25 и ВИР-42, достигавшие в высоту 3,0-3,5 м с максимальной площадью листьев 4,0-4,6 м² на м² земли, на которых мы проводили в 1958-1962 годах исследования закономерностей онтогенетической изменчивости строения листьев и их пигментного аппарата, зависящей не только от интенсивности приходящей ФАР, но и от этапов развития генеративных органов [30-32].

Принцип формирования максимальной продуктивности, формирования максимально возможного количества плодов – чрезвычайно важный принцип в деятельности организма на всем протяжении онтогенеза [15, 23].

По существу, реализация этого принципа для данного организма не нужна: он образованными плодами уже не воспользуется. Тем не менее, новому организму важно получить для выживания хорошие, устойчивые, не поврежденные ранее, геномы в зародыше плода [33]. Сам принцип генетически заложен и необходим для появления и сохранения последующих поколений, т.е. для филогенеза вида.

Человек – физически и психически нормальный – так же реализует этот биологический принцип, сознательно поддерживая свое здоровье и делает это как для самого себя, так и для своих детей и внуков.

Однако, человек, особенно если он выбрал прекрасную профессию педагога, всю свою жизнь ищет, вбирает в себя и накапливает знания и, в отличие от растения, в течение всего периода взрослой жизни отдает эти знания другим – школьникам, студентам, коллегам.

Реализация принципа максимальной продуктивности, присущая кукурузе и другим растениям [34, 35], проявлялась у Ю. И. Чиркова в непрерывном труде, в воспитании молодых агрометеорологических кадров, способных работать творчески для нужд сельского хозяйства [7, 36].

И здесь надо сказать, он был тем духовно богатым человеком, кто сознательно, в течение всей своей жизни жил ради лучшей жизни других людей и, читая лекции, делая доклады на конференциях, всегда «сеял разумное, доброе, вечное».

В этой связи хочу выделить из письма Ю. И. Чиркова, написанного в 1973 году А. М. Шульгину, следующие строки: «Не думал, что стану получать радость от лекционной работы, но видя глаза студентов, обращенные ко мне, слушая их вопросы, ощущая их внимание и пытливость, испытываю ощущение счастья и своей полезности для их будущего. Это ощущение имеет для меня лечебное свойство».

Ю. И. Чирков, будучи очень доброжелательным человеком, обладая чувством юмора, способностью понимать людей, навыками общения в коллективе создавал вокруг себя не только круг слушателей, учеников, единомышленников в нашей стране, но и далеко за ее пределами. Своими знаниями, своим умением преподносить эти знания он смог стать полномочным представителем агрометеорологии на международной арене.

Прошли годы, развитие наук, питавших и питающих агрометеорологию, ушло далеко вперед, но тот большой вклад в оценку продукционной деятельности растений, который внес Ю. И. Чирков, сохраняет свое актуальное значение и в настоящее время.

На своем личном примере Ю. И. Чирков, не ставя перед собой такой цели, продемонстрировал, что биологические принципы высокоэффективной деятельности не ограничиваются в своем проявлении только у растений, но и играют свою роль в социально-биологическом характере человека, делая его гуманным, просвещенным, создающим добро для разных людей.

Таким, в моем представлении, был Ю. И. Чирков, прошедший тернистый, но славный и почетный путь от студента-биолога до профессора в лучшей Сельскохозяйственной Высшей школе России – в Московской сельскохозяйственной академии имени К. А. Тимирязева.

Библиографический список

1. Андреев С. С., Куперман Ф. М. Физиология кукурузы. – М., МГУ, 1959, 288 С.
2. Куперман Ф. М. Морфофизиология растений. – М., Высшая школа, 1973, 256 С.
3. Куперман Ф. М., Чирков Ю. И. Биологический контроль за развитием растений на метеорологических станциях. – Л., Гидрометеиздат, 1970, 146 С.
4. Шульгин И. А. Научно-методические перспективы изучения темпов развития яровых зерновых культур как одного из критериев их урожайности. – М., Гидрометеорологические исследования и прогнозы, 2019, № 3, С. 93-120.
5. Чирков Ю. И. Агрометеорологические условия и продуктивность кукурузы. // Под ред. Ф. Ф. Давитая. – Л., Гидрометеиздат, 1969, 251 С.
6. Чирков Ю. И. Пути более полного использования климатических ресурсов для фотосинтетической деятельности посевов кукурузы. // Фотосинтез и вопросы продуктивности растений. – М., АН СССР, 1963, С. 115-125.
7. Чирков Ю. И. Агрометеорология: учебное пособие для студентов высших с.-х учебных заведений. – Л., Гидрометеиздат, 1979, 320 С.
8. Шульгин И. А. Растение и солнце. – Л., Гидрометеиздат, 1973, 252 С.
9. Тимирязев К. А. Чарлз Дарвин и его учение. Изд. 7// Избр. соч. в 4 томах. – М., ОГИЗ – Сельхозгиз, 1949, т. IV, С. 18-436.
10. Ничипорович А. А. Фотосинтез и теория получения высоких урожаев. 15-е Тимирязевское чтение. – М., АН СССР, 1956, 93 С.
11. Ничипорович А. А. Фотосинтез растений как фактор урожайности. – Изв. АН СССР, сер. биол., 1952, № 4, С. 3-30.

12. Ничипорович А. А. Физиология фотосинтеза и продуктивность растений. // Физиология фотосинтеза. – М., Наука, 1982, С. 7-33.
13. Ничипорович А. А., Шульгин И. А. Фотосинтез и использование энергии солнечной радиации. // Ресурсы биосферы. – Л., Наука, 1976, т. 2, С. 6-55.
14. Росс Ю. К. Радиационный режим и архитектура растительного покрова. – Л., Гидрометеиздат, 1975, 342 С.
15. Тооминг Х. Г. Солнечная радиация и формирование урожая. – Л., Гидрометеиздат, 1977, 200 С.
16. Тооминг Х. Г. Экологические принципы максимальной продуктивности посевов. – Л., Гидрометеиздат, 1984, 264 С.
17. Гойса Н. И., Олейник Р. Н., Рогаченко А. Д. Гидрометеорологический режим и продуктивность орошаемой кукурузы. – Л., Гидрометеиздат, 1983, 230 С.
18. Шатилов И. С., Чудновский А. Ф. Агрофизические агрометеорологические и агротехнические основы программирования урожая. – Л., Гидрометеиздат, 1980, 318 С.
19. Полуэктов Р. А. Динамические модели агроэкосистемы. – Л., Гидрометеиздат, 1991, 312 С.
20. Сиротенко О. Д. Математическое моделирование водно-теплового режима и продуктивности агроэкосистем. – Л., Гидрометеиздат, 1981, 167 С.
21. Чирков Ю. И. Агрометеорология. – Л., Гидрометеиздат, 1986, 302 С.
22. Шульгин И. А. Лучистая энергия и энергетический баланс растений. – М., Альтекс, 2004, 142 С.
23. Шульгин И. А. Солнечные лучи в зеленом растении. – М., Альтекс, 2009, 186 С.
24. Розен Р. Принцип оптимальности в биологии. – М., Мир, 1969, 215 С.
25. Заленский О. В. Эколого-физиологические аспекты изучения фотосинтеза. – Л., Наука, 1977, 55 С.
26. Шульгин И. А. Архитектура растений и продукционный процесс в оптимальных условиях. // Фотосинтез и продукционный процесс. – М., Наука, 1988, С. 213-217.
27. Тооминг Х. Г. Оптимизация фотосинтетической деятельности на ценоотическом уровне. // Фотосинтез и продукционный процесс. – М., Наука, 1988, С. 164-176.
28. Шульгин И. А. Солнечная радиация и растение. – Л., Гидрометеиздат, 1967, 179 С.
29. Кереев К., Куперман Ф., Ругузов А. За высокий урожай озимой пшеницы и кукурузы. – Нальчик, Каб.-Балкар. гос. изд.-во, 1940, 93 С.
30. Шульгин И. А., Куперман Ф. М., Выслоух В. А., Щербина И. П. Содержание хлорофилла как физиологический показатель гетерозиса у кукурузы. – Физиол. раст., 1961, т. 8, № 6, С. 754-757.
31. Шульгин И. А., Куперман Ф. М., Щербина И. П. О связи содержания хлорофилла с этапами органогенеза у кукурузы. – Физиол. раст., 1962, т. 9, № 3, С. 347-352.

32. Щербина И. П., Шульгин И. А. Характеристики листового аппарата кукурузы в условиях Кабардино-Балкарии. – Нальчик, Уч. зап. Каб.-Балкар. гос. ун-та, 1961, вып. 10, С. 41-48.
33. Кошкин Е. И. Физиология устойчивости сельскохозяйственных культур. – М., Дрофа, 2010, 638 С.
34. Шульгин И. А., Тарасова Л. Л. Энергетический баланс посевов – физиолого-физический подход к оценке потенциальной (максимально возможной) урожайности яровых культур. // Продуктивность культурных растений в зависимости от погодных условий. – Новосибирск, Новосиб. гос. агр. ун-т, 2012, С. 18-21.
35. Шульгин И. А., Тарасова Л. Л., Сенников В. А. Агрометеорологические аспекты оценки урожаев в условиях климатических изменений. // Адаптация сельского хозяйства России к меняющимся погодно-климатическим условиям. – М., РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева, 2011, С. 90-99.
36. Чирков Ю. И. Основы агрометеорологии. – Л., Гидрометеиздат, 1988, 248 С.

ABOUT YURI IVANOVICH CHIRKOV AND HIS MUSE – MAIZE

I. A. Shul'gin

Lomonosov Moscow State University, Moscow;

Hydrometeorological Research Center of Russian Federation. Moscow,

ufarin@yandex.ru

Summary: the authors' memories of Yu. J. Chirkov address the general biological principles of plant ontogenesis and his studies of growth and development of maize as one of the most important cultivated crops.

Keywords: agricultural meteorology, maize, development, productivity.

УДК 551.577.38:528.8

ТЕХНОЛОГИЯ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ И ОЦЕНКИ УРОЖАЙНОСТИ ПОСЕВОВ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР НА ОСНОВЕ НАЗЕМНОЙ И СПУТНИКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

*А.Д. Клещенко, О.В. Вирченко, О.В. Савицкая, Ю. А. Моргунов,
С.А. Косякин*

*Всероссийский научно-исследовательский институт
сельскохозяйственной метеорологии, Обнинск, sxm-dir@obninsk.ru*

Аннотация: *статья состоит из трех частей: в предисловии кратко рассказывается о Ю. И. Чиркове-учёном, педагоге, личности; во второй части представлена технология мониторинга состояния посевов сельскохозяйственных культур; в третьей – подходы к оценке ожидаемой средней районной урожайности. Информационной основой рассмотрения этих проблем являются данные спутниковых и наземных измерений.*

Ключевые слова: кластеризация, мониторинг, спутниковая и агрометеорологическая информация, NDVI, урожайность.

Предисловие. Прежде, чем приступить к изложению материалов статьи, кратко остановимся на личности Ю.И. Чиркова, столетнему юбилею которого посвящена данная конференция. Тем более, одному из авторов (А.Д. Клещенко) посчастливилось быть учеником Юрия Ивановича и сохранить творческие, дружеские отношения до самого его ухода.

Юрий Иванович Чирков является одним из выдающихся основополагающих советских агрометеорологов. Не будем останавливаться здесь на его биографии (более подробно об этом будет сказано в докладе И.Г. Грингофа), но конечно следует отметить, что ему пришлось пройти через огромные испытания и трудности в исправительных лагерях, в которые он попал по ложному доносу ещё совсем в юном возрасте. Здесь, наряду с выдающимися природными дарованиями, сказались и «лагерные университеты», встречи с интересными высокообразованными людьми, многие из которых составляли гордость русской интеллигенции. Это общение позволило пытливому и талантливому юноше, несмотря на суровые бытовые условия, постоянно обогащать и совершенствовать свой духовный мир и знания.

Все это позволило ему семимильными шагами пройти путь от студента до кандидата, а затем доктора наук и профессора, стать исследователем-ученым с мировым именем.

Я, (А.Д. Клещенко) познакомился с Юрием Ивановичем в 1964 г. при поступлении в аспирантуру ГМЦ РФ (тогда ЦИПа). Педагогический дар Ю. И. Чиркова полностью раскрылся при работе с многочисленными аспирантами. За свою творческую жизнь он подготовил 27 аспирантов, представивших и защитивших кандидатские диссертации. Поражает тот объем проблем, которые решали аспиранты при тесном участии Юрия Ивановича. Достаточно взглянуть на перечень тем диссертаций, чтобы иметь представление о научном кругозоре Ю. И. Чиркова. География проживания его аспирантов огромна: от Магадана до Украины, а также Болгария, Румыния, Германия, Перу. Этот феномен Ю. И. Чиркова, на наш взгляд, объясняет его убежденность, что в процессе учебы аспирант должен сформироваться как ученый, как личность, после чего он сможет решать любые научные проблемы. При этом Ю. И. Чирков, как научный руководитель, опирался на свою исключительную эрудицию, необыкновенную трудоспособность и доброжелательность к своим подчиненным. Человек энциклопедических знаний, тонкий психолог, прекрасный рассказчик – Ю. И. Чирков буквально завораживал слушателей, собиравшихся вокруг него, обладал гипнотическим влиянием на своих учеников.

Естественно, при работе над диссертацией всегда бывают и удачи, и разочарования, а когда неудачи накладываются на жизненные проблемы и трудности – опускаются руки. В такие периоды необходима дружеская поддержка умудренного научным и жизненным опытом человека. Ю. И.

Чирков умел отвлечь человека: то вспоминал какую-то легенду или притчу, то рассказывал случай из своей биографии, и постепенно личные и научные проблемы уже не казались тупиковыми, находились пути их решения.

Поражала эрудиция Юрия Ивановича, особенно в области гидрометеорологии, где он интересовался всем новым, моментально улавливая все прогрессивное. Зачастую он предлагал аспирантам нетрадиционные решения той или иной, стоящей перед ними задачи. Но Юрий Иванович не ограничивался знаниями, касающимися только его специальности, он был в курсе какой и где идет новый фильм или спектакль, успевал побывать на выставках или прочесть новую книгу, приобрести что-нибудь для своей богатейшей библиотеки. Обо всем он имел свое мнение, и его аргументированные суждения по глубине оценки могли бы поспорить с суждениями известных критиков.

Практически все его аспиранты после защиты диссертации стремились поддерживать с ним тесную связь, он искренне был этому рад. Поэтому, учитывая все вместе взятое, можно говорить о школе Ю. И. Чиркова.

Возвращаясь к начальному периоду общения с Юрием Ивановичем, могу сказать, что он никогда не давал готовых решений рассматриваемой задачи. Он всегда проводил обсуждение так, чтобы ученик как бы сам выходил на необходимое решение. Не вдаваясь в подробности, хочу остановиться на одном вопросе, который мы с ним решали в моей кандидатской диссертации. При изучении проблемы влагопереноса в почве и ее оценки, он предложил провести экспериментальные работы по измерению транспирации растений. Конечно, мне вначале показалось, что эту задачу решить невозможно. Но, после ряда обсуждений, оказалось, задача имеет решение при использовании уникальных данных с большого гидравлического испарителя Валдайской обсерватории. Я до сих пор считаю, что это одна из моих интереснейших работ, в которой удалось связать экспериментальные данные и теорию в единое целое. Я думаю, каждый из его аспирантов мог бы привести множество подобных примеров.

Кстати, он с большим энтузиазмом поддержал меня, когда я начал заниматься вопросами использования дистанционных измерений в агрометеорологии. На протяжении многих лет я с ним консультировался по различным аспектам этой проблемы. И мы всегда находили приемлемое решение.

Поражали его энциклопедические знания и огромная любознательность. Вспоминаю такой эпизод. В один из его приездов в Обнинск он остановился у нас в доме. Вечером он увидел, что мои сыновья занимаются сооружением крепостей и разыгрыванием различных сражений (чем они увлекались). Он с энтузиазмом включился в этот процесс, попутно рассказав столько нового и интересного по этому вопросу, что вызвало бурный восторг моих детей.

Закljučая мое краткое воспоминание, я хотел бы еще раз обратить внимание на его основополагающие работы в области экологии, органогенеза и фотосинтетической продуктивности растений, теории прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур, методов сельскохозяйственной

оценки климата и агроклиматического районирования. Результаты его исследований, его идеи получили дальнейшее широкое развитие во всех вышеупомянутых областях агрометеорологии и это позволяет нам выразить ему огромную непреходящую благодарность за его жизнь, труд, беззаветное служение нашей науке – Агрометеорологии.

Технология мониторинга состояния посевов. Основой системы получения наземной метеорологической и агрометеорологической информации является наблюдательная сеть. Точность этой информации, полученной в точке, достаточно высокая и определяется характеристиками приборов, используемых на сети. Основным недостатком этой информации является, то, что это точечная информация и характеризует только территорию, ближайшую к наблюдательному пункту. Так же следует отметить, что сеть метеорологических станций продолжает сокращаться, число станций на территории различных областей варьирует от нескольких точек до 20 пунктов наблюдений. Известно большое количество методов аппроксимации измерений в отдельных пунктах на ближайшую территорию. Эти методы лучше подходят для аппроксимации таких параметров как температура воздуха, поскольку ее значения достаточно однородны в пределах области. Что касается осадков и большинства других агрометеорологических параметров, то для них характерна пространственная вариабельность. Несмотря на наличие недостатков у наземной информации, она по-прежнему является одной из основных при агрометеорологическом обеспечении различных секторов экономики страны.

Что касается спутниковой информации, то она позволяет получать достаточно детальную информацию по любой необходимой территории. Известна точность приборов, их спектральное и временное разрешение. Приборы, установленные на спутнике, фиксируют активный (отраженный) или пассивный (собственное излучение) сигнал в различных областях электромагнитного спектра. Этот сигнал необходимо преобразовать в интересующие агрометеорологов характеристики. Следовательно, качество интерпретации спутниковой информации во многом определяет успешность решения агрометеорологических задач, в том числе оценку состояния посевов сельскохозяйственных культур и прогнозов ожидаемой урожайности.

Эффективным средством наблюдения состояния посевов сельскохозяйственных культур является спутниковый мониторинг. К наиболее информативным средствам наблюдения при осуществлении мониторинга состояния растительности и засух относятся данные спутниковых спектро радиометров оптического и инфракрасного диапазонов. Основным мешающим фактором при использовании этих данных является облачность. Для исключения или сведения к минимуму влияния облачности при осуществлении спутникового мониторинга состояния посевов сельскохозяйственных культур используются композитные спутниковые цифровые массивы (в дальнейшем композиты) [1].

В рассматриваемой системе мониторинга используются ежедекадные композиты, составленные по дневным данным спектро радиометра AVHRR ИСЗ

NOAA-19 (спектральные диапазоны: 0.58–0.68, 0.725–1.00, 3.55–3.93, 10.3–11.3, 11.5–12.5 мкм; полоса обзора (~ 3000 км), разрешающая способность 1.1 км).

Несмотря на невысокое пространственное разрешение, информация AVHRR получила широкое применение за счёт высоких радиометрических характеристик, непрерывной бортовой калибровки, наличия многолетних архивных материалов и возможности ими пользоваться. Это позволило использовать данные AVHRR для определения многих характеристик подстилающей поверхности, включая состояние растительности и опасные агрометеорологические явления. Для оценки состояния растительности обычно используются вегетационные индексы [2-4,7]. Индексы представляют собой линейные или дробно-линейные комбинации значений сигналов в разных диапазонах спектра, в первую очередь: красном (0,6–0,7 мкм) и ближнем инфракрасном (0,8–0,9 мкм). В качестве показателя, характеризующего состояние посевов сельскохозяйственных структур, в настоящей работе использовался широко известный вегетационный индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) – нормализованный разностный индекс растительности. Указанный индекс достаточно устойчив к разным влияющим факторам (высота Солнца, угол сканирования спутника, прозрачность атмосферы и др.) и представляет собой частное от деления разности между коэффициентом отражения в красном и ближнем инфракрасном участках спектра к их сумме:

$$NDVI_{ij} = \frac{IK_{ij} - K_{ij}}{IK_{ij} + K_{ij}}, \quad (1)$$

где $NDVI_{ij}$ – значение нормализованного вегетационного индекса для каждого пиксела изображения; i, j – номер строки и столбца пиксела; IK_{ij} – значение сигнала в ближнем ИК канале спектра; K_{ij} – значение сигнала в красном канале спектра.

NDVI используют как для выявления состояния растительности в отдельной точке изображения, так и для общего представления о состоянии растительности всего региона. В последнем случае используют его среднее, максимальное и минимальное значение, а также медиану и моду, как по всему району спутниковой съемки, так и по его части.

Подробности формирования кластеров подробно описаны в [1, 5], к которым мы и направляем заинтересованного пользователя.

Обработка во ВНИИСХМ включает автоматическую кластеризацию и экспертное уточнение результатов кластеризации. Процедура кластеризации, реализованная в технологии, является многомерной неконтролируемой классификацией, основанной на минимизации суммы квадратов евклидовых расстояний элементов кластеров от их центров (средних значений) [6]. Эта процедура позволяет идентифицировать сельскохозяйственный объект как целое благодаря объединению в одно спектральное пространство значений исходных сигналов с заданных каналов и производных от них величин, таких как, например, вегетационный индекс.

Процедура кластеризации выполняется итерационно. Критерий остановки – общее количество пикселей, перемещенных между кластерами на данном шаге, не превышает 75, или общее количество итераций более 50. Выход из процедуры кластеризации по первому критерию в 70 % случаев прогонов процедуры.

После этого рассчитываются средние значения NDVI по каждому кластеру, а сами кластеры упорядочиваются по возрастанию вегетационного индекса. После завершения работы процедуры, пользователь имеет возможность изменить распределение кластеров (включая визуальный контроль). Ранее [7] были проведены многочисленные исследования по оценке зависимости отражательных характеристик посевов сельскохозяйственных культур от их параметров состояния (густота стояния, растительная масса, площадь листовой поверхности) и урожайности в различные периоды вегетации. Это позволило установить критерии значений вегетационного индекса (кластеры), соответствующие посевам с плохим состоянием (с ожидаемой урожайностью менее 80% от средней многолетней), с удовлетворительным (с урожайностью 80–115% от средней многолетней) и с хорошим (с урожайностью более 115% от средней многолетней). Таким образом, на выходе системы формируются карто-схемы распределения зерновых культур с различным состоянием[7]. На рис. 1 представлена карто-схема распределения состояния посевов зерновых за вторую и третью декады мая 2019 г. Европейской территории РФ. Такие карты получают ежедекадно с первой декады мая по вторую декаду июля для субъектов РФ и для сельскохозяйственно-значимой территории России в целом.

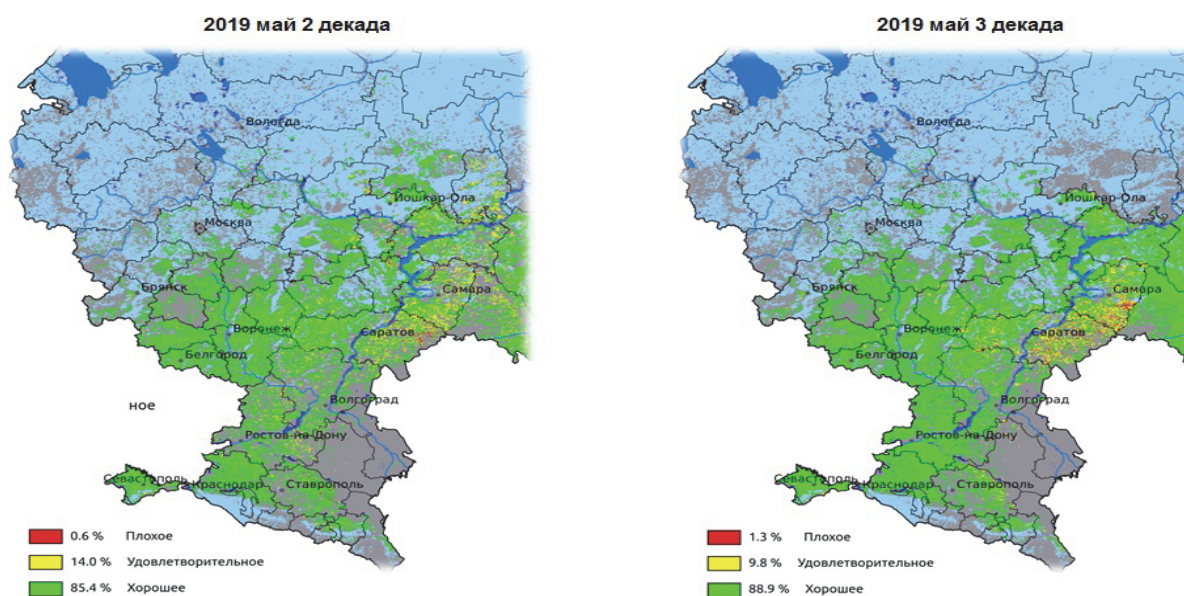


Рис. 1. Оценка состояния посевов на Европейской территории РФ в мае 2019 г.

НИЦ Планета и ВНИИСХМ проводят работы по совершенствованию технологий подготовки ежедекадных композитов по территории России. В качестве исходной информации вместо данных спектрорадиометра AVHRR ИСЗ NOAA используются данные VIIRS ИСЗ SuomiNPP и NOAA-20.

Спектрорадиометры AVHRR на сегодняшний день устарели и больше не будут устанавливаться на новых космических аппаратах. В тоже время новый спектрорадиометр VIIRS обладает самыми современными требованиями – имеет большее количество спектральных каналов (22 канала) и более высокое пространственное разрешение (750 м и 375 м); космические аппараты, на которых установлена аппаратура VIIRS, имеют меньшую погрешность географической привязки по орбитальным данным; для каждого элемента цифрового массива VIIRS дополнительно проводится оценка качества информации, что в итоге позволяет для разных композитов создавать маски качества. Новый источник спутниковых данных позволит оценивать состояние посевов на районном уровне.

Оценка ожидаемой средней районной урожайности. Вторым методом использования спутниковой информации относится к оценке урожайности зерновых культур. В Росгидромете уже давно разработана и успешно применяется система прогнозов урожайности посевов сельскохозяйственных культур на основе использования наземной агрометеорологической информации. Эта система позволяет получать прогнозы урожайности для субъектов, федеральных округов и в целом для России. Привлечение спутников впервые позволило разработать методы ежедекадной оценки урожайности для районного уровня. Такая технология разрабатывается в настоящее время в Росгидромете (ФГБУ «ВНИИСХМ»). Эта технология работает на основе комплексного использования спутниковой и наземной агрометеорологической информации. В основу технологии положено наличие зависимости между отражательными характеристиками сельскохозяйственных посевов и их продуктивностью.

Исследование проводилось для территории трех УГМС Росгидромета: Северо-Кавказского, Приволжского и Центрально-Черноземного. Использован статистический подход, позволяющий достаточно корректно и надежно получить устойчивые регрессионные модели для расчета ожидаемой средней районной урожайности зерновых культур. Для их разработки использовались агрометеорологическая, спутниковая и статистическая информация.

Источником агрометеорологической информации являлись материалы наблюдений агрометеорологических станций. В качестве агрометеорологических параметров использовались следующие данные: сумма осадков, средняя декадная температура воздуха, накопленная температура воздуха, определяемая как сумма температур за определенный период, дефицит влажности воздуха. Кроме того, использовались широко применяемые в агрометеорологии для оценки увлажнения значения гидротермического коэффициента Селянинова (ГТК), рассчитанные по следующей формуле:

$$ГТК = \frac{\sum P}{0.1 * \sum T}, \quad (2)$$

где $\sum P$ – сумма осадков за соответствующий период, мм; $\sum T$ – сумма температур за тот же период [8].

В качестве источника спутниковой информации использовались данные MODIS. В настоящее время работают два американских спутника (Aqua и Terra) с установленным на них сканирующим радиометром MODIS. Два канала этого радиометра обеспечивают пространственное разрешение в 250 м, имеются каналы с пространственным разрешением в 500 м, остальные каналы (всего 36 каналов) имеют пространственное разрешение, равное 1 км. Информация MODIS предоставлена институтом космических исследований (ИКИ) и представляет собой накопленные за 7 – дневный период вегетационные индексы NDVI. Эти индексы доступны с сервиса ВЕГА-PRO (<http://pro-vega.ru/>).

В качестве статистической информации использовались данные о средней областной и средней районной урожайности основных зерновых культур.

Ежегодная информация о средне областной урожайности доступна за более длительный период, нежели информация о средне районной урожайности. Поэтому регрессионные модели для расчета средне районной урожайности разрабатывались по средне областной информации.

Для увеличения объема выборки и учета агроклиматической зональности были объединены субъекты Российской Федерации, сходные по агроклиматическим условиям.

Для выбора наиболее информативных параметров производился расчет корреляционных матриц. Для примера, в табл. 1 представлена корреляционная матрица, полученная за период с 2001 по 2014 гг. для второй декады мая, а в табл. 2 – для первой декады июня.

Использованы следующие обозначения для применяемых параметров:

- Т – средняя декадная температура;
- ΣP – сумма осадков за декаду;
- NDVI – вегетационный индекс;
- $\Sigma NDVI$ – накопленный вегетационный индекс (то же, что и для ΣT);
- $\Sigma ГТК$ – накопленный ГТК – последовательная сумма декадных значений ГТК в течение определенного периода;
- D – дефицит влажности воздуха;
- У оп – урожайность озимой пшеницы.

Таблица 1

Корреляционная матрица межфакторных связей для Волгоградской, Ростовской областей и Ставропольского края для второй декады мая

	Т	ΣP	D	$\Sigma ГТК$	NDVI	У оп
Т	1,00					
ΣP	-0,16	1,00				
D	0,83	-0,55	1,00			
$\Sigma ГТК$	-0,36	0,57	-0,60	1,00		
NDVI	0,18	0,14	0,03	0,27	1,00	
У оп	-0,35	0,32	-0,51	0,62	0,68	1,00

Примечание: коэффициенты корреляции от 0,292 являются значимыми на 5 % уровне

Как следует из таблиц, наблюдается достаточно хорошая связь урожайности озимой пшеницы с дефицитом влажности воздуха, накопленным

ГТК и NDVI. Наиболее высокие коэффициенты корреляции наблюдаются с NDVI (0,59 – 0,68).

Таблица 2

Корреляционная матрица межфакторных связей для Волгоградской, Ростовской областей и Ставропольского края для первой декады июня

	T	ΣP	D	ΣГТК	NDVI	У оп
T	1,00					
ΣP	-0,42	1,00				
D	0,82	-0,61	1,00			
ΣГТК	-0,21	0,41	-0,49	1,00		
NDVI	0,08	0,11	-0,19	0,47	1,00	
У оп	-0,08	0,28	-0,29	0,66	0,67	1,00

Примечание: коэффициенты корреляции от 0,292 являются значимыми на 5 % уровне

С температурой связь отсутствует, поскольку южные регионы России характеризуются высокой тепло обеспеченностью, а лимитирующим параметром является влага. Отмечается не плохая обратная корреляция между дефицитом влажности воздуха и осадками (0,55 – 0,74), а так же между гидротермическим коэффициентом и дефицитом влажности воздуха (0,42 – 0,72). Наличие высоких коэффициентов корреляции между этими параметрами подтверждает надежность и точность исходной информации, а так же позволяет взаимозаменять эти параметры при построении регрессионных моделей.

Анализ коэффициентов корреляции позволил выделить агрометеорологические и спутниковые данные, которые оказывают наиболее существенное влияние на урожайность и включить их в прогностические уравнения для определения ожидаемой урожайности.

В таблице 3 представлены уравнения регрессии для Волгоградской, Ростовской областей и Ставропольского края. В качестве предикторов выступают гидротермический коэффициент и NDVI.

Таблица 3

Уравнения зависимости урожайности озимой пшеницы от NDVI и ГТК для Волгоградской, Ростовской областей и Ставропольского края

Месяц	Декада	Коэффициенты уравнения регрессии			R	Стандартная ошибка
		a	b	c		
Апрель	3	5,16	2,46	39,17	0,73	4,92
Май	1	2,52	1,95	38,57	0,80	4,34
Май	2	-2,56	1,56	44,62	0,82	4,15
Май	3	-4,42	1,34	46,79	0,78	4,51
Июнь	1	-6,97	1,21	51,94	0,77	4,54

Примечание: a – свободный член, b – коэффициент при ГТК, c – коэффициент при NDVI, R – коэффициент множественной корреляции

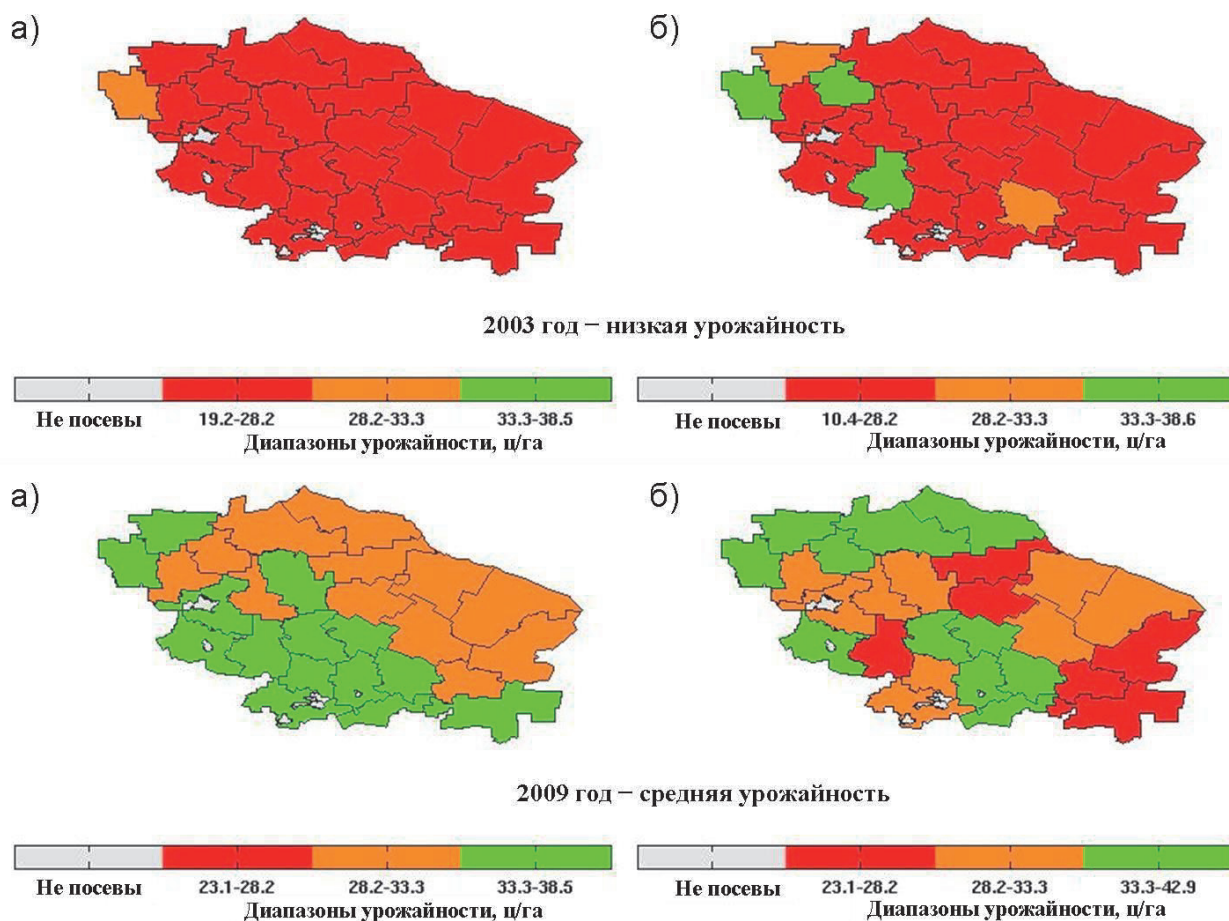
Из таблицы видно, что коэффициенты множественной корреляции достаточно высокие, что говорит о возможности использования этих

регрессионных моделей для расчета ожидаемой урожайности. Для всех исследуемых субъектов были получены регрессионные модели.

Была проведена оценка значимости коэффициентов регрессии с помощью t-критерия Стьюдента. В большинстве случаев все коэффициенты уравнений были значимы на 5% уровне. С помощью F-критерия Фишера проведена проверка достоверности и соблюдения условий, которым должна удовлетворять исходная информация в уравнении множественной регрессии. Все уравнения были значимы на 5 % уровне.

По разработанным уравнениям производился расчет ожидаемой средней районной урожайности зерновых культур.

Для примера на рис. 2 представлены карты значений фактической и рассчитанной средней районной урожайности озимой пшеницы для Ставропольского края в годы, когда наблюдалась низкая, средняя и высокая урожайность зерновых культур.



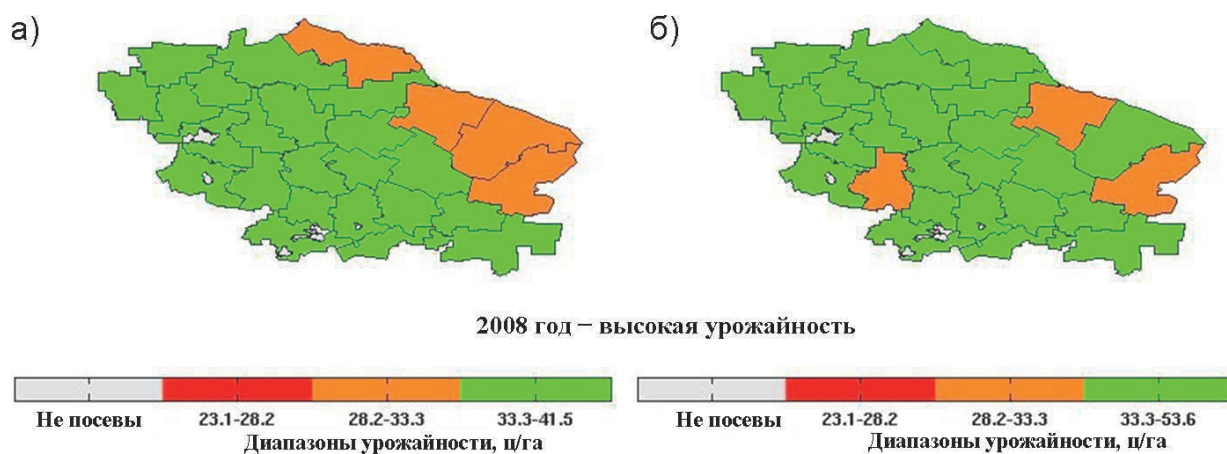


Рис. 2. Средняя районная урожайность озимой пшеницы для Ставропольского края
а) рассчитанная урожайность для 1 декады мая 2003 г., 2009 г, 2008 г. б) фактическая урожайность за 2003 г., 2009 г., 2008 г.

В экстремальные по урожайности годы (2003 г. соответствует низкой урожайности, 2008 г. – высокой) значения рассчитанной урожайности кардинально отличаются. На картах видно, что в 2003 г. почти на всей территории Ставропольского края, рассчитанные урожайности попали в первый диапазон, характеризующий низкую урожайность, за исключением одного района в западной части территории. По фактическим данным наблюдается аналогичная ситуация, хотя несколько районов отличаются более высокой урожайностью. Противоположная картина отмечается в 2008 г., когда высокие рассчитанные значения охватывают почти всю территорию Ставропольского края, что соответствует фактическим данным. В 2009 г. урожайность характеризовалась как средняя. На карте рассчитанных значений можно видеть, что территории Ставропольского края с высокими и средними значениями урожайности примерно равны по площади.

В 2013 г. в Ставропольском крае так же наблюдались погодные условия, близкие к средним многолетним. На карте рассчитанных урожайностей за 3 декаду мая большую часть территории занимают средние и низкие значения, в южной части области присутствуют территории с высокой урожайностью (рис. 3).

Разработанный метод позволяет ежедекадно отслеживать динамику условий развития посевов сельскохозяйственных культур, выявлять районы с аномальными условиями развития посевов, с целью выработки соответствующих рекомендаций по улучшению условий формирования продуктивности посевов.

Предложенный метод, безусловно, требует дальнейшей проработки, проверки и модернизации. В настоящее время в ФГБУ «ВНИИСХМ» ведутся работы по созданию новой технологии оценки ожидаемой средне районной урожайности зерновых культур. Важными отличительными особенностями новой технологии являются:

- использование нового информационного продукта IKI MODIS LAI, характеризующего еженедельную изменчивость индекса листовой поверхности;

– построение набора метеопараметров в узлах регулярной сетки между станциями наземных наблюдений, на основе метода интерполяции обратных квадратов расстояний;

– дифференциация территории на зоны на основе карты агроклиматического районирования территории, разработанной Д.И. Шашко.

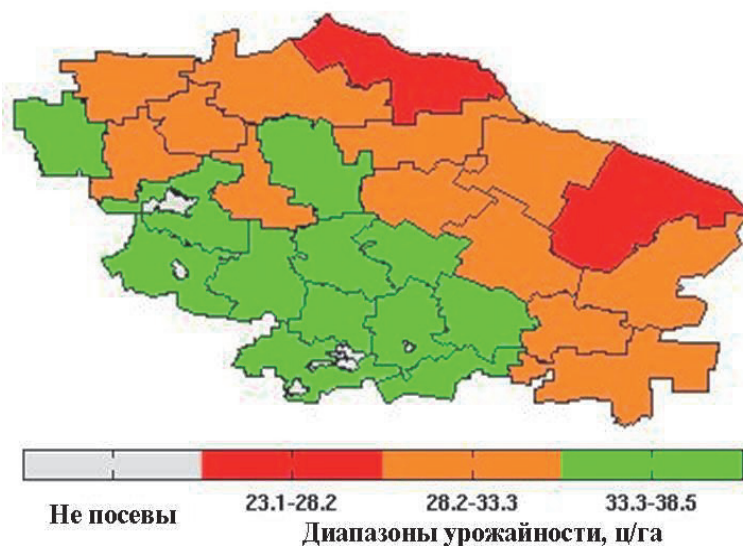


Рис. 3. Средняя районная рассчитанная урожайность озимой пшеницы для Ставропольского края за 3 декаду мая 2013 г.

Библиографический список

1. Клещенко А. Д., Вирченко О. В., Кровотынцев В. А., Василенко Е. В. Мониторинг состояния сельскохозяйственных посевов и условий их развития с использованием спутниковых данных //Тезисы докладов на Всероссийской конференции с международным участием «Применение космических технологий для развития арктических регионов». Архангельск. 17–19 сентября 2013. С. 52–54.

2. Клещенко А. Д., Савицкая О. В. Оценка пространственно-временного распределения урожайности зерновых культур и стандартизированного индекса осадков (SPI) по спутниковой и наземной информации // Труды ГГО. 2014. Вып. 571. С. 147–161.

3. Барталев С. А., Ёлкина Е. С., Лупян Е. А., Плотников Д. Е., Толпин В. А. Дистанционная оценка озимых культур урожая 2017 года в Российской Федерации // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14, № 4. С. 275–280.

4. Щербенко Е. В. Дистанционные методы выявления сельскохозяйственной засухи. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2007. Т. 2. С. 409–419.

5. Отчет о научно-исследовательской работе по теме «Разработка и усовершенствование методов прогнозов и технологий агрометеорологического обеспечения сельского хозяйства» // Обнинск. 2017. 270 с.

6. Jain A. K., Murty M. N. and Flynn P. J.: Data Clustering: A Review // ACM Comp. Surv. Vol. 31.No. 3. 1999.P. 264– 323.

7. Клещенко А. Д. Оценка состояния зерновых культур с применением дистанционных методов // Л.: Гидрометеиздат. 1986. 190 с.

8. Селянинов Г.Т. Агроклиматическая карта мира // Л.: Гидрометеиздат. 1966. 12с.

MONITORING AND ASSESSMENT OF GRAIN CROP YIELD TECHNOLOGY ON THE BASIS OF GROUND AND SATELLITE INFORMATION

A.D. Kleschenko, O.V. Virchenko, O.V. Savitskaya, S. A. Kosyakin
National Research Institute on Agricultural Meteorology, Obninsk,
[*cxm-dir@obninsk.ru*](mailto:cxm-dir@obninsk.ru)

Summary: The article has three parts: there is brief information about Jurij Tchirkov, a scientist, teacher and personality in the preface; the sort description of the state crop monitoring technology; and the new approach for district productivity evaluation. The foundation of these problems solution is remote sensing and ground observation

Keywords: clusterization, monitoring, NDVI, agro-meteorological information, yield.

УДК 631.584.4:632.111.9(470.31)

К ВОПРОСУ ОБ ОЦЕНКЕ АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРИ ПОДБОРЕ ПОЖНИВНЫХ КУЛЬТУР В НЕЧЕРНОЗЕМНОЙ ЗОНЕ

В.Г. Лошаков

доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Аннотация. *Приведены результаты исследований, выполненных в 60-80 гг прошлого столетия при консультативной помощи профессора Ю.И. Чиркова по оценке агрометеорологических условий пожнивного периода. При анализе использовались результаты 20-летних полевых исследований по подбору и использованию пожнивных культур в центральных областях Нечерноземной зоны России. Установлена прямая тесная связь между ГТК в августе и урожайностью пожнивной культуры горчицы белой. На основе анализа и сопоставления данных 20- и 100-летних метеорологических наблюдений определен 75%-ный уровень надежности возделывания пожнивных кормовых и сидеральных культур в Центральном Нечерноземье с высоким экономическим эффектом.*

***Ключевые слова:** агроклиматические условия, промежуточные культуры, пожнивные культуры, горчица белая, урожайность, себестоимость.*

В 60-е годы прошлого столетия руководство СССР объявило Нечерноземную зону нашей страны «второй целиной» с тем, чтобы, используя благоприятные природно-климатические условия зоны, существенно повысить здесь производство основных видов сельскохозяйственной продукции. С этой целью было принято ряд правительственных постановлений, которыми определялась большая многолетняя программа интенсификации и специализации земледелия Нечерноземной зоны на основе его комплексной механизации, химизации и мелиорации с большими капиталовложениями в эту отрасль народного хозяйства.

В научном обеспечении этой перспективной программы участвовали и ученые МСХА имени К.А. Тимирязева, в том числе коллектив кафедры земледелия и методики опытного дела. При пересмотре планов и программ научной и внедренческой работы коллектива этой кафедры упор был сделан на решение задач по разработке и теоретическому обоснованию приемов рационального использования земли и повышения плодородия почвы, её обработки и защиты от эрозии в центральных областях Нечерноземной зоны.

Для комплексного решения многоплановых теоретических и практических задач земледелия зоны предусматривалось привлечение ученых смежных специальностей с других кафедр, опытных станций, лабораторий академии. В частности, при изучении севооборотов и промежуточных культур мы постоянно сотрудничали с учеными кафедр растениеводства, луговодства, фитопатологии, метеорологии, микробиологии, селекции и семеноводства, агрохимии, хранения и переработки сельскохозяйственной продукции.

С кафедрой метеорологии у нас особенно тесное научное сотрудничество началось после того, как её в 1970 году возглавил профессор Юрий Иванович Чирков. В нашей программе исследований его привлекали вопросы интенсификации земледелия путем уплотненного использования пашни с помощью посевов пожнивных и других промежуточных культур: «Два урожая в год под Москвой? Это здорово! А как это вам удастся?». И узнав, что это обеспечивается за счет подбора новых культур из семейства крестоцветных, Юрий Иванович стал подробно расспрашивать о биологии и технологии их возделывания, об отношении этих культур к погодным условиям, о способах их использования и т. д., и т. п.

Особенно ему понравилось использование пожнивных посевов на зеленое удобрение: «Растить навоз на поле поживно? Это очень перспективно!» Узнав, что поживное зеленое удобрение в сочетании с удобрением соломой равноценно 25-30 т/га хорошего навоза и значительно дешевле его, Юрий Иванович заявил, что с помощью этой технологии мы решаем большую народнохозяйственную задачу.

Юрий Иванович Чирков стал нашим соратником и активным помощником в научном поиске. Он был постоянным нашим консультантом и

участником дискуссий при защите кандидатских диссертаций нашими аспирантами, на предзащите и при официальной защите нашей докторской диссертации. И когда нам потребовалось научное обоснование уровней успешности пожнивных посевов, Юрий Иванович предоставил в наше распоряжение свою методику расчетов, а также данные столетних наблюдений Метеорологической обсерватории имени В.А.Михельсона ТСХА.

Такое обоснование было необходимо в связи с тем, что в структуре посевных площадей в центральных областях Нечерноземной зоны РФ преобладали культуры, лишь частично использующие пашню и период возможной вегетации растений. Например, больше половины площади посевов здесь занимали зерновые культуры. Даже при самой высокой урожайности они могут использовать лишь половину той солнечной радиации, которая биологически может усвоиться растениями для формирования урожая [1,9]. Это связано с тем, что из 5–6 месяцев теплого времени года зерновые культуры для своего роста и развития затрачивают только 3–3,5 мес. Остальные два с лишним месяца могут быть использованы для возделывания пожнивных и других промежуточных культур [2,3,5,7,10].

Результаты наших многолетних исследований на кафедре земледелия и методики опытного дела МСХА имени К. А. Тимирязева показали, что в условиях Брянской, Владимирской, Московской, Смоленской и других центральных областей после уборки зерновых культур в качестве пожнивных можно возделывать горчицу белую, рапс яровой и озимый, редьку масличную, сурепицу озимую, турнепс, фацелию [3,4]. Эти культуры отличаются устойчивостью к раннеосенним заморозкам и малой потребностью в тепле, быстрым ростом, высокой отзывчивостью на азотные удобрения и успевают за 40–50 дней пожнивного периода дать в среднем по 150–200 ц/га зеленой массы или по 20–30 ц/га кормовых единиц в дополнение к той продукции, которая в этот год уже получена от основной культуры севооборота.

Однако следует отметить, что урожайность этих культур сильно колебалась по годам. Оценка продуктивности одной из наиболее перспективных пожнивных культур – горчицы белой – более чем за 20-летний период показала, что при среднемноголетней урожайности около 200 ц/га зеленой массы по годам она колебалась от 26 до 392 ц/га. Такая неустойчивость урожайности пожнивных культур затрудняет планирование их использования в земледелии, поэтому нами был проведен анализ зависимости урожайности пожнивных культур от агрометеорологических условий на примере горчицы белой.

По среднемноголетним данным, в центральном районе Нечерноземной зоны России пожливный период длится от 51 до 92 дней, что составляет 34–49 % общей продолжительности периода возможной вегетации растений со среднесуточной температурой больше 5°C. В течение этого времени выпадает от 102 до 171 мм атмосферных осадков, а сумма тепла составляет 640–994 °C при гидротермическом коэффициенте (ГТК) 1,3–1,7 [6,8]. Такие условия пригодны для роста и развития пожнивных быстрорастущих и устойчивых к заморозкам культур [3,4,7].

Однако в наших исследованиях это не всегда находило подтверждение. Это связано с тем, что в зоне Московской области, где мы проводили опыты, в 1961–1980 годах наблюдались большие отклонения основных показателей агрометеорологических условий пожнивного периода от среднесуточных данных. Так, продолжительность пожнивного периода изменялась от 31 до 88 дней, количество тепла – от 346 до 1128°C, сумма атмосферных осадков – от 65 до 243 мм, а гидротермический коэффициент колебался от 0,7 до 3 [4].

При всей очевидности зависимости урожайности пожнивных культур от погодных условий было не ясно, какие агроклиматические факторы и в какие периоды играют решающую роль в формировании урожая пожнивных культур при соблюдении необходимых требований агротехники.

Было установлено, что в зоне Московской области среднесуточная температура воздуха в пожневный период более устойчива, чем в первой половине лета, и в 50 % случаев отклонение от нормы не превышает 1°C, а в 90 % случаев – 3°C. Такая разница и вызвала относительно небольшие колебания в обеспеченности пожнивного периода теплом – при среднесуточной сумме эффективных температур 900 °C 9 лет из 10 она находится в пределах от 600 до 1000 °C.

Таким образом, в большинстве лет пожневный период в этой части зоны обеспечен тем минимальным количеством тепла, которое необходимо для вегетации пожнивных культур, и этот фактор не является определяющим в изменении их урожайности по годам.

Не могут быть причиной резких колебаний и условия освещенности в пожневный период, так как продолжительность светового дня здесь составляет от 15 ч в августе до 11 ч в первой половине октября. Это соответствует биологическим требованиям горчицы белой и других растений, рекомендуемых нами в качестве пожнивных культур [3,4].

В то же время было доказано, что при соблюдении всех правил агротехники урожайность пожнивных культур в основном зависит от условий увлажнения в пожневный период, и в особенности от их распределения в августе и сентябре. Установлено, что между суммой атмосферных осадков за пожневный период и урожайностью зеленой массы пожневной горчицы существует прямая средняя корреляционная зависимость (табл. 1).

Таблица 1

Коэффициенты корреляции, характеризующие зависимость урожайности зеленой массы пожнивных посевов горчицы белой от агрометеорологических условий пожнивного периода в 1961–1980 годы (Московская область)

Период	Показатель	$r \pm s_r$	Коэффициент детерминации ($V - \%$)	Критерий существенности (T_{ϕ})
Август	Сумма осадков	$0,82 \pm 0,93$	67	6,31**
	ГТК	$0,81 \pm 0,14$	66	5,78**
Сентябрь	Сумма осадков	$-0,43 \pm 0,21$	18	-2,05
	ГТК	$-0,06 \pm 0,24$	0	-0,25
Пожневный	Сумма осадков	$0,53 \pm 0,19$	28	2,79*
	ГТК	$0,45 \pm 0,20$	20	2,25*

*Критерий существенности на 5%-ном уровне значимости

**Критерий существенности на 0,1%-ном уровне значимости

Оценку зависимости урожайности пожнивных культур от количества атмосферных осадков за пожнивный период следует проводить с учетом влияния температурных условий, хотя, как это уже было показано, влияние этого фактора значительно меньше. Тем не менее оно учитывается при оценке агрометеорологических условий по гидротермическому коэффициенту. При некоторой условности использования такого показателя ГТК позволяет дать более объективную оценку агроклиматических ресурсов пожнивного периода в связи с урожайностью пожнивных культур.

Несмотря на то, что связь между урожайностью зеленой массы горчицы и ГТК в пожнивный период несколько меньше по сравнению со связью с осадками, она сохраняется и существенна. В то же время зависимость урожайности зеленой массы поживной культуры от ГТК в августе практически остается такой же, как и от количества осадков. Это позволило нам провести регрессионный анализ и вывести формулу корреляционной связи $y = 102x + 28,6$, где y – урожайность зеленой массы поживных посевов горчицы белой, x – гидротермический коэффициент в августе.

То, что урожайность поживной культуры тесно связана с ГТК в августе, дает основание провести годовое распределение 20-летнего периода исследований по этому показателю и по связанной с ним урожайности зеленой массы поживной горчицы белой (табл. 2).

Таблица 2

Распределение 20-летнего периода по урожайности зеленой массы поживной горчицы белой и ГТК в августе (Московская область, Подольский район, 1961–1980 годы)

Урожайность зеленой массы		ГТК	Годы	Всего	
ц/га	оценка			лет	%
< 100	Низкая	<0,8	1963,1968,1970-1972	5	25
100–140	Средняя	0,9–1,3	1965,1966,1969,1974	4	20
141–180	Выше средней	1,4-1,8	1961,1964,1976,1978	4	20
>180	Высокая	>1.8	1962,1967,1973,1975,1977,1979,1980	7	35

Высокая урожайность поживной культуры была получена в наиболее благоприятные 7 лет, когда ГТК в августе превышал 1,8. В итоге за 15 лет из 20-летнего периода в августе складывались удовлетворительные и хорошие условия для возделывания поживной культуры. По данным многолетних наблюдений между метеорологическими условиями Подольского района и ТСХА, где расположена Метеорологическая обсерватория имени В.А. Михельсона, нет существенных различий. Нами проведена оценка агрометеорологических условий августа по данным обсерватории ТСХА за столетний период с применением той градации лет по значению ГТК за август, которая была использована с учетом ее тесной связи с урожайностью поживной горчицы белой в условиях Подольского района (табл. 3).

Сопоставление результатов распределения лет за 20-летний период в Подольском районе и за столетний период в Москве (на территории ТСХА) показало почти полное их совпадение. Это с еще большим основанием подкрепляет важный для производства вывод, что в 75 % лет в условиях Московской области возможно успешное возделывание пожнивной горчицы белой [4,10].

Таблица 3

Распределение лет по ГТК в августе по урожайности пожнивной культуры в двух районах Московской области

Место проведения наблюдений и опытов	Годы	Число лет (%) с различными градами ГТК в августе			
		<0,8	0,9 – 1,3	1,4 – 1,8	>1.8
Подольский район	1961 – 1980	25	20	20	35
Город Москва, ТСХА	1881 – 1980	25	23	20	32
Урожайность зеленой массы пожнивной горчицы белой (ц/га)	1961 – 1980	<100	100 – 140	141 – 180	>180

Экономический анализ результатов многочисленных исследований и производственного опыта показал, что посевы пожнивных и других промежуточных культур дают дешевые корма – себестоимость их кормовой единицы находится в пределах от 2 до 3,2 коп. (Здесь и далее – в ценах 1980 года. *Авт.*). Включение промежуточных культур в плодосменный севооборот при их кормовом использовании обеспечивало в среднем за севооборотную ротацию от 88 до 262,5 руб./га чистого дохода. С учетом положительного последствия пожнивных посевов кормовых культур на урожайность последующих культур себестоимость продукции снижалась на 26 %.

При определении экономической эффективности пожнивных сидеральных культур, как и при оценке их кормового использования, исходили из определенного нами 75%-ного уровня вероятности успеха. Установлено, что при этом условии пожнивная сидерация на каждый рубль затрат дает 2 руб. 92 коп. чистого дохода, что на 21 % больше, чем при использовании навоза [4,10].

Библиографический список

1. Болдырев М.В., Монахов А. В. Основные направления развития сельскохозяйственного производства, его специализация, концентрация и интенсификация в Центральном экономическом районе РСФСР. - Труды НИИСХ ЦРНЗ, 1979, вып.48.
2. Воробьев С. А. Севообороты в специализированных хозяйствах Нечерноземья. –М.: Россельхозиздат, 1982.
3. Лошаков В. Г. Промежуточные культуры в севооборотах Нечерноземной зоны. – М.: Россельхозиздат, 1980. —
4. Лошаков В.Г. Промежуточные культуры как фактор интенсификации земледелия и окультуривания дерново-подзолистых почв. - Автореф. докт. дис. М., 1982.
5. Новоселов Ю.К. Два урожая в год. - М.: Колос, 1972.

6. Селянинов Г.Т. О сельскохозяйственной оценке климата. – Труды по с.-х. метеорологии, 1928, вып. XX.
7. Смирнов В.А. Пожнивные культуры и климат. – Л.: Гидрометеиздат, 1960.
8. Чирков Ю.И. Агрометеорология. –Л.: Гидрометеиздат, 1979.
9. Шатилов И.С. Экологические, биологические и агротехнические условия получения запланированных урожаев. - Известия ТСХА, 1970, вып. 1.
10. Лошаков В.Г. Оценка агрометеорологических условий при подборе пожнивных культур в Нечерноземной зоне РСФСР. – Доклады ВАСХНИЛ, 1983, № 10. С. 10-13.

TO THE QUESTION OF THE ASSESSMENT OF AGROMETEOROLOGICAL CONDITIONS FOR THE SELECTION OF CROPS IN THE NON-BLACK-ZONE ZONE

V.G. Loshakov

Annotation. The results of studies carried out in the 60-80s of the last century with the advice of Professor Yu.I. Chirkov on the assessment of agrometeorological conditions of the crop season. The analysis used the results of 20 years of field research on the selection and use of crop crops in the central regions of the Non-Black Earth Zone of Russia. A direct close relationship was established between the State Customs Committee in August and the yield of the crop of white mustard. Based on the analysis and comparison of data from 20- and 100-year-old meteorological observations, a 75% level of reliability of cultivation of crop fodder and green manure crops in the Central Non-Black Earth Region with a high economic effect is determined.

Key words: agroclimatic conditions, intermediate crops, crop crops, white mustard, productivity, cost price.

УДК 551.509.329

РАЗРАБОТКА ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ПРОГНОЗА И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАБОТ

О.Г. Анискина¹, Х. С. Асеро Триана¹, Ю.В. Ефимова¹, Я.В. Дробжева¹

¹ *Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, olga.aniskina@mail.ru*

Аннотация: рассматривается возможность использования результатов гидродинамического прогноза метеорологических величин мезомасштабной гидродинамической моделью WRF-ARW для оценки эвапотранспирации и, тем самым, повышение эффективности сельскохозяйственного производства. Доказывается важность учёта

результатов прогноза на примере культуры масличной пальмы, выращиваемой на севере Колумбии.

Ключевые слова: гидродинамические прогнозы погоды, верификация, WRF-ARW, эвапотранспирация.

Актуальность. Проблема адекватного использования пресной воды всегда очень остро стояла перед человечеством, но в последние десятилетия её актуальность возросла, что, в большой степени, определяется ускоренным ростом мирового населения и изменениями климата. К 2025 году 1.8 миллиарда человек будет жить в регионах с абсолютным дефицитом воды [1]. Согласно выводам Продовольственной и Сельскохозяйственной Организации ООН (FAO), 70% запасов пресной воды используется в секторе сельского хозяйства, из которых 60% тратится на неэффективное орошение [2].

Орошение сельскохозяйственных земель требует принятия решения в режиме реального времени. Для этого необходим расчёт водного баланса, состоящего из объема контроля (эффективная корневая зона), который способен сохранять воду, и ряда входящих (осадки, орошение, капиллярный подъем и др.) и исходящих (эвапотранспирация, поверхностный сток, глубокое просачивание и др.) потоков влаги. Большинство этих характеристик можно вычислить относительно легко, прямо или косвенно, используя различные методики, результаты измерений или исторические ряды данных. Однако эвапотранспирация представляет собой наиболее сложный из всех параметров, так как включает в себя большое количество величин. Для расчёта эвапотранспирации FAO рекомендует применять комбинированный метод Penman-Monteith, который является стандартной процедурой для расчета эталонной эвапотранспирации. В этом методе влияние погоды на режим использования воды для выращивания урожая учитывается в эвапотранспирации эталонной поверхности (злаковая культура), а свойства культуры включаются с помощью коэффициента культуры) [3]. К сожалению, средний земледелец не имеет знаний, достаточных для применения таких методологий, а используя численные методы прогноза погоды можно на национальном или региональном уровне создавать прогнозы всех переменных, участвующих в расчете вышеупомянутого баланса, включая эталонную эвапотранспирацию. Таким образом, гидрометеорологическая служба может играть важную роль в секторе сельского хозяйства, помогая ослаблять проблему недостатка данных.

Объекты и методы исследования. Регион исследования – Колумбия, где сегодня площадь ирригации оценивается в 6,6 миллиона гектаров, хотя в 1998 году ирригация использовалась только на 900 тысяч гектаров [4].

В данном исследовании проводилось моделирование с использованием мезомасштабной гидродинамической модели WRF-ARW [5] по реальным ситуациям без ассимиляции данных наблюдений. Начальные условия получали из архивов реанализа (rda.ucar.edu/datasets/ds083.2) с разрешением по горизонтали $1^\circ \times 1^\circ$ и дискретностью по времени 6 часов. Метеорологической

службой Колумбии были предоставлены исторические ряды ежедневных наблюдений за основными метеорологическими величинами.

Обсуждение результатов. Сначала была проведена серия экспериментов по адаптации мезомасштабной гидродинамической модели WRF-ARW к региону исследований – рассматривалась чувствительность к разрешению и набору параметризаций физических величин, проводилась верификация на основе реанализа и станционных данных.

При выборе периода исследований учитывалось, что на атмосферные процессы в Колумбии большое влияние оказывает явление ЭНЮК/Южная осцилляция. В результате предварительного анализа океанического индекса Эль-Ниньо 3.4 (http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff) было установлено, что наибольшая неустойчивость, связанная с ЭНЮК в Колумбии, это период с сентября по февраль. Численные эксперименты проводились при разных ЭНЮК – положительной (декабрь 2009), отрицательной (декабрь 2010) и в нейтральной (декабрь 2013). Заблаговременность прогноза составляла 24 часа и пять суток.

Верификация результатов моделирования осуществлялась согласно рекомендациям Всемирной Метеорологической Организации [6] для детерминистских прогнозов по непрерывным величинам, используемым при расчёте эвапотранспирации: температура и влажность воздуха на высоте 2 м, скорость ветра на высоте 10 м, приземное давление. Точность и надёжность прогнозов оценивались по коэффициенту корреляции, систематической ошибке прогноза (BIAS), средней абсолютной и средней квадратической ошибке [7].

По сравнению с реанализом при прогнозе на 24 часа модель в среднем завышает температуру на 0.23-0.85 °C, а скорость ветра на 0.55-0.75 м/с, но занижает приземное давление на 12.46-49.15 Па. Средняя по области интегрирования ошибка в прогнозе относительной влажности -2.23-1.26 %. Это говорит о хорошем качестве прогноза в среднем. Важно отметить, что в горных и в некоторых прибрежных районах со сложной орографией ошибки прогнозов значительны. Например, ошибки прогноза температуры могут превышать 10 °C, а ветра 8 м/с

При прогнозе с заблаговременностью 5 дней наблюдается значительное уменьшение ошибки от первого ко второму дню прогноза (практически в два раза), но на третий день ошибка начинает расти. В среднем, в первый день модель завышает температуру и скорость ветра на 0.21-0.84 °C и 0.55-0.73 м/с и занижает влажность и приземное давление на 0.6 % и 8.21-44.18 Па, соответственно, а со второго по пятый день BIAS близко к нулю со значениями -0.04-0.16 °C, -0.3-0.16 %, 0.01-0.17 м/с и -25.12-16.48 Па, соответственно.

Анализируя результаты моделирования при разных фазах Южной осцилляции, можно сделать вывод о том, что все метеорологические величины прогнозируются немного хуже при Эль-Ниньо, а разница между ошибками прогноза при положительной и нейтральной фазах незначительна.

При верификации по данным наблюдений важно заметить, что расстояние и разница высот между метеостанциями и ближайшими узлами объясняют большие ошибки в некоторых случаях, особенно в горных регионах.

Модель занижает температуру и скорость ветра со средними ошибками 2-2.5°C и 1 м/с, соответственно. Относительная влажность и количество осадков завышаются со средними ошибками 8-14% и 9 мм/сутки, соответственно. Также минимальная влажность и максимальная температура воздуха прогнозируются хуже, чем остальные параметры. Это возможно связано с тем, что анализировались данные каждые 3 часа и были пропущены сроки наблюдений фактических экстремальных значений.

Из анализа видно, что в большинстве случаев и для всех метеорологических величин наблюдались наибольшие ошибки либо в первом, либо последнем дне прогноза, а самые маленькие – во второй или третий день.

Дополнительно к этому, осадки при верификации были рассмотрены, как дихотомическая переменная [7].

Модель завышает количество случаев наличия осадков почти в 2 раза. Несмотря на это, 80% наличия осадков были правильно предсказаны и 60% прогнозов были успешными.

Резюмируя все вышесказанное, можно сделать вывод о том, что в среднем ошибки прогноза метеорологических величин небольшие. Следовательно, результаты прогнозов можно использовать для оценки эвапотранспирации. Оптимальная заблаговременность прогнозов – 48–72 часа.

Эвапотранспирация может быть измерена лизиметром на основе водного баланса или оценена по метеорологическим данным. Данные лизиметра не всегда доступны, потому что это трудоемкий метод, который нуждается в точно и тщательно спланированных экспериментах. Таким образом, косвенные методы, основанные на анализе метеорологических величин, широко используются для оценки эвапотранспирации.

Выбор конкретного метода для определения эвапотранспирации зависит от доступных метеорологических данных, имеющихся для данного региона, и требуемой точности вычисления потребностей в воде. Была проанализирована эффективность более 20 различных методов по отношению к результатам измерения лизиметром на нескольких метеостанциях, расположенных в различных климатических зонах по всему миру [8]. Метод Penman-Monteith определён как лучший для всех климатических условий, поэтому именно его рекомендует FAO в качестве стандартной процедуры расчета эталонной эвапотранспирации [3, 8].

Основными метеорологическими величинами, влияющими на эвапотранспирацию, являются радиационные потоки, температура воздуха, влажность и скорость ветра. Таким образом, суточная эвапотранспирация определяется по следующей формуле.

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)},$$

где

ET _o	-	эталонная эвапотранспирация, мм/сут
R _n	-	радиационный баланс на поверхности растений, МДж/м ² сут

G	-	плотность теплового потока почвы, МДж/м ² сут
T	-	среднесуточная температура воздуха на высоте 2 м, °С
u2	-	скорость ветра на высоте 2 м, м/с
Es	-	насыщенное парциальное давление водяного пара, кПа
Ea	-	фактическое парциальное давление водяного пара, кПа
(es - ea)	-	дефицит парциального давления водяного пара, кПа
Δ	-	градиент парциального давления водяного пара, кПа/°С
Г	-	психрометрическая постоянная, кПа/°С

По результатам моделирования WRF-ARW была рассчитана эвапотранспирация и проведена верификация прогнозов эвапотранспирации по данным ближайшей метеорологической станции. На рисунке 1 представлен пример прогностической карты эвапотранспирации. Достаточные для оценки эвапотранспирации данные есть на небольшом количестве станций, поэтому данная методика может помочь при оценке эвапотранспирации в регионах, где нет достаточных технических средств измерений.

Верификация расчётов показала – ошибка в прогнозе эвапотранспирации составляет меньше 1 мм/сут.

Рассмотрим пример применения данных моделирования и прогноза для ситуации конца декабря 2013 года для метеостанции Montecarmelo, находящейся на севере Колумбии (10.01 с.ш., 73.72 з.д.), где выращивают масличную пальму. В таблице 1 представлены фактические и прогностические значения и ошибка прогноза метеорологических величин и эвапотранспирации 10, 11, 12, 13 декабря 2013. Несмотря на то, что ошибки прогноза максимальной относительной влажности и скорости ветра значительны, ошибка прогноза эвапотранспирации мала и составляет только 0.5 мм/сутки.

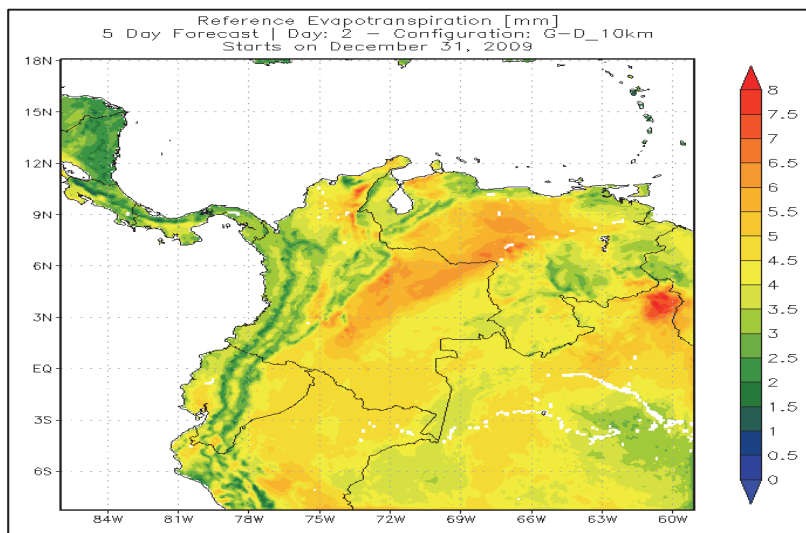


Рис.1. Прогностическое поле эталонной эвапотранспирации для 31 декабря 2009 года. Заблаговременность 48 часов

Есть два возможных алгоритма действия земледельцев – согласно прогнозу относительной влажности (осадков) или согласно прогнозу эвапотранспирации. Рассмотрим конкретную ситуацию.

8 декабря наблюдалось по измерениям 46 мм водного дефицита и согласно прогнозу ожидалась 3,4 мм эвапотранспирации. Земледельцы, веря прогнозу, осуществили полив в объёме 5 мм. Однако 9 декабря наблюдались осадки 20 мм. Прогноз показывают отсутствие осадков и 14,6 мм суммарной эвапотранспирации на следующие 4 дня, поэтому сельскохозяйственному специалисту необходимо осуществить полив. Но если земледелец не использует данные прогноза эвапотранспирации, то принимает неправильное решение – не поливать – и культура переходит в условие дефицита воды.

Таблица 1

**Фактические значения, прогноз и ошибка прогноза метеовеличин
и эвапотранспирации 10, 11, 12, 13 декабря 2013**

Величина		День в декабре 2013 года			
		10	11	12	13
Tmin [°C]	Прогноз	23.3	23.8	25.5	24.1
	Наблюдение	22.3	21.8	22.4	23.2
	Δ	1.0	2.0	3.1	0.9
	ошибка	4.68%	9.17%	13.86%	3.82%
Tmax [°C]	Прогноз	32.0	32.0	32.6	32.5
	Наблюдение	32.8	35.7	36.2	35.7
	Δ	-0.8	-3.7	-3.6	-3.3
	ошибка	2.46%	10.40%	9.96%	9.14%
Rhmin [%]	Прогноз	51.3	53.2	51.6	51.2
	Наблюдение	68.0	53.0	48.0	51.0
	Δ	-16.7	0.2	3.6	0.2
	ошибка	24.58%	0.36%	7.45%	0.38%
Rhmax [%]	Прогноз	74.4	79.7	71.1	74.2
	Наблюдение	99.0	99.0	98.0	95.0
	Δ	-24.6	-19.3	-26.9	-20.8
	ошибка	24.81%	19.45%	27.40%	21.87%
WS [m/s]	Прогноз	0.41	0.43	0.55	0.48
	Наблюдение	0.12	0.14	0.28	0.14
	Δ	0.28	0.29	0.27	0.34
	ошибка	232.35%	200.54%	95.38%	240.55%
Eto [mm]	Прогноз	3.5	3.5	3.8	3.7
	Наблюдение	4.1	4.0	3.6	3.8
	Δ	-0.5	-0.5	0.3	-0.1
	ошибка	13.01%	12.92%	7.67%	2.88%

Если растениям (пальмам) недостаёт воды, то падает их урожайность и ухудшается качество продукции. А, значит, земледелец понесёт урон. Причём цепочка, несущих урон, не закончится на земледельце, компании, которые купят плоды масличной пальмы, смогут извлечь из них меньше масла, а, значит, также понесут убытки. А если бы был сделан качественный прогноз, и он был учтён, то убытков не случилось бы.

Заключение. Проведённые эксперименты по данным реанализа и по данным наблюдения на метеостанциях позволяют сделать вывод о том, что метеорологические величины, прогнозируемые моделью WRF, достаточно точны для всей области изучения, кроме отдельных горных и прибрежных регионов.

Модель адаптируется в течение первых 24 часов прогноза, при котором наблюдаются самые большие ошибки прогноза.

Так как качество прогноза метеорологических величин с использованием WRF достаточно высоко, то можно надеяться на хороший прогноз эвапотранспирации. Ошибка прогноза эвапотранспирации не превосходит 0.5мм/сутки.

Результаты проведенного исследования могут быть использованы при организации высокотехнологичного и конкурентоспособного сельскохозяйственного производства.

Библиографический список

1. An international action programme on water and sustainable agricultural development : a strategy for the implementation of the Mar del Plata Action Plan for the 1990s . [Электронный ресурс] URL: <https://www.ircwash.org/resources/international-action-programme-water-and-sustainable-agricultural-development-strategy> (дата обращения 29 сентября 2019)
2. Water for Sustainable Food and Agriculture. A report produced for the G 20 Presidency of Germany FAO. Economic Valuation of Water Resources in Agriculture.// Rome, 2017.– 33 p.
3. Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M. Crop Evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements // FAO Irrigation and Drainage Paper, Rome. 2006. №. 56 .– 300 p.
4. Global Map of Irrigation Areas (GMIA) [Электронный ресурс] URL: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/irrigationmap/COL/index.stm> (дата обращения 29 сентября 2019)
5. A Description of the Advanced Research WRF Version 3 // Skamarock W. C., Klemp J. B. etal [Электронный ресурс] URL: <https://opensky.ucar.edu/islandora/object/technotes:500> (дата обращения 29.09.2019).
6. Stanski H.R, Wilson L.J., Burrows W.R. Survey of common verification methods in meteorology // WMO/TD- No. 358, 1998.– 19p.
7. Исаев Э.К., Анискина О.Г., Мостаманди С.В. Исследование чувствительности гидродинамического моделирования в районе со сложным рельефом к параметрам планетарного пограничного слоя// Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. 2017. № 584.– С. 123-141
8. Silva D. , Meza F.J., Varas E. Estimating reference evapotranspiration (ET_o) using numerical weather forecast data in central Chile // Journal of Hydrology, 2010, № 382.– P. 64-71.

DEVELOPMENT OF HYDRODYNAMIC FORECAST AND ITS USE FOR PLANNING AGRICULTURAL WORKS

O.G.Aniskina¹, J.S.Acero Triana¹, J.V.Efimova¹, Y.V.Drobzeva¹

¹ Russian State Hydrometeorological, Saint-Petersburg, olga.aniskinakmail.ru

Summary: The possibility of using the results of the hydrodynamic forecast of meteorological variables by the mesoscale hydrodynamic model WRF-ARW to assess evapotranspiration and, thereby, increase the efficiency of agricultural production is considered. The importance of taking into account the forecast results on the example of oil palm crops grown in northern Colombia is proved.

Keywords: hydrodynamic weather forecasts, verification, WRF-ARW, evapotranspiration

УДК 63:551.582 (571.53)

КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РАЗВИТИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ

И.В. Латышева¹, Л.В. Голубева¹, С.В. Латышев², К.А.Лощенко¹

¹ Иркутский государственный университет, Иркутск,
ababab1967@mail.ru

² Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, srg.87@bk.ru

Аннотация: Выполнено исследование климатических факторов развития растений в Иркутской области в теплый период 1941-2016 гг. Проанализирована динамика сумм активных температур, безморозного периода. Выявлена устойчивая тенденция повышения активных температур только в южном и западном районах. В изменениях теплообеспеченности выделяются циклы 15, 37, 38 лет и более короткие (от 2 до 6 лет), которые можно использовать при прогнозе метеорологических факторов развития сельского хозяйства в Иркутской области.

Ключевые слова: Иркутская область, активные температуры, безморозный период, сельское хозяйство, циклы.

Актуальность. Сельское хозяйство – одна из наиболее уязвимых и зависимых от изменений погодных и климатических факторов отраслей экономики, особенно в регионах с относительно коротким периодом активной вегетации растений [1]. В число таких регионов на территории России входит Иркутская область, где в последние десятилетия существенно возросли темпы изменений климата, которые следует учитывать при прогнозировании продуктивности развития сельского хозяйства в регионе.

Среди метеорологических параметров, которые оказывают влияние на сроки наступления и продолжительность фаз вегетации растений, в агрометеорологии принято рассматривать показатели тепло- и

влагообеспеченности растений [2]. Одним из основных показателей теплообеспеченности растений является сумма активных ($\geq 10^{\circ}\text{C}$) температур воздуха. Современные тенденции изменения данного показателя оказывают как позитивное, так и негативное воздействие на развитие сельского хозяйства [3].

Смена засушливых условий на влажные в летний период, суровых зим на теплые, вызывает значительную изменчивость валового сбора сельскохозяйственной продукции, так как изменения погоды существенно влияют на сроки посева, нормы высева, глубину заделки семян и т.д. [4]. Согласно модельным расчетам в условиях глобального и регионального повышения температур прогнозируется рост урожайности сельскохозяйственных культур в северных и горных регионах, тогда как в южных районах в условиях возможного усиления засушливости климата доходность сельского хозяйства может снизиться, несмотря на ожидаемые новые технологии и культуры [5].

В России по данным модели IMPACT к 2050 г. некоторые северные территории, например, Тюменской области, могут стать благоприятными для расширения посевных площадей картофеля, ячменя и пшеницы. В тоже время в ряде южных регионов, например, Краснодарский край, возможно увеличение засух и снижение урожайности зерна до 15% [6]. На территории Сибири в условиях меняющегося климата прогнозируется увеличение продолжительности периодов высоких температур, которые негативно сказываются на развитии растениеводства, с другой стороны, увеличение сумм атмосферных осадков в ряде районов может уменьшить негативные последствия засух [7].

Таким образом, даются противоположные оценки возможных последствий изменений климата для развития сельского хозяйства. В этой связи важно проводить региональные исследования агрометеорологических показателей развития сельского хозяйства в условиях меняющегося климата.

Объект и методы исследований. Для оценки современных изменений климата на территории Иркутской области рассматривались особенности температурно-влажностного режима в современную циркуляционную эпоху, которую выделяют по типизации Б.Л. Дзердзеевского [8]. Типизация Б.Л. Дзердзеевского представляет календарь последовательной смены синоптических типов, которые названы как элементарные циркуляционные механизмы (ЭЦМ). Принцип их выделения основан по наличию или отсутствию блокирующих антициклонов или вторжений холодных арктических воздушных масс к югу.

С учетом преобладающих типов ЭЦМ в данной типизации выделяют циркуляционные эпохи: зональную и меридиональные: северную и южную, которые сменяют друг друга и сопровождаются свойственными им изменениями климата в различных регионах Северного полушария. В настоящее время на территории Северного полушария во всех его секторах продолжается меридиональная эпоха циркуляции, которая наиболее длительная (>50 лет) в Европейском, Дальневосточном и Тихоокеанском секторах. В Сибирском секторе, в пределах которого находится регион исследования –

территория Иркутской области, с 2006 года отмечается эпоха меридиональной северной циркуляции.

В работе рассчитывались аномалии средних месячных значений температуры воздуха и сумм атмосферных осадков для периода активной вегетации растений (V-IX) в современную меридиональную эпоху по отношению к средним значениям метеорологических величин за 1977-2018 гг. Использованы данные 73 метеорологических станций Иркутской области. Для пространственной оценки распределения рассчитанных аномалий использовался метод картирования, в основе которого многоуровневая В-сплайн аппроксимация. В-сплайн аппроксимация, которая используется для вычисления непрерывной поверхности через набор нерегулярно расположенных точек, наиболее оптимально подходит для территории Иркутской области, которой характерны указанные особенности в расположении метеорологических станций и постов. Изолинии на картах проводились с учетом доверительного интервала, определяемого по критерию Стьюдента для надежности 99%.

Результаты исследований. Сельское хозяйство – важная часть экономики Иркутской области. По данным Министерства сельского хозяйства Иркутской области [9] в сельской местности проживает около 21% от общего числа населения региона. Доля сельхозпродукции в валовом региональном продукте составляет 5,2%. Сельскохозяйственные угодья области составляют 2 386,6 тыс.га, в том числе пашня – 1 612,4 тыс.га. В структуре продукции сельского хозяйства, производимой в области, 54% занимает продукция животноводства и 46% продукция растениеводства. В Иркутской области развиты молочно-мясное скотоводство, свиноводство, птицеводство, овцеводство, производство зерна, картофеля, овощей (открытого и закрытого грунта). Набирают обороты - коневодство, пчеловодство, звероводство, аквакультура (товарное рыбоводство), производства рапса.

Как показал анализ статистических данных, в последние годы на территории Иркутской области наблюдается рост производства зерновых и овощных культур и некоторое снижение производства картофеля (рис.1).

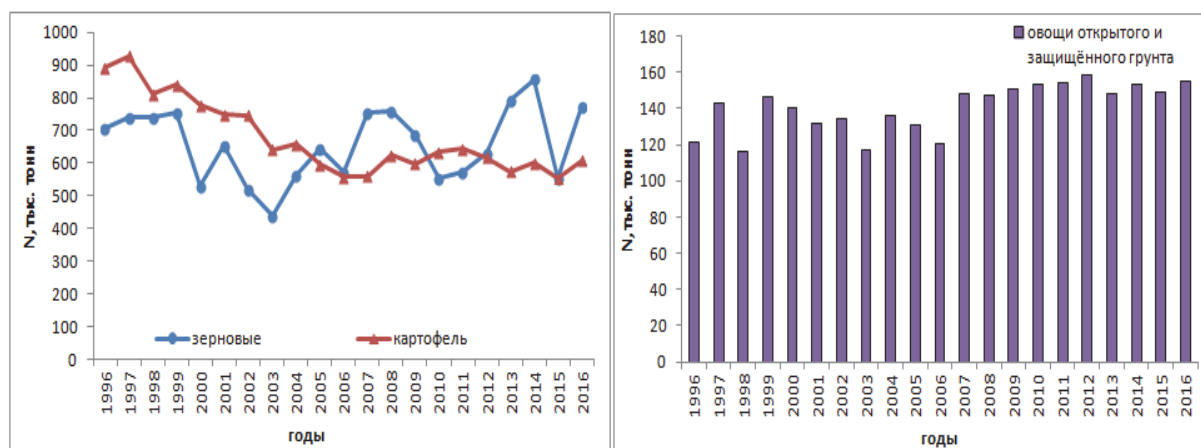


Рис. 1. Динамика производства основных сельскохозяйственных культур на территории Иркутской области в 1996-2016 гг.

Климатический анализ данных показал, что в современную меридиональную эпоху в процентном соотношении по количеству метеорологических станций во все месяцы теплого периода на территории Иркутской области преобладают положительные аномалии температур (рис.2а). По сравнению с предшествующей зональной эпохой циркуляции (1977-2005 гг.) характерно значительное увеличение количества станций с положительными аномалиями температур, наиболее выраженное летом. В распределении аномалий месячных сумм атмосферных осадков в мае и июне на более 75% станций отмечается увеличение выпавших осадков, а в июле, августе и сентябре более чем на 63% станций суммы осадков уменьшаются (рис.2б).

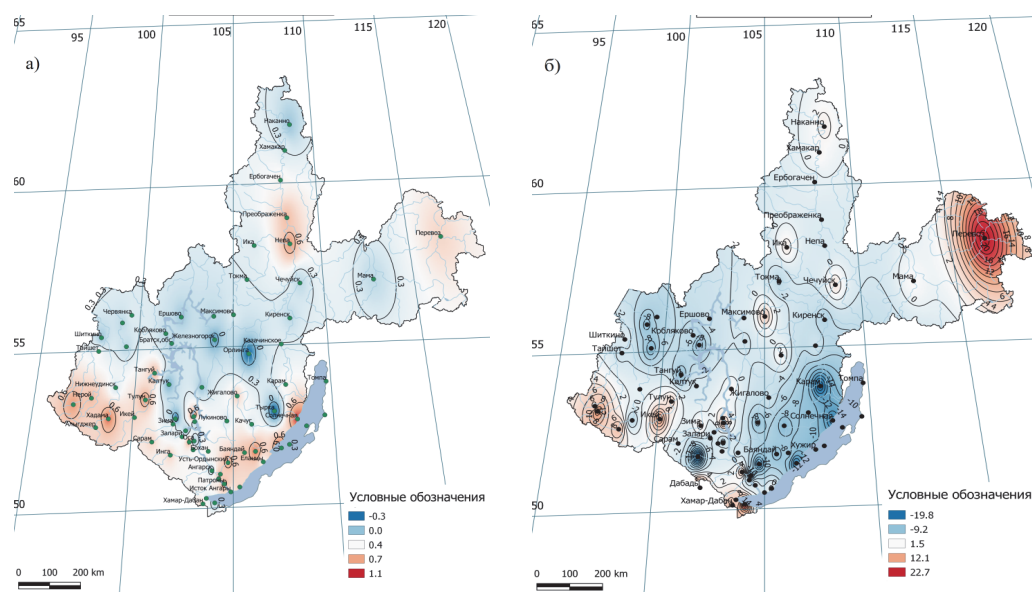


Рис. 2. Карты аномалий средней месячной температуры воздуха (а) и месячных сумм осадков (б) в августе 2006-2018 гг. на территории Иркутской области

Для оценки теплообеспеченности растений по данным метеорологических станций Иркутск, Ербогачён, Нижнеудинск, Братск и Тулун, расположенных в разных физико-географических районах Иркутской области, рассчитывались суммы активных температур с мая по сентябрь за период 1941-2016 гг. (рис.3). Установлено, что средние значения сумм активных температур, определяющие активность вегетации растений, в исследуемый период изменялись от 1135°C на севере Иркутской области (ст. Ербогачён) до 1729°C на юге (ст. Иркутск). В целом межгодовая изменчивость сумм активных температур наименьших значений (85°C) достигла на ст. Братск, а наибольший размах колебаний (231°C) отмечался в Иркутске.

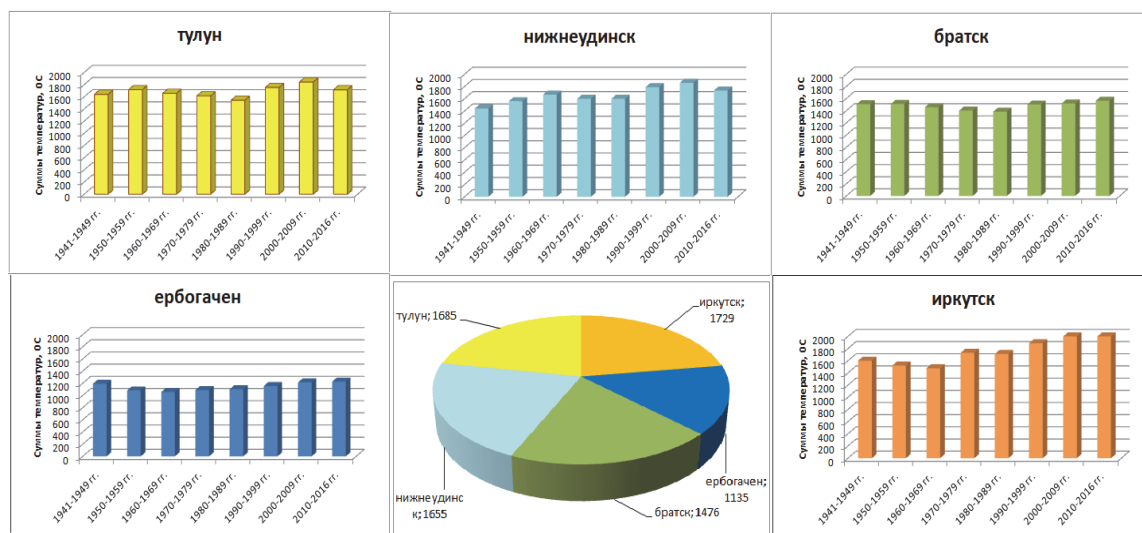


Рис. 3. Гистограммы средних по десятилетиям сумм активных температур и диаграмма их средних значений за период 1941-2016 гг. на метеорологических станциях Иркутской области

Анализ многолетней динамики сумм активных температур выявил устойчивую тенденцию к повышению только на метеорологических станциях Иркутск (Южный район) и Нижнеудинск (Западный район). Причем, наиболее интенсивный рост теплообеспеченности происходил в 1990-1999 гг. В начале XXI века по сравнению со второй половиной XX века суммы активных температур, определяющих процесс вегетации растений, возросли от 170°C на севере области до 410°C на юге. По данным спектрального анализа временных рядов в многолетней динамике сумм активных температур на территории Иркутской области преобладают циклы короткого периода (2-6 летние) и более длительные (15, 37, 38 лет).

В изменениях таких показателей, как продолжительность периодов со среднесуточной температурой воздуха более 5°C и 10°C и безморозного периода на примере ст. Иркутск можно отметить следующее. В период 1940-2016 гг. продолжительность безморозного периода варьировала от 145 дней (1940 г.) до 225 (2003 г.) при средних значениях 195 дней. Продолжительность периода со средней суточной температурой, превышающей 5°C (биологический минимум растений) изменялась от 133 (1957 г.) до 202 (2012 г.) при средних показателях 161 день, соответственно продолжительность периода активных температур ($\geq 10^\circ\text{C}$) варьировала от 84 дней (1957 г.) до 143 (2012 г.) при средних показателях 115 дней. В многолетней динамике наиболее выражено увеличение продолжительности периода со средней суточной температурой, превышающей 5°C, где вклад коэффициента линейного тренда в общую дисперсию временного ряда составил 38%, менее выражено увеличение продолжительности безморозного периода ($r^2=21\%$) и периода со средней суточной температурой $\geq 10^\circ\text{C}$ ($r^2=18\%$).

Заключение. Проведенное исследование показало, что для эпохи действующей в настоящее время меридиональной циркуляции на территории Иркутской области характерно значительное увеличение количества станций с положительными аномалиями температур, наиболее выраженное летом.

Увеличение площади, занятой положительными аномалиями температур в южных районах и на побережье оз. Байкал, сопровождалось увеличением месячных сумм осадков, тогда как по северным районам области более выражено увеличение площади, занятой отрицательными аномалиями осадков. Выделяется период с преобладанием отрицательных аномалий месячных сумм осадков с июля по сентябрь.

Происходящие изменения климата в Иркутской области характеризуются увеличением сумм активных температур, что позволит выращивать более теплолюбивые культуры. Наибольшие скорости роста активных температур отмечаются в западном и южном районах области. Однако следует учитывать, что тенденции роста температур в теплый период года сопровождаются увеличением засушливости климата, особенно по северным районам, что может негативно сказываться на развитии сельского хозяйства.

Библиографический список

1. Васильев С.М., Ольгаренко В.И., Ольгаренко И.В. Теоретическое обоснование и расчет биоклиматических коэффициентов на примере возделывания картофеля летнего срока посадки // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2017. № 4 (28). С. 37-49.
2. Чирков Ю.И. Агрометеорология: учеб. для вузов по агр. спец.– 2–е изд., перераб. и доп. Л. : Гидрометеиздат. 1986. 296 с.
3. Zhang T., Huan T. Impacts of climate change and interannual variability on cereal crops in China from 1980 to 2008 // Journal of the Science of Food and Agriculture. 2012. Vol. 92. P.1643-1652.
4. Иванов А.Л. Глобальное изменение климата и его влияние на сельское хозяйство России. // Земледелие. 2009. №1. С.3-5.
5. Seo S.N. An essay on the impact of climate change on US agriculture: weather fluctuations, climatic shifts, and adaptation strategies // Climatic Change. 2013. Vol. 121. P. 115–124.
6. Сиротенко О.Д., Павлова В.Н. Наблюдаемые изменения климата и динамика продуктивности сельского хозяйства России // Тр. Глав. геофиз. обсерватории им. А.И. Воейкова. 2012. № 565. С. 132–151.
7. Kiselev S., Romashkin R., Nelson G.C., Mason-D'Croz D., Palazzo A. Russia's Food Security and Climate Change: Looking into the Future // Economics, The Open-Access, Open-Assessment E-Journal. 2013. Vol. 39. С. 1-66.
8. Кононова Н.К. Циркуляционные эпохи в секторах Северного полушария в 1899–2014 гг. // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2015. Т. 1 (11). Вып. 2. С. 56-66.
9. Электронный ресурс – URL: / <https://irkobl.ru/sites/agroline> // (дата обращения: 02.10.2019).

CLIMATIC CONDITIONS OF DEVELOPMENT OF AGRICULTURE OF IRKUTSK REGION

I.V. Latysheva¹, L.V. Golubeva¹, S.V. Latyshev², K.A. Loshchenko¹

¹ Irkutsk State University, Irkutsk, ababab1967@mail.ru

² Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk, srg.87@bk.ru

Summary: The study of climatic factors of plant development in the Irkutsk region in the warm period 1941-2016 was carried out. The dynamics of the sums of active temperatures and the frost-free period is analyzed. A stable tendency to increase active temperatures only in the southern and western regions was revealed. In the changes in heat supply, cycles of 15, 37, 38 years and shorter (from 2 to 6 years) are distinguished, which can be used in forecasting meteorological factors of agricultural development in the Irkutsk region.

Keywords: Irkutsk region, active temperatures, frost-free period, agriculture, cycles.

УДК 551.5, 551.58

РЕЖИМ ОТТЕПЕЛЕЙ НА ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ, КАК НЕБЛАГОПРИЯТНЫЙ ФАКТОР ДЛЯ ПЕРЕЗИМОВКИ ПЛОДОВЫХ КУЛЬТУР ЗА ПЕРИОД С 1960 ПО 2016 ГГ.

**Ю.В. Ефимова, С.А. Лыскова, Я.В. Дробжева, О.Г. Анискина,
И.В. Лаврова**

*Российский государственный гидрометеорологический университет,
Санкт-Петербург, luluef@mail.ru*

Аннотация: в научно-исследовательской работе проанализированы продолжительность, повторяемость и термический режим оттепелей на европейской территории России. Выделены и проанализированы единичные и длительные возвраты тепла. Дана оценка изменению повторяемостей и температурных характеристик оттепелей. Особое внимание уделено исследованию скоростей понижения температуры воздуха после оттепели, как негативному фактору, влияющему на сохранность плодовых культур.

Ключевые слова: оттепели, климатическая изменчивость, зимний сезон, зимостойкость плодовых деревьев.

Введение. В последние годы на европейской территории России отмечается аномальный термический режим зимнего сезона. Возрастает повторяемость оттепелей. Наблюдается тенденция к повышению среднесуточной температуры воздуха в дни с оттепелями [1].

Известно, что возвраты тепла могут существенно влиять на морозостойкость яблоневых культур. Особенно опасны для плодовых деревьев

длительные оттепели с последующим резким понижением температуры воздуха ниже нулевого предела. В подобных случаях у некоторых сортов, например, у «Малюта» и «Маяк Загорья», наблюдается значительное снижение морозоустойчивости [2].

Исследование режима оттепелей с выявлением неблагоприятных районов для перезимовки яблоневых культур, а также циркуляционных процессов приводящих к аномально высоким температурам воздуха в дни возвратов тепла является задачей, несомненно, актуальной.

Объекты и методы исследования. В научно-исследовательской работе проанализирован режим оттепелей на европейской территории России за период с 1960 по 2016 гг. Расчеты проводились для 20 станций. Станции были подобраны таким образом, чтобы создать равномерное пространственное покрытие исследуемой территории. Были выбраны: Великие Луки, Владимир, Вологда, Вытегра, Калевала, Каргополь, Койнас, Коломна, Кострома, Котлас, Курск, Москва, Нижний Новгород, Онега, Санкт-Петербург, Петрозаводск, Смоленск, Сортавала, Сура, Тамбов.

Для выявления установившегося отрицательного фона среднесуточной температуры воздуха в каждом пункте были рассчитаны границы климатического зимнего сезона. Началом зимы считалась дата устойчивого перехода температуры воздуха через нулевой предел в сторону понижения, окончанием – в сторону повышения [3].

Даты устойчивого перехода температуры воздуха через нулевой предел рассчитывались методом Хаустова, который заключается в суммировании среднесуточных температур, начиная с $+5^{\circ}\text{C}$ (для начала сезона) и с -5°C (для окончания сезона). Далее следует построение графика накопленных температур, по которому определяется точка «перелома», то есть дата устойчивого перехода температуры воздуха через нулевой предел [4].

Для анализа термического режима оттепелей использовался архив данных среднесуточной температуры воздуха в выбранных станциях за период с 1957 по 2016 гг. ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД».

Для анализа пространственной изменчивости характеристик оттепелей использована программа MapInfo. В ней реализуется TIN-метод интерполяции. TIN-метод – детерминированный метод интерполяции в узлы треугольной нерегулярной сетки [5].

Обсуждение результатов. На Европейской территории России за период с 1960 по 2016 гг. было выделено 7759 оттепелей.

Все случаи оттепелей были разделены на две группы: единичные (1 сутки) и длительные (2 суток и более).

На рисунке 1. Представлена повторяемость оттепелей различной продолжительности на европейской территории России.

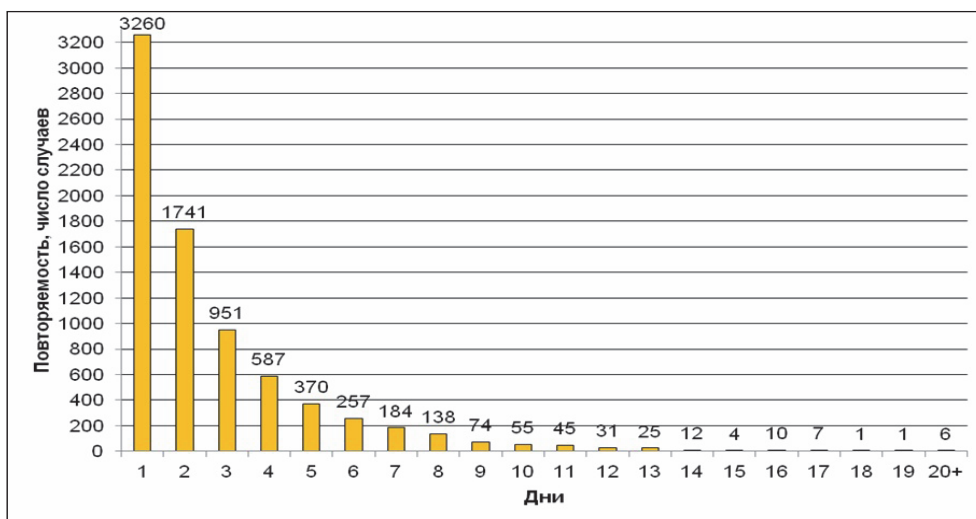


Рис. 1. Повторяемость оттепелей различной продолжительности на ЕТР за период с 1960 по 2016 гг.

Интересно то, что значительной повторяемостью обладают возвраты тепла продолжительностью до 8 дней. Оттепели с еще более высоким количеством дней стали наблюдаться в конце 20-го - в начале 21-го века в связи с аномальными процессами в атмосфере, вызывающими неустойчивость зимнего сезона [6, 7].

В среднем для каждой станции за период с 1960 по 2016 гг. наблюдалось 153 дня с единичными оттепелями.

Наиболее высокая повторяемость единичных оттепелей отмечается в Калевале и Сортавале, 193 и 215 случаев, соответственно. Наименьшее число случаев зафиксировано в Санкт-Петербурге (132 случая) и Великих Луках (123 случая). В процессе исследования для сравнительного анализа было выделено два временных интервала: с 1960 по 1988 гг. и с 1988 по 2016 гг. Ограниченность данных не позволяет провести сравнительный анализ по более длительным интервалам.

Во второй половине исследуемого периода наблюдается увеличение числа единичных оттепелей на северо-западе и в восточной части ЕТР. Значительное повышение повторяемости единичных возвратов тепла отмечается в Котласе на 31 день, Коломне – на 22 дня, Костроме – на 18 дней, Вологде и Калевале – на 17 дней, Тамбове – на 16 дней.

В работе был подробно проанализирован термический режим единичных оттепелей на рассматриваемой территории. Для этого были выделены градации температуры воздуха: «среднее» 1.0-1.9 °С, «выше среднего» 2.0-2.9 °С и «значительно выше среднего» выше 3.0 °С, и проанализирована повторяемость среднесуточной температуры воздуха в дни единичных возвратов тепла.

Наиболее часто на территории ЕТР наблюдаются оттепели попадающие в градацию «1.0-1.9 °С». Их повторяемость в последние годы увеличивается соответственно общей повторяемости оттепелей региона. За весь исследуемый период самое высокое количество дней с температурой воздуха в пределах 2.0-

2.9 °С наблюдается в Санкт-Петербурге и составляет 198 случаев. В нашей работе основное внимание уделяется аномальным значениям температуры воздуха в дни с оттепелями. Рассмотрим повторяемость единичных возвратов тепла с температурой воздуха выше 3 °С. Повторяемость единичных оттепелей с высокими температурами должны сопровождаться резким ее понижением на следующий день. Такой процесс в зимнее время вызывает несомненный интерес с точки зрения синоптических процессов. Менее всего подвержена подобным явлениям центральная часть исследуемого региона. За весь исследуемый период среднесуточные температуры воздуха 3.0 °С и выше в дни единичных оттепелей не были зарегистрированы в Вологде, Вытегре, Костроме и Санкт-Петербурге. Наблюдалось 4 случая в Калевале, что является самым высоким значением на исследуемой территории с 1960 по 2016 гг.

Наиболее интересными с точки зрения влияния на аграрный комплекс являются длительные оттепели. Особо опасными для плодовых деревьев являются длительные возвраты тепла, которые наблюдаются после месяца установившегося отрицательного фона температуры воздуха [2].

В результате анализа временной изменчивости возвратов тепла в целом по региону можно сделать вывод о том, что в январе, феврале и марте значительно повысилась повторяемость длительных оттепелей. Возрастание количества оттепелей, приходящихся на вторую половину климатической зимы, является неблагоприятным фоном для сохранности плодовых культур. Особенно опасными при выявленной тенденции является январь и февраль, так как именно в эти месяцы наблюдаются резкие понижения температуры после окончания оттепели.

Рассмотрим пространственное распределение длительных оттепелей, представленное на рисунке 2.

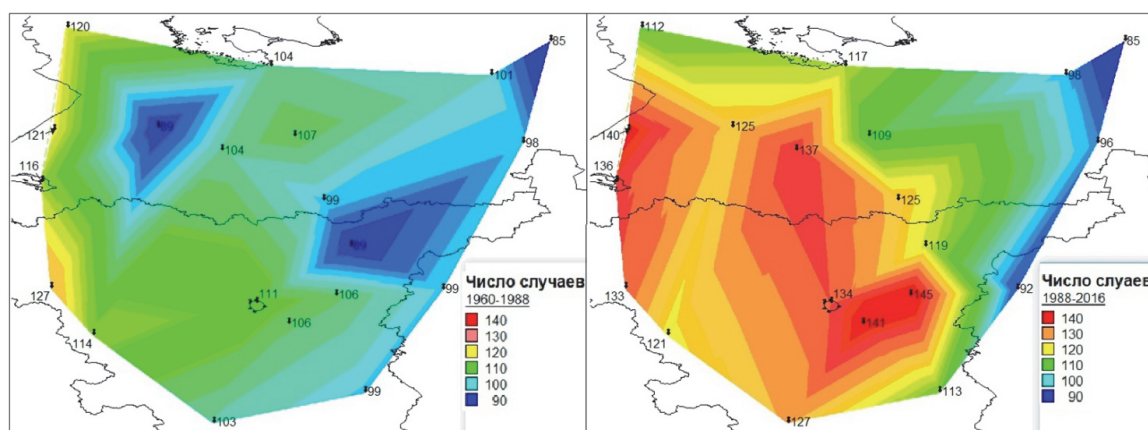


Рис. 2. Пространственное распределение повторяемости длительных оттепелей на ЕТР за периоды с 1960 по 1988 гг. и с 1988 по 2016 гг.

Начиная с 1988 г., наблюдается значительное увеличение количества длительных оттепелей практически на всей территории рассматриваемого региона. Особенно данная тенденция заметна в западной, центральной и в южной частях ЕТР.

Если в период с 1960 по 1988 гг. максимальное число случаев не превышало 127 (Великие Луки), то после 1988 года количество длительных возвратов тепла составило во Владимире – 145 случаев, Коломне – 141 случай и в Сортавале – 140 случаев.

Температурный режим длительных оттепелей имеет свою специфику и зависит от их продолжительности. Рассмотрим особенности повторяемости высоких среднесуточных температур выше 3.0°C в дни длительных оттепелей (таблица 1). Наиболее высокие температуры в дни длительных оттепелей наблюдаются на западе и в центре исследуемого региона. На юго-востоке наблюдается понижение среднесуточных температур во время возврата тепла. В результате сравнения двух временных интервалов: с 1960 по 1988 гг. и с 1988 по 2016 гг. можно заключить, что в Санкт–Петербурге наблюдается наиболее значительное увеличение количества длительных оттепелей с высокой среднесуточной температурой воздуха в 2.3 раза (с 27 до 61 случая). В Великих Луках количество оттепелей с температурой «значительно выше среднего» понизилось в 2.2 раза (с 47 до 21 случая).

Таблица 1

Изменение количества дней единичных оттепелей, с температурой воздуха выше 3.0°C за период с 1960 по 2016 гг.

Город	Изменение, дни	Город	Изменение, дни
Санкт-Петербург	34	Койнас	2
Сортавала	11	Калевала	1
Курск	10	Москва	1
Владимир	8	Нижний Новгород	1
Вологда	7	Кострома	-3
Вытегра	7	Сура	-12
Коломна	7	Тамбов	-13
Петрозаводск	7	Онега	-14
Котлас	6	Каргопол	-16
Смоленск	4	Великие Луки	-26

Увеличение повторяемости длительных оттепелей с высокими температурами затронуло в основном западную и центральную часть исследуемого региона.

В ходе научно-исследовательской работы проанализирован температурный режим во время и после оттепелей, то есть скорость понижения температуры воздуха. Высокие скорости понижения температуры воздуха после окончания оттепелей могут оказывать значительное негативное воздействие на перезимовку плодовых деревьев.

Для оттепелей ЕТР за период с 1960 по 2016 гг. были рассчитаны скорости понижения температуры ($^{\circ}\text{C}/\text{день}$) и разделены на градации. Рассмотрим наиболее значительные изменения температуры воздуха после оттепели, относящиеся к градации «выше среднего» $4.1\text{--}9.6^{\circ}\text{C}/\text{день}$ и к градации «значительно выше среднего» более $9.6^{\circ}\text{C}/\text{день}$.

В результате пространственного анализа высоких скоростей понижения температуры воздуха можно сделать вывод о том, что на большей части исследуемой территории наблюдается увеличение их повторяемости, исключения составляют Курск, Великие Луки и Койнас.

Наблюдается увеличение числа случаев резких перепадов температуры воздуха после оттепели (рис. 3).

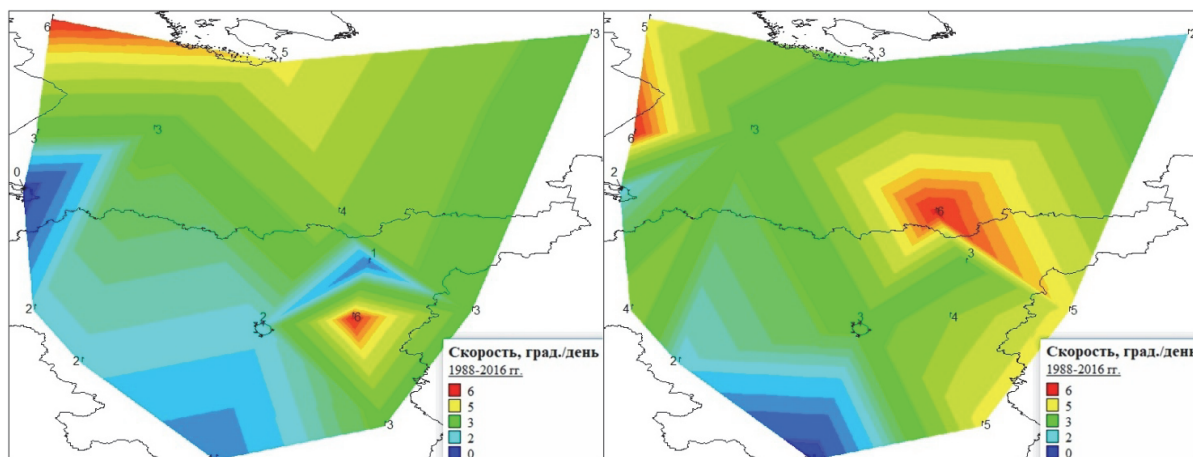


Рис. 3. Пространственное распределение повторяемости скорости понижения среднесуточной температуры воздуха (градиация «значительно выше среднего») на ЕТР за периоды с 1960 по 1988 гг. и с 1988 по 2016 гг.

После 1988 года в Сортавале, в Великих Луках, Вологде, Костроме, Нижнем Новгороде, Санкт-Петербурге и Тамбове наблюдается увеличение числа дней с понижением температуры на $9.6^{\circ}\text{C}/\text{день}$ и более после оттепели. Следует рекомендовать в данных областях посадки плодовых деревьев, которые обладают высокой устойчивостью к резкому понижению температуры воздуха после длительной оттепели.

Синоптическая ситуация характерная длительной оттепели с высокими температурами воздуха на исследуемой территории практически всегда сопряжена с обширным многоцентровым циклоном, центральная часть которого располагается над Северо-Ледовитым океаном и частью арктического побережья. Север ЕТР находится в южной части циклона, южнее располагается барический гребень, ориентированный с запада на восток. Над большей частью исследуемой территорией наблюдаются заливы теплого воздуха с Европы (например, оттепель 11-13.02.2015 г.). В последние годы увеличилась повторяемость южных циклонов, которые также являются причиной для оттепелей на юге и в центре европейской территории России.

Выводы. В научно-исследовательской работе проанализирован режим оттепелей на европейской территории России за период с 1960 по 2016 гг.

Наиболее высокая повторяемость единичных оттепелей отмечается в Калевале и Сортавале. Во второй половине исследуемого периода наблюдается увеличение числа единичных оттепелей на северо-западе и в восточной части ЕТР.

Центральная часть исследуемого региона наименее подвержена единичным оттепелям с аномально высоким температурным режимом.

Значительно повысилась повторяемость длительных оттепелей в январе, феврале и марте. Увеличение числа оттепелей, приходящихся на вторую половину климатической зимы, является неблагоприятным фоном для сохранности плодовых культур.

Начиная с 1988 г., наблюдается значительное увеличение количества длительных оттепелей практически на всей территории рассматриваемого региона. Особенно данная тенденция заметна в западной, центральной и в южной частях ЕТР.

Наиболее высокие температуры в дни длительных оттепелей наблюдаются на западе и в центре исследуемого региона. На юго-востоке замечено понижение среднесуточных температур во время возврата тепла.

В результате анализа высоких скоростей понижения температуры воздуха после длительной оттепели можно сделать вывод о том, что на большей части исследуемой территории создается неблагоприятный фон для перезимовки плодовых деревьев. Исключение составляют Курск, Великие Луки и Койнас.

Синоптическая ситуация, характерная для длительных оттепелей, наиболее часто определяется южной частью обширного циклона, широтно ориентированным барическим гребнем, а также прохождением над исследуемой территорией южных циклонов.

Библиографический список

1. Лыскова С.А., Ефимова Ю.В., Восканян К.Л. Анализ режима оттепелей в Саранске за период с 1960 по 2016 гг. // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. 2018. № 590. С. 199-208.

2. Данилова А.А. Влияние оттепелей на зимостойкость сортов яблони // Электронный журнал «Современное садоводство». 2013. № 2. С. 1-6.

3. Мирвис В.М., Гусева И.П. Изменение в режиме оттепелей на территории России // Труды ГГО. 2007. Вып. 556. С. 101-115.

4. Капелюшная И.А., Ефимова Ю.В., Мханна А.И.Н. Оценка режима оттепелей на Северо-Западном регионе Российской Федерации // Colloquium-journal. 2019. № 6-4 (30). С. 3-6.

5. Лобанов В.А., Смирнов И.А., Шадурский А.Е. Практикум по климатологии. Ч. 1. Учебное пособие. – СПб.: РГГМУ, 2011. С. 67-85.

6. Лаврова И.В., Угрюмов А.И. Северо-Атлантическое колебание и его влияние на изменчивость ледяного покрова в западном секторе Арктики // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2009. № 9. С. 51-58.

7. Пальцева Е.С., Угрюмов А.И., Федосеева Н.В. Многолетняя динамика Исландской депрессии и формирование короткопериодных колебаний климата на Северо-Западе России // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2013. № 29. С. 100-109.

**THAW REGIME IN THE EUROPEAN TERRITORY OF RUSSIA AS
AN UNFAVORABLE FACTOR FOR OVERWINTERING FRUIT TREES
FOR THE PERIOD FROM 1960 TO 2016.**

Y. V. Efimova, S. A. Lyskova, Y. V. Drobzheva, O. G. Aniskina,
I. V. Lavrova

Russian state hydrometeorological University, Saint Petersburg,
luluef@mail.ru

Summary: the duration, repeatability and thermal regime of thaws in the European territory of Russia are analyzed in the research work. Isolated and analyzed single and long-term heat returns. The estimation of changes in repeatability and temperature characteristics of thaws is given. Special attention is paid to the study of the rate of decrease in air temperature after the thaw, as a negative factor affecting the safety of fruit crops.

Keywords: thaw, climatic variability, winter season, winter hardiness of fruit trees.

УДК 551.588

**ИЗМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ
НА ТЕРРИТОРИИ ТАТАРСТАНА И ИХ ПОСЛЕДСТВИЯ ДЛЯ
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА.**

**Ю.П. Переведенцев¹, К.М. Шанталинский¹, В.В. Гурьянов¹,
Т.Р. Аухадеев¹**

¹Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань,
ypereved@kpfu.ru

Аннотация: рассматриваются изменения климата и динамика агроклиматических ресурсов на территории Республики Татарстан в последние десятилетия. В связи с повышением температуры воздуха в регионе происходит увеличение продолжительности вегетационного периода, возрастание сумм положительных температур, меняются характеристики увлажненности, что сказывается на продуктивности сельскохозяйственных культур. Дана оценка вероятности экстремальных проявлений климатических изменений.

Ключевые слова: климат, агроклиматические показатели, температура воздуха, нормированная аномалия, даты перехода температуры, засушливость, увлажненность.

Актуальность. Оценке состояния агроклиматических ресурсов и биоклиматического потенциала России в условиях изменяющегося климата посвящен ряд работ [1–5], что свидетельствует об актуальности исследуемой проблемы.

Объекты и методы исследования. В агрометеорологии главное внимание уделяется анализу тепловлагообеспеченности сельскохозяйственных территорий, оценке ресурсов света, тепла и влаги в вегетационный период и условий перезимовки растений в холодный. В связи с современным глобальным потеплением климата в регионах происходят заметные изменения основных агроклиматических показателей, к числу которых относятся [6]: суммы среднесуточных значений температуры воздуха (ТВ) за период календарного года со среднесуточной температурой превышающей 0, 5, 10, 15°C весной и осенью; средняя температура самого холодного и самого теплого месяцев календарного года и др.

Для комплексной оценки степени засушливости и увлажненности территорий в агрометеорологии наиболее часто используются гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК) и индекс засушливости Педя (S), которые рассчитываются по формулам [2, 4]:

$$\text{ГТК} = \frac{\sum R}{0.1 \sum T}, \quad 1)$$

где $\sum R$ - сумма осадков (мм), $\sum T$ - сумма активных температур (выше 10°C).

$$S = \frac{\Delta T}{\sigma_T} - \frac{\Delta R}{\sigma_R}, \quad 2)$$

ΔT и ΔR - отклонения от норм температуры воздуха и осадков, где σ_T - среднеквадратическое отклонение средних месячных значений температуры воздуха, σ_R - атмосферных осадков.

Кроме отмеченных в агроклиматических работах успешно используются и другие показатели увлажнения, предложенные М.И. Будыко, Н.Н. Ивановым, Ю.И. Чирковым и другими исследователями [7].

Обсуждение результатов. Цель статьи - рассмотреть особенности изменения климата в Татарстане и их последствия для динамики агроклиматических ресурсов.

Изучению климата и климатических ресурсов Татарстана за длительный период посвящен ряд работ казанских метеорологов [8, 9, 10-13], среди которых известная монография Н.В. Колобова и С.А. Муракаевой «Засухи на территории Татарской АССР» близкая к сельскохозяйственной тематике [8].

О многолетних изменениях климата на территории Татарстана можно судить по данным старейшей ст. Казань, университет. На рис. 1 представлен многолетний ход средней годовой температуры воздуха (СГТВ) в Казани в период 1900-2018 гг. (119 лет). Произведенное сглаживание временного ряда с использованием фильтра Поттера позволило выявить в нем низкочастотную компоненту (НЧК), содержащую колебания с периодом более 20 лет. За 119 лет, судя по сглаженной кривой, СГТВ выросла в Казани на 2,75°C, которое произошло в основном в зимнее время. В частности, в период 1928 по 2017 гг. средняя зимняя температура воздуха выросла в Казани на 4,7°C, а летняя на 2,2°C. При этом, вклад глобального фактора в изменчивость зимней температуры составил 37, а в летние 23% [13].

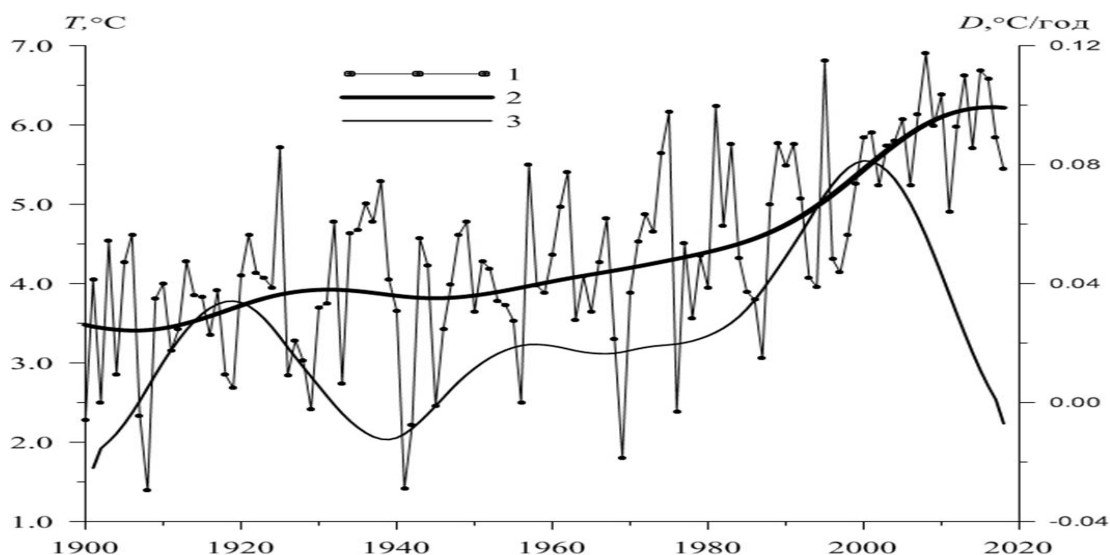


Рис. 1. Изменения температуры воздуха в Казани

1 – исходный ряд, 2– низкочастотная компонента с периодом более 20 лет, 3 – скорость изменения температуры по низкочастотной компоненте ($^\circ\text{C}/\text{год}$).

При этом следует отметить, что наибольший рост СГТВ произошел в начале XXI века, при этом значительно уменьшилась величина межгодовой изменчивости температуры, а минимальное значение СГТВ резко повысилось по сравнению с XX веком.

Для характеристики аномальных проявлений современного климата по данным реанализа ERA5 и 13 метеостанций на территории РТ рассчитывались нормированные аномалии приземной температуры воздуха $\Delta t/\sigma$ (средняя ТВ взята за период 1955-2018гг., Δt – аномалия для каждого месяца года, σ – СКО).

Анализ внутригодового распределения крупных аномалий ($\Delta t/\sigma > 1$) за весь период 1955-2018гг. (64 года) показал, что крупные положительные аномалии более часто возникали с марта по июнь (в июне отмечено 15 случаев, т.е. почти каждый четвертый июнь был аномально теплым), крупные отрицательные аномалии чаще формировались в марте (14 случаев) и июле (13 случаев). Подпериоды 1955-1999 и 2000-2018гг. существенно отличаются друг от друга. Если в первом часто формировались крупные отрицательные аномалии (например, в марте их было 12, что составило 27% от числа лет), то во второй подпериод число крупных положительных аномалий значительно превышает число отрицательных. Например, в июне отмечены 6 положительных и лишь одна отрицательная аномалия. Аналогичная картина сложилась и в другие месяцы. Все это свидетельствует о значительном изменении климата региона, его потеплении.

Построенный вертикальный разрез временного хода нормированных среднегодовых аномалий ТВ осредненных по территории Татарстана свидетельствует, что начиная с 2003 по 2016г. положительная аномалия температуры охватывает всю толщу тропосферы, а в стратосфере, наоборот, происходит понижение средней годовой температуры воздуха, что согласуется с современными представлениями о природе глобального потепления климата.

Расчет экстремальных показателей температурно-влажностного режима за период 1980-2018 гг. по данным реанализа ERA5 показал, что в Казани число дней в году с минимальной суточной температурой ниже -20°C порядка 15, при этом скорость их уменьшения около 3 дней/10 лет, число дней в году когда максимальная суточная температура больше 25°C достигает 30. Число дней в году с $t_{\max} > 25^{\circ}\text{C}$ имеет положительную тенденцию во времени, скорость их прироста 5-6 дней/10 лет. Количество дней с осадками более 20мм в день невелико (≈ 2 дней). Наблюдается слабая тенденция их роста ($\approx 0,1$ дней/10 лет).

Таблица 1

Каталог аномальности зим на территории Татарстана в период 1954-2016гг.

Год	α	Год	α	Год	α
1954	-2,22	1975	0,43	1996	-0,70
1955	0,64	1976	-0,87	1997	-0,17
1956	-1,52	1977	-0,81	1998	-0,23
1957	0,49	1978	0,35	1999	1,00
1958	0,68	1979	-0,42	2000	1,22
1959	0,27	1980	-0,27	2001	0,96
1960	0,10	1981	0,84	2002	1,63
1961	0,64	1982	-0,31	2003	0,05
1962	0,69	1983	1,17	2004	0,55
1963	-0,75	1984	-0,04	2005	0,19
1964	-0,18	1985	-0,23	2006	-0,95
1965	-0,55	1986	-0,49	2007	0,72
1966	-0,30	1987	-0,53	2008	0,54
1967	-0,99	1988	-0,09	2009	0,39
1968	-0,67	1989	0,72	2010	-1,03
1969	-2,23	1990	1,02	2011	-0,95
1970	-0,13	1991	0,30	2012	-0,42
1971	0,22	1992	0,42	2013	0,43
1972	-1,27	1993	0,42	2014	-0,04
1973	-0,05	1994	-0,26	2015	0,75
1974	-0,20	1995	1,04	2016	0,98

Примечание: синий цвет – экстремально холодные, красный – теплые зимы.

В агрометеорологии большое внимание уделяется изучению условий перезимовки сельскохозяйственных культур, оценке степени суровости зим с использованием ряда показателей - минимальной температуры воздуха и почвы, высоты снежного покрова и др. [7]. В настоящей статье для оценки экстремальности зим в Татарстане в период 1954-2016гг. использовался метод разработанный А.В. Мещерской [14], согласно которому интегральный показатель аномальности зим (α) (январь, февраль) определяется по формуле:

$$\alpha = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta t_I}{\sigma_I} + \frac{\Delta t_{II}}{\sigma_{II}} \right)_k, \quad 3)$$

где N-число метеорологических станций (13), $\frac{\Delta t_I}{\sigma_I}$, $\frac{\Delta t_{II}}{\sigma_{II}}$ – нормированные аномалии температуры воздуха по станциям (k) за январь и февраль соответственно, σ_I , σ_{II} – средние квадратические отклонения температуры воздуха для этих месяцев.

По определению [14], при $\alpha < -0.9$ в Европейской части РФ южнее 60° с.ш. зима считается экстремально холодной, а при $\alpha > 1.0$ – экстремально теплой. Результаты расчетов по 13 метеостанциям РТ представлены в табл. 1.

Как видно из табл.1, экстремально холодные зимы наблюдаются в период 1954-1974гг (5), в период заметного потепления зим в Татарстане, начиная с середины 1970-х годов до 2005г. произошло 6 экстремально теплых зим и лишь в начале 21 века (2006-2011гг.) вновь отмечаются экстремально холодные зимы (3), что связано с возникновением в этот период блокирующих антициклонов.

Естественно, что четко выраженная тенденция потепления климата в регионе, начиная с 1970-х годов, проявилась и в показателях вегетационного периода. Для 13 метеостанций Татарстана в период 1966-2018гг. по методике [15] определялись даты устойчивого перехода средней суточной температуры (ССТ) воздуха через 0, 5 и 10°C весной и осенью, продолжительность теплого периода ($t > 0^\circ\text{C}$), а также суммы температур за периоды с ССТ превышающей 0, 5 и 10°C. Результаты расчетов представлены в таблице 2.

Таблица 2

Средние значения (1966–2018 гг.) характеристик периодов с температурой более 0, +5 и +10°C на территории РТ.

Переход через	0°C			+5°C			+10°C		
	Весна, дни	Осень, дни	Сумма $T, ^\circ\text{C}$	Весна, дни	Осень, дни	Сумма $T, ^\circ\text{C}$	Весна, дни	Осень, дни	Сумма $T, ^\circ\text{C}$
Казань	94	314	2797	111	291	2703	126	271	2444
Вязовые	93	313	2754	110	290	2664	126	271	2403
Арск	95	311	2652	113	288	2560	128	270	2322
Кайбицы	93	314	2726	110	290	2640	126	271	2380
Дрожжаное	95	311	2719	110	291	2637	126	269	2350
Тетюши	95	313	2738	110	292	2664	126	272	2407
Чулпаново	95	316	2758	110	292	2684	124	272	2428
Елабуга	94	313	2752	111	288	2654	126	272	2413
Акташ	94	315	2740	110	289	2652	125	271	2404
Мензелинск	96	312	2681	113	287	2589	128	271	2346
Муслюмово	94	315	2754	111	291	2671	126	273	2422
Азнакаево	95	314	2660	111	287	2573	127	271	2327
Бугульма	98	308	2609	112	286	2526	128	270	2281

Анализ полученных результатов показывает, что в показателях вегетационного периода между станциями РТ нет больших территориальных

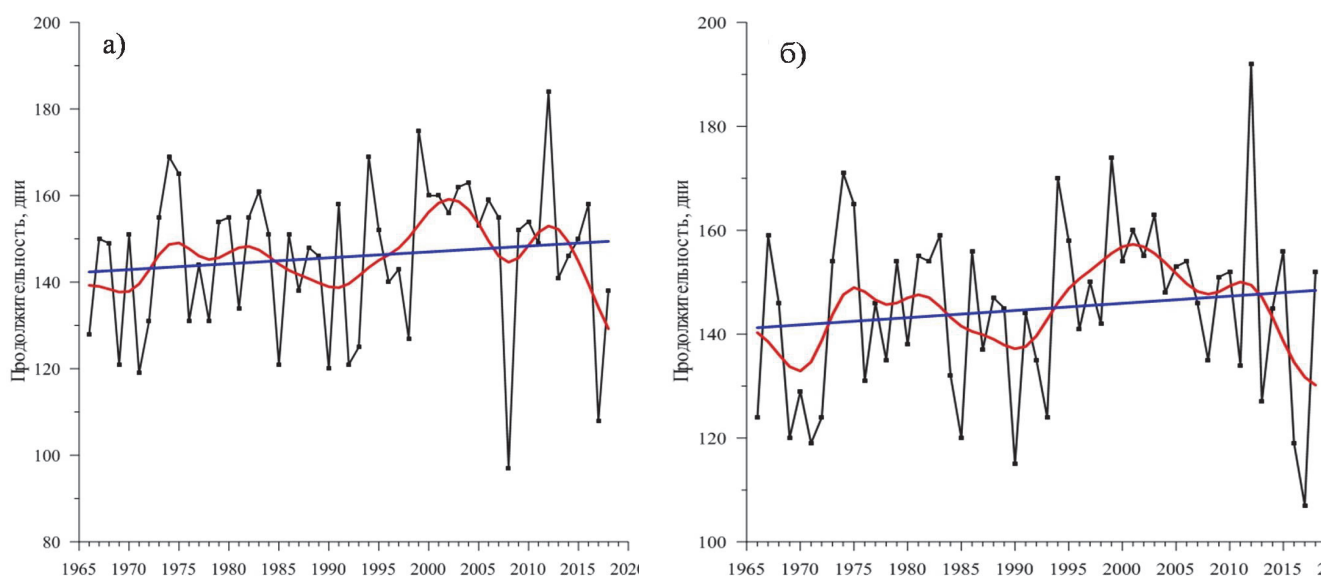
различий. Переход ССТ через 0°C происходит на западе РТ на 93 день от начала года (ст. Вязовые), а на востоке на 98 день (ст. Бугульма). Осенью, наоборот, на востоке переход через 0°C осуществляется на несколько дней раньше, чем на западе (в Бугульме на 308, а в Вязовых на 313 день). Переход через 10°C весной на территории РТ происходит через 126-128 дней от начала года, а осенью – через 269-273 дня.

Как видим различия невелики. Продолжительность главной фазы вегетационного периода ($t > 10^{\circ}\text{C}$) меняется по территории от 143 до 148 дней, а сумма положительных температур от 2281 до 2444 $^{\circ}\text{C}$, что позволяет выращивать ряд необходимых сельскохозяйственных культур.

Анализ временного хода рассмотренных характеристик в период 1966 – 2018 гг. показывает, что переход ССТ через 0, 5 и 10°C весной имеет тенденцию к более раннему наступлению теплого периода, а осенью этот переход наступает в более поздние сроки. Также увеличивается продолжительность теплого периода и сумма положительных температур.

Однако, начиная с 2013 г. по 2018 г. намечается обратная тенденция: весной переходы через 0, 5 и 10°C стали осуществляться несколько позднее, а осенью раньше. В результате сокращается продолжительность соответствующего периода и уменьшаются суммы температур. На рисунке 2, где представлены данные о временном ходе этих характеристик для двух станций Вязовые (расположена на западе РТ) и Азнакаево (на востоке) этот факт очевиден.

В [5] отмечается, что на территории РТ наиболее значительное влияние на снижение урожайности и валовых сборов зерна оказывают засухи, поэтому представляет интерес оценка режима увлажнения на территории Татарстана. Для оценки условий засушливости и увлажнения территории Татарстана рассчитывались гидротермический коэффициент ГТК и индекс засушливости Педя по данным университета штата Delaware (1979-2014гг.) и реанализа ERA5 (1979-2018гг.).



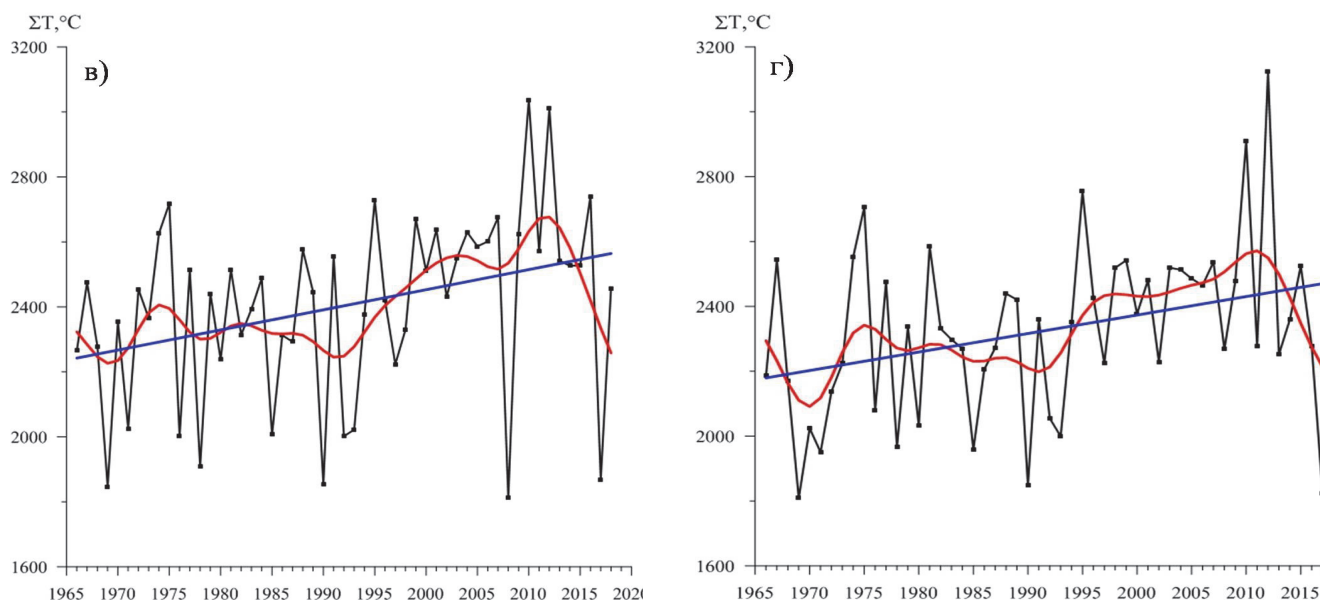


Рис. 2. Временной ход продолжительности периода с температурой более +10°C (а, б) и сумм температур (в, г) этого периода на станциях Вязовые(а, в) и Азнакаево (б, г). Красная линия – НЧК с периодом более 8 лет, синяя линия – линейный тренд

Повторяемость средней засухи наиболее высока на востоке и северо-востоке Республики, где она достигает 28%. На западе РТ этот показатель заметно ниже ($\approx 16\%$ в районе Казани). Условия нормального увлажнения чаще возникают на западе РТ (до 39%) и реже на востоке (19%). Распределение ГТК показывает, что запад и северо-запад РТ в большей степени увлажнены, чем восток и юг территории. Оценка коэффициента наклона линейного тренда (КНЛТ) выявила тенденцию понижения ГТК, что свидетельствует о росте засушливости на территории РТ в последние десятилетия. Расчет ГТК по данным ст. Казань-опорная за 1900 – 2017 гг. также подтверждает этот вывод (ГТК в 21 веке понижается), индекс Педя, наоборот, в этот период возрастает.

В работе аспирантки кафедры метеорологии, климатологии и экологии атмосферы КФУ Мустафиной А.Б. [9] выявлена зависимость урожайности зерновых культур от погодно-климатических условий РТ. Показано, что урожайность зерновых культур увеличивается, если в первую половину вегетационного периода выпадает достаточное количество осадков, и, наоборот, высокие температуры воздуха в этот период приводят к снижению урожайности.

Заключение. В заключение сформулируем ряд выводов, характеризующих состояние агроклиматических условий в Татарстане в XX-XXI веках:

1. В период 1900-2018гг среднегодовая температура воздуха по данным длиннорядной станции Казань, университет повысилась на 2.75°C. при этом изменения ТВ происходят неравномерно, так в период 1928-2017гг. зимняя температура выросла на 4,7°C, а летняя на 2.2°C. вклад глобальных процессов в изменчивость ТВ составил зимой 37, а летом 23%;

2. Отмечается заметная изменчивость показателей вегетационного периода: увеличивается продолжительность теплого периода, растет сумма положительных температур, переход через 0°C весной начинается раньше (скорость смещения даты равна -1,4дня/10лет), а осенью позже (скорость 3,2дня/10лет);

3. Согласно построенного каталога экстремальных зим в Татарстане в период 1955-2016гг. экстремально холодные зимы происходили в периоды 1955-1982 и 2006-2011гг., в период 1989-2005гг. произошли все случаи с экстремально теплыми зимами;

4. В последние десятилетия происходит уменьшение числа морозных дней ($t < -20^{\circ}\text{C}$) и возрастает число дней с максимальной температурой ($t > 25^{\circ}\text{C}$);

5. Анализ рассчитанных индексов ГТК Селянинова и Педя показывает, что на территории Татарстана обнаруживается тенденция возрастания засушливости.

В работе использована информация Copernicus Climate Change Service (2019).

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проекты 18-05-00721, 18-45-160006).

Библиографический список

1. Биоклиматический потенциал России: методы мониторинга в условиях изменяющегося климата/ Под ред. А.В. Гордеева. М.: Научное издание, 2007. 235 с.

2. Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем / Под. ред. С.М. Семенова. М.: Росгидромет, 2012. 508 с.

3. Павлова В.Н., Караченкова А.А. Наблюдаемые изменения климата и динамика агрометеорологических ресурсов в XX- XXI столетиях на территории Приволжского федерального округа // Труды ГГО. 2016. Вып.583. С.112-128.

4. Уткузова Д.Н., Хан В.М., Вильфанд Р.М. Статистический анализ эпизодов экстремальной засушливости и увлажненности на территории РФ // Оптика атмосферы и океана. 2018. Т. 28, №1(312). С. 66-75.

5. Фролов А.В. Страшная А.Н. О засухе 2010 года и ее влиянии на урожайность зерновых культур.// Сб. докладов ГУ «Гидрометцентр России». М.: Триада ЛТД. 2010. С. 22-31.

6. Сиротенко О.Д., Груза Г.В., Ранькова Э.Я., Абашина Е.В., Павлова В.Н. Современные климатические изменения теплообеспеченности, увлажненности продуктивности атмосферы России // Метеорология и гидрология. 2007, №8. С. 90-103.

7. Грингоф И.Г., Пасечник А.Д. Агрометеорология и агрометеорологические наблюдения. СПб.: Гидрометеиздат, 2005. 552 с.

8. Колобов Н.В., Муракаева С.А. Засухи на территории Татарской АССР. Казань: Изд-во Казан ун-та, 1980. 140с.

9. Мустафина А.Б. Основные особенности влияния погодных условий на урожайность зерновых культур в Республике Татарстан // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2019. №2 (372). С. 144-153.
10. Переведенцев Ю.П., Исмагилов Н.В., Шерстюков Б.Г. и др. Современные изменения климата Республики Татарстан // Вестник Воронеж. Гос. Ун-та Серия: География. Геоэкология. 2008. №2. С. 13-23.
11. Переведенцев Ю.П., Соколов В.В., Наумов Э.П. Климат и окружающая среда Приволжского федерального округа. Казань: Казан. ун-т, 2013. 224 с.
12. Переведенцев Ю.П., Хабутдинов Ю.Г., Гизатуллин Р.Д., Алтухова А.В. Агрометеорологические условия Приволжского федерального округа // Российский журнал прикладной экологии. 2017. Вып. 1. С. 3-8.
13. Переведенцев Ю.П., Вильфанд Р.М., Шанталинский К.М. и др. Мониторинг и прогнозирование климатической изменчивости на территории Приволжского федерального округа // Метеорологические исследования и прогнозы. 2019. №1 (371). С. 67-94.
14. Мещерская А.В., Голод М.П. Каталоги аномальности зим на территории России // Труды ГГО. 2015. Вып. 579. С. 129-161.
15. Педь Д.А. Об определении дат устойчивого перехода температуры воздуха через определенные значения // Метеорология и гидрология. 1951. №10. С. 38-39.

MODERN CHANGES OF TATARSTAN CLIMATE AND THEIR IMPLICATIONS FOR AGRICULTURE.

Yu.P. Perevedentsev¹, K.M. Shantalinsky¹, V.V. Guryanov¹, T.R.
Aukhadeev¹

¹Kazan Federal University, Kazan, ypereved@kpfu.ru

Summary: climate change and the dynamics of agro-climatic resources in the Republic of Tatarstan in recent decades are considered. In connection with an increase in air temperature in the region, there is an increase in the length of the growing season, an increase in the sum of positive temperatures, and the characteristics of moisture are changed, which affects the productivity of crops. The probability of extreme manifestations of climate change is estimated.

Keywords: climate, agroclimatic indicators, air temperature, normalized anomaly, temperature transition dates, aridity, humidity.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ АГРОЭКОЛОГИЧЕСКОГО УРОВНЯ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО УРОЖАЯ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В СТЕПНОЙ ЗОНЕ УКРАИНЫ

Дронова Е.А.¹, Дронов Р.А.²

¹ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», Москва, helena_dronova@mail.ru

² Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования МИРЭА – Российский технологический университет

Аннотация: приводится анализ расчета потенциального урожая озимой пшеницы в степной зоне Украины в среднемноголетних условиях вегетации с учетом агрохимических особенностей основных типов почв зоны. По проведенным расчетам потенциальный урожай озимой пшеницы на почвах юга Украины может составлять до 56 ц/га.

Ключевые слова: потенциальный урожай, озимая пшеница, моделирование, типы почв

Вступление. Изучение агроэкологической обеспеченности формирования урожая сельскохозяйственных культур с учетом особенностей конкретных территорий имеет важное научное и практическое значение. На современном этапе в связи с изменением типа ведения сельского хозяйства актуально рациональное использование почвенно-климатических ресурсов.

Целью оценки производительности озимой пшеницы с учетом плодородия почв является установление возможного урожая культуры, который можно получить благодаря естественному или эффективному плодородию почв. То есть без внесения удобрений. Теоретической основой решения этой проблемы является математическое моделирование продуктивности агроэкосистем, которое составляет фундамент современной агрометеорологии и агроэкологии.

С помощью агроэкологической модели формирования потенциального урожая озимой пшеницы были рассчитаны приросты потенциального урожая по декадам вегетации, потенциальный урожай сухой массы за вегетационный период и урожай хозяйственно-полезной части растений озимой пшеницы.

Объекты и методы исследования. Модель формирования агроэкологического уровня потенциальной урожайности сельскохозяйственных культур основана на концепции максимальной продуктивности растений Х.Г. Тооминга и результатах математического моделирования формирования урожая растений А.М. Полевого [1-4].

Под агроэкологическим уровнем потенциальной урожайности понимают величину урожая, которая обусловлена приходом энергии фотосинтетической активной радиации (ФАР) при оптимальном влаго-температурном режиме, биологическими особенностями сельскохозяйственной культуры и плодородием почвы, на которой она выращивается.

Модель формирования агроэкологического уровня потенциальной урожайности сельскохозяйственных культур имеет блочную структуру и содержит пять блоков:

- блок входной информации;
- блок показателей солнечной радиации;
- блок функций влияния фазы развития на продукционный процесс растений;
- блок плодородия почвы;
- блок агроэкологического уровня потенциальной урожайности.

Блок входной информации. Этот блок состоит из данных стандартных метеорологических и агрометеорологических наблюдений и содержит в себе все необходимые для выполнения расчетов характеристики. Они делятся на две группы:

Первая группа - средняя декадная температура воздуха, среднее за декаду количество часов солнечного сияния, сумма осадков за декаду, количество дней в расчетной декаде.

Вторая группа - информация о баллах почвенного бонитета, содержание гумуса в почве.

Блок показателей солнечной радиации. Для расчета интенсивности суммарной солнечной радиации используется формула С.И. Сивкова.

Блок функций влияния фазы развития на продукционный процесс растений. В основе продукционного процесса растений лежит фотосинтез. Его интенсивность определяется фазой развития растений и условиями окружающей среды. Для расчета онтогенетической кривой фотосинтеза используется формула:

$$\alpha_{\Phi}^j = \exp \left[-\alpha_{\Phi} \left(\frac{TS_2 - \Sigma t_1}{10} \right)^2 \right] \quad (1)$$

где величина α_{Φ} находится по выражению,

$$\alpha_{\Phi} = \frac{-100 \cdot \ln \alpha_{\Phi}^0}{(\Sigma t_1)^2}, \quad (2)$$

где α_{Φ} - онтогенетическая кривая фотосинтеза, отн. ед.;

α_{Φ}^0 - начальное значение онтогенетической кривой фотосинтеза, отн. ед.;

Σt_1 - сумма эффективных температур воздуха от даты всходов до расчетного периода, при которых наблюдается максимальная интенсивность фотосинтеза растений, °С;

TS_2 - сумма эффективных температур воздуха, °С.

Блок плодородия почвы. Плодородие почвы характеризуется содержанием в ней гумуса:

$$F_{G_{um}} = \frac{G_{um}}{G_{um_{opt}}} , \quad (3)$$

где $F_{G_{um}}$ - отношение содержания гумуса в почве к величине оптимального для выращивания сельскохозяйственной культуры содержания гумуса в почве, отн. ед.

G_{um} - содержание гумуса в почве, %;

$G_{um_{opt}}$ - содержание гумуса в почве, который обеспечивает высокий уровень урожайности сельскохозяйственной культуры в зависимости от типа почв, %.

Функция влияния содержания гумуса в почве определяется по формуле О.С. Образцова для расчета обеспеченности растений элементами минерального питания:

$$FW_{G_{um}} = (F_{G_{um}})^{1,35} \cdot \exp[1,1 \cdot (1 - F_{G_{um}})] , \quad (4)$$

где $FW_{G_{um}}$ - функция влияния содержания гумуса в почве на формирование урожая, отн. ед .

Блок агроэкологической категории урожайности - потенциальной урожайности. Увеличение потенциальной урожайности общей биомассы за декаду определяется в зависимости от интенсивности фотосинтетической активной радиации (ФАР) и биологических особенностей культуры с учетом изменения способности растений к фотосинтезу в течение вегетации, а также плодородия почвы:

$$\frac{\Delta ПУ^j}{\Delta t} = \alpha_{\Phi}^j \frac{\eta \cdot Q_{\text{фар}}^j \cdot dv^j}{q} B_{\text{пл}} FW_{G_{um}} 10, \quad (5)$$

где $\frac{\Delta ПУ}{\Delta t}$ - прирост потенциального урожая общей биомассы за декаду, г/(м²дек.);

α_{Φ} - онтогенетическая кривая фотосинтеза, отн. ед.;

η - коэффициент полезного действия (КПД) посевов, отн. ед.;

$Q_{\text{фар}}$ – средняя декадная сумма ФАР, кал / (см²д);

$B_{\text{пл}}$ - балл почвенного бонитета (балл плодородия почвы), отн. ед.;

q - калорийность сельскохозяйственной культуры, ккал / г;

10 - безразмерный коэффициент.

Уровень потенциального урожая хозяйственно-полезной части урожая (зерна, корнеплодов, клубнеплодов) при его стандартной влажности определяется по выражению:

$$ПУ_{\text{хоз}} = ПУ \cdot K_{\text{хоз}}^{ПУ} \cdot 0,1 V_{\text{хоз}} \quad (6)$$

где $ПУ_{\text{хоз}}$ - потенциальный урожай хозяйственно-полезной части урожая при его стандартной влажности, ц / га;

$K_{хоз}^{ПУ}$ - доля хозяйственно-полезной части урожая в общей массе потенциального урожая, отн. ед.;

$V_{хоз}$ - стандартная влажность хозяйственно-полезной части урожая (зерна, корнеплодов, клубнеплодов), отн. ед.

Повышение уровня ПУ обеспечивается главным образом путем селекции новых сортов, которые будут иметь наибольший уровень урожайности за счет эффективного использования солнечной радиации.

Формулы (1) - (6) позволяют определить агроэкологическую категорию урожайности сельскохозяйственных культур, которая формируется под влиянием почвенно-климатических условий исследуемой территории.

Обсуждение результатов. Зональными почвами южной Степи Украины являются черноземы обычные, южные и каштановые почвы.

Эти почвы отличаются разным потенциальным плодородием. Такое различие обеспечивается, прежде всего, благодаря природным свойствам почв: содержанием гумуса, гранулометрическим составом, мощностью гумусового горизонта [5].

Наиболее плодородными среди описываемых подтипов являются черноземы обыкновенные. Мощность гумусового слоя их составляет от 50 см до 100 см, при этом содержание гумуса достигает 6-9%. Количество гуминовых кислот на обыкновенных черноземах превышает содержание фульвокислот. Также содержание ионов Ca^{2+} значительно превышает содержание ионов Mg^{2+} что позитивно отражается на структуре почвы.

Черноземы южные имеют меньший по мощности гумусовый горизонт (от 25-30 см до 60-70 см), при более низком содержании гумуса - 4-5%. Содержание гуминовых и фульвокислот примерно одинаковое, реакция почвенного раствора в верхних горизонтах почвы нейтральная, $pH = 7.0-7.3$, а нижние горизонты с глубины 60-70см часто имеют слабощелочную реакцию с $pH = 7.5 - 8.0$. Бал почвенного плодородия на этих подтипах черноземов составляет 0.6.

Темно-каштановые почвы отличаются значительно меньшим плодородием по сравнению с черноземами. Это проявляется и в мощности гумусового горизонта (до 40 см) и в содержании гумуса - 1.5% - 3.5%. Кроме этого, каштановые почвы характеризуются слабощелочной реакцией уже начиная с поверхности почвы. Соответственно ниже и балл почвенного плодородия этих почв - 0.5.

Для расчетов потенциального урожая на черноземах обыкновенных нами использовались средние многолетние показатели роста и развития озимой пшеницы в зоне распространения этих почв. В среднем многолетнем возобновление вегетации озимой пшеницы на исследуемой территории происходит в третьей декаде марта. Полная спелость отмечается в среднем многолетнем 10 июля. Таким образом, продолжительность периода вегетации составляет 113 дней. Средняя температура воздуха за период вегетации составляет $15.3^{\circ}C$, сумма эффективных температур - $1161^{\circ}C$, сумма осадков - 221 мм. ГТК составляет 1.3.

Согласно проведенным расчетам, самый большой прирост потенциального урожая на черноземах обыкновенных, согласно проведенным расчетам, приходится на шестую-восьмую декады. Он составляют 163, 200 и 184 г / м² соответственно.

Потенциальный урожай сухой массы растений озимой пшеницы на черноземах обыкновенных в средних многолетних условиях составил 1460 г/м², а хозяйственно-полезной части - 56.8 ц / га.

Каштановые почвы распространены в южной подзоне сухих степей под полынно-типчаково и полынно-типчаково-ковыльной растительностью на лёссовидных суглинках. Каштановые почвы глинистого и суглинистого гранулометрического состава в верхнем горизонте содержат 2,5-4,0% гумуса, а легкосуглинистого и супесчаного - 1,5-2,5%. В составе гумуса содержится примерно равное количество фульвокислот и гуминовых кислот, нередко фульвокислоты преобладают над гуминовыми кислотами. Каштановые почвы используются под пастбища, сенокосы и пашни. Из сельскохозяйственных культур выращиваются прежде всего пшеница, кукуруза, просо, подсолнечник. Почвы нуждаются в мероприятиях по накоплению и сохранению влаги, а также внесению органических и минеральных удобрений.

В среднем многолетнем продолжительность периода вегетации озимой пшеницы в зоне распространения каштановых почв составляет 103 дня при средней температуре воздуха за весенне-летний период вегетации 15.4 ° С. Сумма осадков, которая выпадает за вегетационный период озимой пшеницы составляет 194 мм, а рассчитанный ГТК - 1.2.

На темно-каштановых почвах максимальные приросты потенциального урожая также приходятся на шестую-восьмую декады вегетации, что соответствует фазе максимального развития листовой поверхности растений - образование нижнего узла соломины. Но максимальный прирост урожая на темно-каштановых почвах меньше, чем на черноземах обыкновенных -161 г/м² против 200 г/м². В целом, потенциальный урожай сухой биомассы озимой пшеницы составил 975 г/м². А потенциальный урожай хозяйственно-полезной части урожая - 37 ц/га.

Черноземы южные формировались под типчаково-ковыльной растительностью в южной части степной зоны, характеризуются дефицитом влаги. Почвы обладают высоким естественным плодородием, широко используются в сельском хозяйстве.

Средняя многолетняя дата возобновления вегетации озимой пшеницы в зоне распространения черноземов южных отмечается 22 марта, дата полной спелости - 7 июля. Продолжительность периода весенне-летней вегетации составляет 108 дней.

В среднем многолетнем средняя температура воздуха за период весенне-летней вегетации составляет 14.3 °С, при этом накапливается 1013 °С сумм эффективных температур, количество осадков, накопившейся за период вегетации составляет 159 мм, ГТК - 1.0.

Согласно проведенным расчетам в первую половину вегетации наблюдается интенсивный прирост сухой биомассы посевов, что объясняется

быстрым нарастанием вегетативной массы растений озимой пшеницы, особенно листовой поверхности, затем накопления снижается. Максимальные приросты сухой массы наблюдаются в шестой - седьмой декаде, что соответствует фазам образования нижнего узла соломины и колошения потом, вместе со снижением интенсивности фотосинтеза снижаются и приросты сухой биомассы. Они составляют 174 - 196 г/м² в декаду.

В целом за период вегетации до момента полной спелости накапливается 1200 г/м² сухого вещества, что соответствует 45.6 ц/га хозяйственно-полезной части урожая (зерна).

В табл. 1 приведена сравнительная характеристика потенциального урожая озимой пшеницы, полученного на различных почвах.

Таблица 1

Сравнительная характеристика потенциального урожая, полученного на различных типах почв

Тип почвы	$\Delta \text{ПУ}_{\text{max}}$ г/м ²	ПУ _{сухой массы} , г/м ²	ПУ _{хоз} , ц/га
Чернозем обыкновенный среднесуглинистый	200	1460	56,8
Чернозем южный тяжелосуглинистый	196	1200	45,6
Темно-каштановые тяжело суглинистые почвы	160	975	37,0

Выводы. Сравнивая полученные результаты, можно видеть, что наибольшие приросты потенциального урожая можно получить на черноземах обыкновенных до 200 г/м² за декаду. На этих же почвах могут быть получены и наибольшие потенциальные урожаи озимой пшеницы- до 57 ц/га.

На черноземах южных при средних многолетних условиях вегетации культуры можно ожидать декадные приросты потенциального урожая до 196 г/м², а потенциальный урожай до 45.6 ц/га.

Наименьшее потенциальное плодородие имеют темно-каштановые почвы. На них можно ожидать получение 160 г/м² приростов сухой биомассы потенциального урожая и 37 ц/га зерна.

В среднем многолетнем в зоне южной Степи Украины средний урожай озимой пшеницы составляет около 32 ц/га, поэтому для повышения урожайности есть потенциал, который может быть связан с более полным использованием почвенных условий.

Библиографический список

1. Полевой А.Н. Теория и расчет продуктивности сельскохозяйственных культур. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. - 175 с.
2. Полевой А.Н. Сельскохозяйственная метеорология. – С-П.: Гидрометеиздат, 1992.
3. Полевой А.М. Моделирование гидрометеорологического режима и продуктивности агроэкосистем. – Киев: КНТ, 2007

4. Тооминг Х.Г. Экологические принципы максимальной продуктивности посевов. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 264с.
5. Ганжара Н.Ф., Почвоведение.- М.: Агроконсалт, 2001. - 392 с.:

SIMULATION OF THE FORMATION OF AGRO-ECOLOGICAL LEVEL OF POTENTIAL YIELD OF WINTER WHEAT IN THE STEPPE ZONE OF UKRAINE

Dronova E., Dronov R.

An analysis calculating the potential yield of winter wheat in the south of Ukraine in terms of mean growing season-based agrochemical characteristics of the main types of soil zone. According to our calculations, the potential yield of winter wheat on soils of the south of Ukraine may take up to 56 kg/ha.

Key words: a potential crop, winter wheat, modeling, soil types

ОЦЕНКИ СОВРЕМЕННЫХ ТЕНДЕНЦИЙ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА ТЕРРИТОРИИ ПЕСЧАНОКОПСКОГО РАЙОНА РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ.

Яловенко О.В.

*Российский государственный аграрный университет - Московская
сельскохозяйственная академия им. Тимирязева, Москва,
Olyayalovenko@gmail.com*

Аннотация: Приводится оценка современных тенденций изменения климата на территории Ростовской области. Приводится количественная оценка изменения условий тепло и влагообеспеченности территории применительно к возделыванию озимой пшеницы.

Ключевые слова: тенденции изменения климата, теплообеспеченность, влагообеспеченность, ГТК, сумма активных температур, продолжительность вегетационного периода.

Введение. Ростовская область является одной из ведущих в аграрном секторе страны. В последние годы в Ростовской области обновляли рекорды валового сбора зерна, достигнув отметки в 13,5 миллионов тонн. Однако, вместе с тем, очень большое негативное влияние на получение урожаев зерновых культур, оказывает развитие засушливых и суховейных явлений. В последние годы частота и интенсивность их, к сожалению, увеличивается. Это приводит к значительному снижению урожаев и потере их качества.

Объекты и методы исследований. Теплообеспеченность определяет границы возможного возделывания конкретных сельскохозяйственных культур в соответствии с потребностью растений в тепле. При достаточной теплообеспеченности лимитирующим фактором для формирования урожая являются условия влагообеспеченности. На формирование конечной продуктивности возделываемых культур оказывают большое влияние

агротехнические и мелиоративные мероприятия, которые в свою очередь влияют на тепловые и водные ресурсы вегетационного периода.

Для оценки возможности возделывания конкретных сельскохозяйственных культур рассчитывают обеспеченность определенных величин сумм температур исследуемой территории.

Установлено, что при обеспеченности теплом возделываемых культур менее чем на 50 % размещение посевов на такой территории не целесообразно. При обеспечении теплом на 50-70% выращивание культур возможно, хотя неизбежно проведение дополнительных агротехнических мероприятий для создания лучших термических условий для растений. Обеспеченность посевов теплом на 80-90% считается хорошей, поскольку экономический риск составляет всего 10-20%.

Для характеристики обеспеченности культуры теплом, помимо показателей средних сумм температур выше 5 или 10°C за вегетационный период в агроклиматической практике используют такие показатели за отдельные межфазные периоды развития растений или за декады, месяцы, сезоны. Информативной характеристикой термического режима исследуемой территории является средняя многолетняя температура самого теплого месяца года (обычно это июль), часто используемая в качестве показателя сельскохозяйственных возможностей района.

Обсуждение результатов. Анализ среднемесячной температуры воздуха за последнее десятилетие 2008–2017 гг. и ее сравнение с предшествующим десятилетием показал, что температура ранней весной (март–апрель) изменилась незначительно от –0,2 до 0,2 °С. Рост майской составил 0,8 °С. В летние месяцы температура также увеличилась на 1,3 °С в июне, 0,7 °С в июле и 0,8 °С в августе (табл. 1, рис. 1).

Таблица 1

Отклонения значений средней температуры воздуха за январь(I)–декабрь(XII) за период 2008–2017 гг. относительно средних значений за период 1998–2007 гг. ($\Delta T = T_{08-17} - T_{98-07}$, °С)

МС	Отклонения средней температуры воздуха (°С) за месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Гигант	–1,6	–0,2	0,1	–0,3	0,9	1,7	0,7	0,9	–0,1	–0,7	0,5	0,7
Красногвардейское	–1,3	–0,4	0,2	–0,2	0,9	1,0	0,8	0,7	0,0	–0,6	0,4	0,7
Белая Глина	–1,6	–0,2	0,1	–0,5	0,5	0,9	0,6	0,8	0,1	–0,5	0,5	0,8
Городовиковск	–1,5	–0,5	0,2	0,1	0,9	1,5	0,7	0,6	–0,3	–0,9	0,3	0,7
Песчанокопский р-н	–1,5	–0,3	0,2	–0,2	0,8	1,3	0,7	0,8	–0,1	–0,7	0,4	0,7

Рисунок 1 наглядно демонстрирует повышение средней температуры воздуха в летние месяцы. Основным климатическим показателем, определяющим теплообеспеченность и возможность возделывания различных видов и сортов сельскохозяйственных растений, их районирование, служат суммы активных и эффективных температур. В агроклиматологии принято оценивать возможность возделывания сельскохозяйственных растений по наличию необходимого минимума суммы активных температур,

обеспечивающих ежегодное (или достаточно частое) созревание растений. Для зерновых культур показателем созревания зерна служит восковая спелость, когда зерно приобретает необходимые физиологические и технологические качества и возможно скашивание растительной массы в валки с последующим их обмолачиванием.

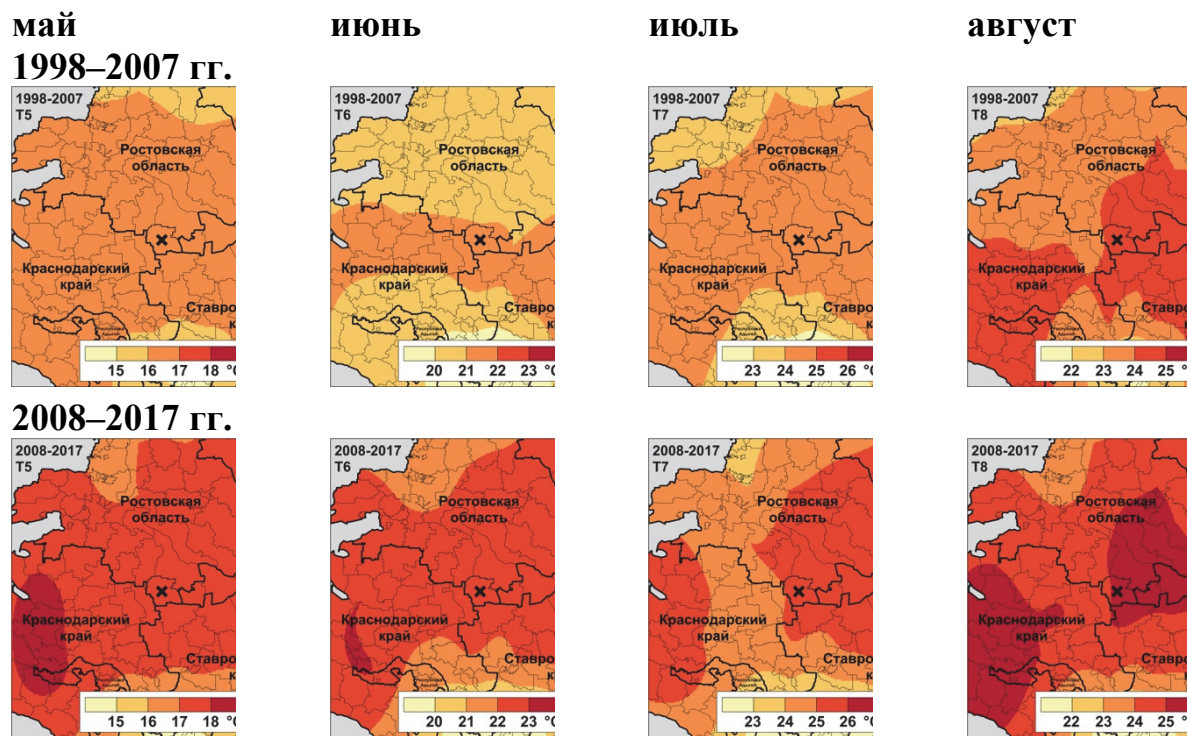


Рис. 1. Средняя температура воздуха за май-август для двух периодов 1998–2007 и 2008–2017 гг.

По данным таблицы 2 можно сделать выводы о том, что за 20 лет (1998-2017 гг.) на территории Песчанокопского района сумма активных температур за период с температурами выше 10°C в среднем составляла 3742°C . Сумма активных температур 3453°C была минимальной за исследуемый период в 2004 году; максимальное же значение активных температур наблюдалось в 2012 г. и составляло 4360°C .

Период активной вегетации в среднем продолжается 192 дня, а минимальная его продолжительность 179 дней происходила также в 2011 году и максимальная – 216 дней в 2012 г.

Знание особенностей устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через различные градации весной и осенью необходимо, так как они определяют наступление этих сезонов в природе. С переходом температур через 10°C начинается период активной вегетации большинства сельскохозяйственных культур.

По данным таблицы 2 можно сделать вывод, что устойчивый переход через 10°C в среднем начинается 10 апреля, а заканчивается 18 октября. Наиболее ранняя дата установления устойчивого перехода весной – 26 марта в

2008 г., а осенью – 5 октября в 2016 г. Самая поздняя дата установления устойчивого перехода 23 апреля в 2009 г. весной и 3 ноября в 2012 г. осенью.

Оценка условий влагообеспеченности территории Песчанокского района.

Учет ресурсов естественного увлажнения дает возможность эффективно использовать земельные ресурсы. Атмосферные осадки, а также внутрипочвенная конденсация атмосферной влаги и процесс внутрипочвенной сорбции атмосферной влаги являются основными источниками увлажнения почвы [3].

Данные многолетних наблюдений за осадками являются одним из основных показателей ресурсов естественного увлажнения территории. Средние суммы осадков за год, за вегетационный период, за теплый или холодный его периоды, за вегетационный период или отдельные подпериоды, за месяц или декаду используются, чтобы оценить условия увлажнения конкретной территории.

Таблица 2

Агрометеорологические условия теплообеспеченности вегетационного периода территории Песчанокского района Ростовской области за период 1998-2017 гг.

Год	Показатель			
	$\Sigma T_{10}, ^\circ\text{C}$	$N_{10}, \text{сут.}$	$d_{10_1}, \text{ДД.мм}$	$d_{10_2}, \text{ДД.мм}$
1998	3937	199	6 апреля	21 октября
1999	3773	201	2 апреля	19 октября
2000	3631	194	1 апреля	11 октября
2001	3632	191	3 апреля	10 октября
2002	3556	186	19 апреля	20 октября
2003	3501	187	20 апреля	23 октября
2004	3453	195	13 апреля	24 октября
2005	3798	196	6 апреля	18 октября
2006	3858	203	6 апреля	25 октября
2007	3988	189	21 апреля	26 октября
2008	3913	215	26 марта	27 октября
2009	3626	190	23 апреля	28 октября
2010	3930	183	14 апреля	13 октября
2011	3510	179	20 апреля	14 октября
2012	4360	216	2 апреля	3 ноября
2013	3654	185	8 апреля	9 октября
2014	3679	180	13 апреля	10 октября
2015	3696	180	15 апреля	11 октября
2016	3595	186	3 апреля	5 октября
2017	3753	188	13 апреля	17 октября
Среднее значение	3742	192	10 апреля	18 октября
Min	3453	179	26 марта	5 октября
Max	4360	216	23 апреля	3 ноября

Атмосферные осадки являются важнейшей приходной частью водного баланса. Значительную роль имеет характер выпадения осадков для формирования благоприятных условий влагообеспеченности. Осадки, которые выпадают в течение длительного периода в виде дождя слабой интенсивности, больше увлажняют почву, чем тоже самое количество влаги, которое выпадает в течение короткого времени в виде дождя сильной интенсивности. Главным отличием является не только поверхностный сток, но и то, что при не интенсивных, морозящих дождях почва вследствие сорбционных процессов получает воды значительно больше, чем попадает в дождемеры.

Нами были проанализированы данные об осадках в исследуемом районе и построены карты, которые наглядно демонстрируют изменение влажностного режима в Песчанокопском районе, за период с 1998 по 2017 гг. (рис. 2)

Аномалии сумм осадков за последние 10 лет (2008–2017 гг.) разнонаправлены по знаку и величине по отдельным месяцам. Аномалии осадков весеннего периода положительны и приблизительно на 30 % превышают соответствующие величины за 1998–2007 гг. Аномалии летних и осенних осадков отрицательны и составляют приблизительно –10 % и –20 % соответственно. Максимальные отрицательные аномалии за летний период наблюдались в августе (–27 %) (табл. 3, рис. 2).

Таблица 3

**Отклонения сумм осадков за январь(I)–декабрь(XII)
за период 2008–2017 гг. относительно средних значений за 1998–2007 гг.**
($\Delta R = (R_{08-17} - R_{98-07}) / R_{98-07} \times 100\%$, %)

МС	Отклонения суммы осадков (%) за месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Гигант	21	–24	63	–7	34	–8	55	–39	–18	–21	–36	2
Красногвардейское	43	–38	70	11	64	–10	21	–35	–9	–27	–38	24
Белая Глина	23	–48	14	–2	83	–18	–3	–15	2	–19	–44	3
Городовиковск	41	–40	51	–11	68	–41	82	–17	–3	–26	–46	24
Песчанокопский р-н	32	–38	50	–2	62	–19	39	–27	–7	–23	–41	13

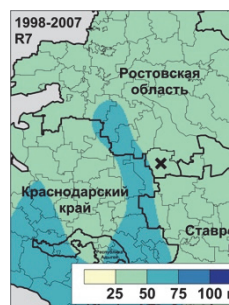
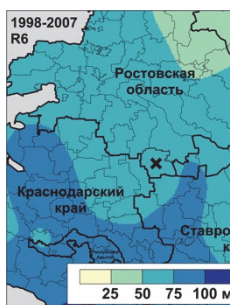
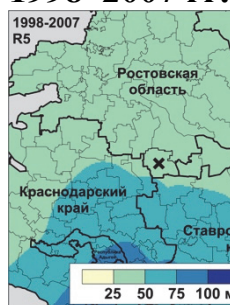
Май

Июнь

Июль

Август

1998–2007 гг.



2008–2017 гг.



Рис. 2. Сумма осадков за май–август для двух периодов 1998–2007 и 2008–2017 гг.

В среднем значение ГТК за вегетационный период с температурами выше 5 °С – 0,8. В 1998 году наблюдалось наименьшее значение ГТК и составляло всего 0,4, а в 2016 году значение ГТК было максимальное – 1,2.

Индекс сухости по Песчанокопскому району в среднем составляет 1,3, при этом его минимальное значение наблюдалось в 2016 году – 0,9, а максимальное в 2007 – 2,0.

В таблице 4 приведены показатели влагообеспеченности на территории Песчанокопского района за 20 лет.

В среднем сумма осадков за вегетационный период с температурами выше 5 °С составляет 376 мм, при этом минимальная сумма осадков была в 1998 году и составляла 208 мм, а максимальная в 2016 – 537 мм.

Таблица 4

Показатели влагообеспеченности за 1998-2017 гг. на территории Песчанокопского района.

Годы	ΣR_5 , мм	ГТК ₅ , ед.	ИС, ед.	ΔE , мм	КОВ, ед.
1998	208	0,4	1,6	668	0,28
1999	355	0,7	1,3	643	0,32
2000	417	1,1	1,2	532	0,43
2001	390	0,7	1,3	582	0,38
2002	480	1,0	1,0	634	0,38
2003	460	1,0	1,1	612	0,37
2004	480	1,0	1,0	558	0,46
2005	408	0,8	1,2	597	0,39
2006	359	0,7	1,3	643	0,36
2007	239	0,5	2,0	675	0,28
2008	373	0,8	1,5	625	0,35
2009	366	0,8	1,3	601	0,36
2010	340	0,5	1,3	646	0,33
2011	364	0,9	1,1	559	0,37
2012	368	0,8	1,8	645	0,37
2013	400	0,7	1,2	614	0,37
2014	327	0,6	1,4	608	0,35
2015	339	0,7	1,4	610	0,34

2016	537	1,2	0,9	535	0,46
2017	321	0,6	1,5	650	0,34
Среднее	376	0,8	1,3	612	0,36
Min	208	0,4	0,9	532	0,28
Max	537	1,2	2,0	675	0,46

Средний дефицит испарения в Песчанокопском районе за 20 лет составляет 612 мм. Минимальное его значение (532 мм) встречалось в 2000 году, а максимальное в 2007 году – 657 мм.

Среднее значение коэффициента обеспеченности влагой – 0,36. В 1998 наблюдалось его наименьшее значение и составляло – 0,28, а в 2004 максимальное – 0,46.

Оценка влагозапасов. Запасы продуктивной влаги в почве являются важнейшим комплексным агроклиматическим показателем увлажнения сельскохозяйственных посевов, поскольку представляют собой результат взаимодействия погодных, почвенных условий, особенностей естественного растительного покрова и проводимых агротехнических мероприятий на полях. Этот интегральный показатель включает атмосферные осадки, их количество и режим выпадения, различные виды стока, испарение и влагообмен в почве по вертикали характеризует реальные ресурсы влаги, доступные для растений. Продуктивная влага – это часть почвенной влаги, используемой растением в процессе жизнедеятельности, синтеза органического вещества и формирования урожая. Нижним пределом продуктивной влаги является величина влажности устойчивого завядания. Количество продуктивной влаги или ее запасы выражают в мм толщины водного слоя. В таком виде они сопоставимы с данными по осадкам и испарению [2].

Количественные значения продуктивной влаги (обычно в слоях почвы 0-10, 0-20, 0-50, 0-100, 0-150 см), как комплексный агроклиматический показатель увлажнения.

В таблице 5 приведены значения продуктивной влаги в слоях почвы 0-20 см и 0-100 см на территории Песчанокопского района за период 1998 – 2017 гг. на период возобновления вегетации, в мае и июне. Среднее значение запасов продуктивной влаги во время возобновления вегетация составляет 28 мм в слое от 0-20 см, при этом минимальное значение было в 2008 году и составляло 21 мм, а максимальное в 2005 – 38 мм. В мае среднее значение запасов продуктивной влаги в слое от 0-20 см составляет 9 мм, при минимальном значении в 1 мм в 2003 и 2007 гг., а максимальном в 20 мм в 2016 году. 4 мм – средние запасы продуктивной влаги в июне месяце в слое 0-20 см, а минимальное значение составляет 0 мм, что наблюдалось в 1998 и 2009 годах, при этом максимальное значение 9 мм в 2001 и 2004 гг.

**Показатели влагообеспеченности за 1998-2017 гг. на территории
Песчанокопского района**

Годы	W _{20_BB} , мм	W _{20_V} , мм	W _{20_VI} , мм	W _{100_BB} , мм	W _{100_V} , мм	W _{100_VI} , мм
1998	33	8	0	139	69	31
1999	25	13	1	98	54	19
2000	27	10	7	108	62	33
2001	26	12	9	104	60	36
2002	30	3	8	123	46	35
2003	32	1	1	132	58	36
2004	34	9	9	145	77	46
2005	38	9	1	145	74	34
2006	29	10	5	118	60	29
2007	28	1	3	112	48	30
2008	21	13	3	82	52	22
2009	23	9	0	84	51	20
2010	32	13	1	119	67	27
2011	22	13	8	87	57	32
2012	26	7	6	103	49	29
2013	27	3	5	99	43	30
2014	28	13	3	116	68	29
2015	23	10	7	93	53	28
2016	24	20	5	96	68	27
2017	30	9	3	129	66	30
Среднее	28	9	4	112	59	30
Min	21	1	0	82	43	19
Max	38	20	9	145	77	46

В среднем запасы продуктивной влаги на момент возобновления вегетации в метровом слое почвы составляет 112 мм, при минимальном значении в 82 мм в 2008 году и. максимальном 145 мм в 2005 и 2004 гг. Среднее значение запасов продуктивной влаги в слое почвы от 0-100 см в мае месяце составляет 59 мм, при этом минимальное значение встречалось в 2013 году – 43 мм, а максимальное в 2004 году – 77 мм. 30 мм – средние запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы в июне месяце; минимальное значение – 19 мм в 1999 году, а максимальное 46 мм в 2004 году.

Библиографический список

1. Гордеев А. В., Клещенко А. Д., Черняков Б. А., Сиротенко О. Д. Биоклиматический потенциал России: теория и практика // Товарищество научных изданий КМК. – М.: ИМ, 2006. – 510 с.
2. Грингоф И.Г., Шамен А.М. Толковый словарь по сельскохозяйственной метеорологии – Спб.: Гидрометеиздат, 2002. 471 с.
3. Колосков П.И. О биоклиматическом потенциале и его распределении на территории СССР // Труды НИИАК. -1953. –Вып.23.- С.90-111.

ESTIMATION OF MODERN CLIMATE CHANGE TENDENCIES IN THE TERRITORY OF THE PESCHANOKOPSKY DISTRICT OF THE ROSTOV REGION

Yalovenko O.V.

Abstract: *An assessment of current trends in climate change in the territory of the Rostov region is given. A quantitative assessment of changes in the conditions of heat and moisture supply of the territory is given in relation to the cultivation of winter wheat.*

Key words: *climate change trends, heat supply, moisture supply, SCC, the sum of active temperatures, the duration of the growing season.*

УДК: 551. 586; 631.675

УЯЗВИМОСТЬ К ИЗМЕНЕНИЮ КЛИМАТА ОРОШАЕМОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ В ТУРКЕСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

С. С. Байшоланов¹, Б. О. Баймагамбетов²

¹Международный научный комплекс «Астана», Z05H0T3, Республика Казахстан, Нур-Султан, пр. Кабанбай батыра, 8 saken_baisholan@mail.ru

²Алматинский филиал РГП «Казгидромет», Республика Казахстан, Алматы, пр. Абая, 32 berik.baimagambetov@gmail.com

Аннотация: *проведена агроклиматическая оценка оросительной нормы сельскохозяйственных культур на юге Казахстана, на примере Туркестанской области, и прогнозировано их изменение к 2030 году. Рассчитаны тепло- и влагообеспеченность вегетационного периода, оросительная норма сельскохозяйственных культур в 2 районах Туркестанской области, в условиях современного и ожидаемого к 2030 году климатов. Ожидаемое изменение климата приведет к увеличению ресурсов тепла и ухудшению условий увлажнения, к росту оросительной нормы сельскохозяйственных культур в среднем на 4%.*

Ключевые слова: *сельское хозяйство, орошаемое земледелие, оросительная норма, сельскохозяйственные культуры, вегетационный период, суммарное водопотребление, климат, изменение климата.*

Актуальность. На юге Казахстана сельскохозяйственные культуры возделываются в условиях орошения на площади более 1,4 млн. га, из них около 0,5 млн. га находится в Туркестанской области [1]. В условиях потепления климата и дефицита водных ресурсов одним из важных задач является заблаговременная оценка ожидаемых изменений в условиях возделывания сельскохозяйственных культур при орошении.

Объекты и методы исследования. В работе были использованы данные метеорологических станций (МС) РГП «Казгидромет» Министерства энергетики Республики Казахстан (МЭ РК) за период 1991–2018 гг.

Многолетние данные были обработаны общепринятыми методами статистической и климатологической обработки данных.

Для характеристики будущего климата были использованы вероятностные прогнозы средней месячной температуры воздуха и месячных сумм осадков на 2030 годы, подготовленные климатологами РГП «Казгидромет» МЭ РК. Ими использовалась ансамбль из 21 модели общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО), подготовленный в рамках 5-ой фазы Международного проекта сравнения (CMIP5). Основу расчетов составила группа сценариев антропогенных выбросов – Representative Concentration Pathways (RCP): RCP4.5 – изменение климата по сценарию стабилизации выбросов парниковых газов; RCP8.5 – изменение климата по сценарию с весьма высоким уровнем выбросов парниковых газов [2].

Оросительная норма – количество воды, которое необходимо дать при поливах сельскохозяйственной культуре за весь период вегетации. Величина оросительной нормы зависит от климатических и погодных условий, свойств почвы, особенностей растений и технологии их возделывания.

В 2016 году в Казахстане была утверждена «Методика по разработке удельных норм водопотребления и водоотведения», где приведены значения оросительных норм нетто основных видов сельскохозяйственных культур по природным зонам и почвенно-гидрогеологическим областям [3]. Здесь значения норм орошения были даны в обобщённом виде. Например, яровые зерновые культуры были объединены в одну группу и не учитывались их скороспелость.

Существуют множество методик расчёта оросительной нормы, но не все методики подходят для условий юга Казахстана.

Ранее нами для условий юга Казахстана была подобрана методика и построена схема расчета оросительной нормы сельскохозяйственных культур на основе метеорологических данных, применяемой при отсутствии данных по запасам влаги в почве и глубоком залегании грунтовых вод [4].

Для расчета оросительной нормы сельскохозяйственной культуры использовали формулу [5, 6]:

$$M = E_c - 10 \mu P_v - (W_n - W_k) - W_r, \quad (1)$$

где M – оросительная норма для планируемой урожайности культуры, $\text{м}^3/\text{га}$; E_c – суммарное водопотребление культуры, $\text{м}^3/\text{га}$; P_v – количество осадков, выпавших за вегетационный период данной культуры, мм; μ – коэффициент использования осадков (в среднем равняется 0,7); 10 – коэффициент перевода осадков от мм в $\text{м}^3/\text{га}$; W_n – запас почвенной влаги (ЗПВ) в расчетном слое в начале вегетационного периода, $\text{м}^3/\text{га}$; W_k – ЗПВ в конце вегетационного периода, $\text{м}^3/\text{га}$; W_r – количество воды, поступающее в расчетный слой почвы по капиллярам от грунтовых вод за вегетационный период, $\text{м}^3/\text{га}$.

Суммарное водопотребление культуры, необходимое для формирования единицы урожая (E_{cl}) было определено на основе метеорологических данных по 3 методам и усреднялось [7, 8, 9]:

$$1) \text{ А.М. Алпатьева: } E_{c11} = K_6 \sum d \text{ (мм)} = 10 * K_6 \sum d \text{ (м}^3\text{/га)}; \quad (2)$$

$$2) \text{ И.А. Шарова: } E_{c12} = e \sum t + 4N \text{ (м}^3\text{/га)}; \quad (3)$$

$$3) \text{ Д.А. Штойко:} \quad (4)$$

$$\text{а) в начале вегетации: } E_{c13} = \sum t \left(0,1t_c - \frac{f}{100} \right) \text{ (м}^3\text{/га)},$$

$$\text{б) в основной период вегетации: } E_{c13} = \sum t \left[0,1t_c + \left(1 - \frac{f}{100} \right) \right] \text{ (м}^3\text{/га)}.$$

где E_{c1} – суммарное водопотребление культуры, необходимое для формирования единицы урожая, м³/га; K_6 – биологический коэффициент водопотребления культуры, в среднем равный 0,50; $\sum d$ – сумма средних суточных дефицитов влажности воздуха за период вегетации растений в мм (1 гПа $\approx$ 0,75 мм); 10 – коэффициент перевода дефицита влажности от мм на м³/га; e – коэффициент водопотребления культуры, рассчитанный на 1[°]С примерно равен 2 м³/°С; N – продолжительность вегетационного периода культуры, сутки; $\sum t$ – сумма суточных температур воздуха за период вегетации культуры, °С; t_c – средняя за вегетационный период суточная температура воздуха, °С; f – средняя за вегетационный период суточная относительная влажность воздуха, %.

Биологический коэффициент водопотребления (K_6) является специфичным для каждой культуры и в значительной степени зависит от почвенно–климатических условий. В лесостепной и степной зонах для большинства сельскохозяйственных культур в течение вегетации меняется от 0,50 до 0,75, и в среднем за вегетацию составляет 0,65. Например, для ячменя изменяется от 0,54 до 0,77, для картофеля – от 0,40 до 0,76 [10]. По данным Г.Г. Белобородовой в условиях Илейского Алатау для яровой пшеницы в среднем за вегетационный период равняется 0,56 [11]. Учитывая засушливость климата изучаемой территории, коэффициент водопотребления мы взяли 0,50.

Из–за отсутствия данных наблюдений по ЗПВ, для его расчета в начале вегетации использовалась сумма осадков за осенне–зимне–весенний период года, для расчета ЗПВ на конец вегетации – сумма осадков за весенне–летний период вегетации. Здесь необходимо учитывать, что во многих методиках коэффициент усвоения осенне–зимних осадков составляет 0,5, а весенних осадков – 0,6 [12, 13].

Согласно В.В. Колпакова коэффициент использования сельскохозяйственными культурами (включая испарения с почвы) осадков вегетационного периода (μ) составляет в сухие годы 0,75–0,80, в средне сухие годы 0,70–0,75, в средне влажные годы 0,60–0,65, во влажные годы – 0,55–0,60, а в средних условиях – 0,65–0,70. [8]. В формуле расчета оросительной нормы этот коэффициент берется 0,7. Поэтому ту часть осадков, которая остается в корнеобитаемом слое почвы (1 м) можно учитывать коэффициентом 0,3. В засушливых условиях юга Казахстана, при малых летних осадках, можно предполагать отсутствие инфильтрации осадков вглубь почвы ниже 1 метра. Поэтому для определения ЗПВ на конец вегетации можно учитывать весенне–летние осадки с коэффициентом 0,3.

Таким образом, $\Delta W = W_n - W_k$ ориентировочно можно рассчитать:

$$W_n \approx 0,5P_1 + 0,6P_2 \quad (5)$$

$$W_k \approx 0,3(0,5 P_1 + 0,6 P_2 + P_3) \quad (6)$$

$$\Delta W \approx 10(0,35P_1 + 0,42P_2 + 0,3P_3) \quad (7)$$

где $\Delta W = (W_n - W_k)$, м³/га; 10 – коэффициент перевода осадков от мм в м³/га; P_1 – сумма осадков за период октябрь–февраль, мм; P_2 – сумма осадков за период март – дата сева, мм; P_3 – сумма осадков за период посев – начало созревания, мм.

Учитывая глубокое залегание грунтовых вод в исследуемой нами территории (8–10 м) можно пренебречь величиной W_r .

Таким образом, в условиях отсутствия данных ЗПВ и глубокого залегания грунтовых вод (более 3 м), оросительную норму для планируемой урожайности культуры можно рассчитать по формуле:

$$M = Y_n * E_{c1} - 10 \mu P_v - 10(0,35P_1 + 0,42P_2 + 0,3P_3) \quad (8)$$

где Y_n – планируемая урожайность в т/га. Значение суммарного водопотребления для образования единицы урожая (E_{c1}) берется как среднее по трем методам (А.М. Алпатьева, И.А. Шарова, Д.А. Штойко):

$$E_{c1} = \frac{E_{c11} + E_{c12} + E_{c13}}{3} \quad (9)$$

Рассчитанная по формуле (8) оросительная норма показывают потребность культуры за вегетацию в воде на орошение из водоисточника, т.е. характеризует оросительную норму нетто (M_n). Она не учитывает потери воды на фильтрацию через стенки и дно каналов, утечку через соединения труб и т.д. Эти потери воды учитываются коэффициентом полезного действия (КПД) оросительных систем.

Результаты исследований. Для расчета оросительной нормы, вначале на основе среднесноголетних метеорологических данных определялись необходимые входные данные. При этом продолжительность вегетационного периода культур определялась на основе расчета их климатических дат сева и созревания.

Нами были рассмотрены 29 видов сельскохозяйственных культур, возделываемые на юге Казахстана. Для облегчения расчетов сельскохозяйственные культуры были объединены на группы по потребности к теплу, выраженной необходимой суммой суточных температур воздуха выше 10°C (группа А) и выше 15°C (группа Б) с шагом 200°C, учитывая скороспелость сортов (табл. 1).

Для оценки соответствия ресурсов климата требованиям культур нами были использованы значения сумм активных температур воздуха выше 10°C соответствующей 90%-ной обеспеченности и коэффициента увлажнения К соответствующей 80%-ной обеспеченности. При этом нижний предел сухого земледелия при 80% обеспеченности соответствует $K(80\%) = 0,40$ [14].

Оценка влагообеспеченности сельскохозяйственных культур проводилась по коэффициенту увлажнения K , предложенный С.С. Байшолановым [15], по аналогии коэффициентов увлажнения Л.С. Кельчевской, Д.А. Бринкена, С.А. Сапожниковой и Ю.И. Чиркова.

Таблица 1

**Распределение сельскохозяйственных культур на группы
по теплотребности**

Гр.	$\Sigma t, ^\circ\text{C}$	Культура (р–раннеспелый, с–среднеспелый, п–позднеспелый)
A1	12 00–1400	Ячмень–р, Ячмень–с, Оз. Ячмень–р, Оз. Ячмень–с, Овес–р, Гречиха–р, Гречиха–с, Оз. Рожь–р, Оз. Рожь–с, Горох–р, Картофель–р, Огурец–р, Огурец–с.
A2	1400–1600	Пшеница (м)–р, Пшеница (м)–с, Пшеница (т)–р, Оз. Пшеница–р, Оз. Пшеница–с, Оз. Пшеница–п, Оз. Рожь–п, Ячмень–п, Оз. Ячмень–п, Овес–с, Овес–п, Гречиха–п; Горох–с, Горох–п, Фасоль–р, Чина–р, Чечевица–р, Чечевица–с, Нут–р, Нут–с, Люпин–р, Бобы–р, Лен масличный–р, Лен масличный–с, Лен долгунец–р, Лен долгунец–с, Картофель–с, Капуста–р, Капуста–с, Огурец–п, Томат–р.
A3	1600–1800	Пшеница (м)–п, Пшеница (т)–с, Пшеница (т)–п, Просо–р, Просо–с; Фасоль–с, Чина–с, Нут–п, Люпин–с; Картофель–п, Капуста–п, Томат–с, Томат–п.
A4	1800–2000	Просо–п, Фасоль–п, Люпин–сп; Подсолнечник–р, Рапс–р.
A5	2000–2200	Соя–р, Люпин–п, Подсолнечник–с, Рапс–п, Сах. свекла–р.
A6	2200–2400	Кукуруза–р, Соя–р, Подсолнечник–п, Сах. свекла–с.
A7	2400–2600	Кукуруза–с, Сорго–р, Сорго–с, Соя–с, Сах. свекла–п.
A8	2600–2800	Кукуруза–сп, Сорго–сп, Соя–сп.
A9	2800–3000	Кукуруза–п, Сорго–п, Соя–п.
B1	2500–2700	Рис–р.
B2	2700–2900	Рис–с.
B3	2900–3300	Рис–п, Хлопчатник–р.
B4	3300–3600	Хлопчатник–с.
B5	3600–4000	Хлопчатник–п.

В таблице 2 по метеорологическим станциям (МС) представлены даты перехода через 10°C (D_{10}) и 15°C (D_{15}), климатические сроки сева яровых (D_{c1}) и теплолюбивых (D_{c2}) культур, суммы температур 90% обеспеченности (Σt_{10} (90%)), коэффициент увлажнения 80% обеспеченности (K (80%)).

Таблица 2

Агроклиматические показатели вегетационного периода

МС	D_{10}	D_{15}	D_{c1}	D_{c2}	Σt_{10} (90%)	K (80%)
Шардара	22.03	12.04	27.03	17.04	4715	0,27
Жетысай	20.03	10.04	25.03	15.04	4606	0,34

На территории исследуемых районов Туркестанской области климатические сроки сева яровых культур наступает в конце марта, теплолюбивых культур к середине апреля. Так как вегетационный период является сильно засушливым ($K=0,27-0,34$), здесь исключается сухое

земледелие, т.е. без орошения невозможно возделывание сельскохозяйственных культур.

На основе анализа соответствия термических ресурсов и теплотребности культур по МС Шардара и МС Жетысай были определены культуры и их сорта, обеспеченные теплом.

На основе среднеголетних данных МС было рассчитано суммарное водопотребление культур (E_c), по методикам И.А. Шарова, Д.А. Штойко и А.М. Алпатьева. Полученные результаты приведены в таблице 3.

Таблица 3

Суммарное водопотребление культуры (E_c , м³/га), необходимое для формирования единицы урожая (1 т/га)

Район	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
Шардаринский	3204	3738	4332	4912	5468	6075	6671
Мактаральский	3220	3774	4354	4935	5510	6127	6703
Район	A8	A9	B1	B2	B3	B4	B5
Шардаринский	7243	7823	7317	7909	9057	9432	10086
Мактаральский	7254	7810	7306	7887	9003	9363	9986

Далее была рассчитана оросительная норма нетто сельскохозяйственных культур (M_n , м³/га), необходимая для формирования единицы урожая (1 т/га) (табл. 4). Например, при современных средних климатических условиях для получения урожайности 1 т/га для культуры группы B1 (раннеспелый сорт риса) в Шардаринском районе необходима оросительная вода около 6000 м³/га, а в Мактаральском районе – 5700 м³/га.

Таблица 4

Оросительная норма нетто сельскохозяйственных культур (M_n , м³/га), необходимая для формирования единицы урожая (1 т/га = 10 ц/га)

Район	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
Шардаринский	1958	2461	3056	3606	4158	4765	5343
Мактаральский	1645	2175	2755	3306	3864	4481	5047
Район	A8	A9	B1	B2	B3	B4	B5
Шардаринский	5888	6457	6018	6599	7740	8448	9049
Мактаральский	5575	6116	5697	6263	7369	8132	8708

Сравнение показало, что полученные нами оросительные нормы нетто имеют отличие от оросительных норм нетто, приведенных в методике МСХ РК [3], на 8-12%. Это показывает применимость выбранной нами методики для изучаемых районов.

Реальная норма орошения определяется в зависимости от планируемой урожайности культуры. Например, на орошаемых землях юга Казахстана наибольшая урожайность сорго, нут и льна составляет около 10 ц/га, просо, фасоль, гречиха и семян подсолнечника – около 15 ц/га, ячменя и овса – около 20 ц/га, пшеницы, ржи и сои – около 25 ц/га, гороха – около 30 ц/га, кукурузы – около 50 ц/га, риса – 60 ц/га, хлопчатника – 25 ц/га [1].

В таблице 5 в качестве примера приведена оросительная норма нетто для риса и хлопчатника. Для получения полной оросительной нормы (брутто),

эти значения необходимо разделить на КПД оросительной системы (на 0,8 или 0,7).

Таблица 5

Оросительная норма нетто, для урожайности риса (60 ц/га), хлопчатника (25 ц/га), M_n , м³/га

Район	Рис			Хлопчатник		
	раннесп.	среднесп.	позднесп.	раннесп.	среднесп.	позднесп.
Шардаринский	42603	46147	53027	21326	22597	24178
Мактааральский	42226	45698	52385	20874	22176	23687

Таким образом, при расчете оросительных норм сельскохозяйственных культур учитывались комплекс факторов, осредненный за многолетний – климатический период. Однако в аномальные по погодным условиям годы оросительные нормы будут отклоняться от нормы на 20–30%.

Надо отметить, что полученные результаты применимы для земель с автоморфными почвами, т.е. с глубоким залеганием грунтовых вод (более 3 м.). Для земель с гидроморфными почвами, с близким залеганием грунтовых вод (1–2 м.), с целью предотвращения угрозы поднятия почвенных солей, рекомендуется значительно (почти в 2 раза) уменьшить оросительную норму.

Для прогноза оросительной нормы сельскохозяйственных культур в условиях климата 2030 годов, в начале были оценены ожидаемые изменения показателей тепло- и влагообеспеченности вегетационного периода.

Для этого были рассчитаны прогнозные значения показателей тепло- и влагообеспеченности по сценариям РТК4.5 и РТК8.5, и сопоставлялись со значениями современного климата (1991-2018 гг.).

Дата устойчивого перехода температуры воздуха через 10°C наступит на 1-2 суток раньше весной и на 2-3 суток позже осенью. Суммы активных температур воздуха выше 10°C увеличится на 5-10%. При этом чуть большее изменение ожидается по сценарию РТК8.5. Например, средняя за лето температура воздуха повысится по сценарию РТК 4.5 – на 1,5°C, по сценарию РТК8.5 – на 1,6°C.

Также расчёты показали, что годовая сумма осадков и сумма осадков за тёплый период года увеличится на 5-10%. При этом эти изменения примерно одинаковы по обоим сценариям (РТК4.5 и РТК8.5).

Для прогноза оросительной нормы сельскохозяйственных культур, ожидаемой в условиях климата 2030 годов, рассчитывались суммарные водопотребления культур (E_c), на основе прогнозных данных среднемесячной температуры воздуха и месячной суммы осадков на 2030 год по сценарию изменения климата РТК8.5.

Поскольку модель МОЦАО не позволяет прогнозировать значения дефицита и относительной влажности воздуха, нами были установлены регрессионные уравнения, описывающие их зависимость от температуры воздуха за апрель-август месяцы. Коэффициент корреляции для уравнения дефицита влажности составил 0,79, а для уравнения относительной влажности – 0,85. Полученные уравнения были проверены по критериям Стьюдента и

Фишера. Коэффициенты Стьюдента и Фишера значительно превышали их критические значения при 5% уровне значимости (95% обеспеченность). Поэтому данные регрессионные уравнения были использованы для прогноза на 2030 год месячных значений дефицита и относительной влажности воздуха за апрель-август месяцы.

Также на основе прогнозных данных температуры воздуха была рассчитана продолжительность вегетации сельскохозяйственных культур в условиях климата 2030 годов. Установлено сокращение продолжительности вегетации сельскохозяйственных культур. При этом продолжительность вегетации сокращается тем больше, чем выше теплотребность культуры, т.е. большее сокращение наблюдается у культур с более длинным вегетационным периодом. Например, продолжительность вегетации культур группы А1 в среднем сокращается на 1 сутки, группы А9 – на 3 суток, группы Б1 – на 3 суток, группы Б5 – на 6 суток. Поэтому входные данные формулы оросительной нормы рассчитывались с учетом более раннего посева и более раннего созревания культур.

Также установлено, что к 2030 году, у культур с более длинным периодом вегетации возрастает средняя за вегетацию температура воздуха. Например, рост средней за вегетацию температуры воздуха для групп культур с более короткой вегетацией (А1) составляет 0,2°C, а для групп культур с длинной вегетацией (А9) – 0,5°C, для группы Б1 – 0,6°C, для группы Б5 – 0,8°C. Это связано с тем, что повышение месячных температур воздуха с мая по август происходит постепенно.

Далее на основе прогнозных данных было рассчитано суммарное водопотребление культур (E_c) на 2030 год и сравнено с современными значениями.

Сравнение показало, что суммарное водопотребление культур для условий климата 2030 годов превышает их современную норму. В целом с ростом теплотребности культур возрастает разница между ожидаемым к 2030 году и современным суммарным водопотреблением (табл. 6).

Таблица 6

Разность суммарного водопотребления (ΔE_c , м³/га) в условиях климата 2030 годов и современного климата

Район	1	2	3	4	5	6	7
Шардаринский	22	48	66	77	98	20	42
Мактаральский	16	43	59	68	83	01	27
Район	8	9	1	2	3	4	5
Шардаринский	74	85	75	10	69	66	11
Мактаральский	65	84	73	12	65	57	01

Таким образом, ожидаемое изменение климата к 2030 году приведет к росту суммарного водопотребления культур в среднем на 4%. При этом суммарное водопотребление культур растет тем больше, чем выше их теплопотребность, т.е. наибольший рост суммарного водопотребления наблюдается у культур с более длинным вегетационным периодом. Естественно это приведет к соответствующему росту оросительной нормы сельскохозяйственных культур.

Выводы . Установлено, что ожидаемое к 2030 году потепление климата в Туркестанской области приведёт к росту продолжительности вегетационного периода на 3-5 суток, теплообеспеченности – на 5-10%, а суммы осадков – на 5-10%. Эти ожидаемые изменения приведут к росту оросительной нормы сельскохозяйственных культур в среднем на 4%. Это доказывает уязвимость орошаемого земледелия на юге Казахстана к изменению климата, в условиях современного дефицита воды и ожидаемого сокращения водных ресурсов к 2030 году [2]. Такое обстоятельство требует внедрения адаптационных мер к потеплению климата.

Библиографический список

1. Комитет по статистике Министерства национальной экономики Республики Казахстан. Департамент статистики Алматинской области. [электронный ресурс]. URL: http://www.stat.gov.kz/faces/wcnav_externalId/homeNumbersAgriculture? (дата обращения 20.05.2018).
2. Седьмое Национальное Сообщение и третий двухгодичный Доклад Республики Казахстан Рамочной конвенции ООН об изменении климата. – Астана, 2017. –304 с.
3. Методика по разработке удельных норм водопотребления и водоотведения. [электронный ресурс]. URL: <http://adilet.zan.kz/rus/docs/V1600014827/links> (дата обращения 22.05.2018).
4. Байшоланов С.С., Муканов Е.Н. Агроклиматическая оценка оросительной нормы сельскохозяйственных культур на юге Казахстана в условиях изменения климата // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. Вып. 593. – Санкт-Петербург, 2019. -С. 53-69.
5. CAWATERinfo. Оросительные и поливные нормы и их расчет. [электронный ресурс]. URL: <http://www.cawater-info.net/bk/4-2-1-1-3-3.htm>. (дата обращения 21.05.2018)
6. Мещанинова Н.Б. Агрометеорологическое обоснование орошения зерновых культур. – Л.: Гидрометеиздат, 1971. –127 с.
7. Алпатыев А.М. Влагооборот культурных растений. – Л.: Гидрометеиздат, 1954. – 248 с.
8. Белобородова Г.Г. Об агрометеорологическом обосновании режимов орошения сельскохозяйственных культур. Вестник сельскохозяйственной науки № 2. 1960.
9. Байшоланов С.С., Павлова В.Н., Чернов Д.А., Габбасова М.С., Жакиева А.Р. Агроклиматические ресурсы западных земледельческих областей Казахстана // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова.

Вып. 586. – Санкт–Петербург, 2017. С. 80–93.

10. Серякова Л.П., Петрушенко В.Д. Сборник заданий по курсу Агрометеорология. – Л.: ЛГМИ, 1976. –136 с.

11. Агроклиматические ресурсы Актюбинской области: научно–прикладной справочник / Под ред. С.С. Байшоланова – Астана, 2017. – 136 с. (электронное издание <https://ingeo.kz/?p=6407>).

12. Байшоланов С.С., Павлова В.Н., Жакиева А.Р., Чернов Д.А., Габбасова М.С. Агроклиматические ресурсы Северного Казахстана / Гидрометеорологические исследования и прогнозы // Труды Гидрометцентра России. №1 (367). 2018. С. 5–13.

VULNERABILITY TO CLIMATE CHANGE IN IRRIGATED AGRICULTURE IN THE TURKESTAN REGION OF KAZAKHSTAN

S. S. Baisholanov¹, B. O. Baimagambetov²

¹International Science Complex «Astana», Kazakhstan, 010000, Nur–Sultan c., Kabanbai batyr ave., 8. saken_baisholan@mail.ru

²RSE «Kazhydromet» Almaty city branch, Abay ave., 32. berik.baimagambetov@gmail.com

On the example of Turkestan region agroclimatic assessment of irrigation norms of agricultural crops in the South of Kazakhstan is conducted and their change by 2030 is forecast. The heat and moisture availability of the vegetation period, irrigation norm of agricultural crops in 2 districts of Turkestan region is calculated, in the conditions of modern and expected by 2030 climates. The expected climate change will lead to an increase in thermal resources and deterioration of humidifying conditions, to growth in the irrigation norm of agricultural crops by an average of 4%.

Keywords: agriculture, irrigated agriculture, irrigation norm, agricultural crops, vegetation period, total water consumption, climate, climate change.

УДК 556.16

РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПАВОДОЧНОГО СТОКА НА КАФЕДРЕ ГИДРОЭКОЛОГИИ И ВОДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ОГЭКУ

М.В. Захарова

*Калужский государственный университет им. К.Э. Циолковского,
Калуга, maryno4ka80@gmail.com*

Аннотация: *в статье представлены сведения об истории развития методов математического моделирования на кафедре гидроэкологии и водных исследований ОГЭКУ. Приводятся краткие структуры и описания уравнений, используемых для моделирования паводочного стока. В хронологическом*

порядке показывается трансформация модели паводочного стока в модель смыва загрязняющих веществ и наносов с малых водосборов.

Ключевые слова: математическое моделирование, паводочный сток, склоновый сток, смыв загрязняющих веществ и наносов.

Введение. Кафедра водных исследований в составе гидрологического факультета Одесского гидрометеорологического института была организована в 1947 г., в 1969 г. кафедра изменила своё название на кафедру водных исследований, гидравлики и геодезии, а в 2000 г. получила своё современное наименование – кафедра гидроэкологии и водных исследований в связи с переходом в состав экологического факультета. С первых дней своего существования сотрудники кафедры принимали участие в натурных исследованиях рек и водоёмов, постановкой экспериментов по дождеванию, занимались расчетами поверхностного воды и смыва наносов для целей водного хозяйства. После того как в 1972 г. кафедру возглавил д. геогр. н., проф. Иваненко А.Г. основным направлением научной деятельности кафедры стало математическое моделирование процессов формирования паводочного стока и исследование экологического состояния водных экосистем [1].

Теоретические основы. Развитие методов математического моделирования процессов формирования речного стока в гидрологии обусловлено созданием в 70-х годах прошлого столетия электронных вычислительных машин и общей математизацией науки, что способствовало появлению численных методов вычислений, ускорению процессов обработки и расчета уравнения Сен-Венана, описывающего движение воды в открытых руслах.

Однако, сложность моделирования процессов стока, предполагающая установление не просто количественной связи между характеристиками стока и характеристиками стокообразующих факторов, а описание процессов стокообразования путём обобщения теоретической и экспериментальной информации об этих процессах, и в настоящее обуславливает применение различных подходов при построении моделей.

Например, модели с сосредоточенными параметрами, предполагают допустимость пренебрежения пространственной изменчивостью характеристик водосбора или русла. Подобного типа модели применяются в практике оперативных краткосрочных гидрологических прогнозов (метод Маскингам, метод изохрон, метод единичного гидрографа и др.). В общем виде они представляют собой обыкновенные дифференциальные уравнения.

Напротив, модели, в которых характеристики водосбора (или русла) задаются изменяющимися в пространстве, называются моделями с распределёнными параметрами. Данные модели основаны на методах математической физики, описание основных элементов гидрологического цикла которых осуществляется дифференциальными уравнениями в частных производных [2].

Однако в последние годы, наиболее рациональными для большинства гидрологических задач, связанных с речным стоком, считается использование

динамико-стохастических моделей с распределёнными параметрами, которые основываются на детерминистических закономерностях, но включают параметры, имеющие вероятностный смысл [3].

Принципы моделирования паводочного стока, заложенные Иваненко А.Г. [4], которые послужили отправной точкой для дальнейших исследований кафедры в этом направлении, основаны на использовании генетического метода стока, рассматривающего общие динамические закономерности гидрологических явлений и процессов с учётом причин и условий их возникновения и дальнейшего развития. Генетический подход к исследованию процессов стока, наиболее подробно разработанный проф. Бефани А.Н. [5] предусматривает анализ основных этапов его формирования, прежде всего водообразования, как итога процессов выпадения осадков и их потерь на склоне, затем склонового стока, определяемого водообразованием и трансформацией на склоне и, наконец, руслового стока, являющегося результатом трансформации склонового притока русловой сетью. Хочется отметить, что на кафедре именно Иваненко А.Г. была создана общая математическая модель дождевых паводков с распределёнными по площади параметрами. Такая модель учитывает физические процессы формирования дождевого стока в их обусловленности пространственными полями факторов паводка.

Описание математических моделей. В общем виде в работе [6] расчётная схема вычисления гидрографа дождевого паводка с учётом пространственно-временной динамики скорости добега и склонового стока представляла собой решение уравнения водного баланса участков русловой системы

$$Q_{j,i} = \sum_{l=1}^j \left[v_{j,i} B(x_d) R_{j,l} \Delta t \sum_{k=1}^{n_d} q(x_d, y_k) / n_d \right], \quad (1)$$

где $Q_{j,i}$ – расход паводка в русле в j -й интервал времени Δt от начала паводка в i -м створе, м³/с;

$v_{j,i}$ – скорость перемещения воды по руслу в j -й интервал времени Δt от начала паводка в i -м створе, м/с;

n_d – количество точек водосбора на эквидистанте $B(x_d)$, для которых определяется модуль стока $q(x_d, y_k)$;

y_k – расстояние по эквидистанте от главного русла, м;

Δt – расчётный интервал времени, с;

$B(x_d)$ – ширина водосбора по эквидистанте на расстоянии от замыкающего створа, равном длине добега, м;

$R_{j,l}$ – параметр, учитывающий суммарный эффект трансформации русловых объемов за счёт изменения скорости добега воды по длине русла;

$v_{j,i}$ – скорость добега воды, м/с.

Математически склоновый поверхностный и подповерхностный сток описывался при помощи системы уравнений кинематической волны [5]. Модель состоит из уравнения неразрывности элемента потока, стекающего с полосы склона единичной ширины и уравнения для скорости течения. После подстановки второго уравнения в первое получается общее дифференциальное уравнение склонового стока

$$(n+1)mi^u y^n \frac{\partial y}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial t} = h_t, \quad (2)$$

где y – глубина склонового потока в момент времени от начала движения на расстоянии x от водораздела, м;

i – уклон поверхности склона;

m, u, n – параметры формулы скорости течения, зависящие от шероховатости поверхности склона и его микрорельефа.

В правой части уравнения h_t – интенсивность водообразования, вычисляемая для периода выпадения дождя по разностной формуле

$$h_t = a_t - k_t, \quad (3)$$

где a_t – интенсивность дождя, мм/мин;

k_t – интенсивность впитывания, мм/мин.

Для решения уравнения (2) записывался конечно-разностный аналог, который вычислялся методом итераций. Оптимизация параметров модели выполнялась автором на материалах более 200 паводков, зафиксированных на экспериментальных водосборах Закарпатской, Велико-Анадольской, Придеснянской, Молдавской, Приморской воднобалансовых станций и Карпатской селестоковой станции. Результаты расчётов показали удовлетворительную сходимость наблюждённых и рассчитанных гидрографов.

В дальнейшем в работах аспиранта кафедры Ле Ван Нгиня [7] изменился подход к моделированию руслового стока, поскольку модель русловой трансформации описывалась при помощи известной гидродинамической системы уравнений Сен-Венана, которая после пренебрежения инерционными членами приводилась к следующим уравнениям кинематической волны – уравнению неразрывности и уравнению динамического равновесия в виде формулы скорости движения воды в русле

$$\frac{\partial Q_p}{\partial x} + \frac{\partial \omega_p}{\partial t} = q(t); \quad (4)$$

$$v = a_p \left(\frac{Q_p}{M} \right)^\alpha I_p^\beta, \quad (5)$$

где Q_p – суммарный расход в момент t в речных руслах, пересекаемых эквидистантой на расстоянии x от истока реки, м³/с;

ω_p – площадь сечения воды в момент t в речных руслах, пересекаемых эквидистантой на расстоянии x от истока реки, м²;

I_p – уклон поверхности воды;

$q(t)$ – боковой приток со склонов на единицу длины всех русел, пересекаемых эквидистантой, м³/с;

M – число водотоков, пересекаемых данной эквидистантой;

a_p – коэффициент, учитывающий шероховатость русел и их форму;

α, β – параметры формулы.

Для склонового поверхностного стока система уравнений кинематической волны описывалась аналогично (2), а решение всех приведённых уравнений выполнялось методом конечных разностей. Реализация данной модели выполнялась на 7 водосборах северной части Вьетнама и 4 водосборах, расположенных на водностокковой станции Шондонг. Проведённая автором верификация модели на 44 контрольных паводках показала, что точность расчёта гидрографов для контрольных паводков и паводков, по которым производилась оптимизация параметров, приблизительно одинаковая.

Следующим шагом в развитии методов математического моделирования была работа В.К. Новичкова [8], которая посвящена усовершенствованию модели процесса формирования склонового стока с учётом микрорельефа склона.

Проблемы рационального и экономного использования водных ресурсов, их охрана, ставшие актуальными к концу 80-х годов прошлого столетия привели к необходимости планирования и реализации различных водохозяйственных мероприятий, гидрологическое обоснование которых являлось определяющим при формировании стратегии водопользования и водоохраны.

Решению данных водохозяйственных задач, связанных с расчётами неустановившегося движения воды в речных руслах, позволяющими контролировать режимы наполнения полезной ёмкости водохранилища, эффективно планировать пуски воды, а также с расчётами трансформации паводков и половодий водохранилищами и речными системами для планирования мероприятий по защите территорий от затопления, посвящены работы следующего аспиранта кафедры Бамбы Фатогомы [9].

Расчёт русловой трансформации волн пусков решался им на трёх водных объектах (нижние бьефы Волгоградской, Каховской и Ново-Тверецкой ГЭС), для решения данной задачи использовалась модель динамической волны, уравнения которой записывались в следующем виде

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial \omega}{\partial t} = 0; \quad (6)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{\omega} \right) + g\omega \frac{Q|Q|}{c^2 \omega^2 R} + g\omega \frac{\partial H}{\partial x} = 0, \quad (7)$$

где Q – расход воды, м³/с;

ω – площадь живого сечения, м²;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

c – коэффициент Шези;
 R – гидравлический радиус;
 H – уровень водной поверхности, м;
 x и t – координаты расстояния и времени.

Расчёт трансформации паводков речными водохранилищами пойменного и долинного типа выполнялся на примере Дубоссарского водохранилища, а расчёт трансформации паводочных волн речной системой – на примере речной системы Верхнего Амура. Учитывая характер движения воды, поставленная задача решалась при помощи модели диффузионной волны, которая при отсутствии бокового притока описывалась в таком виде

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial \omega}{\partial t} = 0; \quad (8)$$

$$Q = K \cdot \left(-\frac{\partial H}{\partial x} / \left| \frac{\partial H}{\partial x} \right|^{1/2} \right), \quad (9)$$

Боковой приток к расчётным участкам определялся по расходам малых рек, в основе которого лежала следующая формула

$$q(t, x) = \sum_{i=1}^N Q_i(t - r_i, x) P_i, \quad (10)$$

где $q(t, x)$ – боковой приток к участку расчётного створа в момент в времени t , $\text{м}^3/\text{с}$;

$Q_i(t - r_i, x)$ – приток от створа i -ой реки, впадающей на расчётном участке между верхним и нижним расчётными створами с учётом времени добегания r_i от створа на i -ой реке до расчётного нижнего створа, $\text{м}^3/\text{с}$;

N – число малых рек (притоков), впадающих между верхним и нижним расчётными створами;

P_i – коэффициент приводки площади, контролируемой створом, ко всей площади бокового водосбора i -ой реки.

Автором также была разработана методика расчёта движения паводочных волн по речной системе Верхнего Амура с учётом бокового притока, определённого по модели «осадки-сток» Гидрометцентра СССР, разработанной В.И. Корнем и Л.С. Кучментом. Проверочные расчёты по которой для паводков дали удовлетворительные результаты.

Для решения вышеперечисленных уравнений использовалась разностная неявная схема Прейсмана, в процессе реализации модели использовался метод Ньютона-Рафсона, при оптимизации параметров модели – процедура Розенброка.

В работе аспиранта кафедры Сьуната Найпала [10] был реализован комплексный подход к расчёту дождевых паводков на основе использования, как детерминистического, так и стохастического методов моделирования, позволяющих выполнить расчёты стока при недостатке данных гидрометеорологических наблюдений.

Данный подход стал набирать популярность в математическом моделировании стока, начиная с 90-х годов XX в., поскольку одной из основных проблем, ограничивающих возможности калибровки и верификации моделей и снижающих достоверность расчётов, являлся недостаток данных натурных наблюдений.

Для моделирования поверхностного склонового стока использовалось следующее уравнение, полученное А.Г. Иваненко для модуля склонового стока

$$q_{ск,j} = 16,67 \frac{v_{ск,j}}{v_{tск,j}} h_{tск,j}, \quad (11)$$

где $h_{tск,j}$ – средняя интенсивность водообразования, мм/мин;

$v_{tск,j}$ – скорость склонового стока, средняя за время добегания, предшествующее j -ому интервалу времени Δt , м/с;

$v_{ск,j}$ – скорость добегания склоновых вод на j -ый интервал времени Δt , которая вычислялась по формуле Н.Ф. Бефани.

Для моделирования подповерхностной составляющей склонового стока использовалась модель А.Н. Бефани [5]. Русловой сток описывался при помощи уравнения А.Г. Иваненко (1), которое учитывает подвижную систему изохрон.

Оптимизация параметров модели проводилась по данным водосбора реки Кабалабо у п. Аванаверо. Для решения проблемы применения модели и расчёта паводков на неизученных реках выполнялась имитация графиков часовых дождевых осадков при помощи кластерной модели Истока Д.И. и Боерсмы Л. Таким образом, описанная выше модель паводка после замены фактических осадков вычисленными получила стохастический вход. Оказалось, что кривая обеспеченности по вычисленным данным, особенно для малых обеспеченностей, имеет удовлетворительное соответствие измеренным расходам.

Кроме того, в данной работе применялась стохастическая модель гидрографа паводочного стока А.В. Христофорова для имитации гидрографа в течение большого дождевого периода, которая позволила выделить отдельные характеристики гидрографа паводков и получить их кривые обеспеченности. Сопоставление имитированных и фактических максимальных расходов малой обеспеченности 1-5% показало удовлетворительное их соответствие.

Данг Нгок Тинь [11] применял динамико-стохастическую модель для расчёта паводков на северо-востоке Вьетнама, которая также является моделью со случайным входом дождевых осадков. В качестве основы для моделирования полей осадков использовалась модель Р. Дж. Маршалла, для моделирования продолжительности дождей использовалось логарифмическое распределение вероятностей, предложенное Дж. Истоком и Л. Боерсмой.

Опытная реализация модели полей осадков Маршалла была осуществлена для территории стоковой станции Шондонг. Смоделированные поля осадков использовались как входные данные в динамическую модель формирования дождевого стока. В качестве динамической модели

использовалась пространственная модель формирования дождевого стока, которая структурно представляется в виде двух блоков: модель А.Н. Бефани (2) для двух типов склонового стока (поверхностного и подповерхностного) и модель А.Г. Иваненко (1) для расчёта трансформации паводка русловой системой. Для определения потерь дождевых осадков на частных площадях водосбора применялась модель Грина-Эмпта, вычисления были проведены по методу Г.А. Алексеева, расчётное уравнение которого имеет вид

$$I = \frac{\Delta f}{K_{\Phi}} \left[h - h_f \ln \left(1 + \frac{h}{h_f} \right) \right], \quad (12)$$

где Δf – параметр, представляющий разность между объёмным содержанием влаги после и до увлажнения (в долях единицы);

K_{Φ} – коэффициент фильтрации, см/с;

h – слой воды на поверхности, см.

h_f – высота капиллярного подъёма, см.

Сопоставление обеспеченных расходов, вычисленных по имитационным полям осадков и по данным измерения для 5 водосборов бассейна р. Ло показало их хорошую сходимость.

Особенность работы М.Е. Даус [12] состояла в применении пространственной математической модели формирования дождевого стока и разработки её параметров для вычисления гидрографов паводков для рек Западного Причерноморья за тёплый период года, для чего в качестве входной информации использовались радиолокационные измерения полей дождевых осадков.

Гидрограф речного стока в тёплый период года в данной модели рассматривается как итог сложного процесса трансформации водосбором осадков в сток с учётом перераспределения влаги в почве, её испарения и транспирации.

Влагоперенос в системе «атмосфера-растение-почва» в данной модели был разделён на две составляющие: испарение с почвы и транспирация растениями, а также перераспределение влаги в слое почвы

$$\chi_L E_L = R_L - H_L; \quad (13)$$

$$\chi_S E_S = R_S - H_S - G, \quad (14)$$

где χ_L , χ_S – скрытая теплота парообразования поверхности листьев и почвы соответственно;

E_L , E_S – интенсивность транспирации и испарения;

R_L , R_S – радиационный баланс растительного покрова и поверхности почвы;

H_L , H_S – турбулентные потоки тепла от растительного покрова и поверхности почвы в атмосферу;

G – поток тепла в почву.

Для расчёта водного баланса почвы была построена модель водного режима, которая основывается на уравнении влагопроводности

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[D(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial z} - K(\theta) \right] - S_k(\theta, z), \quad (15)$$

где θ – влажность почвы;

$D(\theta)$, $K(\theta)$ – зависимость диффузивности и коэффициента фильтрации от влажности;

$S_k(\theta, z)$ – интенсивность изменения влажности почвы за счёт поглощения корневой системой.

Процессы водообразования и склонового стока, описывались уравнением (11), процесс руслового стока – уравнением (1).

Исходными материалами для определения параметров блока испарения и блока склонового и руслового стока послужили данные наблюдений Молдавской воднобалансовой станции, а оперативная информация Котовского радиолокационного комплекса использовалась для расчёта гидрографов за тёплый период года в качестве независимого материала. Полученные результаты подтвердили применимость модели для расчёта гидрографов речного стока на малых водосборах Западного Причерноморья по данным осадков за тёплый период года.

Аспирант кафедры Адаму Махаман Мустафы [13] проводил моделирование паводочного стока для расчётов гидрографов паводков на реках сахельской зоны Республики Нигер. В его работе для расчетов руслового стока была также принята пространственная модель стока, разработанная А.Г. Иваненко для вычисления расходов паводка в конечном створе водосбора через расчетный интервал времени [6]. Большое внимание в работе уделялось определению основных факторов дождевого стока (осадки, косвенные показатели увлажнения почвы, а также геоморфологические характеристики водосборов) и дискретизации их по частным площадкам. Для оптимизации параметров использовались материалы синхронных измерений осадков и стока. Всего были использованы данные 18 высоких паводков, сформированных в бассейнах трех рек Среднего Нигера. Статистическая обработка рядов пиковых расходов, вычисленных по смоделированным осадкам и измеренным расходам, показала удовлетворительную сходимость их кривых обеспеченности в пределах амплитуды измеренных расходов.

В начале XXI ст. происходящие климатические изменения и сопутствующая им активизация ливневой деятельности, которая из-за разрушительной силы паводков в зоне хозяйственной деятельности человека часто приводит к химическому загрязнению окружающей среды, во время которых в речные воды попадают загрязняющие вещества, стимулировала, как в отечественной, так и зарубежной практике, разработку моделей формирования качества речных вод.

Именно поэтому в последние десятилетия на кафедре гидроэкологии и водных исследований активно разрабатывалась комплексная модель формирования качества водного стока, которая учитывала бы

пространственную изменчивость показателей загрязнения по площади водосбора, поскольку именно стоки с распределённых источников загрязнения очень тяжело учитывать и контролировать.

Процесс формирования гидрографа выноса химических веществ с речного водосбора в работах [14, 15] представлен состоящим из следующих частных процессов:

- водообразование и склоновый сток описывались уравнениями, разработанными А.Н. Бефани (2)-(3);
- смыв наносов с поверхности склонов определялся с помощью системы уравнений, разработанной С.А. Кондратьевым

$$\frac{\partial(Sy)}{\partial t} + \frac{\partial(Sq')}{\partial x} = E_r + E_q; \quad (16)$$

$$E_r = k_r r^{k_m}; \quad E_q = k_q (T_s - S)q'; \quad T_s = k_n I_{cx}^{5/3} q'^{5/3}, \quad (17)$$

где S – мутность воды склонового стока, кг/м³;

y – глубина склонового потока, м;

E_r, E_q – функции, которые описывают интенсивность поступления в поток наносов

за счёт влияния на поверхность почвы ударов дождевых капель и размывание почвы водным потоком, кг/м²·с;

r – интенсивность дождя, м/с;

T_s – транспортирующая способность потока, кг/м³;

k_n, k_q, k_r, k_m – эмпирические коэффициенты.

- смыв загрязнений склоновым стоком описывался кинематико-волновой моделью, разработанной в Институте озераведения РАН:

$$\frac{\partial(C_i y)}{\partial t} + \frac{\partial(C_i q')}{\partial x} = F_i; \quad (18)$$

$$F_i = k_i (C_{pi} - C_i) \cdot h \cdot q'; \quad C_{pi} = C_{vi} / (p_i (d_i - C_{vi})), \quad (19)$$

где C_i – концентрация химического вещества в склоновом стоке, мг/дм³;

C_{pi} – равновесная концентрация, мг/дм³;

C_{vi} – концентрация солей i -ого химического вещества в почве, мг/кг;

h – глубина действующего слоя, м;

k_i – коэффициент сорбции-десорбции заданного i -ого вещества;

p_i и d_i – численные коэффициенты;

F_i – функция, которая учитывает интенсивность поступления вещества в водный поток.

- трансформация русловой системой притока склоновых вод, наносов и загрязнений проводилась как на основе решения уравнения (1), так и системы уравнений кинематической волны (4)-(5).

Проверка данной модели выполнялась в ходе экспериментальных исследований процессов смыва агрохимикатов на полях учхоза Одесского сельскохозяйственного института в районе г. Ильичёвска Одесской области. Кроме того, для реализации модели использовались материалы наблюдений за

ходом стока, осадков, наносов и химическим составом воды рек 10 малых водосборов Закарпатской воднобалансовой станции и 7 водосборах Карпатской селестоканальной станции. Проведённая верификация модели на независимых данных показала, что точность расчётов для контрольных паводков и паводков, по которым проводилась оптимизация параметров модели, приблизительно одинакова, и означает, что пространственная модель учитывает основные физические процессы формирования паводочного стока воды, растворённых химических веществ и взвешенных наносов.

Заключение. Математическое моделирование, являющееся одним из направлений исследования гидрологического цикла, как в России, так и в мире, остаётся по-прежнему востребованным и перспективным. По мнению авторов [16] данная тенденция стала следствием все большего распространения гидрологических приложений в области смежных гидрометеорологических дисциплин, расширения круга инженерных, экологических, экономических и социальных задач в условиях растущего влияния человека на природную среду, а также повышения требований к точности и информационному содержанию их решения. Это позволяет надеяться на создание в будущем единой для России экспертной моделирующей системы, на базе которой будут осуществляться научно обоснованные гидрологические прогнозы и инженерные расчёты для речных бассейнов страны.

Библиографический список

1. Одеський державний екологічний університет. Історія та сучасність. 1932-2007 / С.М. Степаненко. Одеса: Екологія, 2007. 528 с.
2. Кучмент Л.С. Математическое моделирование речного стока. Л.: Гидрометеиздат, 1972. 192 с.
3. Гельфан А.Н. Динамико-стохастическое моделирование формирования талого стока. М.: Наука, 2007. 279 с.
4. Иваненко А.Г. Пространственная неравномерность факторов дождевого стока и расчёт паводков: автореферат дис. ... доктора географических наук: 11.00.07. МГУ. Москва, 1985. 37 с.
5. Бефани А.Н. Основы теории ливневого стока // Труды ОГМИ. 1949. Вып. IV. С. 39-175.
6. Иваненко А.Г. Расчёт дождевых паводков на основе учёта полей факторов стока // Водные ресурсы. 1986. № 4. С. 38-46.
7. Ле Ван Нгинь Моделирование и расчёт дождевых паводков для малых водосборов северной части Вьетнама: автореферат дис. ... кандидата географических наук: 11.00.07. Одесса, 1986. 16 с.
8. Новичков В.К. Модель процесса формирования склонового стока с учётом микрорельефа склона: автореферат дис. ... кандидата географических наук: 11.00.07. Одесса, 1988. 16 с.
9. Иваненко А.Г., Бамба Фатогема Расчёт неустановившегося движения воды в речном русле по методу диффузионной волны // Метеорология, климатология и гидрология. 1986. Вып. 22. С. 92-98.
10. Сьунат Найпал, Иваненко А.Г. Стохастическая модель дождевых

паводков для рек Суринама // Метеорология, климатологи и гидрология. 1993. № 29. С. 32-47.

11. Данг Нгок Тинь Применение динамико-стохастической модели для расчёта паводков на реках северо-восточной части Вьетнама: автореферат дис. ... кандидата географических наук: 11.00.07. Одесса, 1993. 16 с.

12. Иваненко О.Г., Даус М.Є., Захарова М.В. Моделювання дощового стоку води та виносу хімічних речовин з малих водозборів Північно-Західного Причорномор'я // Причорноморський екологічний бюлетень. 2006. № 3-4 (21-22). Ч. 1. С. 113-119.

13. Адаму Махаман Мустафа Моделирование паводочного стока для расчётов гидрографов паводков на реках сахельской зоны Республики Нигер: автореферат дис. ... кандидата географических наук: 11.00.07. Одесса, 1999. 16 с.

14. Иваненко А.Г. Описание модели смыва загрязняющих веществ с малых водосборов // Метеорология, климатология и гидрология. 2001. Вып. 42. С. 23-39.

15. Иваненко О.Г., Захарова М.В. Просторова модель для розрахунків гідрографів стоку розчинених хімічних речовин і зважених наносів // Вісник Одеського державного екологічного університету. 2006. вип. 2. С. 159-166.

16. Мотовилов Ю.Г., Гельфан А.Н. Модели формирования стока в задачах гидрологии речных бассейнов. М.: ООО «Красногорский полиграфический комбинат», 2018. 296 с.

DEVELOPMENT OF METHODS OF MATHEMATICAL MODELING OF FLOOD RUNOFF AT THE DEPARTMENT OF HYDROECOLOGY AND WATER RESEARCH OSENU

M.V. Zakharova

Kaluga State University, Kaluga, maryno4ka80@gmail.com

Summary: information about history of development of methods of mathematical modeling at the Department of Hydroecology and Water Research OSENU is presented in this article. Brief structures and descriptions of the equations used for flood runoff modeling are given. Transformation of model of flood runoff to model of wash-out of pollutants and sediments from small watersheds is showed in chronological order.

Keywords: mathematical modeling, flood runoff, slope runoff, wash-out of pollutants and sediments.

ОЦЕНКА АСИММЕТРИИ МАКСИМАЛЬНЫХ ОСАДКОВ НА ТЕРРИТОРИИ ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ В РАМКАХ БИНОМИАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СЛУЧАЙНЫХ ВЕЛИЧИН

В.В. Ильинич¹

¹Российский государственный аграрный университет – МСХА имени
К.А.Тимирязева, Москва, info@rgau-msha.ru; vilinitch@gmail.com

Аннотация. В статье анализируются подходы к оценке коэффициента асимметрии относительно длительных рядов наблюдений за максимальными суточными осадками в Воронежской области. По полученным результатам статистического анализа делаются обобщения и выводы о применяемых методах к оценке асимметрии в рамках биномиального закона распределения Пирсона 3-го типа.

Ключевые слова: максимальные осадки, коэффициент асимметрии, вероятность превышения.

Актуальность. В настоящее время в практике гидрометеорологических, и в частности, агрометеорологических расчетов во всем мире используются различные аналитические функции распределения случайных величин [2,5]. В ряде стран, как и в России, широкое применение получило биномиальное распределение Пирсона 3-го типа [2,5]. В частности, оно вполне применимо для проектирования противоэрозионных мероприятий и мелиоративных объектов при расчётах максимальных суточных осадков заданной вероятности превышения максимальных расходов воды на малых водотоках. Однако статистические ряды данных наблюдений за экстремальными осадками обладают значительной, асимметрией, которую очень сложно характеризовать традиционными коэффициентами асимметрии или, например, региональными соотношениями коэффициентов асимметрии и коэффициентов вариации. Соответственно основной целью настоящей работы является оценка возможности установления региональных характеристик коэффициентов асимметрии и их соотношения с коэффициентами вариации по длительным рядам наблюдений за осадками в пределах Воронежской области, где актуальность расчётов дождевой эрозии исключительно высока.

Задачами исследования являлись:

- формирование статистических рядов по наблюдениям за дождевыми осадками;
- определение статистических характеристик, необходимых для оценки асимметрии рядов наблюдений в рамках биномиального распределения;
- оценка возможности объективного получения характеристик асимметрии в рамках биномиального закона распределения случайных величин.

Объекты и методы исследования. Одна из основных проблем математической статистики применительно к гидрометеорологическим расчетам и прогнозам состоит в том, как на основании ограниченного периода

наблюдений сделать наиболее верные вероятностные расчёты относительно численных характеристик опасных явлений. Наиболее сложно эти проблемы стоят в достаточно точной оценке коэффициентов асимметрии, поскольку в применяемой в гидрологической и метеорологической практике формуле метода моментов (1) используются разности текущих значений и среднего в третьей степени:

$$C_S = \left[n \cdot \sum_{i=1}^n \left((Q_i - Q_{cp})^3 \right) \right] / (n-1) \cdot (n-2) \cdot \sigma_Q^3 \quad (1)$$

где Q_i и Q_{cp} – наблюденные значения и среднее значение в статистических рядах наблюдений; n – количество членов ряда.

Наиболее часто применяемая формула для расчёта статистической погрешности коэффициента асимметрии имеет вид:

$$\varepsilon_{C_S} = \frac{\left[6(1 + C_V^2) / n \right]^{0,5}}{C_S} 100\% \quad (2)$$

Из приведённой формулы, где C_V – коэффициент вариации, можно заключить, что обычно допустимые в гидрометеорологии погрешности порядка 10-15% можно получить при умеренных коэффициентах вариации в лучшем случае по рядам, включающих в себя не меньше 100 членов. Поэтому из всех метеостанций Воронежской области были выбраны пункты, имеющие исключительно длительные наблюдения. Таковыми оказались три пункта: Воронеж ($n = 100$ лет), Каменная степь ($n = 119$ лет) и Конь-Колодезь ($n = 122$ года). Следует заметить, что на всех метеостанциях имелись 2-3 пропущенных года наблюдений, однако для оценок асимметрии при таком общем количестве данных это не существенно. Согласно установившимся требованиям к оценке статистических характеристик штормовых осадков [1,2,5,6] из каждого года наблюдений выбиралось значение максимальных суточных осадков и таким образом формировался статистический ряд. Автор исходил из того, что некоторые изменения в системе измерений осадков, проведённые в середине шестидесятых годов не могли существенно сказаться именно на максимальные суточные осадки и заметно исказить их и повлиять на результирующие статистические показатели.

Таким образом, по каждому ряду определялись традиционные статистические характеристики: среднее, коэффициент вариации и коэффициент асимметрии, необходимые для вычисления штормовых суточных осадков редкой повторяемости (малой обеспеченности).

Сначала был использован метод моментов [1,2,5]. Полученные результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1

Основные статистические характеристики максимальных суточных осадков, полученных методом моментов

Пункт	Число n	Среднее, мм	C_v	C_s	$\varepsilon_{C_s}\%$	Отношение C_s/C_v
Воронеж	100	35,8	0,47	2,78	11,7	4,8
Конь-Колодезь	122	31,5	0,33	0,954	24,5	2,9
Каменная степь	119	39,5	0,385	1,30	18,5	3,4

Как видно из таблицы 1 – даже при сравнительно длительных рядах наблюдений трудно сделать какие-либо обобщения для рассматриваемого региона. Здесь следует заметить, что относительные среднеквадратические погрешности для среднего значения и коэффициента вариации в таблице не приводятся ввиду их малых и поэтому вполне допустимых значений.

Другой используемый метод для оценки асимметрии, предназначенный для Биномиального закона Пирсона 3-го типа – графоаналитический метод Алексева требует предварительно построения эмпирической кривой обеспеченности на основе расчёта эмпирических обеспеченностей для всех членов ряда, расположенных в убывающем порядке по формуле Вейбула [3,4,5]. Полученные точки эмпирических обеспеченностей для значений максимальных суточных осадков, ранжированных в убывающем порядке представлены на рисунках 1-3.

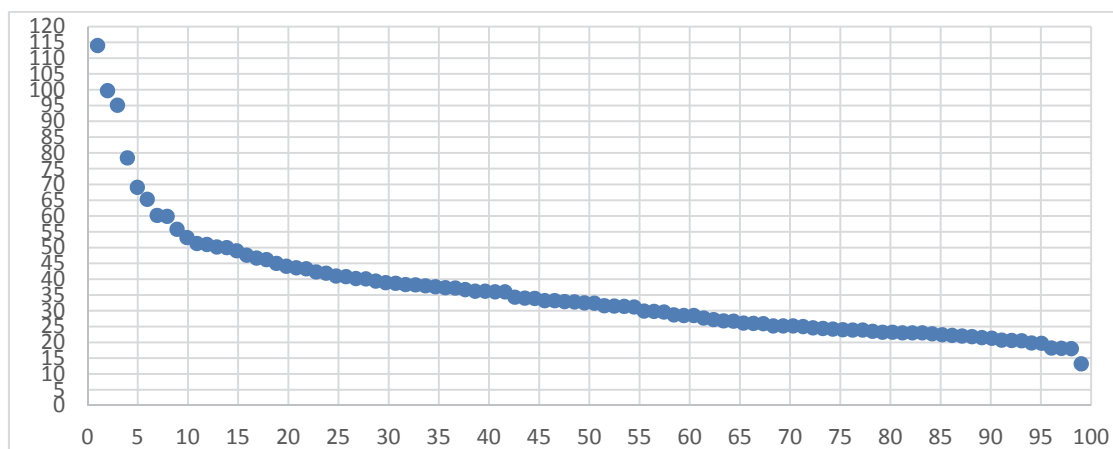


Рис. 1. Точки эмпирической обеспеченности максимальных суточных осадков по метеостанции Воронеж

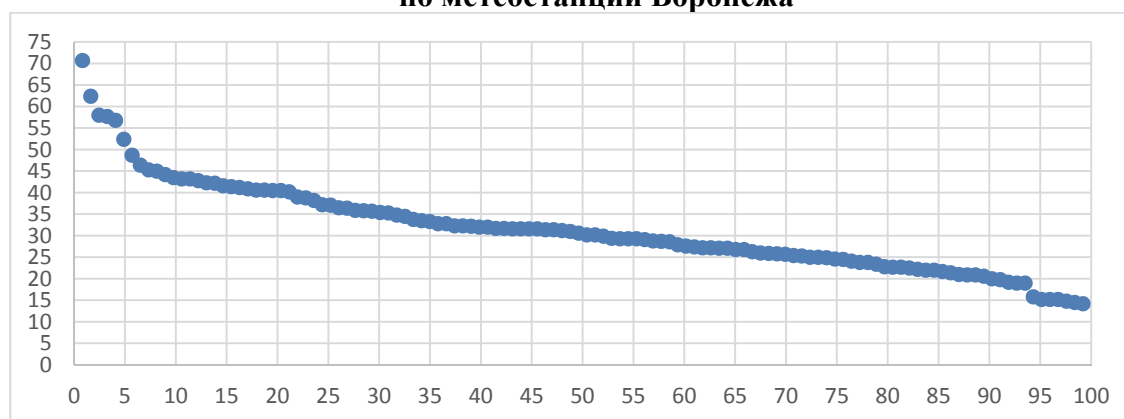


Рис. 2. Точки эмпирической обеспеченности максимальных суточных осадков по метеостанции г. Конь-Колодезь

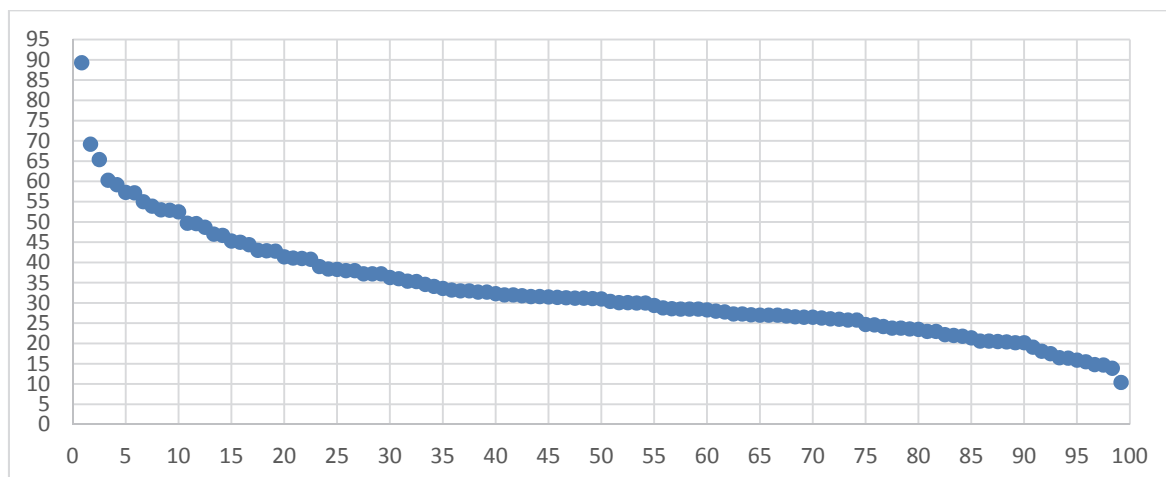


Рис. 3. Точки эмпирической обеспеченности максимальных суточных осадков по метеостанции г. Каменная степь

С полученных кривых определялись численные значения осадков (Q) относительно следующих обеспеченностей: 5%, 50% и 95%. Затем рассчитывался коэффициент скошенности S :

$$S = (Q_{5\%} + Q_{95\%} - 2Q_{50\%}) / (Q_{5\%} - Q_{95\%}) \quad (3)$$

Согласно таблицы Фостера–Рыбкина, проинтегрированной в соответствии с законом Пирсона 3-го типа были найдены значения коэффициента асимметрии, которые представлены в таблице 2.

Таблица 2

Характеристики асимметрии, полученные графоаналитическим методом Алексеева

Пункт	Число членов ряда n	S	C_s	Отношение C_s/C_v
Воронеж	100	0,48	1,7	3,54
Конь-Колодезь	122	0,18	0,65	3,61
Каменная степь	119	0,27	0,97	3,59

Из таблицы 2 видно, что сами коэффициенты асимметрии и их различия несколько меньше для разных пунктов, чем полученные значения в таблице 1 на основании метода моментов. Более того, практически однозначно проявилось соотношение между коэффициентами асимметрии и вариации, что косвенно говорит о большей правомерности использования метода Алексеева для оценки асимметрии. Здесь стоит заметить, что коэффициент вариации несомненно надёжней определять методом моментов, как и среднее значение. Тем не менее приходится констатировать, что на сегодняшний день нет достаточно чёткого подхода к определению асимметрии с достаточно обоснованной оценкой его точности.

Формула (2) для оценки относительной среднеквадратической ошибки – полуэмпирическая, и может оспариваться, поэтому ошибки в вычислении коэффициентов методом моментов реально могут быть и больше. Таким образом, ввиду всё-таки значительных ошибок, полученных с помощью этой

формулы и не гарантированной её корректностью - более предпочтительным для оценки асимметрии является графоаналитический метод Алексеева.

Необходимо также констатировать, что квантили распределения 10%-ой обеспеченности на эмпирических кривых обеспеченности максимальных суточных осадков всех рассмотренных пунктов колеблются в пределах от 43 мм до 53 мм (см. рис. 1-3), что не является исключительно высоким различием и возможно, что эта характеристика может послужить для обобщений на карте в виде изолиний.

Обращает также внимание, что «сгруппированность» точек эмпирической обеспеченности в пределах от 5% до 25% достаточно тесная и оценка максимальных суточных осадков на расчётную вероятность превышения в этих пределах не приведёт к существенным ошибкам. Поэтому эти значения могут непосредственно использоваться в формуле «предельной интенсивности осадков» для расчётов максимальных расходов на малых водосборах [1].

Выводы. Для определения расчётных характеристик максимальных суточных осадков при наличии большого количества лет наблюдений (порядка 100 лет) нет необходимости определять их нормативные значения в соответствии с принятыми по гипотезе законами распределения в пределах вероятностей превышения от 5% до 25%, их можно снимать с эмпирических кривых обеспеченности.

Несмотря на невозможность строгой оценки погрешностей нормативных расчётных величин графоаналитическим методом Алексеева при использовании Биномиального распределения Пирсона 3-го типа, этот метод можно считать более предпочтительным нежели метод моментов.

В формулу «предельной интенсивности осадков» для расчётов максимальных расходов на малых водосборах [1] имеет смысл непосредственно подставлять их численное значение, снятое с эмпирической кривой обеспеченности максимальных суточных осадков, а не использовать переходные коэффициенты от обеспеченности 1% к другим расчётным величинам 3%; 5%; 10%; 25%, как это требуют [1].

Необходимо продолжить поиски решения к более точной оценке асимметрии в рамках закона Биномиального распределения как по отношению к максимальным суточным осадкам, так и к другим гидрометеорологическим характеристикам.

Библиографический список

1. СП 33 – 101 – 2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. М. 2004 с. 70.
2. Дружинин В.С., Сикан А.В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. - СПб.: изд. РГГМУ. 2001. - с.168.
3. Ильинич В.В. Оценка асимметрии в рамках трёхпараметрического гамма-распределения. Природообустройство.-2010, №5 – С. 71 – 75.
4. Ilinich V., Akulova E., Belchihina V. and Ponomarchuk K. Estimation of Statistical Characteristics for Storm Precipitation with Long-term Data to Assess

Climate Change. Journal of Climate Change, Vol. 2, No. 2 (2016), pp. 83–87. DOI 10.3233/JCC-160019.

5. Statistical methods in the Atmospheric Sciences. (2011) /Ed. R. Dmowska, D. Hartman, H.T. Rossby / Inter. Geoph. Series, Oxford, OX51GB, UK. Vol.1: 668 p.

6. Zolina, O., C. Simmer, A. Kapala, P. Shabanov, P. Becker, H. Maechel, S. K. Gulev, P. Groisman, 2014: New view on precipitation variability and extremes in Central Europe from a German high resolution daily precipitation dataset: Results from STAMMEX project. Bulletin of Amer. Met. Soc., 96, doi:10.1175/BAMS-D-12-00134.1

ASSESSMENT OF THE ASYMMETRIA FOR THE MAXIMUM PRECIPITATION ON THE TERRITORY OF THE VORONEZH REGION WITHIN THE BINOMIAL DISTRIBUTION OF RANDOM VARIABLES.

Ilinich V¹.

¹Russian State Agrarian University-MTAA, Moscow, info@rgau-msha.ru; vilinitch@gmail.com

Summary. The article analyzes approaches to estimating the asymmetry coefficient with respect to long-term series of observations of maximum daily precipitation in the Voronezh region. Based on the results of statistical analysis, generalizations and conclusions are made about the methods used to estimate asymmetry in the framework of the Pearson type 3 binomial distribution law.

Keywords: maximum precipitation, asymmetry coefficient, probability of exceeding.

УДК 551.521

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОТОКОВ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ НА ТЕРРИТОРИИ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ И НАЗЕМНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Я.А. Нейштадт¹, М.Ю. Червяков¹

¹Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского, Саратов, chervyakovmu@mail.ru

Аннотация: в работе обсуждаются вопросы оценки климатических условий для решения задач солнечной энергетики на юго-востоке европейской территории России. Проведен сравнительный анализ наземных актинометрических данных Мирового Радиационного Центра Главной Геофизической Обсерватории и данных спутникового проекта CERES (NASA). На основе многолетних спутниковых данных для юго-востока европейской территории России исследована их сезонная и пространственная изменчивость. В результате проведенного анализа были раскрыты некоторые особенности

поступления солнечной энергии. Выполненное районирование Саратовской области с использованием программы MapInfo на основе данных спутникового проекта CERES, что позволило дифференцировать территорию по особенностям радиационного режима. Сделан вывод о наиболее подходящей территории для расположения гелиоэнергетических станций.

Ключевые слова: гелиоэнергетика, солнечная энергия, суммарная солнечная радиация.

Введение. При проектировании и определении места размещения гелиоэнергетических установок необходимо ориентироваться на метеорологические и климатические условия, учитывая их особенности. К основным показателям, учитывающим при установке солнечных электростанций и панелей, служат данные о временных и пространственных вариациях потоков солнечной радиации.

В данной работе обсуждаются вопросы оценки климатических условий для решения задач солнечной энергетики, особенности пространственно-временного распределения показателей режима излучения на юго-востоке европейской территории России (ЮВ ЕТР) на примере городов: Астрахань, Волгоград, Саратов, Самара и в более подробный анализ для территории Саратовской области по данным измерений на актинометрических станциях и данных спутникового проекта CERES (NASA). В качестве основного показателя рассматривается суммарная солнечная радиация, на основе многолетних данных которой для ЮВ ЕТР исследована ее сезонная и территориальная изменчивость.

Спутниковые методы измерений радиационного баланса земной поверхности. Современные глобальные и региональные изменения, происходящие в климатической системе, требуют оценки пространственно-временной изменчивости основных климатообразующих факторов и, в частности, радиационного баланса подстилающей поверхности. Измерение радиационного баланса входило в программу основных наблюдений сетевых актинометрических станций СССР, а в дальнейшем России. Плотность актинометрической сети изначально была недостаточна для освещения всех регионов. В последние десятилетия на многих станциях в связи с состоянием приборной базы прекратились наблюдения за радиационным балансом (РБ). Изучение географических закономерностей распределения РБ и его климатических изменений стало невозможным по материалам непосредственных актинометрических наблюдений [5], требуется применение иных подходов. Большие возможности обеспечения надежной информацией в регионах, где наземные измерения редки или вовсе отсутствуют, открываются в связи с использованием спутниковых данных. Сохранить многолетние ряды значений РБ в пунктах, где закончились его непосредственные измерения, но ведутся наблюдения за другими радиационными характеристиками, возможно с помощью расчетных методов [1].

К примеру, на географическом факультете СГУ им. Н. Г. Чернышевского продолжают исследования составляющих радиационного баланса Земли (РБЗ) на основе данных, получаемых с российских гидрометеорологических

космических аппаратов нового поколения. На сегодняшний момент успешно работают два прибора, сконструированные профессором Ю. А. Складовым: ИКОР-М (Измеритель коротковолновой отраженной радиации), установленный на борту гелиосинхронного ИСЗ «Метеор-М» № 2, и ИСП-2М (Измеритель солнечной постоянной) – на борту геостационарного ИСЗ «Электро-Л». За годы работы измерителей собран большой массив данных по отдельным элементам РБЗ, который позволил провести ряд исследований изменчивости земной климатической системы [4].

Существенно дополняют наблюдения наземной сети спутниковые данные, но их усвоение и обработка могут представлять проблему для пользователей. Большие возможности оценки радиационных характеристик и их пространственной изменчивости открываются в связи с предоставлением в открытом доступе базы спутникового проекта NASA - Clouds and the Earth's Radiant Energy System [6] и др.

Сравнение актинометрических измерений с данными спутникового проекта CERES. Наиболее полные архивы данных актинометрических наблюдений сосредоточены в мировых радиационных центрах ВМО. Один из крупнейших центров расположен в Главной геофизической обсерватории им. Воейкова. Данный центр аккумулирует актинометрическую информацию и ежегодно публикует бюллетени, содержащие информацию о солнечной радиации по станциям на сайте [2].

В данной работе для сопоставления со спутниковыми данными проекта CERES использованы массивы измерений по станции Самара за период с 2007 по 2018 гг. Коэффициент корреляции для Самары составил 0,99 (рис. 1).

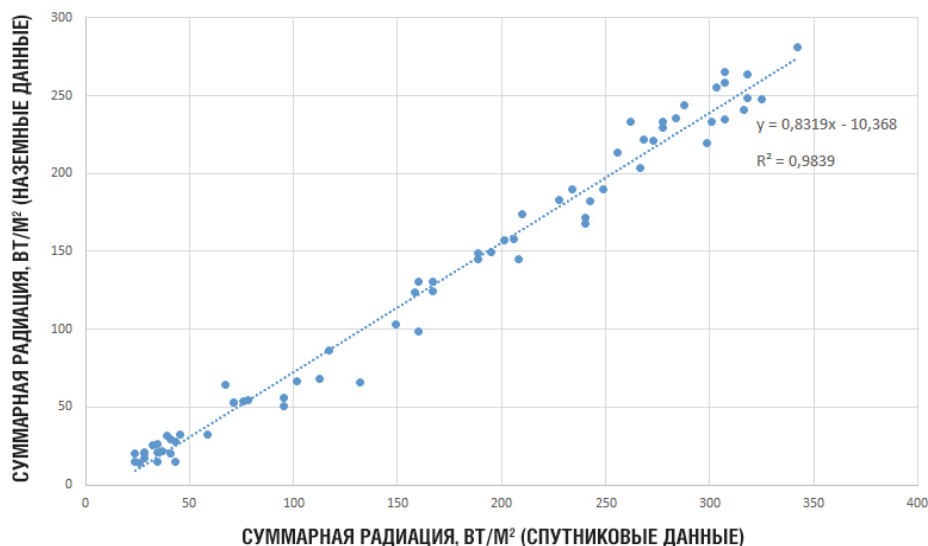


Рис.1. Корреляционная диаграмма по данным актинометрической станции и спутниковых измерений NASA (Aqua) в Самаре за период 2012 – 2017 гг.

Наземные актинометрические и спутниковые данные хорошо согласуются, что позволило вывести уравнение взаимосвязи данных рядов по суммарной солнечной радиации.

Проведенные сравнения позволили сделать вывод о пригодности спутниковых данных проекта CERES для оценки изменчивости суммарной радиации для любой географической точки в пределах наблюдаемости спутниковых радиометров.

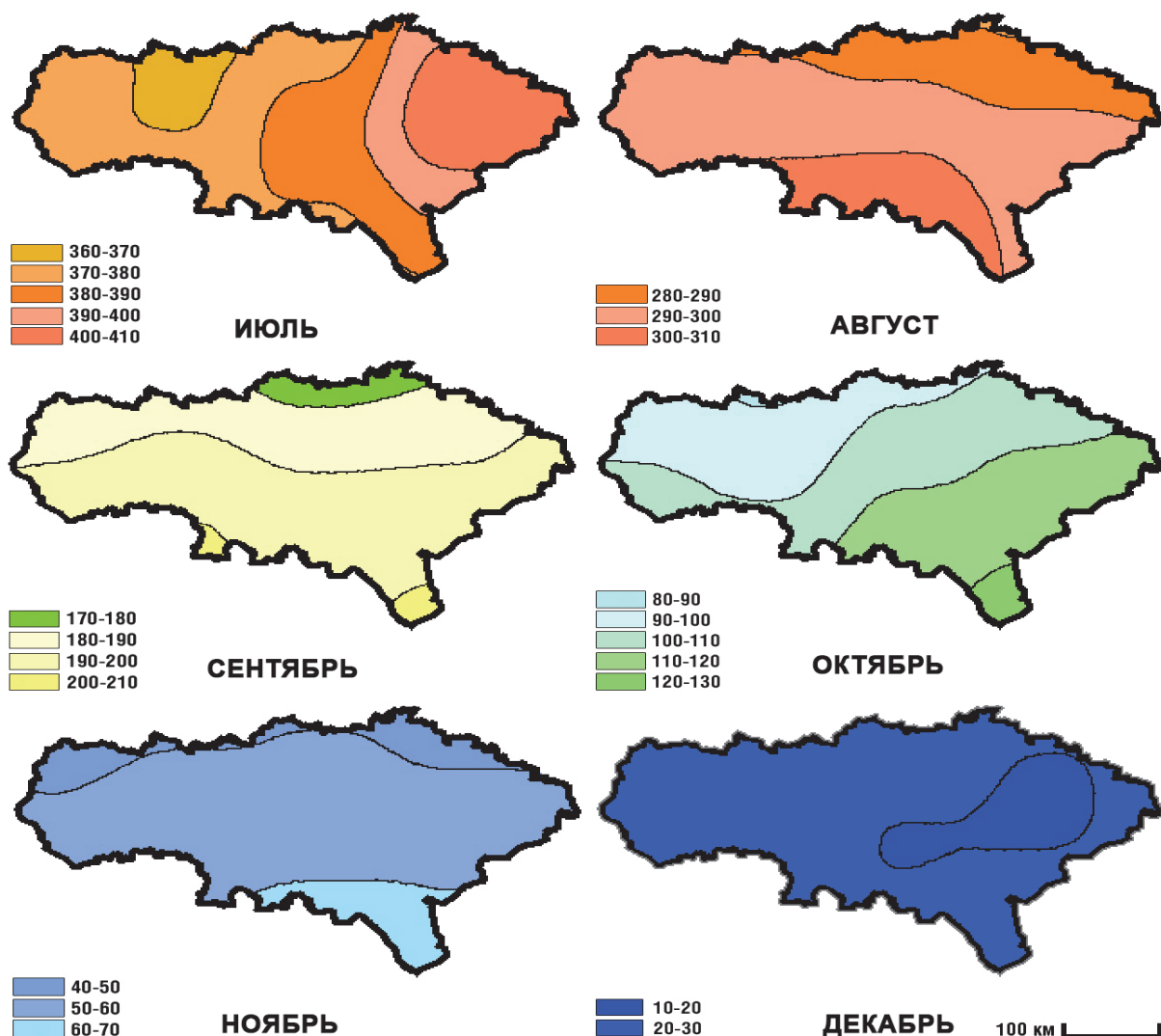


Рис. 2. Карты распределения суммарной солнечной радиации на территории Саратовской области в июле-декабре 2018 года по спутниковым измерениям CERES

Для оценки пространственно-временного распределения суммарной солнечной радиации на ЮВ ЕТР по данным CERES за 2007-2018 гг. были выбраны города Самара, Саратов, Волгоград и Астрахань.

К примеру, для Саратова наибольшее значение отмечаются в июне-июле каждого года. Самое максимальное значение для данного пункта отмечено в июне 2015 года и составило 349 Вт/м^2 . Минимальные значения отмечаются в декабре каждого года.

Пространственно-временные вариации суммарной радиации на территории Саратовской области. Для характеристики, поступающей на территорию Саратовской области солнечной радиации, использовались

величины суммарной солнечной радиации в разные временные интервалы. Для этих целей с использованием программы MapInfo проведено районирование Саратовской области на основе данных измерений суммарной радиации проекта CERES.

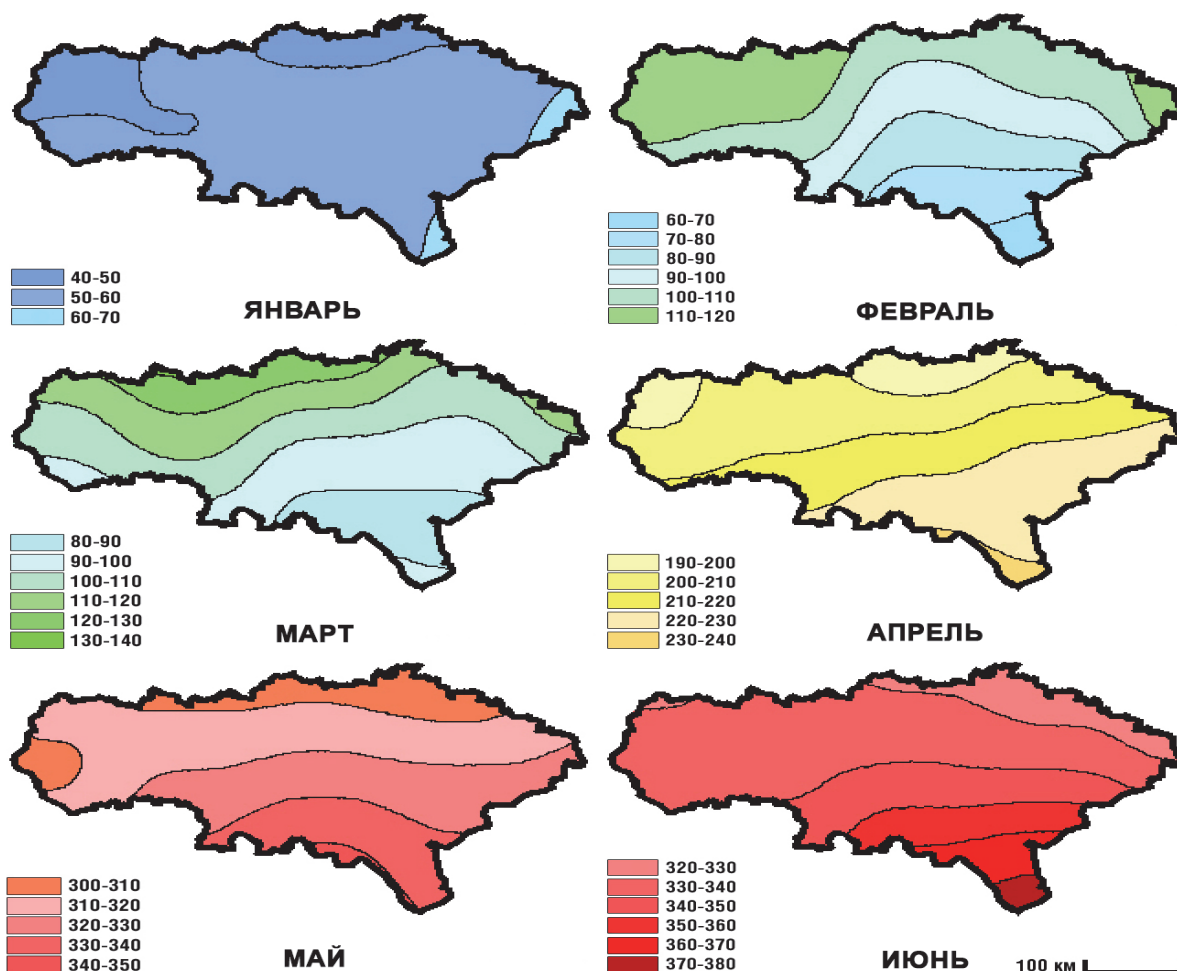


Рис. 3. Карты распределения суммарной солнечной радиации на территории Саратовской области в январе-июне 2018 года по спутниковым измерениям CERES

На картах (рис. 2 и 3) представлено распределение суммарной солнечной радиации на территории Саратовской области. Следует отметить, что величина радиации характеризуется существенной пространственной и сезонной изменчивостью.

Анализ всех ежемесячных карт распределения суммарной радиации на территории Саратовской области выявил существенную пространственную и сезонную изменчивость.

Южные районы можно с полным правом отнести к солнечным регионам. Здесь приход солнечной радиации в зимние месяцы колеблется от 30 Вт/м^2 до 70 Вт/м^2 , а в летние от 340 Вт/м^2 до 410 Вт/м^2 . Центральная часть Саратовской области характеризуется средними значениями солнечной радиации, летом значения суммарной радиации колеблется от 340 Вт/м^2 до 390

Вт/м², зимой от 10 Вт/м² до 50 Вт/м². Север Саратовской области характеризуется низкими значениями, зимой от 10 Вт/м² до 40 Вт/м², летом от 320 Вт/м² до 380 Вт/м². Наиболее благоприятный период для функционирования гелиоустановок – июнь-июль, когда ежемесячная суммарная радиация составляет в среднем 360 Вт/м².

Выводы. Проведенные исследования позволяют детализировать климатические условия освоения одного из самых масштабных возобновляемых энергетических ресурсов Саратовской области. Энергетическая освещенность поверхности за летние месяцы в крайне северных районах не превышает 320 Вт/м², а на юге региона достигает 410 Вт/м². На территории наиболее перспективных районов (в первую очередь, это Алгайский район) возможно создание крупных гелиосистем, которые глобально решат вопрос снабжения энергией [7-9].

Библиографический список

1. Горбаренко Е.В. Использование измеренной, расчетной и спутниковой информации для определения радиационного баланса земной поверхности // Тезисы международного симпозиума «Атмосферная радиация и динамика» (МСАРД - 2017). 2017. С. 163-164.
2. Мировой Центр Радиационных Данных [Электронный ресурс]: [сайт]. URL: http://wrdc.mgo.rssi.ru/wwwrootnew/wrdc_ru_new.htm (дата обращения: 29.04.2019).
3. Скляр Ю.А., Воробьев В.А., Котума А.И., Червяков М.Ю., Фейгин В.М. Алгоритм обработки данных наблюдений уходящей коротковолновой радиации с ИСЗ "Метеор-М" № 1 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т.9. № 3. С. 83-90.
4. Скляр Ю.А., Воробьев В.А., Котума А.И., Червяков М.Ю., Фейгин В.М. Измерения компонентов радиационного баланса Земли с ИСЗ "Метеор-М" № 1. Аппаратура ИКОР-М // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т.9. № 2. С. 173-180.
5. Червяков М.Ю., Нейштадт Я.А. Актинометрические методы измерений: учебно-методическое пособие для студентов географического факультета. Саратов: ИЦ «Наука», 2019. 50 с.
6. Clouds and the Earth's Radiant Energy System (CERES) [Электронный ресурс]: [сайт]. URL: <https://ceres.larc.nasa.gov> (дата обращения: 23.04.2019).
7. Нейштадт Я.А., Червяков М.Ю., Спиряхина А.А., Суркова Я.В., Шаркова С.А. Пространственно-временная изменчивость потоков солнечной радиации на территории Нижнего Поволжья по данным спутниковых и наземных наблюдений // Сборник тезисов докладов Семнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». М.: ИКИ РАН, 2019
8. Neyshadt Y.A., Cherviakov M. Yu. The climatic conditions for the solar industry development in Lower Volga region // Представляем научные достижения миру. Естественные науки: материалы X научной конференции молодых

ученых «Presenting Academic Achievements to the World». – Саратов: Изд-во «Саратовский источник», 2020. Вып. 9.

VARIABILITY OF SOLAR RADIATION FLUXES IN THE LOWER VOLGA REGION ACCORDING TO DATA OF SATELLITE AND GROUND METEOROLOGICAL OBSERVATIONS

Ya.A. Neishtadt¹, M.Yu. Chervyakov¹

¹ Saratov State University, Saratov, chervyakovmu@mail.ru

Summary: the article discusses the assessment of climatic potential for the solution of problem of solar energy in the Southeast of the European territory of Russia. A comparative analysis of ground-based actinometrical data of the World Radiation Center (Main Geophysical Observatory) and data from the satellite project CERES (NASA) was carried out. Based on long-term data for Southeast of the European territory of Russia, studied their seasonal and spatial variability. The analysis revealed some peculiarities of the income of solar energy in the region. Keywords: helioenergy, solar power, solar insolation.

УДК 633.551.5

МОДЕЛИ УРОЖАЙНОСТИ И КАЧЕСТВА ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ ПО СТАНЦИИ САРАТОВ ЮГО-ВОСТОК

С.И. Пряхина¹, Н.Г. Левицкая², Е.И. Ормели¹

¹Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского, Саратов, psi267269@yandex.ru

²ФГБНУ «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Юго-Востока», Саратов

¹Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского, Саратов, meteokatenok@mail.ru

Аннотация: в основу выполнения работы положен ежедневный метеорологический материал по станции Саратов Юго-Восток за 1972-2005 гг. В работе рассматриваются агрометеорологические условия, приводящие к формированию высоких, нормальных и низких урожаев яровой пшеницы. Представлены модели максимальной и минимальной урожайности данной культуры. Дан анализ влияния складывающихся погодных условий на прохождение фаз развития, продуктивность и качество яровой пшеницы.

Ключевые слова: модели урожайности, гидротермический коэффициент, качество зерна

Введение. Большое влияние на урожайность и качество зерна оказывают агрометеорологические факторы или гидротермические условия. Известно, что

в решении данной проблемы главное значение приобретает учет почвенно-климатических и агрометеорологических условий, в значительной мере определяющих урожайность сельскохозяйственных культур, качество продукции, затраты на производство, особенности агротехнических мероприятий и территориальную специализацию.

Саратовская область по географическому положению и климатическим условиям является одним из основных производителей в России высококачественного зерна, в частности – сортов сильных и твердых пшениц. В структуре посевных площадей зерновых и зернобобовых культур области более 45% занимают озимая и яровая пшеница.

Яровая пшеница - наиболее перспективная культура нашего региона. Она не отличается большой потенциальной урожайностью, но отработанная технология ее возделывания и высокое качество зерна делают яровую пшеницу главной культурой сегодняшнего дня, которая пользуется значительным спросом на современном рынке.

Яровая пшеница – однолетнее самоопыляющееся растение длинного дня, в процессе роста проходит все фазы развития – от посева до полной спелости. Продолжительность вегетационного периода колеблется у нее от 80 до 120 дней.

На темпы развития растений, время наступления фенологических фаз и продолжительность вегетационного периода влияют многие факторы, но главными являются агрометеорологические. Требования растений к погодным условиям при переходе от одного этапа развития к другому резко меняются.

Для получения максимальной урожайности каждой фазе развития должны соответствовать оптимальные метеорологические условия. Негативно сказываются как недостаток осадков и повышенный температурный режим, так и избыточное увлажнение, и пониженные температуры.

Закладка колосков в колосе яровой пшеницы происходит в фазу 3-5-го листа, когда растения еще слабо развиты и имеют маломощную корневую систему. Благодаря этому их потребность во влаге невелика и удовлетворяется запасами в пахотном слое. В этот период растения сильно реагируют на температуру воздуха: чем она ниже, тем больше образуется колосков в колосе.

Период кущения и выхода в трубку растений считается критическим для яровой пшеницы. Недостаток влаги в почве в это время увеличивает количество бесплодных колосков. Последующие даже обильные осадки не могут исправить данного положения. В таких условиях пшеница ускоренно переходит от одной фазы развития к другой, а урожай ее резко снижается.

В период кущение-колошение происходит формирование цветков. Количество завязей, образующихся после опыления, в значительной мере определяет количество зерен в колосе. Засуха в этот период представляет наибольшую опасность для урожая.

Завершающим в развитии яровой пшеницы является период налива зерна, когда определяются его вес и наполняемость. Для полноценного налива зерна растениям необходим определенный запас продуктивной влаги в почве и умеренный температурный режим [1].

Возделывание яровой пшеницы на территории нашей области необходимо и экономически выгодно, так как она является ценнейшим пищевым продуктом. Качество зерна во многом зависит от почвенно-климатических условий района возделывания данной культуры. С увеличением засушливости климата улучшаются мукомольно-хлебопекарные свойства зерна, повышается содержание в нем белка. Пшеничное зерно, выращенное в засушливых районах, всегда высоко ценится на мировом рынке.

Модель максимальной и минимальной урожайности яровой пшеницы. Обработка многолетнего метеорологического материала по тепло- и влагообеспеченности за 1972-2005 гг. по станции Саратов ЮВ позволила построить модели максимальной и минимальной урожайности яровой пшеницы.

При жарком и засушливом лете растения развиваются в ускоренном ритме, что приводит к более раннему созреванию зерновых культур. При прохладном и дождливом лете межфазные периоды удлиняются, и созревание наступает позже обычных сроков. В связи с этим колебание по годам продолжительности вегетационного периода может быть довольно значительным. По станции Саратов ЮВ за 34-х летний период продолжительность вегетации яровой пшеницы изменялась от 83 до 118 дней, а средняя продолжительность периода посев-полная спелость составила 98 дней [2].

За исследуемый ряд лет средняя урожайность яровой пшеницы составила 15,6 ц/га. Годы с урожайностью более 120% от средней многолетней (18,7 ц/га и более) отнесены к высокоурожайным (11 лет), с урожайностью менее 80% от средней многолетней (12,5 ц/га и менее) – к низкоурожайным (10 лет) (рис. 1).



Рис. 1. Ход урожайности (ц/га) яровой пшеницы по годам

В годы с максимальной урожайностью продолжительность вегетационного периода изменялась от 91 до 107 дней. Наибольшая урожайность яровой пшеницы составила 29,7 ц/га при длине вегетационного

периода 107 дней. Такая продолжительность способствует оптимальному прохождению всех этапов органогенеза и формированию высокой урожайности. Отклонение продолжительности вегетационного периода от оптимальной ведет к снижению урожайности. Снижение урожайности при длине вегетационного периода более 110 дней обычно связано с несвоевременной уборкой урожая, приводящей к осыпанию зерна.

Для лет с высокой урожайностью яровой пшеницы не характерны засушливые явления. За рассматриваемый 11-летний период наблюдалась одна засуха слабой интенсивности (1992 г., ГТК=0,62).

В годы с высокой урожайностью осадков за вегетационный период выпадает на 30-40% больше нормы, что составляет 204 мм (норма 150 мм) [3]. Осадки выпадают ежедекадно и в среднем превышают норму. Максимумы осадков приходятся на ответственные фазы развития кушение-выход в трубку и колошение-цветение. Во время уборки урожая наблюдается незначительное выпадение осадков.

Белковость яровой пшеницы для лет с максимальной урожайностью в среднем равна 13,9% и относится к среднему классу по качеству. Мука средней по силе пшеницы служит «наполнителем» и широко используется в хлебопекарной промышленности.



Рис. 2. Средние многолетние значения температуры воздуха, °C, осадков, мм, и средние многолетние даты наступления фаз развития яровой пшеницы, станция Саратов ЮВ, 1972-2005 гг. (годы с максимальной урожайностью)

Средние многолетние даты наступления фаз развития яровой пшеницы, ход среднесуточной температуры воздуха и осадков за вегетационный период по декадам в годы с минимальной урожайностью изображены на рис. 3.



Рис. 3. Средние многолетние значения температуры воздуха, °C, осадков, мм, и средние многолетние даты наступления фаз развития яровой пшеницы, станция Саратов ЮВ, 1972-2005 гг. (годы минимальной урожайности)

Осадков в рассматриваемые годы за вегетационный период выпадает 65% нормы - 98 мм (норма 150 мм). Недостаток влаги в почве во время вегетации ведет к слабому развитию корневой системы и частичной гибели растений. Повышенный температурный режим приводит к ускоренному прохождению всех этапов органогенеза, и, следовательно, к ускоренному развитию культуры в целом. Продолжительность периода вегетации от посева до полной спелости сокращается на 8-10 дней по сравнению с высокоурожайными годами, и составляет в среднем 90-94 дня.

Среднесуточные температуры воздуха превышают оптимальные значения температуры на 1-2°C. В такие низкоурожайные годы наблюдаются засухи средней и сильной интенсивности. Гидротермический коэффициент составляет 0,57. Белковость в годы минимальной урожайности не опускается ниже 15%. Мука таких пшениц широко используется в хлебопекарной и кондитерской промышленности.

Выводы. Рассчитанные прогностические модели, опираясь на погодные условия предстоящего вегетационного периода или отдельного его этапа, позволяют давать ориентировочный прогноз урожайности яровой пшеницы с месячной заблаговременностью, своевременно вносить изменения в технологию возделывания данной культуры, планировать подготовку и проведение агротехнических мероприятий, то есть достигать наибольшей сопряженности элементов технологий с условиями роста растений.

Библиографический список

1. Пряхина, С.И. Биологические и экологические особенности сельскохозяйственных, пастбищных и сенокосных растений / С.И. Пряхина, М.Ю. Васильева // Саратов: ИЦ «Наука», 2011. – 141 с.
2. Пряхина, С.И. Формирование продуктивности яровой пшеницы в зависимости от гидротермических условий межфазных периодов онтогенеза /

С.И. Пряхина, Е.И. Гужова, М.М. Смирнова // Вып.12 Вавиловские чтения – 2011: Материалы межд. научн.–практ. конф. – Саратов: Изд-во «КУБиК», 2011. – С. 109–113.

3. Климатологический справочник СССР. Выпуск 12. Метеорологические данные за отдельные годы. Часть I. Температура воздуха. Л.: Гидрометеиздат, 1954. 431 с.

MODELS OF PRODUCTIVITY AND QUALITY OF SPRING WHEAT ON THE STATION OF SARATOV SOUTH-EAST

S.I. Pryakhina¹, N.G. Levitskaya², E.I. Ormeli¹

¹Saratov State University, Saratov, psi267269@yandex.ru

²Federal state budgetary scientific institution "Research Institute of agriculture of the South-East", Saratov

¹Saratov State University, Saratov, meteokatenok@mail.ru

Summary: the basis of the work put daily meteorological material on the station Saratov South-East for 1972-2005. The article highlights the agrometeorological conditions, leading to the formation of high, normal and low yields of spring wheat in Saratov region. Models of maximum and minimum yields of this crop are presented. An analysis is made of the influence of the prevailing weather conditions on the passage of development phases and their effect on the productivity and quality of spring wheat.

Keywords: yield models, hydrothermal coefficient, grain quality

УДК 004.942: 631.524.85

ЦИФРОВИЗАЦИЯ РАСТЕНИЕВОДСТВА КАК ОСНОВА АДАПТАЦИИ К МЕНЯЮЩИМСЯ КЛИМАТИЧЕСКИМ УСЛОВИЯМ

Л.Ю. Новикова¹, А.И. Белолубцев²

¹ФГБНУ «ФИЦ Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова», Санкт-Петербург, l.novikova@vir.nw.ru

²ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», Москва, belolyubcev@mail.ru

Аннотация. Создана компьютерная информационная система, включающая базу данных многолетних наблюдений за сортами основных сельскохозяйственных культур ЕТР и комплекс регрессионных агрометеорологических моделей. При сохранении текущего темпа роста температуры воздуха и сумм осадков на ЕТР прогнозируется уменьшение урожайности сортов зерновых на 30 г/м²/10 лет и увеличение урожайности большинства исследованных культур: зернобобовых – до 9 г/м²/10 лет, капуста на 80 г/кочан/10 лет, винограда на 0,8 кг/куст/10 лет. У картофеля существенное отрицательное влияние на урожайность оказало распространение фитофторы.

Ключевые слова: изменения климата, цифровизация растениеводства, математические модели, адаптация растениеводства

Введение. Программа цифровизации сельского хозяйства предполагает, с одной стороны, развитие централизованных систем сбора, хранения и обработки данных от устройств, расположенных в поле, от дронов, агротехники, метеорологических станций, спутников и хозяйствующих субъектов. С другой стороны, цифровизация предполагает применение систем обработки больших данных, создание новой информации о закономерностях функционирования сельскохозяйственных систем. Применение информационных технологий нового поколения способно увеличить производительность в сельском хозяйстве на 70% [1]. Совокупность ретроспективных данных, систематизированных и собранных в базы данных, текущих характеристик посевов, математических моделей и систем принятия решений обеспечивают точные рекомендации и последовательность действий для сельскохозяйственных производителей [1, 2].

Целью данного исследования является прогнозирование урожайности основных сельскохозяйственных культур европейской территории России (ЕТР) в условиях изменения климата на основе создания информационной системы, включающей ретроспективную базу данных и комплекс регрессионных моделей.

Материал и методы. Изучены изменения климата в 7 географических пунктах, охватывающих ЕТР с 44 по 68 градус с.ш. – на 6 контрастных по климатическим условиям станциях ФГБНУ ФНЦ ВИР им. Н.И. Вавилова (в Мурманской, Ленинградской, Московской, Тамбовской обл., Краснодарском крае, респ. Адыгее) и на опытных посадках ВНИИ Виноградарства и виноделия им. Я.И. Потапенко (Ростовская обл.). Материалом для исследования послужили модели длинных рядов наблюдений (11-58 лет) за 28 сортами полевых культур и 71 сортом винограда. Рассмотрены следующие сельскохозяйственные культуры: зерновые (овес 6 сортов, ячмень 2 сорта, пшеница 3 сорта), зернобобовые (горох 3 сорта, бобы 2 сорта, соя 1 сорт); картофель 4 сорта; капуста 3 сорта; виноград 71 сорт [3, 4]. Были построены объединенные модели в разностях для каждой культуры в каждом пункте, и общее уравнение для всех изученных зерновых ЕТР [3]. Рассчитаны тренды урожайности и агроклиматических показателей за 1980-2014 гг. По полученному комплексу моделей и трендам агроклиматических показателей были рассчитаны прогнозы урожайности [3, 4]. Сравнением фактического и климатически обусловленного тренда получена агротехническая составляющая.

Для решения типовых задач, возникающих при анализе воздействия климатических изменений на разные культуры, в отделе автоматизированных информационных систем ВИР им. Н.И. Вавилова разработана и реализована в СУБД Delphi 2006 программа Plant-TS. Она позволяет хранить, анализировать и прогнозировать временные ряды хозяйственно ценных признаков сельскохозяйственных культур; рассчитывать температурные минимумы фенофаз, суммы активных и эффективных температур за межфазные периоды;

рассчитывать даты перехода температур выше определенных пределов и показатели тепло- и влагообеспеченности периодов между ними.

Результаты. Комплекс уравнений климатообусловленного прогноза урожайности, фактические тренды урожайности и агроклиматических предикторов в 1980-2014 гг. представлены в таблице. По моделям рассчитаны прогнозы, основанные на предположении о продолжении наблюдающихся тенденций. Урожайность зерновых культур зависела от эффективности прохождения ими вегетативного и генеративного этапов развития в виде зависимости от высоты растения и массы 1000 зерен. Не выявлено зависимости массы 1000 зерен от агроклиматических предикторов, что согласуется с тезисом о консервативности этого признака, поэтому климатообусловленный тренд принят равным нулю, а для высоты растения рассчитан по приведенной модели. Для зерновых выявлен один агроклиматический фактор высоты растения – отрицательное действие роста сумм активных температур выше 15°C [3].

Урожайность всех изученных зернобобовых культур зависела от осадков: гороха – осадков мая и июня; бобов и сои – от соотношения осадков и сумм температур (ГТК) за периоды с температурами выше 15 и 10°C соответственно. Наблюдения за бобами относятся к периоду 1963-1979 гг. и тренд в условиях активных климатических изменений не известен [3].

Таблица 1

**Регрессионные модели и климатически обусловленные прогнозы
динамики урожайности исследованных культур¹**

Формула	R ²	Тренд урожайности, ед./10 лет		Скорости изменения предикторов, ед./10 лет
		факт	расчет	
Зерновые, ЕТР				
$\Delta Y = -3,477 + 4,020\Delta \sum H + 7,768\Delta M_{1000}$ $\Delta H = -0,103 - 0,084\Delta \sum T_{эф15}$	0,32 0,32	-12,3	-30,1	$\Delta \Sigma T_{эф15}=89,3$; $\Delta M_{1000}=0$; $\Delta H=-7,5$
Зернобобовые				
Горох, Ленинградская обл. $\Delta Y = -2,153 + 1,002\Delta P_{июл} + 1,251\Delta P_{май}$	0,49	-1,4	7,7	$\Delta P_{июл}=-0,2$; $\Delta P_{май}=6,3$
Бобы, Ленинградская обл. $Y = 48,969 + 175,785 ГТК_{15}$	0,65	-	8,8	$\Delta ГТК_{15}=0,05$
Соя, Краснодарский край $\Delta \Delta Y = -3,326 + 237,744\Delta \Delta ГТК_{10}$	0,44	23,7	0,2	$\Delta ГТК_{10}=-0,001$
Картофель				
Мурманская обл. $Y = 2338,134 - 13,675 D_{ц}$	0,63	91,0	17,8	$\Delta \Sigma T_{15}=36,4$; $\Delta \Sigma P_{15}=10$; $\Delta D_{ц}=-1,3$
Ленинградская обл. $Y = 3418,355 - 146,292 T_{15}$	0,51	119,8	-87,8	$\Delta T_{15}=0,6$
Адыгея $Y = 1228,704 - 16,289 D_{б}$	0,48	53,6	13,0	$\Delta \Sigma T_{15}=101,1$; $\Delta D_{б}=-0,8$
Капуста, Ленинградская обл.				
$\Delta Y = 0,074 - 0,010\Delta P_{июл} + 0,351\Delta \Sigma T_{15}$	0,32	-292,8	78,6	$\Delta P_{июл}=-0,2$; $\Delta \Sigma T_{15}=218,4$

Виноград ² , ВНИИВиВ				
$Y = 2,759 + 0,010 \sum T_{эффпред20} + 0,192 T_{мин} + 0,034 L_{10-20}$	0,57	0,9	0,8	$\Delta \sum T_{эф20} = 77,3; \Delta T_{мин} = 0,4; \Delta L_{10-20} = -3,9$

¹Обозначения: R^2 – коэффициент детерминации уравнения; Δ – прирост, ед./ 10 лет;

Y – урожайность (зерновые, зернобобовые кг/м²; картофель г/растение, капуста г/кочан, виноград кг/куст); M_{1000} – масса 1000 зерен, г; H – высота растения, см; $D_{ц}$, $D_{б}$ – дата цветения, бутонизации картофеля;

$T_{мин}$ – минимальная среднесуточная температура зимы, °С; $\sum T_{15}$, $\sum T_{эф15}$, $\sum T_{20}$, $\sum T_{эффпред20}$ – сумма активных, эффективных температур выше 15°С, активных выше 20°С; эффективных выше 20°С за предшествующий год; T_{15} – средняя активная температура выше 15°С; $P_{май}$, $P_{июл}$, P_{15} – сумма осадков мая, июля, периода с температурами выше 15°С, мм; $ГТК_{10}$, $ГТК_{15}$ – гидротермический коэффициент за периоды с температурами выше 10, 15°С; L_{10-20} – продолжительность периода с температурами 10-20°С весной - в начале лета;

²Тренды климатических показателей за 1980-2011 гг.

У картофеля в разных пунктах исследования спецификации уравнений оказались различны. В условиях недостатка и избытка тепла, в Мурманской области и республики Адыгея, урожайность увеличивалась с более ранней бутонизацией (цветением) за счет удлинения периода клубнеобразования. Скорость сокращения периода посадка-цветение картофеля рассчитанная нами ранее, составляла около 1 сут./10 лет. Рассчитанные значения ускорения были взяты для дат цветения и бутонизации в предположении неизменной даты посадки [5]. Урожайность картофеля в Ленинградской обл. уменьшалась с ростом температур, что, возможно, является негативным следствием распространения фитофторы [3].

Средняя масса кочана всех сортов капусты отрицательно зависела от осадков июля и положительно от средней активной температуры выше 15°С [3]. Урожайность «среднего сорта» винограда увеличивалась с ростом суммы эффективных температур выше 20°С предыдущего года, минимальной температуры за зиму, продолжительности периода с температурами между 10 и 20°С в текущем году [4].

При сохранении текущего темпа роста температуры воздуха и сумм осадков на ЕТР прогнозируется уменьшение урожайности сортов зерновых на 30 г/м²/10 лет и увеличение урожайности большинства исследованных культур: зернобобовых – до 9 г/м²/10 лет, капусты на 80 г/кочан/10 лет, винограда на 0,8 кг/куст/10 лет. У картофеля существенное влияние на урожайность оказало распространение фитофторы. Для всех культур, кроме капусты, климатообусловленные значения приростов урожайности ниже фактических. Дополнительный положительный тренд обусловлен ростом агротехники в период исследования.

При сохранении текущего темпа роста температуры воздуха и сумм осадков на ЕТР прогнозируется дальнейшее климатообусловленное сокращение продолжительности вегетации на 2-4 сут./10 лет районированных в середине–конце XX в. сортов зерновых, льна, капусты, винограда [5]. У зернобобовых влияние осадков компенсирует рост температуры воздуха, что может привести к увеличению продолжительности вегетации.

В качестве компенсационных адаптационных мер может быть предложен более ранний посев, особенно чувствительных к яровизации культур, использование более поздних культур и сортов.

Таким образом, научно обоснована перспективность применения совокупности современных цифровых методов, информационных систем и математических моделей, для оценки адаптации продукционного процесса основных сельскохозяйственных культур ЕТР к изменению климата.

Благодарность. Работа выполнена в рамках ГЗ №0662-2019-0004.

Библиографический список

1. Водянова С. И плантация, и мануфактура // The Chemical Journal. 2017. №9. С.18-23 <http://tcj.ru/journal/september-2017>
2. Sekhar Ch. Ch., Kumar J. U., Kumar B. K., Sekhar Ch. Big Data Analytics on Indian Crop Planning to Increase Agricultural Production // Advanced Science and Technology Letters. 2017. Vol.147 (SMART DSC-2017), pp.211-216 <http://dx.doi.org/10.14257/astl.2017.147.30>
3. Новикова Л.Ю., Дюбин В.Н., Лоскутов И.Г., Зуев Е.В., Ковалева О.Н., Пороховинова Е.А., Сеферова И.В., Булынецов С.В., Артемьева А.М., Киру С.Д., Рогозина Е.В., Наумова Л.Г. Анализ динамики хозяйственно ценных признаков сортов сельскохозяйственных культур в условиях изменения климата // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. - СПб.: ВИР, 2013. - Т. 173. - С. 102-119.
4. Наумова, Л.Г. Анализ тенденций изменений урожайности сортов винограда коллекции ВНИИВиВ им.Я.И. Потапенко / Л.Г. Наумова, Л.Ю. Новикова // Виноделие и виноградарство. – 2014. - №5. - С. 44–49.
5. Новикова Л.Ю., Белолобцев А.И. Особенности фенологии основных сельскохозяйственных культур в условиях глобальных климатических изменений // Материалы Международной научной конференции, посвященной 175-летию со дня рождения К.А. Тимирязева, 4-6 декабря 2018 г., Москва, РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева (в печати)

DIGITALIZATION OF CROP PRODUCTION AS A BASIS FOR ADAPTATION TO CHANGING CLIMATIC CONDITIONS

L. Yu. Novikova¹, A. I. Belolyubtsev²

¹FGBNU "Fitz all-Russian Institute of plant genetic resources. N. I. Vavilova", St. Petersburg

²Russian State Agrarian University-MTAA, Moscow, belolyubcev@mail.ru

Summary: a computer information system has been created, including a database of long-term observations of varieties of the main agricultural crops of the EPR and a set of regression agrometeorological models. While maintaining the current rate of increase in air temperature and precipitation amounts on the ETR, the yield of grain varieties is projected to decrease by 30 g / m² / 10 years and increase the yield of most of the studied crops: legumes - up to 9 g / m²/10 years, cabbage by

80 g / head/10 years, grapes by 0.8 kg / Bush/10 years. The spread of *Phytophthora* had a significant negative impact on the yield of potatoes.

Keywords: climate change, digitalization of crop production, mathematical models, adaptation of crop production

УДК 551.582

БИОКЛИМАТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ И ПРОДУКЦИОННЫЙ ПРОЦЕСС

С.М. Авдеев

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», Москва, avdeev@rgau-msha.ru

Аннотация: Показано, что ареал пониженной продуктивности Пермского края оттесняется на север. Увеличиваются территории с более благоприятными условиями климата. Используются данные с 17 метеостанций.

Ключевые слова: биоклиматический потенциал, Пермский край, биологическая продуктивность, изменение климата.

Биоклиматическим потенциалом называют комплекс показателей и факторов в, так называемой, системе «климат-растение-почва». Эти климатические факторы формируют продуктивность сельскохозяйственных растений. [1,2].

Впервые понятие о БКП было введено П.И. Колосковым [3]. Д.И. Шашко, в свою очередь, дополняя предложенное Колосковым определение, предложил комплекс дополнительных факторов, которые способствуют оптимизации сельскохозяйственной деятельности, а для описания БКП территории использовал количественный показатель, относительной величины биологической продуктивности, отражающий влияние соотношения тепла и влаги [1].

Комплексное изучение БКП какой либо, определенной территории позволит выбрать лучшую структуру производства, прогнозировать возможные риски, учитывать их при расчете потенциально возможной урожайности и предотвращать их для минимизации ущерба, а также разработать адаптивные меры для возделывания сельскохозяйственных культур в условиях изменяющегося климата и подготовить рекомендации, конкретно относящиеся к определенной исследуемой территории [2].

Пермский край занимает восточную часть Русской равнины и территории западных склонов Северного и Среднего Урала. Общая площадь региона равняется 160 237 км². Протяженность в меридиональном направлении примерно равна 644,5 км, в широтном 417 км. Характерной чертой климатических условий Пермского края является континентальность климата,

амплитуда абсолютных значений температуры может достигать 90°C. Растениеводство района представлено широким спектром возделывания сельскохозяйственных культур. На полях в Пермском крае выращивают зерновые, овощные и технические культуры.

Д.И.Шашко предложил физико-статистическую модель расчета биоклиматического потенциала, который определяется в относительных значениях или баллах. БКП характеризуется комплексом климатических показателей, определяющим биологическую продуктивность земель данной территории. Совместное влияние ресурсов тепла и соотношения тепла и влаги, на биологическую продуктивность растений выражается формулой:

$$\text{БКП} = K_p \frac{\sum t_{>10^{\circ}\text{C}}}{\sum t_{\text{акт(баз)}}} \quad (1)$$

где БКП – относительное значение биоклиматического потенциала;

K_p – коэффициент роста по годовому показателю атмосферного увлажнения;

$\sum t_{>10^{\circ}\text{C}}$ – сумма активных среднесуточных температур воздуха за период активной вегетации;

$\sum t_{\text{акт(баз)}}$ – базисная сумма среднесуточных значений температуры воздуха за период активной вегетации, т.е. та сумма температур, относительно которой проводится сравнительная оценка.

В качестве базисных могут быть взяты суммы температур воздуха:

- 1000°C для сравнения с продуктивностью климата на северной границе массового полевого земледелия;
- 1900°C для сравнения со средней по стране продуктивностью климата;
- 3100°C для сравнения с продуктивностью в оптимальных условиях роста в умеренном поясе, характерной для предгорных районов Краснодарского края России. [4]

В приведенной формуле (1) для расчета БКП коэффициент роста (K_p) представляет собой отношение урожайности культуры в данных условиях влагообеспеченности к максимальной урожайности в условиях оптимального увлажнения. Его значения высчитываются по формуле:

$$K_p = \lg (20K_{\text{увл}}), \quad (2)$$

где $K_{\text{увл}} = P / \sum d$

Коэффициент годового атмосферного увлажнения ($K_{\text{увл}}$), представленный формулой (2), равен отношению количества осадков к сумме среднесуточных значений дефицита влажности воздуха. При $K_{\text{увл}} \geq 0,5$ создаются оптимальные условия для влагообеспеченности растений. При таких оптимальных условиях $K_p = 1$ [4].

Средняя продуктивность зерновых культур широкого ареала соответствует значениям БКП $\approx 1,9$, которое Шашко принял за эталон (100 баллов). Поэтому переход от БКП к баллам осуществляется умножением БКП на коэффициент пропорциональности 55, рассчитанный по соотношению базовых сумм температур 1900 °C и выраженный в процентах [4].

Для перевода полученного БКП в баллы необходимо применить формулу (3)

$$B_k = K_p \frac{(\sum t_{>10^{\circ}\text{C}}) * 100}{1900} \quad (3)$$

$$B_k = 55 \text{БКП},$$

где B_k – индекс биологической продуктивности (относительно средней продуктивности по стране), балл;

55 – коэффициент пропорциональности, определенный по связи средних значений БКП и показателей продуктивности зерновых при уровне агротехники госсортоучастков.

По значениям биологической продуктивности Шашко выделил семь ареалов: ареал очень низкой продуктивности, низкой, пониженной, средней, повышенной, высокой и очень высокой [4].

Расчет биологической продуктивности территории Пермского края был проведен относительно базисной суммы активных температур в 1000°C за два периода 1970-1999 и 2000-2014. Для оценки современных агроклиматических ресурсов Пермского края, были проведены аналогичные расчеты, представленные в таблице 2, за период с 2000 года по 2014 год. Сравнивая климатические показатели, составляющие БКП, за расчетные периоды можно говорить о том, что в большей степени изменения коснулись сумм активных температур выше 10°C и количества осадков, среднее по краю значение увеличилось примерно на 150°C (табл. 1,2), вместе с этим количество осадков тоже изменилось примерно на 40 мм. Коэффициент увлажнения остался без изменений за счет параллельного увеличения осадков и дефицита влажности воздуха.

В таблицах 1 и 2 представлены необходимые данные для расчета БКП.

Таблица 1

**Агроклиматические ресурсы территории Пермского края
за период 1970-1999 гг.**

Пункт	$\Sigma t_{>10^{\circ}\text{C}}$	P, мм	Σd , мб	$K_{\text{увл}}$	K_p	БКП	Бк, баллы
1.Ныроб	1442	608	921	0,7	1	1,4	79
2.Чердынь	1496	740	965	0,8	1	1,5	82
3.Гайны	1563	616	980	0,6	1	1,6	86
4.Коса	1571	643	1009	0,6	1	1,6	86
5.Кочёво	1590	637	915	0,7	1	1,6	87
6.Кудымкар	1690	540	959	0,6	1	1,7	93
7.Чёрмоз	1774	551	886	0,6	1	1,8	98
8.Добрянка	1824	638	1072	0,6	1	1,8	100
9.Верещагино	1825	576	1121	0,5	1	1,8	100
10.Пермь	1833	630	1148	0,5	1	1,8	101
11.Кын	1599	610	1038	0,6	1	1,6	88

12.Оханск	1910	549	1084	0,5	1	1,9	105
13.Б. Соснова	1831	582	1071	0,5	1	1,8	101
14.Кунгур	1893	524	1129	0,5	1	1,9	104
15.Ножовка	2002	547	1197	0,5	1	2,0	110
16.Октябрьский	1667	702	1048	0,7	1	1,7	92
17.Чернушка	1946	555	1093	0,5	1	1,9	107
Среднее по краю	1733	603	1037	0,6			95

Таблица 2

**Агроклиматические ресурсы территории Пермского края
за период 2000-2014 гг.**

Пункты	$\Sigma t > 10^\circ$	P, мм	Σd	Кувл	К р(ку)	БКП	Бк баллы
1.Ныроб	1491	693	921	0,8	1	1,5	82
2.Чердынь	1621	813	990	0,8	1	1,6	89
3.Гайны	1635	651	1020	0,6	1	1,6	90
4.Коса	1756	660	1062	0,6	1	1,8	97
5.Кочёво	1749	661	1028	0,6	1	1,7	96
6.Кудымкар	1759	628	1015	0,6	1	1,8	97
7.Чёрмоз	1888	607	931	0,7	1	1,9	104
8.Добрянка	1972	671	1072	0,6	1	2,0	108
9.Верецагино	2031	606	1048	0,6	1	2,0	112
10.Пермь	1975	672	1153	0,6	1	2,0	109
11.Кын	1716	619	1049	0,6	1	1,7	94
12.Оханск	2106	598	1145	0,5	1	2,1	116
13.Б. Соснова	1981	607	1081	0,6	1	2,0	109
14.Кунгур	2014	574	1168	0,5	1	2,0	111
15.Ножовка	2184	563	1197	0,5	1	2,2	120
16.Октябрьски	1825	759	1098	0,7	1	1,8	100
17.Чернушка	2112	580	1188	0,5	1	2,1	116
Среднее по краю	1871	645	1069	0,6			103

На основе полученных с помощью расчетов по методу оценки продуктивности климата Д.И. Шашко были построены карты распределения биоклиматического потенциала по территории Пермского края, с помощью программы Surfer (рисунок 1). Исходя из значений индекса биологической продуктивности при естественном увлажнении проведено районирование территории Пермского края. По шкале биологической продуктивности климата

Шашко (табл.), на территории края можно выделить два микрорайона и 4 подрайона.

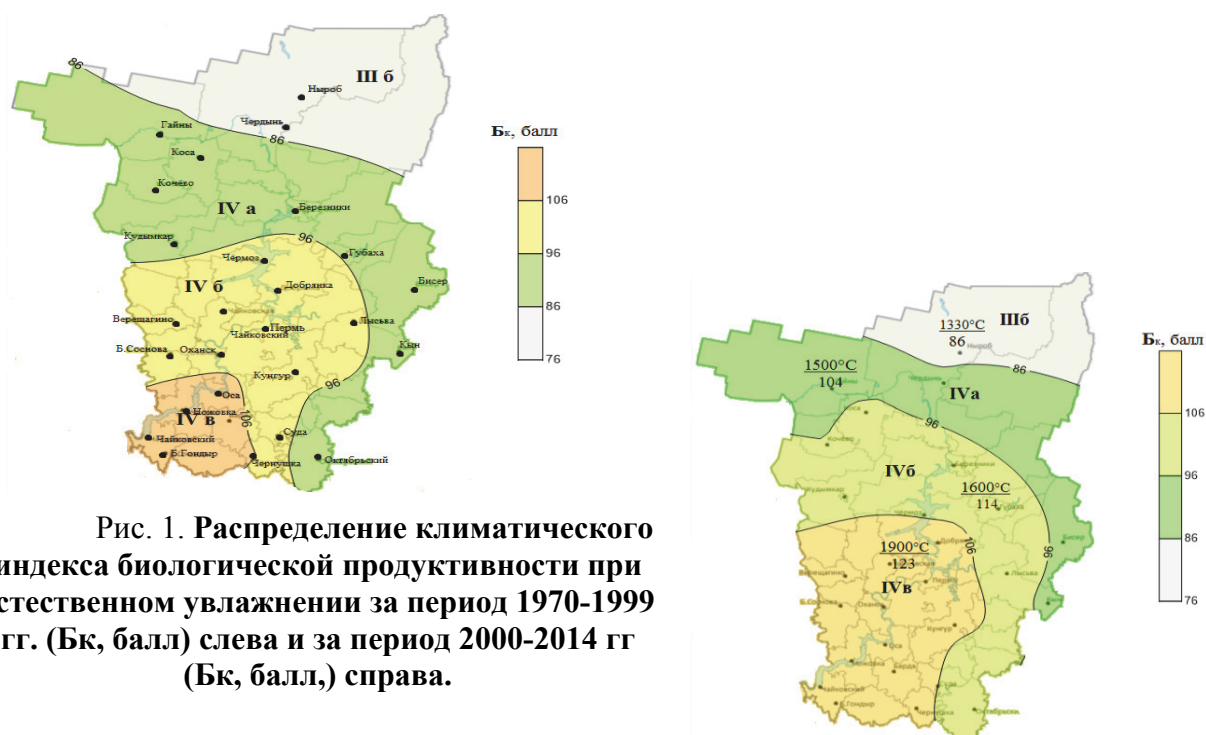


Рис. 1. Распределение климатического индекса биологической продуктивности при естественном увлажнении за период 1970-1999 гг. (Бк, балл) слева и за период 2000-2014 гг (Бк, балл,) справа.

Пространственно-временная оценка биоклиматического потенциала территории Пермского края за период 1970-1999 гг. и 2000-2014 гг. показывает, что ареал пониженной продуктивности отесняется дальше на север. Увеличиваются территории с более благоприятными условиями климата. В связи с этим можно расширить площади под посев зерновых культур на север и северо-восток. Вплоть до самых северо-восточных районов (Чердынский и Красновишерский).

В целом территория Пермского края характеризуется на данный момент удовлетворительными и хорошими агрометеорологическими условиями. Климатический индекс биологической продуктивности к концу исследуемого периода имеет тенденцию к возрастанию абсолютно во всех районах. Причиной такого изменения показателей является увеличение сумм температур выше 10 °С.

Библиографический список

1. Гордеев А.В., Клещенко А.Д., Черняков Б.А., Сиротенко О.Д. Биоклиматический потенциал России: теория и практика. М.: Т-во научных изданий КМК 2006. 512с.
2. Кобышева Н.В., Хайруллина К.Ш. Энциклопедия климатических ресурсов Российской Федерации;/ под Спб, Гидрометиздат, 2005, с. 319
3. Сапега В.А., Турсумбекова Г.Ш. и др. Биоклиматический потенциал почвенно-климатических зон северного Зауралья. // Вестник тюменского государственного университета. 2011. № 4. 41-44с.
4. Шашко Д.И. Агроклиматические ресурсы СССР. М.: Гидрометеиздат, 1985. 248 с.

ДИНАМИКА КОЛИЧЕСТВА ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

В.Е. Путырский, А.В. Павлова

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», Москва, ctasia20@yandex.ru.

Аннотация: *составлена база данных пространственно-временного распределения экстремальных погодных явлений, опасных для сельского хозяйства, на территории России за период 1990-2015 гг. Проанализированы сезонные изменения экстремальности климата. Исследовано качественное распределение и динамика количественных характеристик различных атмосферных осадков (снег, продолжительный дождь, ливень, град) за исследуемый период. Оценена степень изменения количества экстремально сильных осадков по регионам Российской Федерации. За последние 25 лет количество ОГЯ (опасных гидрометеорологических явлений) возросло. Наблюдается наиболее значительный рост количества ОЯ конвективного характера – сильные ливни, град, шквал.*

Ключевые слова: *опасные погодные явления, экстремальные осадки, глобальное потепление, климатическая изменчивость.*

Введение. Как отмечал в своих трудах профессор Ю.И. Чирков: "Сельскохозяйственное производство называют цехом под открытым небом, так как оно взаимодействует со сложной системой природных условий, из числа которых метеорологические факторы являются наиболее изменчивыми и активными"[1].

Среднегодовая температура на территории России за последние 100 лет выросла на 1°C, что на 0,3°C выше, чем в целом на планете. Глобальные изменения климата оказывают существенное влияние на сельское хозяйство.

Наиболее серьезным последствием изменений климата является рост числа и интенсивности всех экстремальных погодных явлений. При экстремальных климатических условиях урожайность может падать до 60 - 70%, по сравнению со средними условиями. За последние годы рост количества опасных явлений, нанесших социальный и экономический ущерб, составил 9 явлений в год [2].

В настоящее время погодно-климатическая ситуация на территории Российской Федерации характеризуется сильными температурными аномалиями – наблюдаются как экстремально теплые, так и экстремально холодные периоды в различные сезоны года. Все эти процессы, так или иначе, связаны с изменениями в водном балансе атмосферы [3].

Согласно исследованиям погодных явлений, наиболее значимо увеличилось количество экстремально интенсивных (ливневых) осадков. В

учебнике "Агрометеорология" Ю. И. Чирковым указывается, что в случае выпадения ливневых осадков почва не успевает впитывать воду, быстро стекающую в пониженные места, так что значительная часть поступающей влаги не используется растениями. Помимо того, дожди такой интенсивности вызывают полегание посевов и трав, ухудшают условия цветения растений, приводят к эрозии почвы. Учет изменений в режиме осадков необходим для коррекции мелиоративных мероприятий, технологии возделывания растений, определения сроков и способов уборки.

Для обобщенного анализа в основном применяется определение экстремальных осадков как явлений, которые своей интенсивностью или продолжительностью оказывают негативное влияние на людей, объекты сельского хозяйства и экономики.

Материалы и методы исследования. Результатом анализа информации об аномальных гидрометеорологических явлениях на территории Российской Федерации по литературным источникам (ежемесячные обзоры в журнале «Метеорология и гидрология», данные ВНИИ ГМИ-ЦМД) стал электронный каталог экстремальных погодных явлений на территории России. В каталог вошли характеристики различных погодно-климатических явлений. Эти характеристики включают в себя данные о продолжительности явления, дате начала и окончания, интенсивности, нанесенном ущербе. Регион распространения (федеральный округ, область, город, населенный пункт, метеостанция) указывается в зависимости от масштаба явления: температурные аномалии распространяются сразу на область или округ, а локальные аномалии описывают с указанием метеостанции, на которой они были зафиксированы (таблица 1).

Результаты исследований. Согласно данным, за период с 1991 по 2015 годы количество опасных гидрометеорологических явлений увеличилось практически в два раза (рис. 1). Причем тенденция к росту наблюдается во всех рассматриваемых категориях явлений, а именно:

- климатических (экстремальные температуры, засухи);
- метеорологических (шквалы, ливни, град, грозы, снегопады).

Таблица 1

Каталог аномальных погодно-климатических явлений на территории РФ (фрагмент)

Год	Месяц	Дата начала	Дата окончания	Тип явления	Область	Ущерб	Описание	Источник
2009	5	2	2	заморозки	Брянская		до -3°C	Метеорология и гидрология 2009 №8 стр.118-123
2009	5	3	3	заморозки	Курская		до -5°C	
2009	5	4	4	заморозки	Орловская		до -2°C	
2009	5	5	5	шквал	Кемеровская	на 6ч прекращалась подача горячей воды в г.Тайга	20-24м/с	
2009	5	9	9	очень сильный дождь	Краснодарский край	ущерб составил 252 тыс.руб. было отключено 90 ЛЭП	в период с 2 до 8ч 107 мм	
2009	5	11	11	налипание мокрого снега	Кемеровская	отмечены обрывы ЛЭП, ущерб составил 1млн.руб	диаметр 42-47мм	
2009	5	10	12	заморозки	Кировская	отмечены обрывы ЛЭП, ущерб составил 1млн.руб	до 0... -2°C	

Максимальная повторяемость аномальных погодно-климатических явлений характерна для летних месяцев, минимальные значения наблюдаются в переходные сезоны [5].

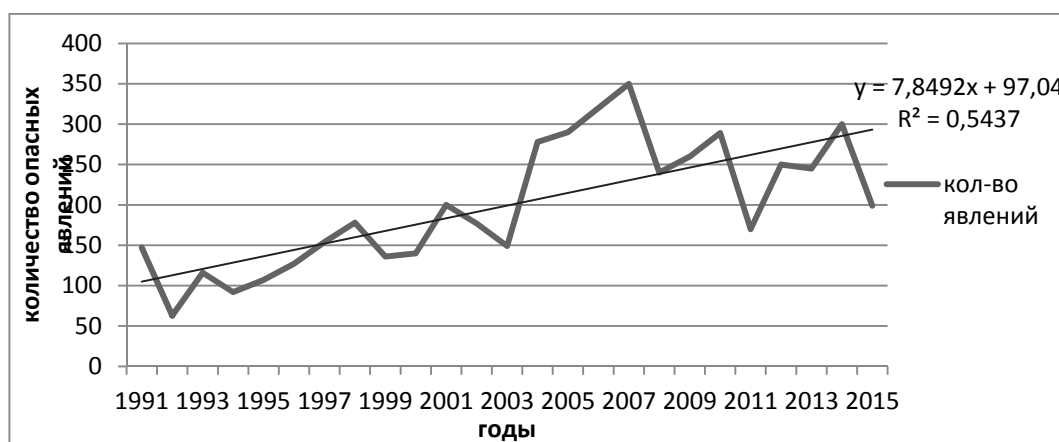


Рис. 1. Динамика изменения количества опасных погодных явлений за 1990-2015 гг.

Так же нами проведен анализ распределения типов экстремальных явлений на территории России (рис. 2).

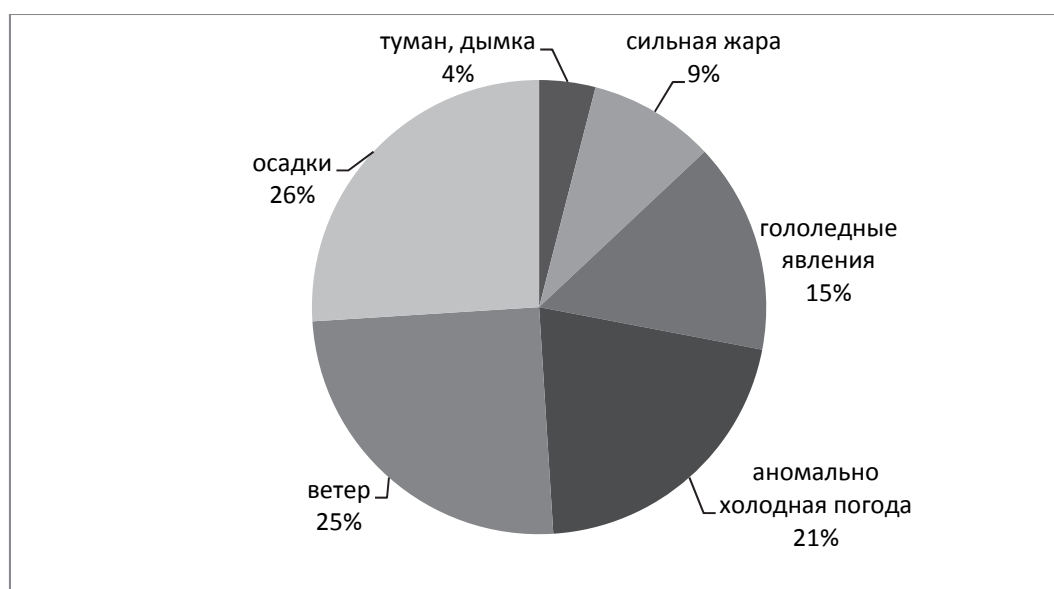


Рис. 2. Распределение количества основных типов экстремальных погодных явлений за 1990-2015 гг.

Как видно на диаграмме, основную опасность для России представляют сильный ветер и экстремальные осадки (25% и 26 % соответственно). При этом если количество случаев экстремально сильных ветров за период исследования увеличилось не столь статистически значимо (5%), то увеличение количества экстремальных осадков превышает 25%. Из 580 погодных катаклизмов 2015

года 200 были связаны с сильными осадками. На них приходится более 55 % экономических потерь от всех ОГЯ.

Сильнее всего изменилось количество опасных атмосферных осадков летнего периода. К таким осадкам относятся град, аномально продолжительный дождь и ливни. На территории России все чаще наблюдаются ливневые осадки не характерного для климата типа - конвективные внутримассовые ливни, выпадающие из кучево-дождевых облаков, образованных вследствие сильного нагрева подстилающей поверхности.

В среднем за изучаемый 25-летний период увеличение количества сильных ливней составило 40%. При этом резкое увеличение наблюдается в последние десять лет. В этот период минимальное значение за год составило 103 явления, что больше максимального за предыдущие 14 лет количества экстремальных ливневых осадков (97 явлений). Так же значительно возросло количество сопряженных с конвективными осадками опасных явлений, прежде всего града и гроз.

Наибольшее количество экстремальных осадков за все время исследования наблюдается на территории Дальневосточного и Северокавказского ФО (рис.3). Вероятнее всего, это связано с климатическими особенностями регионов, муссонным режимом Дальнего Востока и влиянием орографического рельефа на осадки Северокавказского региона.

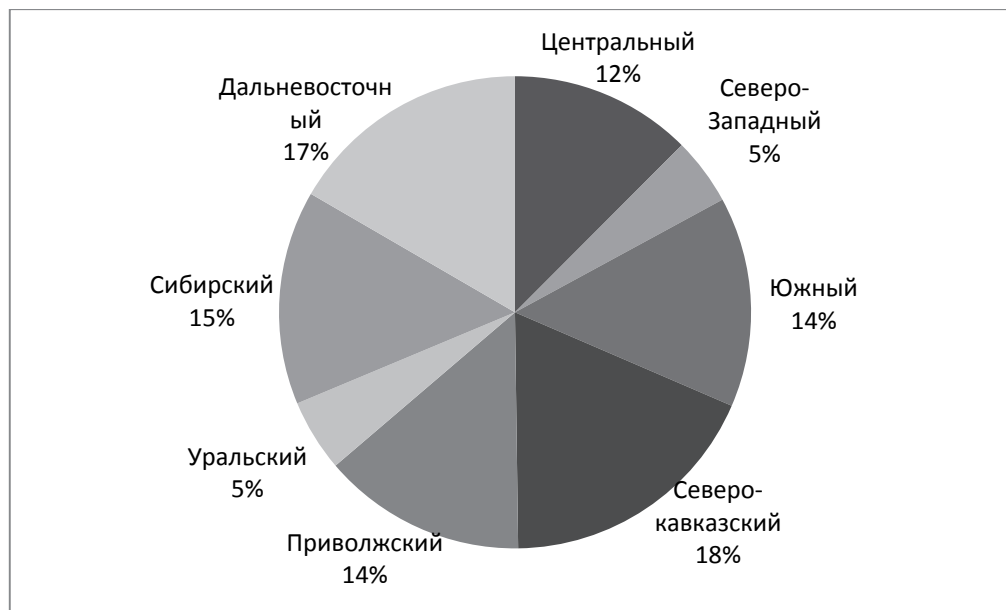


Рис. 3. Процентное соотношение многолетнего распределения случаев экстремальных атмосферных осадков по федеральным округам России

В целом по территории России и в ее регионах (кроме Приамурья) отмечается некоторое увеличение аномалий количества осадков. Тренд среднегодовых осадков в среднем по России описывает 25% межгодовой изменчивости. Анализ пространственного распределения повторяемости экстремальных суточных сумм осадков в период 1990-2015 гг. показал, что в

период с 1991 по 2000 годы распределение было относительно равномерным, а с 2000 по 2015 гг. наблюдался резкий рост опасных явлений, особенно явный на территории Сибирского и Центрального ФО (рис. 5). Сравнивая эти два условных периода, можно заметить, что в первый - количество экстремальных явлений распределено относительно равномерно, с перепадом в 10-20 единиц, а примерно с двухтысячного года - происходит резкое расхождение годовых случаев опасных осадков в различных регионах на 20-60 единиц.

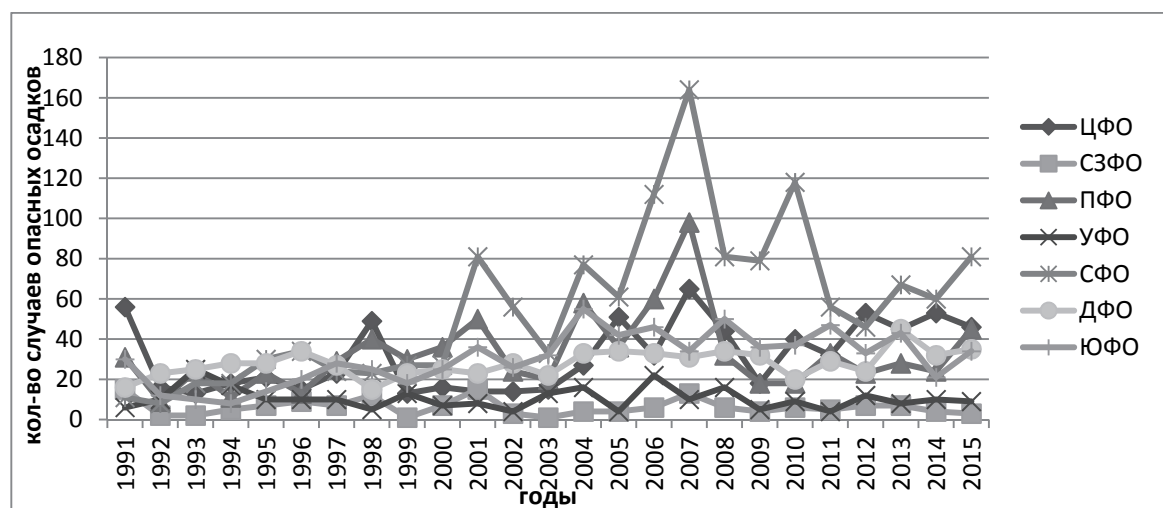


Рис. 4. Динамика количества экстремальных атмосферных осадков по федеральным округам РФ за 1991-2015 гг.

Выше отмечено, что больше всего изменилось количество экстремальных атмосферных осадков в Сибирском ФО (более чем в четыре раза) и Центральном ФО. Однако на территории Дальнего Востока и Северо-Западного ФО наблюдалась отрицательная тенденция количества экстремальных атмосферных осадков. Остальная часть территории России характеризуется небольшим (до 35 %) ростом числа опасных осадков.

Анализ сезонной повторяемости аномальных погодно-климатических явлений на территории России показал, что в Сибири максимальный рост повторяемости аномальных явлений характерен для летних месяцев, в то время как минимальные его значения наблюдаются в переходные сезоны. На территории Центрального федерального округа количество экстремальных осадков увеличилось во все сезоны года, кроме лета, особенно в весенне-осенний период. В тоже время на Дальнем Востоке дни с экстремальным количеством осадков чаще стали повторяться зимой и весной, что, вероятно, связано с изменением общей картины циркуляции атмосферы.

Выводы

1. В целом за последние 25 лет количество ОГЯ возросло. Исследования однозначно указывают, что тенденции усиления неустойчивости климатических условий и увеличения частоты и силы опасных экстремальных явлений продолжатся.

2. Рост числа опасных явлений, нанесших экономический ущерб, составил в последние десятилетия в среднем 9 явлений за год.

3. Наблюдается наиболее значительный рост количества ОЯ конвективного характера – сильные ливни, град, шквал. Доля таких явлений в 2015 году составила 51 %. Именно эти явления напрямую связаны с увеличением глобальной температуры земного шара, а следовательно, с интенсификацией восходящих потоков в атмосфере.

Библиографический список

1. Чирков Ю.И. Агрометеорология // Гидрометеиздат, 1979-320 с.
2. Булыгина О. Н. Коршунова, В. Н. Разуваев Н.Н. Критерии экстремальности климатических явлений в температурном режиме и режиме осадков на территории России// Анализ изменений климата и их последствий. Тр. ВНИИГМИ-МЦД. Вып. 173. – Обнинск: 2007.–С. 38–53.
3. Золина О.Г., Булыгина О.Н. Современная климатическая изменчивость характеристик экстремальных осадков в России // Фундаментальная и прикладная климатология. – 2016.– т. 1.– С.84– 103.
4. Бардин М.Ю., Платова Т.В. Изменения порогов экстремальных значений температур и осадков на территории России в период глобального потепления // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – 2013. – № 25.– С. 71–93.
5. Путырский В.Е., Кукушкина А.В. Динамика количественных характеристик экстремальных атмосферных осадков на территории Российской Федерации // Природообустройство.-2019.- №3.- С.115-120.

DYNAMICS OF QUANTITATIVE CHARACTERISTICS OF EXTREME PRECIPITATION ON THE TERRITORY OF THE RUSSIAN FEDERATION

V. E. Putyrsky, A. V. Pavlova

Federal State budget educational institution of higher education Russian state agrarian university – MAA named after K.A. Timiryazev, Moscow, Russian Federation, ctasia20@yandex.ru.

Summary: there is made a database of spatial-temporal distribution of extreme weather phenomena in Russia between 1990 and 2015. Seasonal changes of the extreme climate are analyzed. The qualitative distribution and dynamics of quantitative characteristics of different atmospheric precipitation (snow, long rain, shower, hail) for the period were studied. The degree of change in the amount of extremely strong precipitation in the regions of the Russian Federation was assessed. For the past 25 years the quantity of GMOS has increased. In general, there was an increase in precipitation anomalies of a convection character – strong showers, hail, squalls.

Keywords: database, dangerous weather phenomena, extreme precipitation, global warming, climate variability.

ДИНАМИКА ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА ЧЕРНОЗЕМА ОПОДЗОЛЕННОГО В ПОЛЕВОМ СЕВОБОРОТЕ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ КЛИМАТА

А.Н. Полевой, Л.Е. Божко

*Одесский государственный экологический университет,
ул. Львовская, 15, г. Одесса, 65016, Украина.*

Аннотация: изучены в численных экспериментах с моделью закономерности динамики органического углерода и выделений $C-CO_2$ в полевом десятипольном севообороте в условиях изменения климата. Ожидаемые показатели метеорологических условий в 2021 – 2050 гг. оценивались с помощью климатических сценариев RCP4.5 и RCP8.5. Установлена прямая зависимость годовых сумм выделения углерода $C-CO_2$ из почвы от значений коэффициента увлажнения за вегетационный период. Рассмотрены особенности влияния влажно-температурного режима на динамику органического углерода чернозема оподзоленного и выделений $C-CO_2$ при различном внесении минеральных и органических удобрений под сельскохозяйственные культуры.

Ключевые слова: баланс, углерод, севооборот, осадки, температура воздуха, минеральные и органические удобрения, коэффициент увлажнения.

Введение. Плодородие почвы – это способность почвы снабжать растения необходимыми питательными веществами, водой и воздухом для их качественного развития и размножения. Плодородие – это основной и самый важный признак, отличающий почву от горной породы и всех других природных образований земной суши. Почва обеспечивает растения всем необходимым благодаря бесчисленным химическим, физическим и биологическим процессам, которые в ней протекают. Именно в результате этих процессов почва создаёт, накапливает, распределяет и в нужный момент отдаёт вещества, необходимые растениям.

Одним из главных показателей почвенного плодородия является содержание гумуса и его качество. Изменение содержания гумуса в почве определяется процессами гумификации и минерализации органических веществ. Динамика изменений содержания гумуса в почве наиболее достоверно определяется в продолжительных стационарных опытах, которые позволяют оценивать влияние разных агротехнических мероприятий на содержание гумуса и состояние почвы. [1, с. 73].

Оценка уровня плодородия почвы может производиться по отдельным свойствам, но она затруднена тем, что различные показатели находятся на разном уровне. Поэтому наиболее объективным критерием является комплексный показатель – индекс окультуренности почв, где каждое свойство выражено в относительных величинах и отражает степень соответствия почвы

требованиям культурных растений. Актуальной при этом также является оценка динамики гумуса и выделение CO_2 из сельскохозяйственных полей в условиях изменения климата.

Существуют различные подходы к оценке баланса гумуса в почве [2, с. 4-5)]. Условно по специфическим целям и методическим приемам их можно разделить на две группы: экологический подход, основанный на моделировании динамики органического углерода в почве и агрономический подход, основная цель которого сохранение оптимальных почвенных функций и определение требуемого количества органических удобрений для достижения этой цели. В работе [2, с. 6] приводится характеристика семи наиболее применяемых в Европе в практике и научных исследованиях подходов, различающихся по целям, концепциям моделирования, охватом учета влияющих факторов и процедурами валидации.

Будущая динамика органического углерода в почве оценивается помощью различных биогеохимических моделей различной сложности и сценариев изменения климата.

Потенциальное влияние климатических изменений на свойства почв детально рассмотрены в обзоре [3, с. 54-59]. В работе [4, с. 17-20] приводятся результаты моделирования воздействия изменения климата и увеличения атмосферного CO_2 на продуктивность травянистой растительности и содержание углерода в почве на 31 участке умеренной и тропической зоны с помощью модели CENTURY, которые показали существенные повышения продуктивности растительности и потери углерода почвы через 50 лет. Аналогичные результаты получены в исследовании динамики продуктивности растений и органического углерода в почве в условиях Австралии с помощью SOCRATES модели на ближайшие 100 лет [5, с. 3]. Применение моделей CENTURY33 и ROTH-C34 позволило в работе [6, с. 170] исследовать влияние температуры на углерод почвы в условиях изменения климата, отмечая уменьшение содержания углерода в различных типах почвы через 100 лет.

Для условий Европы был выполнен проект, рассматривающий содержание углерода в почве при изменении климата в период 1990 – 2080 гг. с помощью модели LUND-POTSDAM-JEN [7, с. 2145] и в 1990 – 2100 гг. с помощью модели LPJ-DGVM [8, с. 391-393]. С помощью модели CarboSOIL для условий Андалузии [9, с. 8235] проведена оценка динамики почвенного углерода до 2040, 2070, 2100 года. В условиях стран Балтии выполнены разноплановые фундаментальные исследования по изменению климата, также рассматривается оценка углерода почвы при климатических изменениях [10, с. 281]. В Дании в течение 20 лет (1991 – 2010 гг.) с помощью CROP-SOIL models изучалась динамика углерода в почве при возделывании озимой пшеницы [11, с. 146]. Сверхдолгосрочные оценки динамики органического углерода в почве в условиях Дании и Китая получены с помощью BERN CARBON CYCLE MODEL в работе [12, с. 218]. Отмечается уменьшение содержания углерода через 20, 100 и 200 лет. В условиях Канады с использованием LONG-TERM ORGANIC CARBON MODEL [13, с. 198] оценивалась динамика углерода почвы на пастбище при различной степени покрытости растительным

покровом. Показана динамика убывания углерода почвы на периоды 100, 200, 300 и 400 лет.

Изменчивость содержания углерода в почве рассматривается с помощью статистического анализа BMDP STATISTICAL SOFTWARE MANUAL в работе [14, с. 802] на примере 500 пастбищных и 300 культивированных почв Центральных равнин США.

В условиях Бразилии [15, с. 123] рассматривалась с помощью модели CQESTR динамика углерода в тропической почве в двух вариантах: без обработки почвы и при пахоте на период с 1927 до 2033 года и с 1986 до 2036 года. Отмечается устойчивое снижение содержания углерода при всех вариантах опыта.

Обобщающие оценки для условий Африки и Юго-Восточной Азии относительно влияния климатических изменений на продуктивность почв и содержание углерода в них выполнены с помощью модели FORNBM и приводятся в работе [16, с. 10-12]. В материалах ФАО [17, с. 7-8] всесторонне с помощью комплекса моделей (CENTURY, DNDC, Roth C, LPJ-DGVM, CESAR) рассматривается влияние изменений климата на углерод почвы.

Материалы и методы исследования. В основу исследования был положен набор климатических сценариев, а именно Репрезентативные траектории концентраций углекислого газа (*Representative Concentration Pathways – RCP*). Наиболее исследованными сценариями изменения климата считаются два из них: RCP4.5 и RCP8.5. Самым пессимистическим является сценарий RCP8.5, который предусматривает экспоненциальное увеличение углекислого газа в атмосфере до конца XXI столетия, примерно, в 2,5 раза в сравнении с современным [18, с. 18]. Помимо этого, в исследовании использовалась усовершенствованная авторами модель кругооборота углерода в почве ROTHNC-26.3, которая описывает динамику четырех активных компартментов органического вещества почвы и инертного органического вещества [19, с. 239]. В алгоритм модели ROTHNC-26.3 авторами введена полученная на основе работы [20, с. 128] система уравнений, которая позволяет разделить растительные остатки по месяцам вегетации, суммарная величина которых определяется по уравнениям, предложенным в работе [21, с. 5]. Помимо этого, введен расчет температуры почвы на глубине 20 см и изменен расчет водного режима почв.

Моделирование динамики органического вещества в минеральных почвах и выбросов углерода из этих почв базируется на обосновании концепции разделения органического вещества растительных остатков, органического материала почв на активные и пассивные компартменты и дальнейшем количественном описании их динамики.

В модель включены все главные процессы кругооборота углерода, интенсивность которых описывается уравнением первого порядка. В течение процесса разложения происходит обмен органического вещества между пулами. При аэробных условиях процесс разложения способствует потерям углерода в виде CO_2 .

Идентификация параметров модели выполнялась на опубликованных в литературных источниках материалах наблюдений, которые были получены в процессе исследований динамики гумуса в продолжительных стационарных опытах в условиях Правобережной Лесостепи Украины [1, с. 82; 22, с. 32]. Основной тип почвы – чернозем оподзоленный.

Рассматривался полевой десятипольный севооборот с последующим чередованием сельскохозяйственных культур в севообороте: клевер (сено), озимая пшеница, сахарная свекла, кукуруза, горох, озимая пшеница, кукуруза, озимая пшеница, сахарная свекла, яровой ячмень. Перед началом стационарных опытов запасы гумуса в черноземной оподзоленной почве в слое 0–20 см составляли 82,1 т/га [1, с. 82]. При проведении численных экспериментов с моделью эта величина принималась в качестве начальной. Рассматривались три варианта численных экспериментов:

- а) выращивание культур без внесения удобрений;
- б) внесение минеральных удобрений в дозах $N_{45}P_{45}K_{45}$ и $N_{90}P_{90}K_{90}$;
- в) внесение навоза порядка 9 т/га и 18 т/га.

С помощью модели была выполнена оценка возможного баланса углерода в почве на полях севооборота в условия будущих изменений климата (за период 2021– 2050 гг.) в двух вариантах: для всех полей севооборота и для отдельного поля севооборота.

Климатические условия как текущие, так и ожидаемые влияют на формирование урожайности культур, на баланс гумуса в почве и на выделение CO_2 с полей севооборота.

Результаты и обсуждения. Условия увлажнения и термический режим играют существенную роль в процессах превращения органических веществ в почве прежде всего из-за огромного влияния на растительность и деятельность микроорганизмов, которые являются важнейшими биологическими факторами почвообразования.

Рассчитанные по сценариям изменения климата RCP4.5 и RCP8.5 за период 2021 – 2050 гг. температурный режим и сумма осадков представлены на рис. 1 и 2.

Ожидается, что по сценарию RCP4.5 годовое количество осадков будет равно 535 мм, что составит 88 % от среднего многолетнего количества.

При этом распределение осадков по годам будет очень неравномерным. В целом ожидается, что в пяти – шести годах годовая сумма осадков будет составлять 50 – 65 % базовой величины, за период до 16 лет – с количеством осадков 75 – 85 % базовой величины и только в восьми годах – с количеством осадков 95 – 115 % базового количества.

Если сравнивать ожидаемые величины сумм осадков по климатическим сценариям, то следует отметить, что по климатическому сценарию RCP8.5 годовая сумма осадков будет выше чем по сценарию RCP4.5, она будет достигать 574 мм, что составит 94 % от базовой величины.

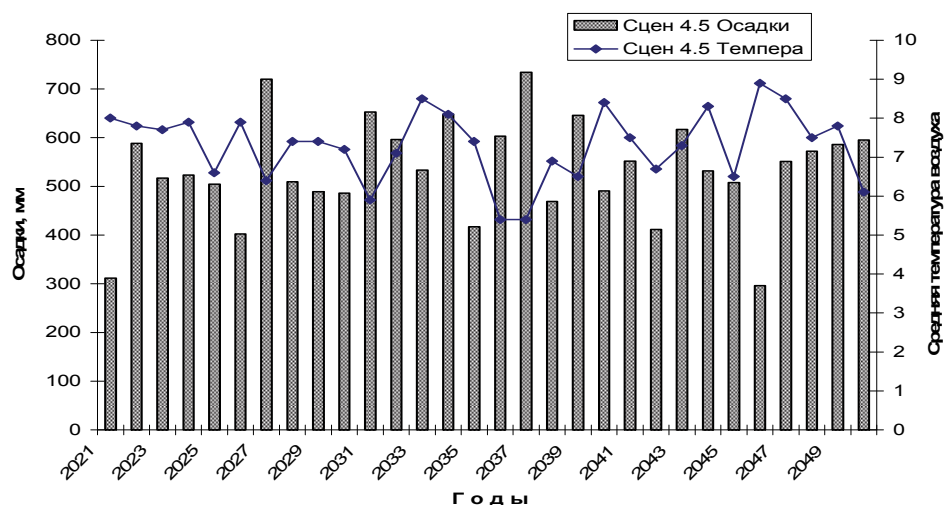


Рис. 1. Динамика ожидаемых годовых сумм осадков и средней за год температуры воздуха. Климатический сценарий RCP4.5.

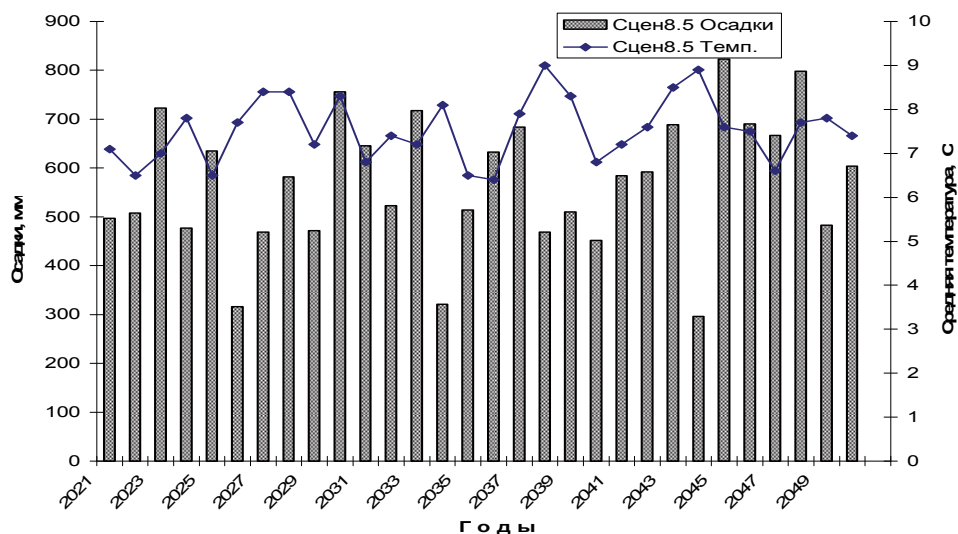


Рис. 2. Динамика ожидаемых годовых сумм осадков и средней за год температуры воздуха. Климатический сценарий RCP8.5.

По показателю увлажнения ГТК (гидротермический коэффициент Селянинова) по климатическому сценарию RCP4.5 количество лет с засушливыми явлениями будет составлять 9 случаев (рис. 3), особой засушливостью будут отличаться 2021 и 2046 годы, когда коэффициент увлажнения ГТК составит соответственно 0,58 и 0,52 отн. ед., что характеризует вегетационные периоды этих лет как периоды с засухой средней

интенсивности, при средней за летний период температуре воздуха соответственно 19,6 и 19,9 °C.

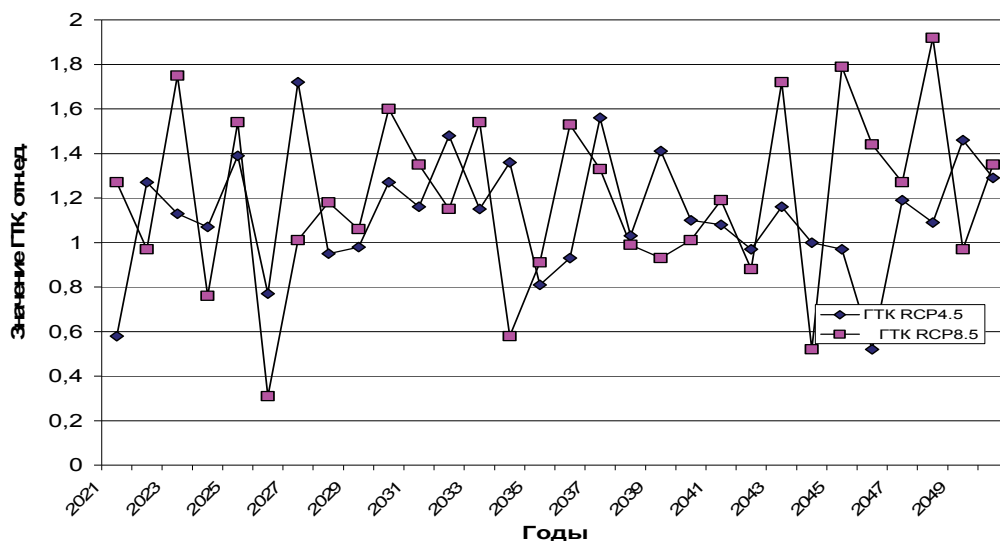


Рис. 3. Динамика ожидаемых значений коэффициента увлажнения ГТК Селянинова по климатическим сценариям RCP4.5 и RCP8.5.

Вместе с тем, по сценарию RCP8.5 увеличится количество лет с суммами осадков 48–52 % от базовой величины. Особенно засушливыми ожидаются 2026, 2034 та 2044 годы, когда коэффициент увлажнения ожидается соответственно 0,31; 0,58; 0,52. По показателю увлажнения ожидается 10 засушливых лет (рис. 3).

Под влиянием погодных условий баланс углерода изменяется ежегодно и в современных условиях и в будущем.

Характер динамики ожидаемых средних годовых значений баланса углерода в почве при разных вариантах внесения удобрений в полевом десятипольном севообороте при реализации климатического сценария RCP4.5 представлен на рис. 4. При этом рассматривалось три варианта расчета: а) без внесения удобрений; б) внесение минеральных удобрений в дозе $N_{90}P_{90}K_{90}$; в) внесение навоза в количестве 18 т/га. Как видно из данных рис. 4, среднегодовой отрицательный баланс углерода будет колебаться от -0,120 до -0,379 тС/га и ожидается в варианте без внесения удобрений. Наименьшие значения баланса будут ожидать в 2036, 2038, 2039, 2048 – 2050 годах. Среднее за год значение баланса углерода в почве составит -0,250 тС/га.

Колебания баланса углерода в почве в варианте с внесением минеральных удобрений $N_{90}P_{90}K_{90}$ ожидаются значительно меньшими от -0,184 до 0,101 тС/га. В девяти годах баланс углерода в почве ожидается положительный. Среднее годовое значение баланса углерода в почве будет также как и варианте без внесения удобрений отрицательным, но существенно меньшим (на 0,219 тС/га) и составит -0,031 тС/га.

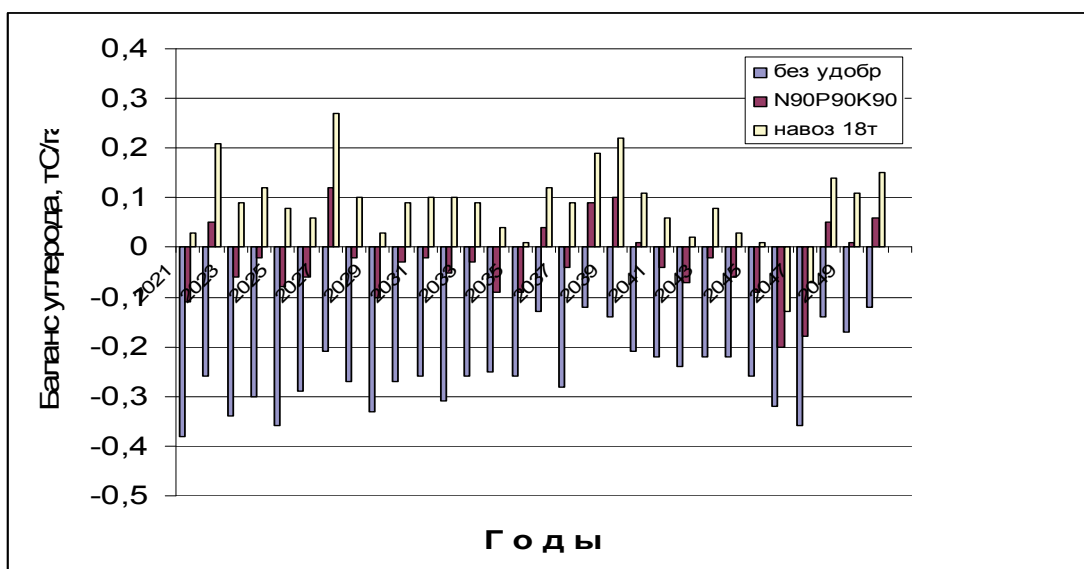


Рис. 4. Динамика среднегодовых значений баланса углерода в почве при разных вариантах внесения удобрений в десятипольном севообороте. Климатический сценарий RCP4.5.

Баланс углерода в почве в варианте с внесением навоза в количестве 18 т/га ожидается положительным. Среднегодовое значение величины баланса ожидается 0,085 тС/га, однако, будут два года – 2046 и 2047, когда баланс углерода будет наблюдаться отрицательным. Ожидается, что эти годы будут характеризоваться самыми высокими среднегодовыми (8,5 – 8,9 °С) и средними за летний период (19,9 °С) температурами воздуха. Помимо этого, 2046 год будет и самым засушливым.

В условиях реализации климатического сценария RCP8.5 прослеживается увеличение годового баланса углерода несколько большее, чем при реализации сценария RCP4.5. Это объясняется тем, что при реализации сценария RCP8.5 ожидаемые условия тепло- и влагообеспеченности будут более благоприятны – температура воздуха будет несколько ниже средней многолетней, а количество осадков, особенно начиная с 2040 года, ожидается выше средней многолетней.

Сопоставление данных рис 1, 2 и 4 показывает на слабую положительную зависимость среднегодового баланса углерода в почве в полевом десятипольном севообороте от условий увлажнения за год.

Естественно, что под разными сельскохозяйственными культурами формируется только им присущий баланс углерода, а на рис. 4 приводятся осредненные по севообороту данные, в которых нивелируются особенности каждой полевой культуры. Если рассмотреть ожидаемый годовой баланс углерода на отдельном поле, например, на поле озимой пшеницы, то зависимость будет более отчетливо выраженной.

Улучшение режима увлажнения приведет к увеличению величины баланса углерода. Была рассчитана статистическая зависимость годового баланса углерода на поле с озимой пшеницей в десятипольном севообороте от количества осадков за лето (июнь-август), вариант без внесения удобрений,

сценарий RCP4.5. Связь характеризуется незначительным коэффициентом корреляции $R = 0,3491$.

Следует также отметить, что при значительном количестве осадков даже при варианте без внесения удобрений ожидается слабо положительный баланс.

При сумме осадков за летние месяцы от 50 до 100 мм баланс углерода будет отрицательный и составит $-0,10 - -0,15$ тС/га. При сумме осадков за лето более 200 мм баланс будет положительным и ожидается в пределах $0 - 0,05$ тС/га. В годы, когда сумма осадков ожидается более 220 мм, а средняя температура при этом будет снижена до $17 - 17,5$ °С, годовой баланс углерода ожидается в пределах $0,12 - 0,13$ тС/га.

Режим увлажнения существенно влияет на выделения углерода $C-CO_2$ из почвы. Комплексным показателем оценки условий увлажнения является гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК). Результаты сопоставления ожидаемых по климатическому сценарию RCP4.5 (вариант без внесения удобрений) годовых сумм выделения углерода $C-CO_2$ из почвы на поле с озимой пшеницей в десятипольном севообороте с условиями увлажнения, характеризуемыми коэффициентом ГТК, представлен на рис. 5.

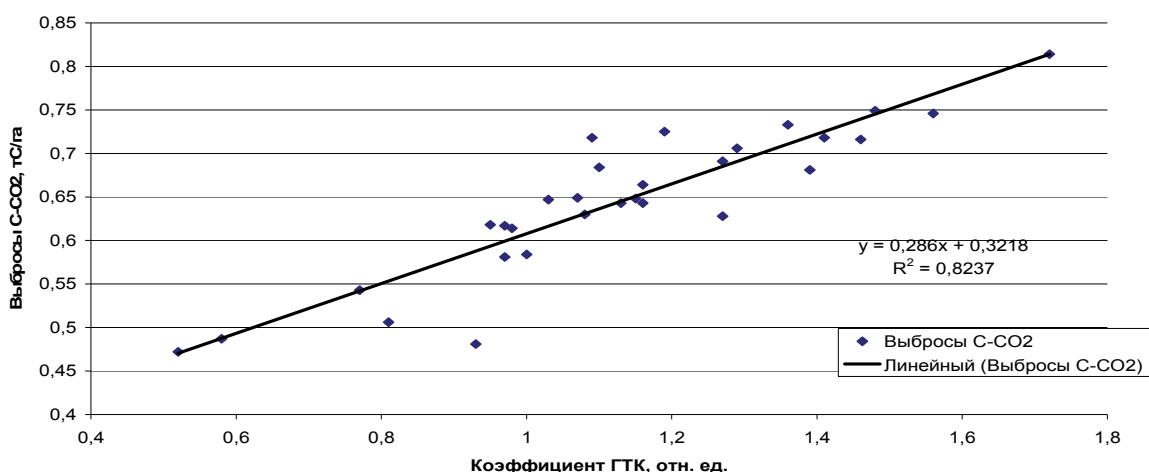


Рис. 5. Зависимость выбросов углерода $C-CO_2$ на поле с озимой пшеницей в десятипольном севообороте от средних за вегетационный период значений ГТК. Вариант без внесения удобрений. Климатический сценарий RCP4.5.

Как видно из данных рисунка 5, наблюдается прямая зависимость годовых сумм выделения углерода $C-CO_2$ из почвы от условий увлажнения вегетационного периода. С известной степенью осторожности можно отметить, что при значениях коэффициента увлажнения ГТК за вегетационный период $0,5 - 0,8$ отн.ед. выделение углерода $C-CO_2$ из почвы составляет $0,50 - 0,55$ тС/га, повышение значений ГТК способствует повышению выделений углерода, а при ГТК $1,4 - 1,6$ отн. ед. выделение углерода $C-CO_2$ из почвы на поле с озимой пшеницей возрастает до $0,70 - 0,75$ тС- CO_2 /га

Также был рассчитан ожидаемый баланс углерода на одном отдельном конкретном поле севооборота по десятилетиям (2021– 2030; 2031– 2040; 2041– 2050 гг.) по трем вариантам опыта: а) без внесения удобрений; б) внесение

минеральных удобрений в дозах $N_{45}P_{45}K_{45}$ и $N_{90}P_{90}K_{90}$; в) внесение навоза порядка 9 т/га и 18 т/га. Сведения об ожидаемых по климатическим сценариям осредненным по десятилетиям метеорологическим условиям приведены ниже в таблице.

Таблица 1

**Ожидаемые по климатическим сценариям RCP4.5 и RCP8.5
метеорологические условия по десятилетиям**

Годы	Средняя за десятилетие температура воздуха, °С		Среднее за десятилетие количество осадков, мм		Средний за десятилетие ГТК за вегетационный период, отн. ед.
	за июнь – август	за год	за июнь – август	за год	
1986 – 2005	18,8	8,0	250	611	1,3
Климатический сценарий RCP4.5					
2021 – 2030	17,8	7,4	157	505	1,11
2031 – 2040	17,8	7,0	188	579	1,05
2041 – 2050	18,3	7,5	166	522	1,07
Климатический сценарий RCP8.5					
2021 – 2030	17,5	7,5	181	544	1,14
2031 – 2040	18,1	7,4	192	547	1,13
2041 – 2050	17,9	7,7	198	632	1,30

Метеорологические условия десятилетий по климатическим сценариям RCP4.5 и RCP8.5 отличаются по температурному режиму и режиму увлажнения. Данные табл. показывают, что температура воздуха по сценариям ожидается ниже базовой величины. Здесь нет парадокса. Это объясняется тем, что потепление климата началось интенсивно в конце 80-х годов, то есть, годы, которые вошли в расчет базовой величины (1986 – 2005 гг.) пришлось на период потепления.

Количество осадков ожидается меньшим по сравнению с базовой величиной для сценария RCP4.5 и для двух десятилетий по сценарию RCP8.5, несколько большим оно будет в третьем десятилетии (2041 – 2050 гг.) по климатическому сценарию RCP8.5. Необходимо отметить, что по величине коэффициента увлажнения ГТК по климатическому сценарию RCP4.5 три десятилетия ожидаются более засушливыми, чем по сценарию RCP8.5.

Таким образом, на фоне этих метеорологических условий рассматривалась динамика ожидаемых осредненных за десятилетия годовых значений баланса углерода в почве и выделение $C-CO_2$ на отдельном конкретном поле севооборота.

Динамика ожидаемых по сценариям RCP4.5 и RCP8.5 средних значений баланса углерода на одном отдельном конкретном поле представлена на рис. 6 и 7. При этом следует иметь ввиду, что это одно отдельное поле представляет собой поле, на котором в течение десятилетия чередуются все сельскохозяйственные культуры: клевер (сено) – озимая пшеница – сахарная

свекла – кукуруза – горох – пшеница озимая – кукуруза – озимая пшеница – сахарная свекла – яровой ячмень. Предполагается, что они возделываются при разных вариантах внесения удобрений. Вполне закономерно, что годовой баланс углерода в почве и выбросы углерода на отдельном поле севооборота будут изменяться от десятилетия к десятилетию.

Наибольшие изменения годового баланса углерода в почве ожидаются в варианте без внесения удобрений. Годовой баланс углерода в почве будет отрицательным и достаточно значительным (до -0,29; -0,44 тС/га). Общей закономерностью является увеличение годового баланса углерода почвы и выделения С-СО₂ при переходе от одного варианта к другому (рис. 6 и 7): а) вариант без внесения удобрений, б) внесение минеральных удобрений в дозах N₄₅P₄₅K₄₅ и N₉₀P₉₀K₉₀, в) внесение органических удобрений 9 и 18 т/га.

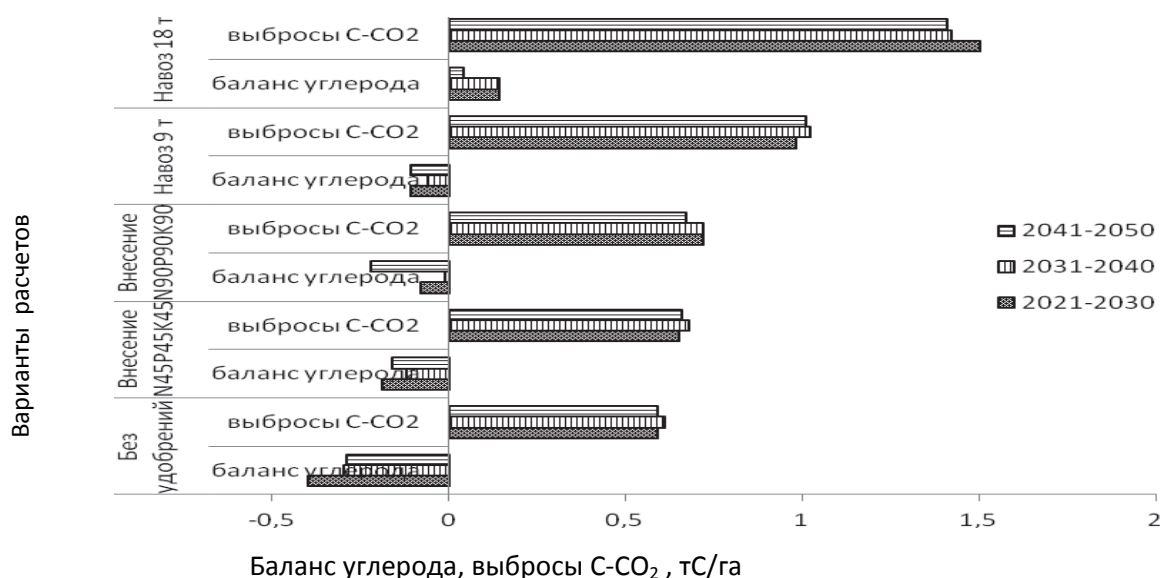


Рис. 6. Динамика ожидаемых средних по десятилетиям годовых значений баланса углерода и выбросов углерода С-СО₂ на отдельном поле севооборота при разных вариантах внесения удобрений. Климатический сценарий RCP4.5.

В большинстве рассматриваемых вариантов годовой баланс углерода ожидается отрицательным и только в варианте внесения навоза порядка 18 т/га он будет положительным.

В условиях климатического сценария RCP8.5 прослеживается увеличение годового баланса углерода от первого ко второму-третьему десятилетию. Для условий климатического сценария RCP4.5 годового баланса углерода в почве от периода 2021 – 2030 гг. к периоду 2041 – 2050 гг. это увеличение тоже наблюдается. Для других вариантов расчета это прослеживается слабо.

Годовые значения выделения С-СО₂ на отдельном поле севооборота (рис. 6 и 7) будут наименьшими на варианте без внесения удобрений (0,59 – 0,69 тС/га). При внесении минеральных удобрений годовые значения выделения С-СО₂ возрастают. Так, для условий климатического сценария

RCP4.5 при внесении минеральных удобрений в дозе $N_{45}P_{45}K_{45}$ годовые значения выделений $C-CO_2$ возрастают на 10 – 12 %, а при внесении $N_{90}P_{90}K_{90}$ – на 14 – 22 %.

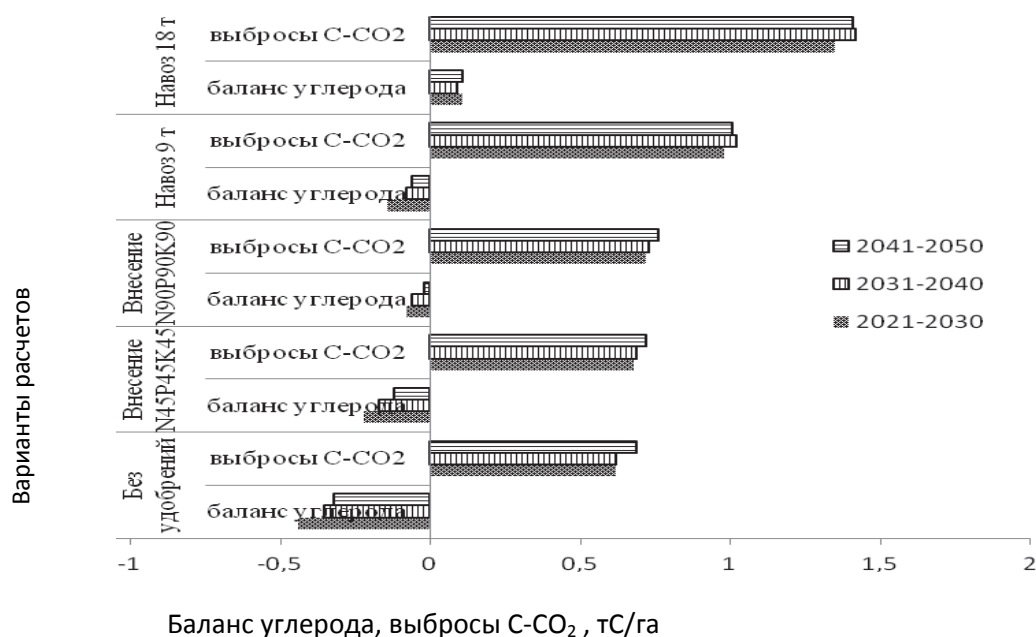


Рис. 7. Динамика ожидаемых средних по десятилетиям годовых значений баланса углерода и выбросов углерода $C-CO_2$ на отдельном поле севооборота при разных вариантах внесения удобрений. Климатический сценарий RCP8.5.

Внесение органических удобрений значительно увеличивает интенсивность выделения $C-CO_2$ с поля севооборота. При внесении навоза порядка 18 т/га ожидается наиболее высокая величина годовых выделений $C-CO_2$ с поля севооборота, что в 2,3 – 2,4 раза превышает выделения $C-CO_2$ с неудобренного поля, что свидетельствует о высокой интенсивности минерализации органического вещества почвы.

Экспериментальные измерения баланса углерода в почве и эмиссии CO_2 , проведенные в различных почвенно-климатических условиях, позволяют сопоставить полученные нами результаты моделирования с результатами других авторов.

На основе огромного массива экспериментальных данных в работе [14, с. 802] в условиях США делается вывод о снижении содержания органического углерода в почве при повышении среднегодовой температуры воздуха от 5 °C до 17 °C, а также о положительном влиянии роста количества осадков от 200 до 1000 мм на содержание углерода в почве. Нами рассмотрены сценарные изменения среднегодовой температуры воздуха от 6 °C до 9 °C, при этом ожидается, что максимальный отрицательный баланс углерода будет наблюдаться в годы с наиболее высоким уровнем среднегодовых температур воздуха. Увеличение количества осадков за год от 300 мм до 800 мм приводит к положительному балансу углерода в почве. Приведенные данные хорошо согласуются с результатами работы [14, с. 802].

В работе [22, с.522] в условиях Европы поток эмиссии CO_2 из почвы оценивается из травянистой растительности (пастбища) количеством $0,52 \text{ т CO}_2\text{-C га}^{-1}$ за год. Для пахотных земель наблюдается более высокое значение эмиссии CO_2 ($0,84 \text{ т CO}_2\text{-C га}^{-1}$ за год). Близкие к приведенным оценкам были получены и в наших расчетах. Они несколько отличаются на вариантах с внесением высокой дозы органических удобрений.

Выполненные в [23, с. 142] на черноземах Левобережной части Украины многолетние измерения баланса углерода и эмиссии CO_2 из черноземной почвы под однолетними травами демонстрируют средние значения баланса углерода, равные

$-0,10$; $-0,13 \text{ т/га}$, а потоков CO_2 , равные $0,524 - 0,525 \text{ т CO}_2\text{-C га}^{-1}$ за год. Многолетние исследования [24, с. 110], проведенные во Владимирской области показали, что продуцирование углекислого газа одной и той же культурой в разные годы варьирует в зависимости от гидротермических условий, колебания между минимальным и максимальным выделением C-CO_2 составляют по: ячменю $111 - 467 \text{ кг/га C-CO}_2$, люпину $429 - 1356 \text{ кг/га}$, пару $141 - 1033 \text{ кг/га}$, озимой пшенице $792 - 1259 \text{ кг/га}$, картофелю $521 - 883 \text{ кг/га}$, залежи $521 - 2321 \text{ кг/га}$. Для условий Литвы [25, с.40] приводятся нелинейные зависимости эмиссии CO_2 из почвы от температуры воздуха и влажности почвы, повышение эмиссии CO_2 с внесением удобрений.

В выполненных нами модельных расчетах баланса углерода в почве и суммарных потоков эмиссии CO_2 годовые значения меняются от года к году в зависимости от погодных условий и внесения удобрений в пределах $-0,4$ до $0,2 \text{ т/га}$ для баланса углерода и от $0,6$ до $1,5 \text{ т CO}_2\text{-C га}^{-1}$ за год для эмиссии CO_2 . Они соотносятся с результатами экспериментальных измерений, приведенных выше литературных данных.

Заключение. В среднем за период 2021 – 2050 гг. ожидается изменение показателей термического режима и режима увлажнения., хотя по двум сценариям оно будет неодинаково и неоднозначно по отдельным года и десятилетиям. Под влиянием погодных условий баланс углерода и выделение C-CO_2 изменяется ежегодно в современных условиях и будет изменяться в будущем. При этом значение баланса углерода и выделения C-CO_2 будет находится в значительно большей зависимости от условий увлажнения, чем от температуры воздуха и почвы. Улучшение условий увлажнения приводит к значительному повышению выделения C-CO_2 с полей севооборота. Длительное применение различных систем удобрений оказывает значительное положительное влияние на баланс углерода и выделения C-CO_2 . На увеличение значений баланса углерода и выделения C-CO_2 большее влияние будут оказывать органические удобрения и нормы их внесения.

Приведенные материалы демонстрируют возможности применения концепции разделения органического вещества растительных остатков на компартменты и дальнейшего моделирования их внутригодовой динамики.

Бібліографічний список

1. Трус О.М., Господаренко Г.М., Прокопчук І.В. Гумус чорнозему опідзоленого та його відтворення. Умань: 2016. 227 с.
2. Brock C., Franko U., Oberholzer H.-R., Kuka K., Leithold G., Kolbe H. and J. Reinhold. Humus balancing in Central Europe—concepts, state of the art, and further Challenges. //J. Plant Nutr. Soil Sci. 2013. No 176. P. 3–11.
3. Karmakar R., Das I., Dutta D. and Rakshit A.. Potential Effects of Climate Change on Soil Properties: A Review.// Science International. 2016. Vol. 4. Issue 2. P. 51–73.
4. Parton, W.J., J.M.O. Scurlock, D.S. Ojima, D.S. Schimel, D.O. Hall and S.G. Members. Impact of Climate Change on Grassland Production and Soil Carbon Worldwide. // Global Change Biol. 1995. No 1. P. 13–22.
5. Grace, P.R., W.M. Post and K. Hennessy, 2006. The potential impact of climate change on Australia's soil organic carbon resources.// Carbon Balance Manage. 2006. No 10. P. 1–14.
6. Davidson, E.A. and I.A. Janssens. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change.// Nature. 2006. No 440. P. 165–173.
7. Smith, J., Smith, P., Wattenbach, M., Zaehle, S., Hiederer, R., Jones, R.J.A., Montanarella, L., Rounsevell, M.D.A., Reginsters, I. & Ewert, F. Projected changes in mineral soil carbon of European croplands and grasslands, 1990–2080.// Global Change Biol. 2005. No 11. P. 2141–2152.
8. Zaehle, S; Bondeau, A; Carter, T.R; Cramer, W; Erhard, M; Prentice, I.C; Reginster, I; Rounsevell, M.D.A; Sitch, S; Smith, B.; Smith, P.C; Sykes, M. Projected changes in terrestrial carbon storage in Europe under climate and land use change, 1990–2100. //In: Ecosystems. 2007. Vol. 10. P. 380–401.
9. Muñoz-Rojas M., Jordán A., Zavala L.M., González-Peñaloza F.A., De la Rosa D., Pino-Mejias R. and M. Anaya-Romero. Modelling soil organic carbon stocks in global change scenarios:a CarboSOIL application. //Biogeosciences. 2013. No 10. P. 8253–8268.
10. Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin. 2008. Springer. P. 472.
11. Ozturk, I., Sharif, B., Baby, S., Jabloun, M., & Olesen, J. Long-term simulation of temporal change of soil organic carbon in Denmark: Comparison of three model performances under climate change.// The Journal of Agricultural Science. 2018. Vol. 156(2). P. 139–150.
12. Petersen B.M., Knudsen M.T., Hermansen J.E., Halberg N. An approach to include soil carbon changes in life cycle assessments. //Journal of Cleaner Production. 2013, No 52. P. 217–224.
13. van Veenr. J.A. A No Perr. E.A. Organic carbon dynamics in grassland soils. 1. Background information and computer simulation. //Can. J. Soil Sci. 1981. Vol. 61. No 2. P. 185–201.
14. Burke I.C., Yonker C.M., Parton W.J., Cole C.V., Schimel D.S. and K. Flach. Texture, Climate, and Cultivation Effects on Soil Organic Matter Content in U.S. Grassland Soils. // Soil Science Society of America Journal. 1989. Vol. 53. P. 800–805.

15. Leite L.F.C., Doraiswamy P.C., Causarano H.J., Gollany H.T., Milak S., Mendonca E.S.. Modeling organic carbon dynamics under no-tillage and plowed systems in tropical soils of Brazil using CQESTR.// Soil & Tillage Research. 2009. Vol. 102. P. 118–125.
16. Fayiga A.O. and U. K. Saha. Effect of Climate Change on Soil Productivity in Developing Countries. //Asian Journal of Environment & Ecology. 2017. Vol. 4(1). P. 1–22.
17. Grassland carbon sequestration: management, policy and economics Proceedings of the Workshop on the role of grassland carbon sequestration in the mitigation of climate change. //Prepared for the Plant Production and Protection Division Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Edited by Michael Abberton, Richard Conant and Caterina Batello. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, Rome. 2010. P. 1–28.
18. Кліматичні ризики функціонування галузей економіки України в умовах зміни клімату: Монографія. /Під ред. С.М. Степаненка та А.М. Польового. Одеса: «ТЕС», 2018. 520 с.
19. Coleman K., Jenkinson D.S. RothC-26.3 – A model the turnover of carbon in soil. //In: Powlson DS, Smith P, Smith JU (ed) Evaluation of soil organic matter models using existing long-term datasets. NATO ASI Series I, V. 38. Springer, Berlin: 1996. P. 237–246.
20. Полевой А.Н. Теория и расчет продуктивности сельскохозяйственных культур. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 175 с.
21. Господаренко Г.М., Трус О.М., Прокопчук І.В. Умови збереження гумусу в ґрунті польової сівозміни //Біологічні системи. 2012. Т. 4. Вип. 1. С. 31–34.
22. Новиков А.А. Обоснование роли корневых и пожнивных остатков в агроценозе // Научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2012. № 78 (04). С. 1–10.
23. Vleeshouwers L.M., Verhagen A. Carbon emission and sequestration by agricultural land use: a model study for Europe. //Global Change Biology. 2002, 8. P. 519–530.
24. Сябрук О.П. Оцінка втрат вуглецю з чорнозему типового за різних способів обробітку та систем удобрення // Агрохімія і ґрунтознавство. 2013. Вип. 80. С. 140–146.
25. Шилова Н.А. Динамика выделения CO₂ в посевах полевых культур на дерново-подзолистых и торфяных почвах //Почвоведение и агрохимия. 2014. № 1(52).С. 104–113.
26. Feizien D., Kadžien G. The influence of soil organic carbon, moisture and temperature on soil surface CO₂ emission in the 10 th year of different tillage-fertilisation management //Zemdirbyste-Agriculture. 2008. Vol. 95. No. 4. P. 29–45.

DYNAMICS OF ORGANIC CARBON IN PODZOLIZED CHERNOZEM SOIL IN FIELD CROP ROTATION UNDER THE CLIMATE CHANGE

A.N.Polevoy, L.E.Bozko

Odesa state ecological university, street Lviv, 15, Odesa 65016, Ukraine.

Corresponding author: A.N.Polevoy, apolevoy@te.net.ua

Abstrakt. In the numerical experiments for the model patterns of organic carbon dynamics and C-CO₂ emissions in the ten-field crop rotation are given a study under the climate change conditions. Forecasted indicators of meteorological patterns for 2021-2050 are assessed by the instrumentality of the RCP4.5 and RCP8.5 scenarios. Direct correlation of annual C-CO₂ soil emission with the moisture coefficient in the vegetation period is established. Features of the impact of the moisture-and-temperature regime on the organic carbon dynamics in podzolized chernozem soil and C-CO₂ emissions are considered under various consumption of mineral and organic fertilizers for agricultural crops.

Keywords: balance, carbon, crop rotation, precipitation, air temperature, mineral and organic fertilizers, moisture coefficient

УДК 551.502.4

УРОЖАЙНОСТЬ КУКУРУЗЫ В АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ЮЖНОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА

И.Ф. Асауляк¹, А.С. Салмин²

Российский государственный аграрный университет–МСХА имени К.А.Тимирязева, Москва, irasaulak@mail.ru, exl.95@mail.ru

Аннотация: предлагается модель оценки агроклиматических ресурсов продуктивности ландшафтов ЮФО на примере Ростовской области применительно к возделыванию кукурузы. Дан анализ водно-теплового режима посевов и приrost метеорологически возможной урожайности.

Ключевые слова: агроклиматические ресурсы, моделирование, агроэкологические категории урожайности, кукуруза.

Кукуруза – важная зерновая и силосная культура. В мире и России накоплен богатый опыт выращивания высоких и устойчивых урожаев кукурузы.

Южный федеральный округ является основным регионом по производству зерна кукурузы в стране, хотя его роль и немного снижается в последние годы в связи с расширением площадей кукурузы в Центральном федеральном округе. По данным федеральной службы государственной статистики, в 2009 г. посевные площади кукурузы на зерно распределялись следующим образом:

Краснодарский край – 46%, Ростовская область – 19%, Волгоградская область – 7% .

Для решения поставленной задачи, в качестве примера, рассматривались агрометеорологические условия Ростовской области, их оценка применительно к возделыванию среднеранних сортов кукурузы, направленная на рациональное использование этих ресурсов в сельскохозяйственном производстве.

В Ростовской области культура кукуруза является одной из традиционных при производстве зерна и высевается на площади около 150 тыс. га ежегодно. Несмотря на это, урожайность ее крайне нестабильна по годам и составляет чуть более 3,0 т/га, что значительно ниже ее потенциальных возможностей.

Наиболее адекватное отображение агроклиматических ресурсов может быть реализовано в одной из агроэкологических категориях урожайности, которые основываются на принципах максимальной продуктивности и соответствия условий внешней среды обитания потребностям растений, а именно:

МВУ (метеорологически возможная урожайность) – максимально возможный урожай с.-х. культур при существующих агрометеорологических и оптимальных почвенных условиях;

Перед нами стояла задача разработки на основе концепции максимальной продуктивности Тооминга Х.Г., результатов моделирования формирования урожая, полученных в работах Полевого А.Н., [1], базовой модели расчета урожайности кукурузы, рассмотренной в работе Перстневой И.Ф. [2], Дроновой Е.А. [3] модели формирования урожая среднеранних сортов кукурузы в Ростовской области. В качестве шага модели рассматривался декадный период.

В основе продукционного процесса растений лежит фотосинтез. Его интенсивность обуславливается фазой развития растений и условиями окружающей среды.

Для расчета онтогенетической кривой фотосинтеза воспользуемся формулой вида

$$\alpha_{\phi}^j = \exp \left[- a_{\phi} \cdot \left(\frac{TS_2 - \sum t_1}{10} \right)^2 \right] \quad (1)$$

в которой величину α_{ϕ} находим по выражению

$$\alpha_{\phi} = \frac{-100(1n)\alpha_{\phi}^o}{(\sum t_1)^2} \quad (2)$$

где α_{ϕ} - онтогенетическая кривая фотосинтеза, отн. ед.;

α_{ϕ}^o - начало онтогенетической кривой фотосинтеза, отн.ед.;

$\sum t_1$ - сумма эффективных температур воздуха от всходов, при которой наблюдается максимальная интенсивность фотосинтеза растений, °C;

TS_2 - сумма эффективных температур, °C.

Определим функцию влияния температуры воздуха на продукционный процесс с помощью следующей процедуры. Температурная кривая фотосинтеза определяется по формуле:

$$\psi_{\phi} = \begin{cases} 13,7 \cdot \sin(0,077 \cdot x_1^j), & \text{при } (t^j - t_o) < t_{opt1}^j \\ 1, & \text{при } t_{opt1} \leq (t^j - t_o) \leq t_{opt2}^j, \\ 1,13 \cdot \cos(1,570 \cdot x_2^j), & \text{при } (t^j - t_o) > t_{opt2}^j \end{cases} \quad (3)$$

,

где ψ_{ϕ} - температурная кривая фотосинтеза;

t - среднедекадная температура воздуха;

t_o - среднедекадная температура воздуха, при которой начинается фотосинтез;

t_{opt1} - нижняя граница температурного оптимума для фотосинтеза;

t_{opt2} - верхняя граница температурного оптимума для фотосинтеза.

Значения нижней и верхней границ температурного оптимума для фотосинтеза найдем по формулам:

$$t_{opt1}^j = 13,70 + 20,93x_3^j - 20,09(x_3^j)^2; \quad (4)$$

$$t_{opt2}^j = 18,49 + 18,53x_3^j - 17,52(x_3^j)^2; \quad (5)$$

$$x_3^j = \frac{t^j}{\sum t_{req}}, \quad (6)$$

где $\sum t_{req}$ - сумма температур, необходимая для созревания растений.

Функция влияния температуры воздуха на фотосинтез ψ изменяется от 0 до 1.

Функция влияния влажности почвы на фотосинтез (γ_{ϕ}) находится по формуле:

$$\gamma_{\phi} = \begin{cases} -1,163 \cdot (x_3^j)^2 + 2,187 \cdot x_3^j, & \text{при } W^j \cdot k_{\text{экс}}^W < W_o^j \\ 1, & \text{при } W_{opt1}^j \leq W^j \cdot k_{\text{экс}}^W \leq W_{opt2}^j, \\ -0,654 + 3,824 \cdot x_4^j - 2,633 \cdot (x_4^j)^2 + 0,467 \cdot (x_4^j)^3, & \\ \text{при } W^j \cdot k_{\text{экс}}^W > W_{opt2}^j \end{cases} \quad (7)$$

где W^j - запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы;

W_{opt1} - нижняя граница оптимальных влагозапасов;

W_{opt2} - верхняя граница оптимальных влагозапасов.

Приращение потенциальной урожайности за декаду определялось в зависимости от интенсивности ФАР и биологических особенностей культуры с учетом изменения способностей растений к фотосинтезу в течение вегетации:

$$\frac{\Delta PY^j}{\Delta t} = \alpha_{\phi}^j \frac{\eta \cdot Q_{\text{фар}}^j \cdot dv^j}{q}, \quad (8)$$

где $\frac{\Delta PY^j}{\Delta t}$ – прирост потенциальной урожайности за декаду;

α_{ϕ} – онтогенетическая кривая фотосинтеза;

η – КПД посевов;

$Q_{\text{фар}}$ – интенсивность ФАР;

dv – число дней в расчетной декаде;

q – калорийность;

j – номер расчетной декады.

КПД фитоценоза можно выразить как относительно падающей, так и относительно поглощенной фитоценозом радиации. Они связаны соотношением:

$$\eta_{\text{п}} = \alpha_{\text{п}} \eta_{\text{а}}, \quad (9)$$

где $\eta_{\text{п}}$ — КПД, определенный относительно падающей радиации;

$\eta_{\text{а}}$ — КПД относительно поглощенной радиации;

$\alpha_{\text{п}}$ — функция поглощения радиации фитоценозом.

Прирост метеорологически возможной урожайности представляет собой прирост потенциальной урожайности, который будет ограничен влиянием влажно-температурного режима:

$$\frac{\Delta MBY^j}{\Delta t} = \frac{\Delta PY^j}{\Delta t} \cdot FTW2, \quad (10)$$

где $\frac{\Delta MBY^j}{\Delta t}$ – прирост метеорологически возможной урожайности;

$FTW2$ – обобщенная функция влияния влажно-температурного режима с коррекцией на сочетание различных экстремальных условий.

Эта функция определяется по принципу Либиха с учетом влияния температуры воздуха и условий увлажнения на продукционный процесс.

Для оценки агроклиматических условий были выбраны три ландшафта, типичные в определённой мере для установленных в агроклиматических районах: Миллерово, Ростов-на-Дону, Ремонтное.

Значения МВУ изменяются в пределах от 78,5 до 83,6 ц/га и уменьшаются с севера на юг в связи с уменьшением количества осадков и роста температуры воздуха (рис.1).



Рис. 1. Распределение метеорологически возможной урожайности

Таким образом, в ходе данной работы для почвенно-климатических условий Ростовской области модифицирована модель оценки агроклиматических ресурсов формирования урожая среднеранних сортов кукурузы; выполнена оценка агроклиматических ресурсов продуктивности ландшафтов - уровня МВУ для среднеранних сортов кукурузы; построены карты-схемы распространения этих характеристик, получены комплексные оценки степени благоприятности климатических условий; произведена оценка агроэкологических категорий урожайности среднеранних сортов кукурузы.

Библиографический список

1. Полевой А.Н. Прикладное моделирование и прогнозирование продуктивности посевов. - Л.:Гидрометеиздат, 1988. 320 с.
2. Перстнева И.Ф. Агроклиматическая оценка продуктивности ландшафтов Молдавии применительно к возделыванию различных по спелости сортов кукурузы. – 2000г. Тирасполь.
3. Дронова Е.А., Асауляк И.Ф., Белолубцев А.И. Агроклиматическая оценка условий формирования урожая кукурузы в степной зоне Украины на период до 2050 гг - Гидрометеорология и экология, Ежеквартальный научно-технический журнал № 2 2017 г. с.16-26 Алматы.

CORN PRODUCTIVITY IN AGROMETEOROLOGICAL CONDITIONS OF THE SOUTHERN FEDERAL DISTRICT

I.F. Asaulyak¹, A.S. Salmin²

Russian State Agrarian University Moscow, irasaulak@mail.ru,
ex1.95@mail.ru

Summary: a model for assessing agroclimatic resources of a product of popularity of the Southern Federal District is proposed using the example of the Rostov region as

applied to corn cultivation. The analysis of the water-thermal regime of crops and at meteorologically possible productivity is given.

Keywords: agroclimatic resources, modeling, agroecological categories of yield, corn.

УДК 551.582

ПРОГНОЗ УРОЖАЙНОСТИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР ПРИ ПОМОЩИ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ И НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

В.В. Чурсин, И.В. Кужевская, О.Е. Нечепуренко

*Национальный исследовательский Томский государственный университет,
Томск, skriptym@mail.ru*

Аннотация: В представленной работе рассмотрена возможность использования пакета Neural Network Toolbox программы MATLAB для построения нейронных сетей и данные радиометра MODIS, в частности 16-дневный композит вегетационного индекса NDVI. Исследование показало, что оптимальное число предшествующих композитов к дате прогноза (25 мая) составляет 7, начиная с 18 февраля. Максимальная ошибка прогноза при этом составляет 2,1 ц/га, или 10%.

Ключевые слова: агрометеорология, индекс NDVI, MODIS.

Введение. Прогноз урожайности сельскохозяйственных культур играет экономически значимую роль в решении проблем, связанных с воздействием изменяющегося климата на сельское хозяйство. Надежное и своевременное прогнозирование урожайности имеет также решающее значение для политических стратегий, торговли и рынка. Прогнозирование и моделирование урожайности в настоящий момент ведется в региональном масштабе, что в свою очередь имеет ряд ограничений. Так, при увеличении масштаба до сельскохозяйственного угодья или района, становится невозможным использование существующих моделей поскольку они требуют длинный ряд исторических данных (урожайность каждого поля, количество осадков в летний период, максимальные и минимальные температуры и т.д.) подобного масштаба. Также, неопределенность прогноза по существующим моделям может возникнуть из-за редкого распределения метеорологических станций. Модель может просто не уловить изменения, связанные с неблагоприятными или экстремальными погодными условиями выращивания культур.

Учитывая изменчивость климата и будущие проблемы воздействия изменения климата на сельское хозяйство, изучение и прогнозирование урожайности в масштабе районов и отдельных угодий заслуживает особого внимания. Масштаб района определен как подразделение одного региона,

характеризующееся относительно однородными биофизическими и климатическими условиями.

Повышение своевременности и точности прогнозирования урожайности за счет включения данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) во временном режиме, приближенном к реальному, использование сложных статистических методов и быстроразвивающихся технологий построения прогностических нейронных сетей может повысить потенциал эффективного реагирования на эти изменения.

Данные ДЗЗ дают существенные преимущества для оценки урожайности и процесса возделывания сельскохозяйственных полей в течении всего сезона. Это связано с их территориальным охватом, временным и пространственным разрешением, а также доступностью использования этих данных (бесплатно для некоторых продуктов) [1,2]. Для оперативной и объективной оценки продуктивности больших площадей посевов трудно найти альтернативу спутниковым данным. В мировой практике и имеются работы, основанные на данных различных спутниковых датчиков (ETM+, AVHRR и др.), тем не менее для прогнозирования и моделирования урожайности основной фокус направлен на данные спутниковых датчиков с умеренным пространственным разрешением – MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) [3,4]. Высокое временное и умеренное пространственное разрешение, а также свободный доступ может частично объяснить такой интерес к данным MODIS среди исследователей, занимающихся оценкой и прогнозированием зерновых культур [5].

Существует большое количество индексов для оценки продуктивности и мониторинга процессов вегетации сельскохозяйственных культур. В большинстве случаев в их расчет включены отношения двух или более полос в видимой и ближней инфракрасной областях спектра (например, NDVI). Кроме того, существуют индексы, получаемые из интерпретации зависимости температуры подстилающей поверхности и индекса NDVI. Например, поверхностный индекс дефицита воды (WDI). Но, бывают случаи, когда невозможно выполнить расчет этого индекса поскольку температура подстилающей поверхности очень чувствительна к атмосферным воздействиям и облакам, в этом случае эффективнее использование индекса SIWSI (коротковолнового инфракрасного индекса водного стресса) который рассчитывается на данных ближнего инфракрасного участка спектра.

По словам авторов, индекс SIWSI тесно связан с влажностью почвы и может быть получен даже в присутствии облаков. В работе [6] приводится подробный обзор индексов вегетации, определяемых с помощью данных дистанционного зондирования.

К настоящему времени наиболее часто рассчитываемым остается нормализованный разностный вегетационный индекс (NDVI), значения которого основаны на контрасте между максимальным поглощением в красной части и максимальным отражением в ближней инфракрасной части электромагнитного спектра широко используется для мониторинга посевов и подсчета сельскохозяйственной статистики [7]. Сравнение NDVI,

рассчитанного по данным MODIS и NOAA-AVHRR показало, что временные профили NDVI по многочисленным типам биомов основанные на данных с аппаратуры MODIS выполнены с более высокой точностью. Этот индекс также идеально подходит для мониторинга посевов на фрагментированных сельскохозяйственных ландшафтах, когда размер поля близок к размеру пикселя [8].

Достаточно большое число научных работ посвящено разработкам моделей прогноза урожайности различных сельскохозяйственных культур, на основе использования данных дистанционного зондирования в целом и индексов вегетации в частности. Так, в работе [9] описаны подходы к прогнозированию урожайности зерновых и зернобобовых культур с использованием специализированного веб-сервиса ВЕГА. Сервис разработан Гидрометеорологическим научно-исследовательским центром Российской Федерации при участии Института космических исследований РАН для центральных черноземных областей.

В настоящей работе предлагается подход с отказом от данных с метеорологических станций и апеллировать только данными ДЗЗ (в нашем случае NDVI), поскольку разрозненные исследования позволяют избежать накопления расчетных ошибок, связанных с обработкой разноформатных массивов. В будущем это может наилучшим образом сказаться при составлении комбинированного прогноза (использующего результаты различных методик и моделей) и прогноза для ориентированных групп пользователей.

Объект исследования. Объектом исследования является сельскохозяйственное угодье одного из крупных агрохолдингов Томской области, расположенное на юго-востоке области. Территориальное расположение, а также границы возделываемых полей с произрастающими культурами представлены на рисунке 1.

К территории объекта исследования, применимо тоже климатологическое описание, что и для Томской области в целом [10]. Среднегодовая температура воздуха является отрицательной и изменяется с юга на север области от $-0,6^{\circ}\text{C}$ до $-3,5^{\circ}\text{C}$. Абсолютный минимум температуры воздуха зимой повсеместно ниже -50°C , а в отдельных районах $-57\div-58^{\circ}\text{C}$. Холодный период с температурами ниже 0°C длится в области 180 – 120 дней. В среднем высота снежного покрова по территории области колеблется в пределах 30-50 см. В работе [11] показано, что наметилось увеличение высоты снежного покрова на юге области и уменьшение на севере. Продолжительность залегания устойчивого снежного покрова на территории области также уменьшается.

Летом температурные различия по территории области невелики: от $16,8-17^{\circ}\text{C}$ на северо-востоке и заболоченных западных районах до $18,2^{\circ}\text{C}$ на юго-востоке в июле. Продолжительность периода с температурой выше 0°C в Томской области составляет 165-185 дней. В работе [12] выявлена тенденция увеличения продолжительности вегетационного периода на территории Томской области более чем на 10 дней за 10 лет. Увеличение происходит, в основном, за счет осеннего периода. Продолжительность безморозного периода

изменяется от 114-115 дней в г. Томске до 68-90 дней – в западных и восточных заболоченных районах области; в долине р. Оби 113-125 дней.

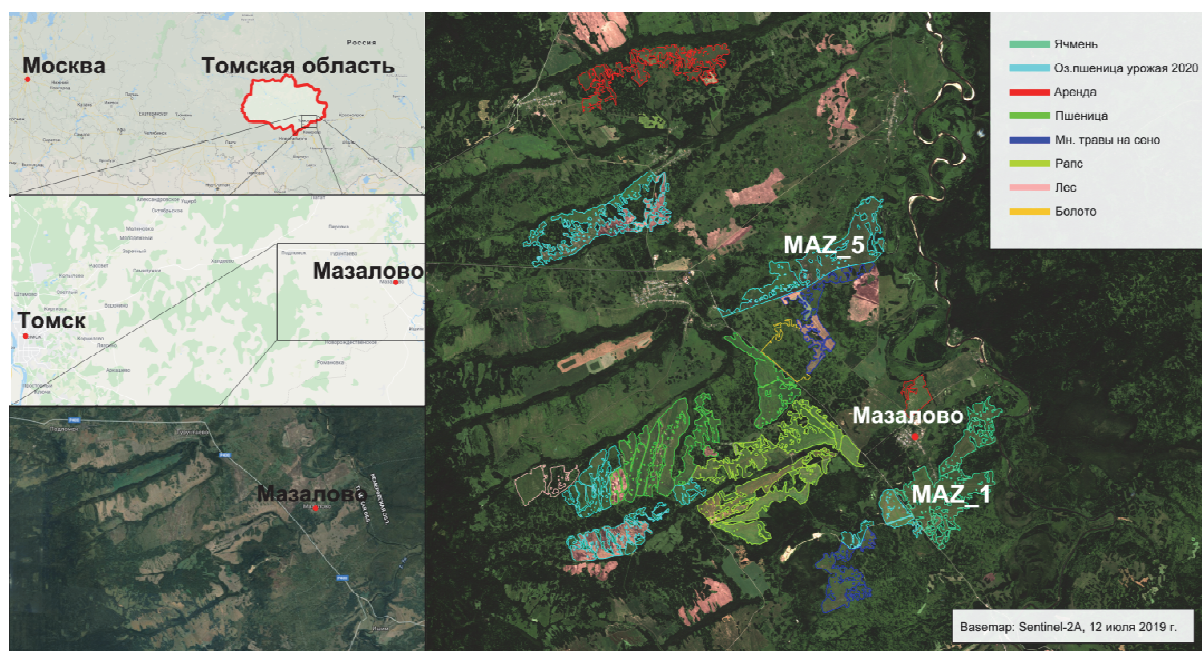


Рис. 1. Расположение и структура рассматриваемых сельскохозяйственных полей (MAZ_1, MAZ_5)

Годовое количество осадков по территории области изменяется в среднем от 400 до 570 мм. Подробно режим увлажнения Томской области описан в работах [13,14], отдельно оценка гидротермического режима территории исследования приводится у авторов [15].

Результаты. В период летней полевой практики в 2019 году студентами кафедры почвоведения и экологии почв, биологического института ТГУ (Бригадир: Токтаров С.) был заложен почвенный разрез на одном из полей агрохолдинга для изучения почв и их определение согласно классификациям 1977 и 2004 годов, опираясь на морфологическое описание. Почвы рассматриваемых сельхозугодий соответствуют серым лесным типам (подтип темно-серая лесная или типичная) разновидность среднесуглинистая.

Для построения карт распределения NDVI использовались 16-дневные композиты MODIS для выбранной территории (период 2015–2019 гг.) взятые из продуктов MOD13Q1 центра распределенного активного архивирования NASA Land Processes [16]. Эти продукты рассчитываются на основе атмосферно скорректированных двунаправленных отражений поверхности, которые были замаскированы для воды, облаков, тяжелых аэрозолей и теней облаков [17]. За все годы, период данных MODIS охватывал с 1 по 353 день. NDVI рассчитывается по коэффициентам отражения в красной и ближней инфракрасной (NIR) частях спектр. Уравнения задаются следующим образом:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

где NIR - коэффициент отражения в ближней инфракрасной области (841–876 нм), RED - коэффициент отражения в красной часть (620–670 нм).

Для исследования были выбрана 2 поля с разными культурами: MAZ_1 (засеяно ячменем) и MAZ_5 (засеяно пшеницей), расположение полей приведено на рисунке 1. Индекс рассчитывался для каждого возделываемого поля с использованием географически привязанных контуров полей. Для уменьшения ошибки расчета связанной с влиянием граничной растительности (лес, кустарники), расчет велся с отступом в 1 пиксель внутрь поля. Рассчитывалось среднее значение индекса по полю путем сложения всех значений, замкнутых в контур, деленное на их общее число.

Анализируя внутригодовой ход индекса NDVI (Рисунок 2а, 2б) можно заметить, что основной рост этого показателя начинается в середине мая, и достигает пика в конце июня, начале июля, как для ячменя, так и для пшеницы. Исходя из этого при прогнозе урожайности целесообразно опираться именно на даты активного роста индекса. Изучая изменение индекса NDVI по годам видно, что для ячменя худший показатель наблюдался в 2017 году, а для пшеницы в 2015. Наибольшие показатели были достигнуты для ячменя в 2018-2019 году, как и для пшеницы.

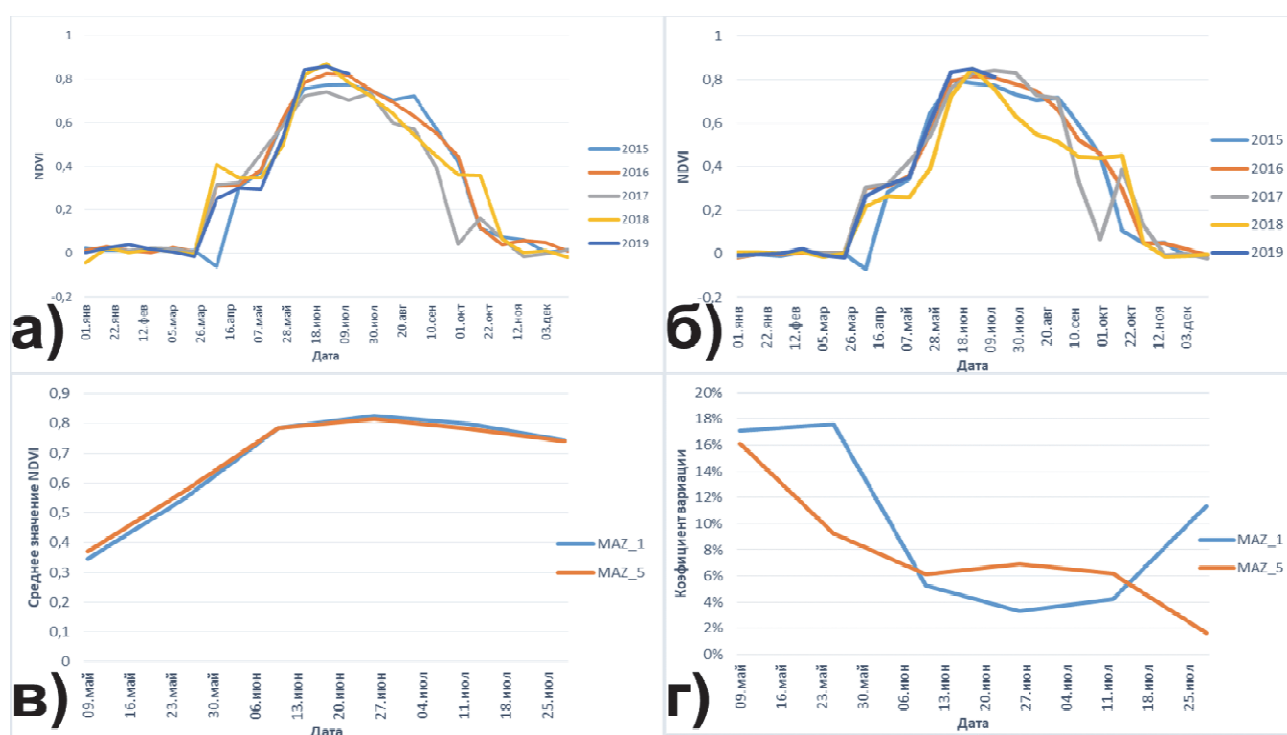


Рис. 2. Годовой ход NDVI MAZ_1 (а) и MAZ_5(б). Среднее значение индекса NDVI (в) и его коэффициент вариации (г) в период активной вегетации

Осредненные значения NDVI за все годы в период активной вегетации 9 мая- 25 июля (Рисунок 2в) не имеют существенных различий между полем засеянным рожью и полем, на котором произрастает пшеница. Это говорит нам о том, что культуры развиваются, и проходят этапы созревания в примерно одно и тоже время. Исходя из этого мы можем предполагать, что для ржи и

пшеницы может быть применён один и тот же алгоритм расчета урожайности без существенной ошибки в финальном результате.

Коэффициент вариации значений NDVI (Рис. 2г) не выявляет различий между двумя полями в период нарастания биомассы более чем на 4%. Различия проявляются в июле достигая 12%, вероятно это связано со сроками уборки культур.

Для прогноза урожайности рассмотрим вариант использования MATLAB Neural Network Toolbox. Нейронная сеть, как и ее прообраз в биологической нервной системе, может учиться и быть обучена для поиска решения, распознавания образов, классификации данных и прогноза будущих событий. Поведение нейронной сети определяется тем, как связаны ее отдельные вычислительные элементы, а также силой этих связей или весами. Веса автоматически настраиваются путем обучения сети в соответствии с конкретными обучающими правилами до тех пор, пока сеть не начнет выполнять корректно поставленную задачу.

Neural Network Toolbox включает в себя функции командной строки и приложения для создания, обучения и моделирования нейронных сетей. Приложения позволяют легко разрабатывать нейронные сети для таких задач, как аппроксимация данных (в том числе данные временных рядов), распознавание образов и кластеризация. После создания сетей на базе этих инструментов можно автоматически генерировать код MATLAB для преобразования полученного решения в программный код и автоматизации решения задач.

Нейронная сеть строилась на исторических данных урожайности и индекса NDVI для всех полей выбранного хозяйства, на которых произрастает рожь и пшеница с 2015 по 2017 год. Значения индекса NDVI брались с 1 января по 25 мая. Пример исходных данных представлен в таблице 1.

Общий объем числовой обучающей матрицы составил 69 строк. Число столбцов (предикторов) варьировалось от 10 до 3, это было сделано для того, чтобы выявить какое количество 16 дневных композитов, предшествующих 25 мая, оптимально для прогноза по 2 полям.

Таблица 1

Пример исходных данных использовавшихся для построения и обучения нейронной сети

Год	Поле, Maz_	Дата										/га
		01.01	7.01	2.02	8.02	6.03	2.03	7.04	3.04	9.05	5.05	
2015	1	0,025	0,011	0,011	0,019	0,012	0,012	0,061	0,302	0,375	0,61	16,8
2016	1	0,011	0,031	0,013	0,004	0,027	0,007	0,309	0,313	0,382	0,622	19,2
2017	1	0,004	0,022	0,013	0,024	0,021	0,008	0,315	0,326	0,457	0,586	19
2016	5	0,019	0,001	0,003	0,002	0,004	0,004	0,302	0,308	0,358	0,553	20,9
2017	5	0,013	0,002	0,005	0,014	0,003	0,004	0,306	0,320	0,425	0,539	19,3

Нейронная сеть включает в себя блок ввода, тридцать скрытых нейронов, выходной слой и блок вывода. Алгоритмом нейронной сети была выбрана Байесовская регуляризация. Более подробно этот алгоритм описан в [18]. Этот алгоритм требует обычно больше времени для тренировки, но может привести к хорошим результатам на малом объеме данных или зашумлённых данных.

После обучения нейронной сети, она была проверена на качество прогноза урожайности путем подачи на ее вход значений индекса NDVI за 2018 год (не участвовавший в выборке). Сопоставлена фактическая и прогностическая урожайность, в зависимости от количества предикторов (Табл. 2).

Таблица 2

Фактическая и расчетная урожайность в зависимости от количества предикторов.

Поле	Фактическая урожайность, ц/га	Количество предикторов							
		10	9	8	7	6	5	4	3
MAZ_1	21,3	21,2	21	21,1	21,1	20,4	20,6	20,2	19,7
MAZ_5	21,6	18,9	19,1	19,2	19,5	18,9	19,2	19,3	17,7

Разность между фактическими и прогностическими значениями урожайности обеих культур не превышают 10% (Рисунок 3), что позволяет не вводить отдельные выборки для отдельных культур при создании обучающей выборки нейросети. Оптимальное количество предикторов для этих двух полей является 7, так как для пшеницы это количество имеет минимальную ошибку, а для ржи эта ошибка близка к погрешности при взвешивании и общей оценке продуктивности поля.

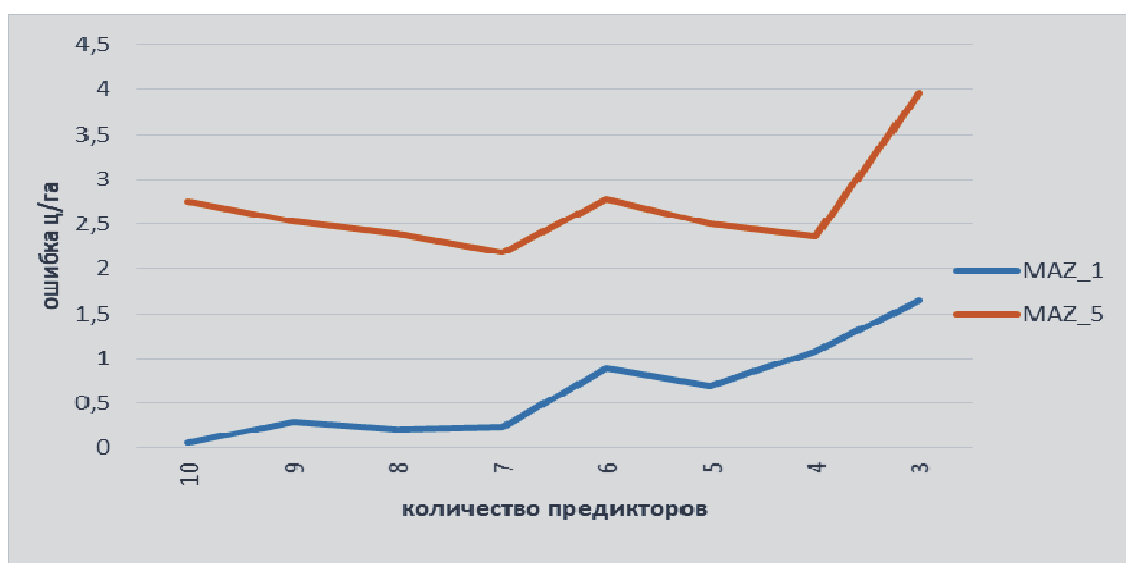


Рис. 3. Ошибка прогноза урожайности в зависимости от количества предикторов

Заключение. Как показало исследование при прогнозе урожая зерновых культур, произрастающих на одинаковых почвах, при схожих климатических и погодных условиях, можно не учитывать их разновидность поскольку они имеют схожее распределение среднего значения индекса NDVI и коэффициента вариации. Таким образом отсутствие деления зерновых позволяет увеличивать обучающую выборку для тренировок нейронных сетей.

При проведении экспериментов с количеством предикторов необходимых для оптимально точного прогноза было выявлено, что семь 16-дневных композитов в период с 18 февраля по 25 мая достаточно для составления прогноза с максимальной ошибкой в 10%.

Для достижения более точных и стабильных прогнозов целесообразно увеличивать обучающую выборку, количество исследуемых культур и полей. Однако, даже на данном этапе пакет Neural Network Toolbox от MATLAB хорошо справляется при прогнозировании рядов с линейной зависимостью.

Библиографический список

1. Maas, S.J. Use of remotely-sensed information in agricultural crop growth models. *Ecol. Model.* 1988, 41, 247–268.
2. Reichert, G.; Caissy, D. Reliable Crop Condition Assessment Program (CCAP) incorporating NOAA AVHRR data, a geographical information system, and the Internet. In *Proceedings of the Environmental Systems Research Institute (ESRI) User Conference, San Diego, CA, USA, 8–12 July 2002*.
3. Mkhabela, M.S.; Bullock, P.; Raj, S.; Wang, S.; Yang, Y. Crop yield forecasting on the Canadian Prairies using MODIS NDVI data. *Agric. Forest Meteorol.* 2011, 151, 385–393.
4. Whitcraft, A.K.; Becker-Reshef, I.; Justice, C.O. Agricultural growing season calendars derived from MODIS surface reflectance. *Int. J. Dig. Earth* 2014. doi: 10.1080/17538947.2014.894147.
5. Fensholt, R.; Sandholt, I. Evaluation of MODIS and NOAA AVHRR vegetation indices with in situ measurements in a semi-arid environment. *Int. J. Remote Sens.* 2005, 26, 2561–2594.
6. García Galiano S.G. Assessment of vegetation indexes from remote sensing: theoretical basis/The use of remote sensing and geographic information systems for irrigation management in Southwest Europe edited by Erena M. , López-Francos A., Montesinos S. and Berthoumieu J.-P. *Options Méditerranéennes: Série B. Etudes et Recherches*; n. 67. 2012. P. 65- 75
7. Benedetti, R.; Rossini, P. On the use of NDVI profiles as a tool for agricultural statistics: The case study of wheat yield estimate and forecast in Emilia Romagna. *Remote Sens. Environ.* 1993, 45, 311–326.
8. Huete, A.; Didan, K.; Miura, T.; Rodriguez, E.P.; Gao, X.; Ferreira, L.G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sens. Environ.* 2002, 83, 195–213
9. Страшная А.И., Тарасова Л.Л., Богомолова Н.А., Максименкова Т.А., Береза О.В. Прогнозирование урожайности зерновых и зернобобовых культур в центральных черноземных областях на основе комплексирования наземных и

спутниковых данных //Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. 2015. № 353. С. 128-153.

10. География Сибири в начале XIX века: в 6 т. / Гл. ред. В.М. Плоснин; Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т географии им. В.Б. Сочавы; Ин-т водных и экологических проблем. - Новосибирск: Академическое изд-во "Гео", 2016. Т. 5. Западная Сибирь. 416 с.

11. Горбатенко В.П., Журавлев Г.Г., Носырева О.В., Волкова М.А., Кижнер Л.И., Константинова Д.А. Современные изменения климатических условий, определяющих накопление снега на автомобильных дорогах Томской области// Фундаментальная и прикладная климатология, № 4, 2018. С. 39-54.

12. Барашкова Н.К., Кужевская И.В., Носырева О.В. Состояние и климатические тенденции временных показателей теплого периода года на юге Западной Сибири // Оптика атмосферы и океана, 2011. Т.24, № 2. С. 119-124.

13. Волкова М.А., Катаев С.Г., Кусков А.И., Комаров А.И. Циркуляционные условия формирования полей осадков теплого периода года на территории Томской области// Вестник Томского государственного педагогического университета, серия «Естественные и точные науки», №6(57), 2006. – С. 87-92

14. Барашкова Н.К., Волкова М.А., Кужевская И.В. Современный климатический режим атмосферных осадков на территории Томской области // Труды Главной геофизической обсерватории, Вып.576, 2015. С. 129–152.

15. Поляков Д.В., Кужевская И.В. Применение кластерного анализа для оценки температурно-влажностных условий в период активной вегетации на территории юга Западной Сибири и его связь с гидротермическим коэффициентом Т.Г. Селянинова // Вестн. Том. гос. ун-та. 2012. № 360. С. 188–192.

16. NASA Land Processes Distributed Active Archive Center. Available online:

<https://lpdaac.usgs.gov> (дата обращения: 25.06.2019).

17. Huete, A.; Justice, C.; Liu, H. Development of vegetation and soil indices for MODIS-EOS. Remote Sens. Environ. 1994, 49, 224–234.

18. Fortunato, M., Blundell, C., and Vinyals, O. Bayesian recurrent neural networks. 2017.

FORECAST OF YIELD OF GRAIN CROPS USING DATA OF REMOTE SENSING OF THE EARTH AND NEURAL NETWORKS

V.V. Chursin, I.V. Kuzhevskaya, O.E. Nechepurenko

National Research Tomsk State University, Tomsk, skriptym@mail.ru

Summary: The possibility of using the MATLAB Neural Network Toolbox and 16-day composite of the NDVI by MODIS radiometer for yield forecast is presented. It should be used a seven optimal number of previous composites to predict a date (May 25), start date taken February 18. The maximum forecast error in this case is 0.21 t/ ha, or 10%.

Keywords: agrometeorology, NDVI index, MODIS.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ВОДНОГО БАЛАНСА ИРРИГАЦИОННОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

И.Г. Велиев

ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, cpr.sion@gmail.com

Аннотация: *проведён анализ результатов имитационного моделирования функционирования ирригационно-противопаводкового водохранилища, полученных с помощью разработанной программы расчетов основных водохозяйственных характеристик регулирования стока водохранилищем на основе объектно-ориентированного языка программирования C++.*

Ключевые слова: *речной сток, осадки, испарение, ирригация, водохранилище.*

Актуальность. Большинство ирригационных водохранилищ мира и России функционируют в условиях большой изменчивости осадков, притока, и водопотребления. Многие из них имеют преимущественно дождевое питание, при котором, как в различные годы, так и в различные периоды одного года могут иметь место и длительные засушливые периоды, и опасные паводки. Таким образом, приходится рассматривать все возможные сценарии сочетания элементов водного баланса водохранилища с различными правилами. Такого рода задачи немисливо выполнить без соответствующего программного обеспечения.

Объекты и методы исследования. Расчётная программа была разработана для оценки рисков водопользования водными ресурсами Краснодарского водохранилища, которое преимущественно выполняет функции орошения риса и противопаводкового регулирования стока, однако имеет ещё ряд водопользователей. В настоящее время управление этим водохранилищем выполняется на основе традиционного диспетчерского графика [1] с месячной дискретностью. Однако, график водопотребления риса [2] имеет дискретность 5-10 дней, а изменчивость стока велика для тех же периодов из-за дождевых паводков [3;4]. Соответственно в представляемой работе решались следующие задачи:

- разработка алгоритма расчётов (блок-схемы) основных водно-балансовых характеристик функционирования водохранилища для РС-программы согласно объектно-ориентированного языка Си++;
- проведение расчетов регулирования стока водохранилищем с помощью разработанной программы, в основу которой был положен алгоритм, соответствующий действующему на сегодня диспетчерскому графику;
- проведение анализа полученных результатов водно-балансовых расчётов функционирования водохранилища, полученных с помощью разработанной программы.

В основу модели было положено уравнение (1) водного баланса Краснодарского водохранилища для внутригодовых интервалов

$$V_k = V_n + W + W_x - П - U_{\text{сан}} - U_{\text{рыб2}} - U_{\text{спец}} - U_{\text{рыб1}} - U_{\text{эн}} - U_{\text{ор}}, \quad (1)$$

где, V_k и V_n – наполнения к окончанию и к началу временного интервала; W – объем расчетного притока за интервал времени; W_x – осадки, выпадающие на акваторию; $П$ – потери на испарение и фильтрацию; $U_{\text{сан}}$ – санитарные попуски; $U_{\text{рыб1}}$ и $U_{\text{рыб2}}$ – объемы воды, требуемые рыбным хозяйством в верхнем бьефе и нижнем бьефе; $U_{\text{спец}}$ – специальные попуски для обеспечения командных уровней водозаборов расходов воды по рукавам; $U_{\text{эн}}$ – водоотдача из верхнего бьефа для энергетики; $U_{\text{ор}}$ – объемы воды на орошение.

Представленное балансовое уравнение решалось относительно месячных и пятисуточных (пентадных) внутригодовых интервалов по данным наблюдений за притоком воды к водохранилищу с 1974 по 2005 год, то есть, годы, за которые имелись выверенные значения суточного притока.

Согласно правилам представленного на рис.1 диспетчерского графика был разработан алгоритм расчетов характеристик работы водохранилища (рис.2).

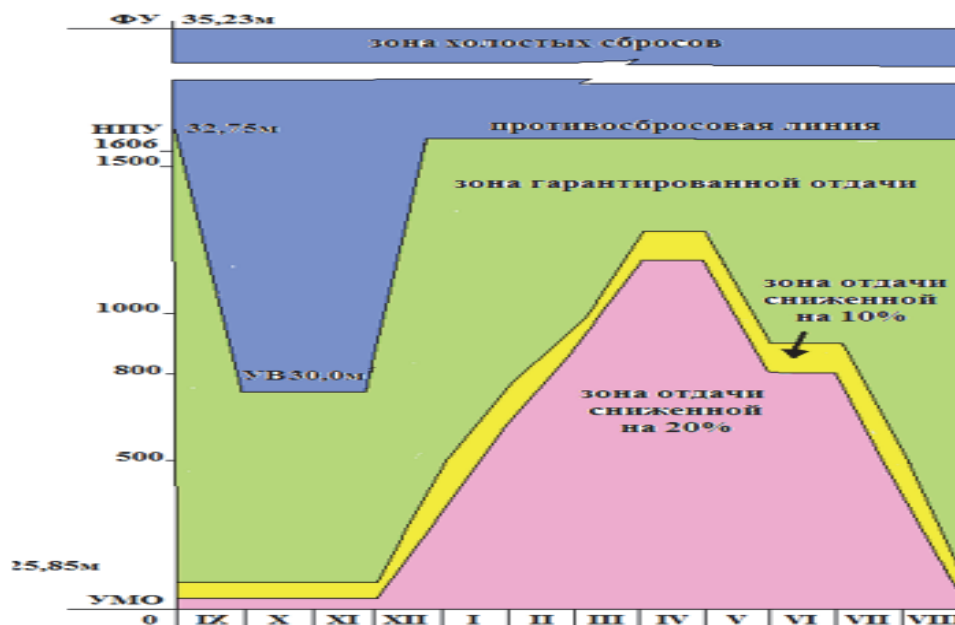


Рис. 1. Диспетчерский график Краснодарского водохранилища

Блок-схема РС-программы (алгоритм) не отображает технических деталей объектно-ориентированного программирования и манипуляций классами, но демонстрирует механизм использования переменных и массивов. В рамках блок-схемы использовались следующие обозначения: i – переменная для внутригодовых интервалов; V_n и V_k – объемы наполнения водохранилища к началу и окончанию внутригодового интервала; V_{k_fict} – фиктивное неограниченное наполнение; U_{fact} – объем фактической водоотдачи; V_{sb} – объем неиспользуемых сбросов воды в нижний бьеф; V_d – объем дефицитов; V_1

и V_2 – ординаты верхней и нижней противоперебойных линий диспетчерского графика; U_{pl} – плановая водоотдача; V_{plz} – полезный объём.

Блок 1. Происходит чтение из файла с данными и инициализация первых (нулевых) элементов массивов – $A_Vn[0] = V_{plz}$, $A_Vk_fict[0] = A_Vn[0] + A_Wp[0] - A_U[0]$, $c = V_{plz}$. То есть, здесь инициализируются представленные численные значения.

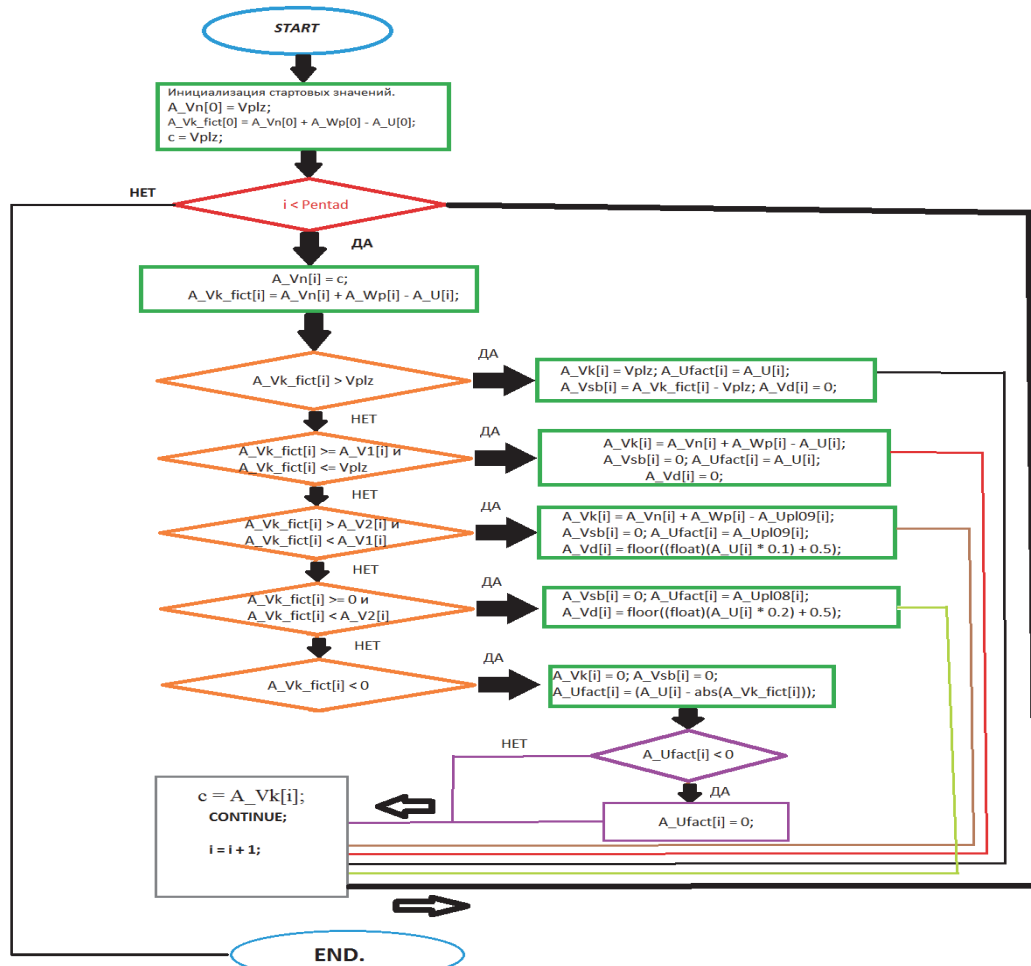


Рис. 2. Блок-схема алгоритма расчета основных характеристик Краснодарского водохранилища

Блок 2. Количество итераций цикла ограничивается расчетными интервала (72 итерации для пентад).

Блок 3. Внутри цикла элементам массивов присваиваются значения:

$A_Vn[i] = C$ (номер элемента i корректируется циклом, описанным в Блоке 2), $A_Vk_fict[i] = A_Vn[i] + A_Wp[i] - A_U[i]$. То есть в этом блоке происходит присваивание численных значений массивам относительно индекса i .

Блок 4. $A_Vk_fict[i]$ сравнивается с V_{plz} и в случае, если оно больше, производятся присваивания массивам: $A_Vk[i] = V_{plz}$; $A_Ufact[i] = A_U[i]$; $A_Vsb[i] = A_Vk_fict[i] - V_{plz}$; $A_Vd[i] = 0$; в противном случае, происходит переход к Блоку 5. Этот блок реализует условие переполнения водохранилища

выше полезного объема, при котором излишки воды (V_{sb}) сбрасываются в нижний бьеф водохранилища без её использования.

Блок 5. $A_Vk_fict[i]$ сравнивается с $A_V1[i]$ и в случае, если оно больше или равно и при всем этом $A_Vk_fict[i]$ меньше или равно V_{plz} , производятся присваивания элементам массива: $A_Vk[i] = A_Vn[i] + A_Wp[i] - A_U[i]$; $A_Vsb[i] = 0$; $A_Ufact[i] = A_U[i]$; $A_Vd[i] = 0$; в противном случае, происходит переход к *Блоку 6*. То есть рассматриваются условия, когда наполнение к началу i -го интервала не превышает величину полезного объема и не меньше верхней противоперебойной линии диспетчерского графика.

Блок 6. $A_Vk_fict[i]$ сравнивается с $A_V2[i]$ и в случае, если оно больше и при всем этом $A_Vk_fict[i]$ меньше $A_V1[i]$, производятся присваивания массивам $A_Vk[i] = A_Vn[i] + A_Wp[i] - A_Upl09[i]$; $A_Vsb[i] = 0$; $A_Ufact[i] = A_Upl09[i]$; $A_Vd[i] = A_U[i] * 0.1$. Представленный блок рассматривает условия, при которых наполнение к началу расчетного интервала не превышает величину верхней противоперебойной линии ($V1$) и не меньше наполнения нижней противоперебойной линии ($V2$). При этом вычисляется значение дефицитов воды, которые в данном варианте составляют 10% от плановой водоотдачи. По сути, массиву $A_Vd[i]$ присваивается значение произведения массива $A_U[i]$ на 0.1. В противном случае - переход к *Блоку 7*.

Блок 7. $A_Vk_fict[i]$ сравнивается с нулем и в случае, если оно больше или равно нулю и при всем этом $A_Vk_fict[i]$ должно быть меньше $A_V2[i]$, производятся присваивания $A_Vsb[i] = 0$; $A_Ufact[i] = A_Upl08[i]$;

$A_Vd[i] = A_U[i] * 0.2$;

По сути, массиву $A_Vd[i]$ присваивается значение произведения массива $A_U[i]$ на 0.2. В противном случае, происходит переход к *Блоку 8*.

Блок 8. $A_Vk_fict[i]$ сравнивается с нулем и в случае, если значение массива меньше происходят присваивания элементам массивов: $A_Vk[i] = 0$; $A_Vsb[i] = 0$; $A_Ufact[i] = A_U[i] - \text{abs}(A_Vk_fict[i])$;

В *блоке 8* есть еще один, вложенный цикл, сравнивающий результат выражения $A_Ufact[i] = (A_U[i] - \text{abs}(A_Vk_fict[i]))$ с нулем. В случае, если $A_Ufact[i]$ больше нуля, цикл игнорируется, иначе $A_Ufact[i]$ инициализируется нулем. Этот цикл предусматривает вариант, когда запас воды водохранилища является меньше $0,8U$.

Блок 9 является завершающим и отвечает за передачу переменной C++ полученного значения массива $A_Vk[i]$, то есть при следующем проходе цикла, значение элемента $A_Vk[i]$ будет присвоено следующему элементу массива $A_Vn[i]$.

Обсуждение результатов. С помощью разработанной программы для вариантов с месячной и пентадной (табл 1) дискретностью определялись по модели различные водохозяйственные характеристики к окончанию внутригодового интервала: наполнения водохранилища (V_k), величины фактической водоотдачи (U_f) и дефицитов воды (d), холостых сбросов в нижний бьеф водохранилища – не используемые объёмы воды (S). Кроме этого, вычислялись обеспеченности планового водопользования и санитарных

попусков в целом (по годам), а также вероятности появления дефицитов во внутригодовых интервалах.

Более подробная дискретность модели позволила определить вероятность переполнения водохранилища (37%) в период паводков и уточнить обеспеченность плановой водоотдачи на орошение, которая оказалась равной 53% при пентадной дискретности, в то время как при месячной - 68%.

Таблица 1

Фрагмент численных результатов расчётов

пентады	W	V1	V2	U	0,9U	0,8U	V _{кф}	V _н	V _к	U _ф	d	S
11-15 авг	77	100	50	204	184	163	186	313	186	204	0	0
16-20 авг	108	100	50	204	184	163	90	186	100	194	10	0
21-25 авг	91	100	50	204	184	163	28	100	28	163	41	0
26-31 авг	69	100	50	244	220	195	-98	28	0	97	147	0
1-5 сен	39	100	50	89	80	71	-32	0	0	39	50	0

Соответственно, обеспеченности санитарных попусков составили 85% и 90%. Следует заметить, что изначально проектные значения обеспеченности плановой водоотдачи и санитарных попусков были установлены 75% и 95%.

Выводы. Таким образом можно заключить:

- разработанная программа для расчётов водохозяйственных характеристик на основе объектно-ориентированного языка программирования C++ может быть использована для анализа различных подходов к регулированию стока водохранилищем в рамках традиционных диспетчерских правил.

- месячная дискретность при построении диспетчерских графиков управления водохранилищем недостаточна для эффективного регулирования стока и корректности оценки его результатов.

Библиографический список

1. Правила использования водных ресурсов Краснодарского водохранилища. Краснодар, «Кубаньводпроект» - 2012. - 193 с.
2. Попов В. А., Островский Н. В. Агроклиматология и гидравлика рисовых систем. Краснодар 2013. – 190 с.
3. Ильнич В.В. Имитационная модель работы водохранилища. – М.: Экспресс информация. – 1982. – С. 1–4.
4. Ильнич В.В., Светлов Е.А. Стохастическая модель водохранилища. Природообустройство, №4' 2008. – С.59-64.

MODELING OF ELEMENTS OF A WATER BALANCE OF IRRIGATION RESERVOIR

Veliev I. G.

Abstract: the analysis of the results of simulation modeling of the functioning of the irrigation and flood protection reservoir obtained using the developed program for calculating the main water management characteristics of the reservoir flow regulation based on the object-oriented C ++ programming language is carried out.

Keywords: river runoff, precipitation, evaporation, irrigation, reservoir.

УДК 551.50

МЕТОДИЧЕСКИЙ АСПЕКТ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА МОДЕЛИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

А.Г. Болотов

¹ РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, agbolotov@gmail.com

Аннотация: В работе рассмотрен методический аспект применения имитационной модели влагопереноса в почве при изучении дисциплины «Микроклиматология». Рассмотрены теоретические основы и результаты моделирования при варьировании краевых условий расчетной схемы.

Ключевые слова: микроклимат, агрометеорология, влажность почвы, влагозапас

Методический аспект включает в себя используемые преподавателем методические приемы, формы организации учебной деятельности и применение на занятиях различных средств обучения, в том числе и технических. Умение преподавателя подобрать приемы и формы работы, соответствующие задачам практического и лекционного занятий обеспечит успех и положительное отношение студентов к процессу учебной деятельности.

Применение программных средств моделирования процессов и явлений в окружающей среде способствует повышению уровня преподаваемых дисциплин в высших учебных заведениях. С одной стороны с помощью методов моделирования преподавателю удастся существенно расширить область знаний для студентов без привлечения дорогостоящих экспериментальных полевых и лабораторных работ. И другой стороны позволяет повысить уровень преподавания, и, в конечном счете, подготовить более конкурентного выпускника, обладающего более широким кругозором, знаниями и навыками.

Цель работы: на примере отдельного исследования изучить возможность применения имитационной модели при изучении дисциплины «Микроклиматология» для подготовки бакалавров по направлению «Гидрометеорология».

Объекты и методы исследования. Объектом исследования являлся режим влажности почвы, рассчитанный в программной среде *Hydrus* с помощью метода имитационного моделирования.

Обсуждение результатов. Одним из определяющих и лимитирующих продуктивность растений факторов является влагозапас почвы. Для того чтобы его рассчитать необходимо знать влажность и плотность почвы, определяемые в полевых условиях, что является трудозатратными процедурами. В настоящее время влажность почвы можно рассчитать с помощью специализированных программных средств, основанных на методах математического моделирования.

Расчет влагопереноса в ненасыщенных средах (почвах, грунтах) осуществляется по формуле Ричардса [1]:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[K_{(P)} \frac{\partial P}{\partial z} + K_{(P)} \right] \pm I(z, t) \quad 1)$$

где θ – влажность почвы ($\text{см}^3/\text{см}^3$); t – время, (с , мин , час , сут); z – вертикальная координата (глубина), (см , м); P – капиллярно-сорбционное давление (см.вд.ст , кПа); $K_{(P)}$ – влагопроводность почвы как функция P (см/с , см/сут), $I(z, t)$ – локальная функция «источник-сток», отражающая интенсивность поглощения (корни, дренаж) или выделения влаги (подпочвенный полив, боковой приток) в элементарном объеме почвы ($\text{см}^3/\text{см}^3/\text{с}$, $\text{см}^3/\text{см}^3/\text{сут}$).

Связь давления и содержания почвенной влаги задается зависимостью $\theta(P)$, характеризующей важное гидрофизическое свойство почвы – ее водоудерживающую способность, называемую основной гидрофизической характеристикой (ОГХ) [2] или ее дифференциальной формой – так называемой дифференциальной влагоемкостью почвы:

$$S = \frac{\partial \theta}{\partial P} \quad 2)$$

Решение уравнений (1-2) возможно при соответствующих условиях:

- верхнее граничное условие – все процессы влагообмена, происходящие на поверхности почвы: испарение, выпадение осадков, поливы, а также транспирация растений;
- нижнее граничное условие – процессы оттока и притока влаги, происходящие на нижней границе почвенной толщи (свободный гравитационный отток влаги), отсутствие потока – водоупор на нижней границе, заданный поток влаги;
- начальные условия – распределение влажности почвы или давления влаги почвы в момент, с которого начинается расчет режима влажности за конкретный период исследования;
- гидрофизические свойства почвы, определяющие перераспределение поступившей на верхнюю границу почвы влаги внутри почвенного профиля.

Решение уравнений (1) и (2) при заданных краевых условиях позволяет рассчитать режим влажности в почве.

Для выявления степени влияния различных факторов на режим влажности в почве и оценки погрешности его расчета была проведена функциональная проверка полученных значений гидрофизических параметров и свойств с помощью численного моделирования в программной среде *Hydrus* [3]. Для этого были экспериментально получены значения влажности черноземов легко- и среднесуглинистых в течение вегетационного периода. Рассмотрены различные краевые (начальные и граничные) условия, при этом выявлено влияние неточности задания входных параметров на гидротермический режим. Все многообразие возможных краевых условий группировалось по способу их получения: 1) экспериментальное обеспечение входных параметров, полученное в результате полевых и лабораторных исследований, 2) экспериментально-расчетное обеспечение входных параметров, полученное в виде срочных наблюдений с действующих метеорологических станций.

Для оценки погрешности расчета режима влажности первой группы краевых условий были выбраны: начальное условие в виде экспериментального профильного распределения объемной влажности (капиллярно-сорбционного давления) почвы; верхнее и нижнее граничные условия в виде изменяющихся и постоянных экспериментальных значений объемной влажности, давления, потока с различным шагом опробования; нижнее граничное условие также задавалось в виде свободного стока. Гидрофизические функции определялись с помощью модели одинарной пористости ван-Генухтена (1980) с различными входными параметрами: 1) зональные параметры ван-Генухтена, полученные с помощью процедуры аппроксимации экспериментальных ОГХ с разделением по гранулометрическому составу, 2) параметры ван-Генухтена, рассчитанные по ПТФ а) полученные из сопряженных групп экспериментальных значений физических и гидротермических свойств исследуемых почв б) из программы Rosseta.

Анализ статистик различий между расчетными и экспериментальными данными значений объемной влажности почвы, а также значений относительной среднеквадратичной ошибки показал, что наиболее точно *Hydrus* воспроизводит динамику влажности при верхнем и нижнем граничных условиях, полученных из экспериментальных значений влажности почвы, зональных гидрофизических параметров ОГХ ван-Генухтена, найденных с помощью процедуры аппроксимации экспериментальных ОГХ с разделением по гранулометрическому составу. При этом шаг (частота) выборки экспериментальных значений граничных условий для схемы расчета режима влажности в течение вегетационного периода должен составлять не более 10 суток.

Для минимизации полевых работ по экспериментальному обеспечению входных параметров модели в качестве верхнего граничного условия были использованы метеорологические данные с ближайшей метеостанции. Для оценки погрешности расчета режима влажности было проведено численное

моделирование с различными экспериментально-расчетными вариантами задания краевых условий: начальное условие 1) экспериментально определенное профильное распределение объемной влажности, 2) значения влажности, соответствующие наименьшей влагоемкости в момент времени схода снега в весенний период; верхнее граничное условие рассчитывалось по метеоданным с эвапотранспирацией, рассчитанной по формулам 1) Иванова, 2) Пенмана-Монтейта, 3) Пенмана-Монтейта со встроенным погодным генератором *Hydrus*, 4) Харгривза; нижнее граничное условие задавалось в виде свободного стока, как наиболее точное после экспериментально задаваемых значений. В результате проведенных численных экспериментов было выявлено, что влагоперенос наиболее точно воспроизводит вариант модели с верхним граничным условием при использовании метеоданных с эвапотранспирацией, рассчитанной по формуле Пенмана-Монтейта с шагом 1 сутки для расчета режима влажности в течение вегетационного периода ($S_E=14\%$). Задание начального условия в виде зональных значений влажности, соответствующей наименьшей влагоемкости в момент времени схода снега в весенний период, несколько увеличило погрешность расчета ($S_E=16\%$), однако это полностью исключает экспериментальную работу по обеспечению входных параметров. Такой же результат получен при задании значения объемной влажности $0,2 \text{ см}^3/\text{см}^3$, устанавливаемой *Hydrus* по умолчанию, однако нужно понимать, что для почв другого гранулометрического состава это значение будет другим. Значения наименьшей влагоемкости, установленные в *Hydrus* занижены и увеличивают погрешность до 19%.

В работе было изучено влияние изменения краевых условий и гидрофизических параметров на погрешность расчета влагопереноса (чувствительность модели к вариациям входных параметров) с целью оценки предъявляемой точности при определении этих характеристик. Для этого были проведены численные эксперименты с входными параметрами, изменяющимися в диапазоне от -50% до $+50\%$ относительно исходных значений и регистрацией изменений выходной функции (объемной влажности почвы):

$$\frac{\Delta y}{y_0} = S \frac{\Delta \beta}{\beta_0}$$

Анализ зависимости относительной погрешности расчетной влажности почвы от изменения входных параметров показал, что модель наименее чувствительна к изменению начального условия и параметра K_s . Для граничных условий и параметра θ_r чувствительность несколько выше. Наиболее высокие требования к точности задания входных величин должны предъявляться к параметрам ван-Генухтена n , θ_s и α , т.к. их коэффициенты чувствительности наибольшие.

Зависимость $S_E = f(\Delta\beta/\beta)$ отображает диапазон адаптации модели, и для рассмотренного случая указывает на возможность адаптации модели по нижнему ГУ и параметру α . Уменьшение этих величин на 20% и 10% соответственно, снизило общую ошибку расчета до 7,8%. Критерием адаптации модели является необходимое и достаточное условие экстремумов (минимума)

функции $S_E = f(\Delta\beta/\beta)$: $S'_E(\Delta\beta/\beta) = 0$, $S''_E(\Delta\beta_0/\beta_0) > 0$, где $\Delta\beta_0/\beta_0$ – стационарная точка.

Факт уменьшения влияния начального условия с течением времени на погрешность расчета режима влажности является следствием детерминированности модели *Hydrus*. На 10 сутки расчета это влияние полностью нивелируется. Из этого можно сделать практически важный вывод, что в качестве начальных условий можно задавать любые значения влажности (давления влаги) почвы, например соответствующие наименьшей влагоемкости на момент весеннего снеготаяния, и принимать к учету расчетные значения этих величин, полученные на 11 сутки расчета. Для минимизации погрешности расчета режима влажности в течение вегетационного периода при использовании верхнего граничного условия 1-рода рекомендуется не превышать шаг по времени (частота выборки) более 10 суток.

Также была проведена оценка влияния альбедо (A) на погрешность расчета влагопереноса (чувствительность модели к этому параметру). Для этого были проведены численные эксперименты с входными метеопараметрами и измененной величиной альбедо в диапазоне 5-30%, характерной для всех типов почв и агроландшафтов.

Выявлено, что значение альбедо, равное 23%, которое рекомендовано ФАО и установленное по умолчанию в *Hydrus* для большинства сельскохозяйственных ландшафтов наименее всего вносит погрешность в расчет влагопереноса.

Заключение. Результаты проведенных исследований можно использовать при решении задач по оценке агрометеорологических условий произрастания культур с помощью рассмотренной модели. Показана возможность определения влагозапасов в почвенном профиле с достаточной точностью. Выполнение отдельных модулей работы имитационной модели в виде расчетно-графических работ позволит расширить кругозор студентов в области агрометеорологии и земледелия, а также приобрести дополнительные знания и навыки на современном уровне развития этих направлений.

Библиографический список

1. van Genuchten M.Th. A Closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils / M.Th. van Genuchten // Soil Sci. Soc. Am. J. – 1980. – V. 44. – P. 892-898.
2. Глобус А.М. Экспериментальная гидрофизика почв / А.М. Глобус. Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 357 с.
3. Болотов А. Г. Гидрофизическое состояние почв юго-востока Западной Сибири: дисс. ... доктора биол. наук. М., МГУ им. М. В. Ломоносова, 2017. 351 с.

METHODOICAL ASPECT OF APPLICATION OF THE METHOD OF SIMULATION OF MICROCLIMATE PARAMETERS IN THE EDUCATIONAL PROCESS

A.G. Bolotov

Abstract: The paper discusses the methodological aspect of the application of the simulation model of moisture transfer in the soil when studying the discipline "Microclimatology". The theoretical foundations and simulation results are considered when varying the boundary conditions of the calculation scheme.

Keywords: microclimate, agrometeorology, soil moisture, moisture reserve

УДК 551.582.1-2

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НА ТЕРРИТОРИИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

О.В. Носырева, И.А. Старикова, А.Н. Квасова, М.А. Никифоров

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, ov_nosyreva@mail.ru

Аннотация: *представлены результаты агроклиматических исследований юго-восточной части территории Западной Сибири. Приведены оценки тенденций (1960–2017 гг.) и современных значений опасных для сельского хозяйства явлений погоды, характеристик снежного покрова, индикаторов термического и влажностного режимов.*

Ключевые слова: *даты устойчивого перехода, гидротермические условия, повторяемость заморозков, повторяемость засух, снежный покров.*

Актуальность. Значительная часть территории Западной Сибири располагается в области максимального как наблюдаемого, так и прогнозируемого изменения климата. Следовательно, и агроклиматические ресурсы претерпевают значительные изменения. Комплексные исследования агрометеорологических условий, сформировавшихся в новом климате для территории Западной Сибири, не проводились, между тем накоплены новые данные наблюдений, включая засушливый 2012 год.

Актуален обзор оценок совокупности агроклиматических ресурсов, их многолетней динамики на фоне глобальных климатических изменений и реакция на эти изменения сельскохозяйственных культур.

Целью настоящей работы является систематизация и приведение к одному периоду новых и полученных ранее результатов.

Подобный анализ характеристик климата, в особенности его изменчивости, экстремальности и воздействия на ведение сельского хозяйства, на территории Западной Сибири проводились исследователями из Всероссийского НИИ сельскохозяйственной метеорологии (О.Д. Сиротенко,

И.Г. Грингоф, Е.С. Уланова, А.И. Страшная и др.) и Сибирского регионального научно-исследовательского гидрометеорологического института (В.В. Костюков, С.В. Устинова, Т.В. Старостина, М.И. Черникова и др.). Однако разброс оценок и мнений экспертов о климатическом потенциале отдельных регионов продолжает оставаться значительным. Коллективом сотрудников кафедры метеорологии и климатологии Томского государственного университета ранее проводились исследования ряда агроклиматических показателей для юго-востока Западной Сибири за разные периоды. В настоящей работе рассматриваются агроклиматические показатели, не оцененные в работах [1–8].

В [9–12] опубликованы результаты подобных исследований, но они относятся в целом для Северного полушария или для крупных географических областей и экономических районов. Для территории Западной Сибири вообще и отдельных ее частей, в частности, рассматривались агроклиматические показатели за разные временные периоды. Это целесообразно, поскольку для разных частей (север, юг, запад, восток территории) агроклиматические вызовы могут различаться. Поэтому в настоящих исследованиях планируется сделать акценты на агроклиматических особенностях разных географических районов.

Объекты и методы исследования. В качестве материалов для исследования послужили данные по температуре воздуха, осадкам, снежному покрову на территории Западной Сибири за период с 1960 по 2017 гг.

Западная Сибирь – крупнейший экономический район России, расположенный преимущественно в границах Обь-Иртышского бассейна, включает территорию Западно-Сибирской равнины, Алтайских гор, Салаирского кряжа и Кузнецкого Алатау. В состав Западно-Сибирского экономического района входят Республика Алтай, Алтайский край, Кемеровская, Новосибирская, Омская, Томская и Тюменская области с Ханты-Мансийским и Ямало-Ненецким автономными округами, которые в общей сложности занимают почти 15 % территории России [13].

В настоящей работе приведены результаты оценок следующих важнейших агроклиматических показателей:

- даты устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через 0, 5 и 10 °С весной и осенью. На практике даты устойчивого перехода температуры воздуха определяются по общепринятой методике Д.А. Педя [14], наиболее пригодной для исследований особенностей устойчивых переходов температуры, присущих каждому отдельному году, а также для изучения межгодовых изменений (флуктуации) рассматриваемых климатологических характеристик;

- суммы среднесуточных значений температуры воздуха и осадков за период со среднесуточной температурой, превышающей 0, 5 и 10 °С;

- продолжительность этих периодов;

- гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова (ГТК);

- повторяемость заморозков и засух;

- характеристики снежного покрова.

Обсуждение результатов. В условиях неустойчивости агропромышленного комплекса в России особенно важно исследовать переходные режимы, особенно начала и всего периода вегетации. Тем более что на этой территории до настоящего времени детально не рассматривались изменения сроков устойчивого перехода среднесуточной температуры через заданные пределы, что крайне важно для сельского хозяйства.

Метод построения EV-диаграмм скользящих оценок средних величин и средних квадратических отклонений агроклиматических показателей для 30-летних периодов осреднения [15] позволяет оценить исследуемые характеристики не только количественно, но и качественно (рис. 1).

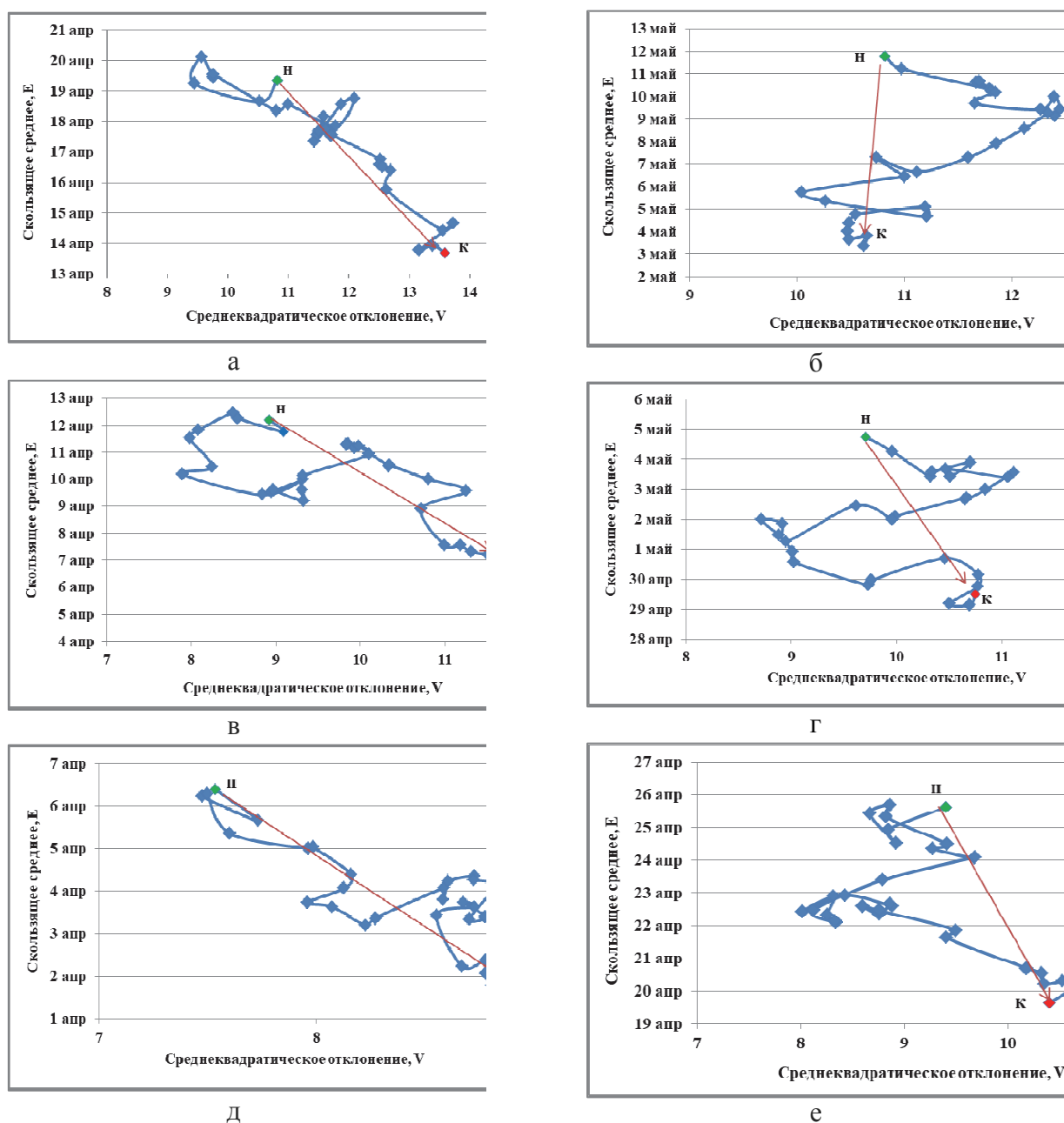


Рис. 1. EV-диаграммы изменений центров распределения и разброса дат перехода среднесуточной температурой воздуха через 0 °С (а) и 5 °С (б) в Колпашево, через 0 °С (в) и 5 °С (г) в Томске, через 0 °С (д) и 5 °С (е) в Барнауле для скользящих 30-летних периодов с 1960 по 2016 гг. (Н – состояние климата за 1960–1989 гг.; К – 1986–2016 гг. соответственно)

Представленные кривые соединяют точки (Н) – (К) и визуализируют траекторию движения рассматриваемых термических показателей. Изменения этих показателей не было монотонным и однонаправленным. При анализе EV-диаграммы видим, что на всех рисунках прослеживается изменение климатической системы в отношении среднего. Точки (Н) и (К) находятся на наибольшем расстоянии друг от друга, т.е. начальное состояние системы отлично от конечного ее состояния.

Анализ EV-диаграмм показывает смещение, как даты перехода через 0 °С (Д0), так и даты перехода через 5 °С (Д5) весной на более ранние сроки на всех станциях: уменьшение скользящей средней и увеличение среднеквадратического отклонения характерно для всех представленных случаев (кроме рисунка 1б, где происходит незначительное уменьшение скользящей средней и уменьшение среднеквадратического отклонения). Смещение на более ранние сроки дат перехода через 0 °С в среднем происходит на 4–6 дней, дат перехода через 5 °С – на 6–9 дней, при этом наибольшая величина сдвига дат отмечается на севере территории (Колпашево), наименьшая – на юге (Барнаул). При этом среднеквадратическое отклонение увеличивается в центральной и южной частях Западной Сибири в среднем на 2 дня, а на севере территории для даты перехода через 0 °С рост отклонения составляет 3 дня, а для даты перехода через 0 °С – уменьшение на 1 день.

Можно предположить, что дальнейшее изменение климата будет происходить в том же направлении, будет происходить смещение дат перехода воздуха через 0 и 5 °С весной на более ранние сроки. Возможно, изменчивость дат также будет возрастать в ближайшее время.

С учетом региональных физико-географических особенностей Западно-Сибирской равнины было проведено деление агроклиматических показателей теплого периода года по грациям сумм температур воздуха выше 10 °С и показателям условий увлажнения территории [16–17] (табл. 2).

Условия теплообеспеченности вегетационного периода Западной Сибири изменяются не только по территории, но и во времени. Территориально они переходят от прохладных условий на севере (Березово) к очень теплым – на юге (Славгород) (табл. 3).

Таблица 2

**Цветовая шкала количественных и качественных характеристик
климатических условий Западной Сибири**

Термические условия	$\Sigma t > 10^\circ \text{C}$	Условия увлажнения	ГТК
Менее холодные	600-900	Сухие	0,4-0,7
Прохладные	900-1200	Очень засушливые	0,7-0,9
Относительно теплые	1200-1500	Засушливые	0,9-1,0
Умеренно теплые	1500-1800	Умеренно засушливые	1,0-1,3
Достаточно теплые	1800-1900	Слабо засушливые	1,3-1,6
Теплые	1900-2100	Влажные	1,6-1,7
Очень теплые	2100-2400	Избыточно влажные	>1,7

За период исследования с 1960 г. по 2016 г. наблюдается увеличение сумм температур выше 10 °С, в южной части региона этот процесс происходит раньше (начиная с 1980-х гг.), по сравнению с северной частью, где рост температур начинается с 1990–2000-х гг.

Таблица 3

**Средние значения сумм температур за период активной вегетации
в Западной Сибири по десятилетиям**

Станции	Координаты	1960–69	1970–79	1980–89	1990–99	2000–09	2010–16
Берёзово	63° 56' с.ш.	914,5	928,5	981,3	1043,1	1201,1	1208,0
Александровское	60° 43' с.ш.	1213,7	1187,8	1322,8	1300,5	1513,1	1550,5
Сред. Васюган	59° 20' с.ш.	1314,7	1408,7	1440,5	1439,3	1613,3	1573,3
Пудино	57° 57' с.ш.	1428,0	1319,1	1495,8	1528,9	1651,5	1478,2
Первомайское	57° 07' с.ш.	1534,7	1505,7	1500,9	1661,8	1807,8	1746,0
Бакчар	57° 00' с.ш.	1424,5	1359,1	1476,3	1536,2	1641,9	1587,1
Томск	56° 50' с.ш.	1590,6	1500,2	1534,9	1625,9	1790,6	1668,3
Тайга	56° 07' с.ш.	1388,9	1306,1	1331,4	1464,3	1608,0	1559,8
Тисуль	55° 75' с.ш.	1471,8	1480,8	1524,6	1631,3	1825,3	1661,2
Болотное	55° 67' с.ш.	1689,6	1579,8	1685,8	1725,5	1725,5	1706,9
Барабинск	55° 33' с.ш.	1715,5	1649,2	1787,0	1836,2	1880,6	1854,2
Кемерово	55° 25' с.ш.	1684,9	1542,8	1659,8	1745,9	1909,3	1770,0
Огурцово	54° 90' с.ш.	1751,3	1735,4	1862,4	1833,1	1941,0	1877,6
Камень-на-Оби	53° 49' с.ш.	1857,7	1862,2	1926,8	1963,9	2078,9	1896,9
Барнаул	53° 40' с.ш.	1876,6	1821,9	1935,2	2040,0	2190,9	2010,6
Славгород	52° 97' с.ш.	2152,0	2134,9	2130,3	2271,1	2328,5	2299,3

Максимум сумм температур вегетационного периода приходится на десятилетие 2000–2009 гг. на всей территории Западной Сибири. В последние же годы (2010–2016 гг.) отмечается процесс уменьшения значений данной характеристики. На севере региона в этот период преобладают относительно теплые условия теплообеспеченности, в центре – умеренно теплые, на юге – условия изменяются от достаточно теплых до очень теплых.

Условия влагообеспеченности Западной Сибири характеризуются увеличением засушливости климата с севера на юг: от влажных на севере, слабо засушливых в центре и до засушливых и очень засушливых условий на юге территории (табл. 4).

Таблица 4

Средние значения ГТК за период активной вегетации в Западной Сибири по десятилетиям

Станции	Координаты	1960–69	1970–79	1980–89	1990–99	2000–09	2010–16
Берёзово	63° 56' с.ш.	1,7	1,5	1,4	1,5	1,2	1,3
Александровское	60° 43' с.ш.	1,5	1,5	1,2	1,3	1,5	1,5
Ср. Васюган	59° 20' с.ш.	1,5	1,6	1,4	1,3	1,4	1,3
Пудино	57° 57' с.ш.	1,3	1,5	1,2	1,3	1,5	1,4
Первомайское	57° 07' с.ш.	1,0	1,3	1,1	1,1	1,2	1,0

Бакчар	57° 00' с.ш.	1,1	1,3	1,2	1,2	1,4	1,2
Томск	56° 50' с.ш.	1,2	1,4	1,3	1,2	1,3	1,2
Тайга	56° 07' с.ш.	1,2	1,6	1,3	1,2	1,5	1,3
Тисуль	55° 75' с.ш.	1,3	1,5	1,4	1,3	1,3	1,3
Болотное	55° 67' с.ш.	1,0	1,2	0,8	1,2	1,2	1,0
Барабинск	55° 33' с.ш.	1,0	1,1	0,8	0,9	0,9	0,9
Кемерово	55° 25' с.ш.	0,9	1,2	1,1	1,1	1,2	1,2
Огурцово	54° 90' с.ш.	0,9	1,1	1,0	1,0	1,1	0,8
Камень-на-Оби	53° 49' с.ш.	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7
Барнаул	53° 40' с.ш.	0,9	0,9	0,8	1,0	0,9	0,9
Славгород	52° 97' с.ш.	0,5	0,7	0,7	0,7	0,7	0,5

За период исследования условия увлажнения территории практически не изменяются. Однако, в период 2010–2016 гг. на отдельных станциях отмечается уменьшение влагообеспеченности до засушливых и очень засушливых условий увлажнения. В результате в регионе происходит увеличение числа повторяемости неблагоприятных агрометеорологических явлений, например, таких, как засуха [18]. Такая тенденция особенно выражена в северных и центральных частях региона (например, в Томской области), для которых засушливость климата не характерна.

Повторяемость явлений с «очень сильной засухой» увеличивается от 43 % на севере Томской области (Напас) до 50% – на юге (Томск). Внутри периода с мая по сентябрь, наибольшая повторяемость засушливых явлений наблюдается в июле. Например, на станции Бакчар в июле повторяемость явления «очень сильная засуха» составила 67%, а в мае – 31%. Таким образом, в новых климатических условиях засушливые периоды могут оказать фатальное влияние на урожайность сельскохозяйственных культур даже столь влажной территории, как Томская область.

Кроме засух, одним из факторов, ограничивающих термические ресурсы территорий, являются заморозки. По смещению дат последних весенних и первых осенних заморозков и продолжительности беззаморозкового периода можно судить о благоприятности климатических условий того или иного региона. Нами было выявлено [19], что весной заморозкоопасный период длится со 2 мая на юге территории (Славгород) до 6 июня – на севере (Александровское), осенью – с 29 августа в центральной части региона (Тайга) до 4 октября – на юге (Татарск). Месяцы с наибольшей повторяемостью опасных явлений в Западной Сибири – май (до 70%) и сентябрь (до 50%).

По полученным результатам с помощью объективных статистических методов территория исследования была разделена на три группы станций: 1 группа – преимущественно север территории; 2 группа – центр; 3 группа – юг территории, а также станции с завышенными значениями характеристик относительно соседних, соответствующих значениям южных станций (Славгород).

На рисунке 2 представлена повторяемость заморозков в целом за месяцы переходных периодов года (май–июнь, август–сентябрь) по выделенным

группам и ее средние значения за десятилетия 1968-1977, 1978-1987, 1988-1997, 1998-2007, 2008-2017 гг. В динамике характеристик можно выделить колебания с разной продолжительностью. Весной для северной (1) и центральной (2) групп станций характерно увеличение повторяемости заморозков в последнее десятилетие, которая достигла 4 и 8% соответственно. Весной для 3 группы и осенью для всех групп наблюдается уменьшение повторяемости в аналогичный период.

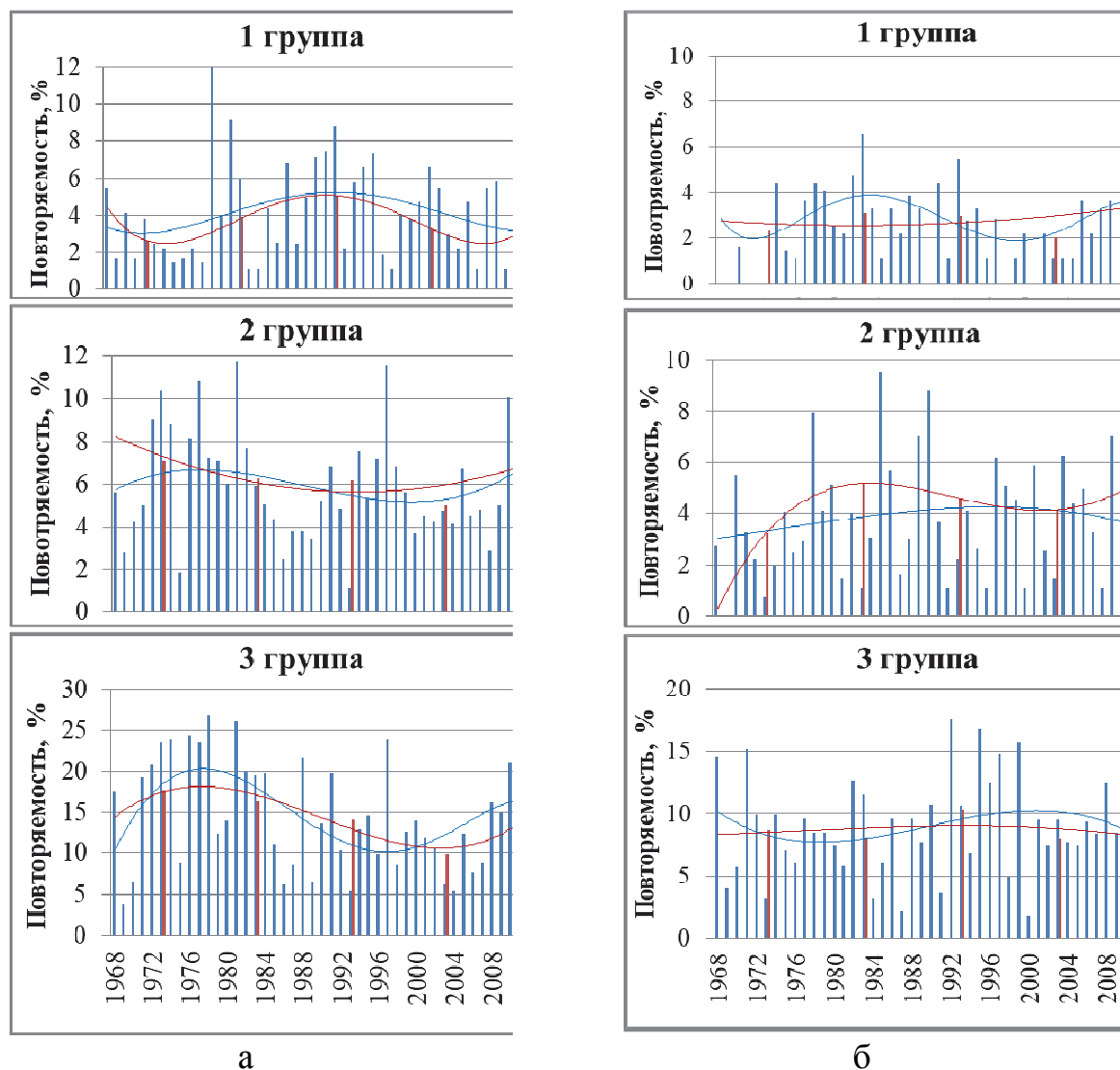


Рис. 2. Повторяемость заморозков в переходные периоды года по группам станций: а) весной, б) осенью. Красным цветом обозначена средняя повторяемость за 10 лет

В месяцы с наибольшей повторяемостью заморозков (май и сентябрь) наблюдается постепенное ее снижение за период исследования в северной и центральной частях Западной Сибири, что говорит о росте здесь продолжительности безморозкового периода. Следовательно, происходит увеличение теплообеспеченности сельскохозяйственных культур и улучшение условий их выращивания, что является одним из положительных последствий влияния ожидаемых изменений климата.

Колебания климата и вызванные ими последствия весьма неоднородны в пространстве и по сезонам; велика также межгодовая изменчивость климатических характеристик. Поэтому часто трудно однозначно оценить, насколько и в какую сторону меняются климатические показатели. Тем более это касается таких комплексных явлений, как сезонная эволюция снежного покрова, интегрирующая в себе изменения погоды за несколько месяцев.

Изменения снежного покрова могут считаться индикатором изменений климата холодного сезона, отражающим изменения температуры, осадков, частоты оттепелей и др. В то же время характеристики снежного покрова важны для многих специалистов и потребителей гидрометеорологической информации, поскольку снег оказывает решающее воздействие на множество природных процессов, а также на отрасли экономики России и сопредельных стран [20].

Продолжительность залегания снежного покрова в Томской области в среднем составляет 180 дней. Наблюдается уменьшение данной величины за 30-летний период, что согласуется с изменением сроков залегания и разрушения снежного покрова в последние десятилетия. Наибольшей высоты снежный покров достигает в первой-второй декаде марта. Средние декадные высоты в этот период достигают 48 см на юге области, 52 см – в центральной части и 64 см – на северо-западе. Максимальное снегонакопление приходится на первую-вторую декаду марта (64-80 см с юга на север соответственно).

По знаку тенденции средней и максимальной высоты снежного покрова Томская область делится на две части, северную и южную. Тенденция к уменьшению прослеживается в северной части области (Средний Васюган, Напас, Парабель), а в южной части области (Бакчар, Первомайское, Молчаново, Томск) – тенденция увеличения высоты снежного покрова (рис. 3).

По результатам собственных маршрутных наблюдений за основными и режимными характеристиками снежного покрова в 2015–2017 годах на ключевом участке ТГУ «Лучаново» на юге Томской области [21–22] было выявлено, что устойчивое залегание снежного покрова наблюдалось 15 октября, когда среднемноголетняя дата образования снежного покрова для юга Томской области отмечалась 25 октября [23]. Исходя из этого можно сделать вывод, что в последние 2 года снег устойчиво лег раньше срока.

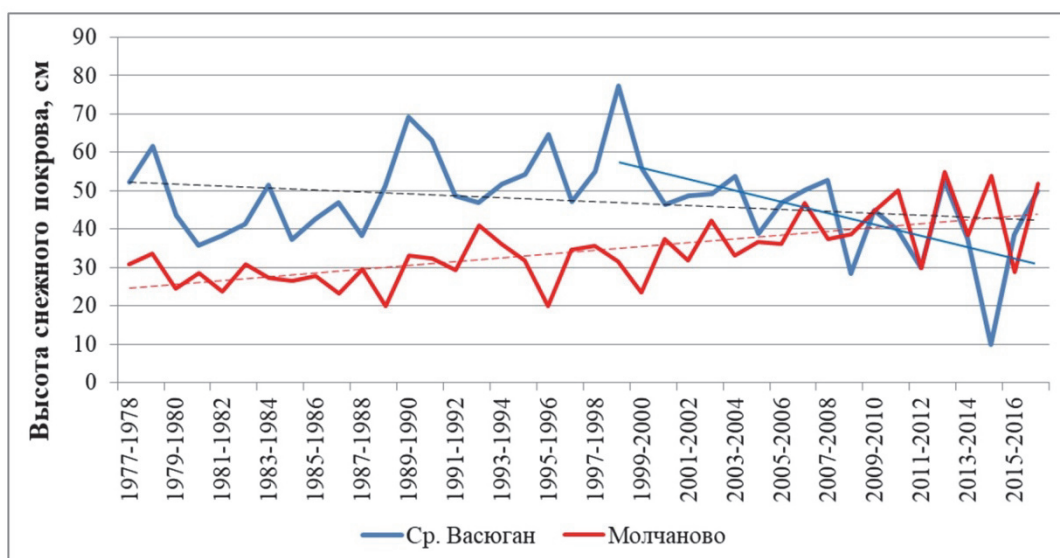


Рис. 3. Средняя высота снежного покрова на севере (Средний Васюган) и юге (Молчаново) Томской области

Начало снеготаяния приходится в эти годы на 19–20 марта, при средней многолетней дате 29 марта. В 2016 году снег растаял быстро (19 дней) по сравнению с 2017 годом. Это связано с тем, что в 2016 году на фоне положительной среднесуточной температуры воздуха за весь период снеготаяния на момент начала таяния снега средняя его высота была небольшой. Частыми возвратами холодов и высотой снега характеризуется длительная продолжительность периода снеготаяния в 2017 году.

Интенсивность снеготаяния по В.Д. Комарову в 2016–2017 гг. колеблется в пределах 12,9–15,5 мм/сутки, а по Е.Г Попову – 13,6–15,9 мм/сут, при среднем значении интенсивности для наших широт – 8–12 мм/сут) [21].

От характера распределения характеристик снежного покрова зависит интенсивность эрозионных процессов. Исследование снежного покрова необходимо для разработки практических мероприятий по регулированию распределения снежного покрова, для оптимального подбора метода вспашки сельскохозяйственных земель в осенний и весенний периоды для предотвращения или уменьшения количества смываемой почвы.

По рассчитанным данным, а также по многолетним наблюдениям сотрудников ТГУ, в целом южная территория Томской области входит в зону средней и высокой интенсивности снеготаяния, каждый год происходит интенсивный смыв верхнего слоя почв различной интенсивности [21–22]. Результаты исследований за 2016 год также подтверждают смыв почвогрунта. Основной вклад в процесс смыва почв вносит таяние сугробов у лесополос. Однако последующий 2017 год оказался уникальным, со склонов различных экспозиций ключевого участка было смыто 0,5–1,0 м³/га. На фоне большой высоты снежного покрова и его высоком влагозапасе наблюдалось слабое развитие эрозионного процесса. Объяснением этому может быть наличие сохраненной при осенней обработке стерни, которая защитила почвы от эрозии, способствовала задержанию снега и снизила интенсивность проявления эрозии почв.

Заключение. На фоне сложившихся к 2017 г. климатических условий выявлен ряд агроклиматических особенностей:

1. В последние годы период вегетации на севере Западной Сибири характеризуется относительно теплыми условиями теплообеспеченности, в центре – умеренно теплыми, на юге территории условия изменяются от достаточно теплых до очень теплых. Продолжительность периода увеличивается за счет смещения границ его начала и окончания.

2. За период исследования условия увлажнения территории практически не изменяются. Однако, в 2010–2016 гг. на фоне увеличения теплообеспеченности на отдельных станциях отмечается уменьшение влагообеспеченности до засушливых и очень засушливых условий увлажнения, что связано с увеличением числа повторяемости засушливых явлений. Такая тенденция особенно выражена в северных и центральных частях Западной Сибири, где повторяемость засух в вегетационный период может достигать 50 %.

3. Наблюдается постепенное снижение повторяемости заморозков в наиболее опасные для сельского хозяйства месяцы в северной и центральной частях Западной Сибири, что говорит о росте здесь продолжительности безморозкового периода.

4. На севере Западной Сибири происходит сокращение продолжительности залегания снежного покрова. Прослеживается тенденция уменьшения высоты снежного покрова в северной части Томской области, а в южной – увеличения.

В целом, наблюдается увеличение агроклиматических ресурсов Западной Сибири на всем пространстве 53°–63° с.ш. широты, что формирует более благоприятные условия для ведения сельского хозяйства и является одним из положительных последствий влияния ожидаемых изменений климата.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов РФФИ № 18-45-700010 p_a, № 18-45-700015.

Библиографический список

1. Горбатенко В.П., Кижнер Л.И. Экономические аспекты использования агрометеорологических прогнозов // Экономика сельского хозяйства России. 2014. № 4. С. 54-61.

2. Барашкова Н.К., Волкова М.А., Кужевская И.В. Современный климатический режим атмосферных осадков на территории Томской области // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. 2015. № 576. С. 129-152.

3. Носырева О.В. Климатические показатели термического режима теплого периода и их современные тенденции для юга Западной Сибири: диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук. Томск: Томский гос. ун-т. 2012. 176 с.

4. Носырева О.В., Барашкова Н.К., Кужевская И.В. Состояние и климатические тенденции временных показателей теплого периода года на юге

Западной Сибири // Оптика атмосферы и океана. Т. 24, № 2. Томск: Изд-во института оптики атмосферы, 2011. С. 119-123.

5. Барашкова Н.К., Кужевская И.В., Носырева О.В. Переход температуры воздуха через 0 и 5 °С на юге Западной Сибири: режим, статистические характеристики и сопутствующие циркуляционные условия / Вестник Томского государственного университета. 2009. № 325. С. 191-195.

6. Барашкова Н.К., Кужевская И.В., Носырева О.В. Климатические характеристики режимов устойчивого перехода температуры воздуха через определенные пределы на юге Западной Сибири // Известия РАН. Серия географическая. Москва: Изд-во Наука. 2015. № 1. С. 74-84.

7. Поляков Д.В. Современные изменения агроклиматических ресурсов на территории юго-востока Западной Сибири: диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук. Томск: Томский гос. ун-т, 2015. 134 с.

8. Поляков Д.В., Барашкова Н.К., Кужевская И.В. Погодно-климатическая характеристика аномального лета 2012 г. на территории Томской области // Метеорология и гидрология. 2014. № 1. С. 38-47.

9. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2016 год. Москва. 2017. 70 с.

10. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Москва: Росгидромет. 2014 г. 1018 с.

11. Сиротенко О.Д., Абашина Е.В. Влияние глобального потепления на агроклиматические ресурсы и продуктивность сельского хозяйства России // Метеорология и гидрология. 1996. № 4. С. 101-112.

12. Сиротенко О.Д., Грингоф И.Г. Оценки влияния ожидаемых изменений климата на сельское хозяйство Российской Федерации // Метеорология и гидрология. 2006. № 8. С. 92-101.

13. География Сибири в начале XXI века: в 6 т. / гл. ред. В. М. Плюсин, отв. ред.: Ю. И. Винокуров, Б. А. Красноярова. Т. 5: Западная Сибирь. Новосибирск: Гео. 2016. 447 с.

14. Педь Д.А. Об определении дат устойчивого перехода температуры воздуха через определенные значения // Метеорология и Гидрология, 1951. № 10. С. 38-39.

15. Грингоф И.Г., Павлова В.Н. Основы сельскохозяйственной метеорологии. Том III. Основы агроклиматологии влияние изменений климата на экосистемы, агросферу и сельскохозяйственное производство. Учебное пособие // Обнинск: ФГБУ "ВНИИГМИ-МЦД". 2013. 384 с.

16. Трофимова И.Е., Балыбина А.С. Классификация климатов и климатическое районирование Западно-Сибирской равнины // География и природные ресурсы. Институт географии СО РАН, г. Иркутск. 2014. № 2. С. 11-21.

17. Старикова И.А. Агроклиматическое районирование для периода активной вегетации территории Западной Сибири / Сборник научных статей международной конференции «Ломоносовские чтения на Алтае:

фундаментальные проблемы науки и техники». Электронный ресурс. Ответственный редактор: Родионов Е.Д. 2018. С. 1084-1090.

18. Носырева О.В., Квасова А.Н. Режим увлажнения в вегетационный период и урожайность зерновых культур в Томской области / Материалы Международной научно-практической конференции «Географические основы и экологические принципы региональной политики природопользования» (23–27 сентября 2019 г.). Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН. 2019. С. 211-215.

19. Носырева О.В., Никифоров М.А. Влияние климата на дорожный транспорт в переходные периоды года в Западной Сибири / Материалы Международной научно-практической конференции «Географические основы и экологические принципы региональной политики природопользования» (23–27 сентября 2019 г.). Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН. 2019. С. 201-204.

20. Шмакин А.Б. Климатические характеристики снежного покрова Северной Евразии и их изменения в последние десятилетия // Лед и снег. 2010. № 1 (109). С. 43-57.

21. Носырева О.В., Соян Д.А. Снежный покров как фактор развития эрозии почв на юге Томской области / Современные проблемы географии и геологии: к 100-летию открытия естественного отделения в Томском государственном университете: Матер. IV Всероссийской науч.-практ. конф. с междунар. участием. Том 1. Томск: ТГУ, 2017. С. 311-315.

22. Носырева О.В., Донгурак Р.Р. Характеристики снежного покрова на юге Томской области / Материалы Второй Международной научной конференции (Томск, 20–23 октября). Томск: Изд-во ЦНТИ. 2015. С. 304-306.

23. Горбатенко В.П., Журавлев Г.Г., Носырева О.В., Волкова М.А., Кижнер Л.И., Константинова Д.А. Современные изменения климатических условий, определяющих накопление снега на автомобильных дорогах Томской области // Фундаментальная и прикладная климатология. 2018. Т. 4. С. 39-54.

MODERN TENDENCIES OF AGROCLIMATIC INDICES IN WESTERN SIBERIA

O.V. Nosyreva, I.A. Starikova, A.N. Kvasova, M.A. Nikiforov

National Research Tomsk State University, Tomsk, ov_nosyreva@mail.ru

Abstract: The results of agroclimatic studies of the south-eastern part of the territory of Western Siberia are presented. Estimates of trends (1960–2017) hazardous to agriculture weather phenomena, snow cover characteristics, indicators of thermal and humidity conditions are given.

Keywords: dates of steady transition, hydrothermal conditions, frequency of frost, frequency droughts and snow cover.

**ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА ПРОДУКТИВНОСТЬ
КУКУРУЗЫ В ЦЕНТРАЛЬНОМ ПОЛЕСЬЕ
(НА ПРИМЕРЕ ЖИТОМИРСКОЙ ОБЛАСТИ)**

О.В. Вольвач, Е.И. Маринин

*Одесский государственный экологический университет, Одесса, Украина,
rada.d.4109001@gmail.com*

Аннотация: *Выполнено исследование влияния изменений климата по сценариям RCP4.5 и RCP8.5 на формирование продуктивности кукурузы в Житомирской области. Установлены различия тепло- и влагообеспеченности вегетационного периода кукурузы. Оценено влияние агроклиматических условий на показатели фотосинтетической продуктивности посевов, прироста и накопление сухой биомассы. Представлена оценка влияния агроклиматических условий на формирование урожая кукурузы в условиях изменения климата.*

Ключевые слова: *кукуруза, модель продуктивности, изменение климата, агроклиматические условия, урожай зерна.*

Актуальность исследования. Украина, как и Земля в целом, становится все более уязвимой к изменению климата. Засухи, экстремально высокие температуры, малоэффективные осадки, сокращение орошаемых площадей обуславливают нестабильность урожайности сельскохозяйственных культур. Учитывая зависимость эффективности сельского хозяйства от погодных условий, в настоящее время актуальным является изучение изменений агроклиматических условий ведения сельского хозяйства и принятие соответствующих решений для решения проблем, обусловленных изменениями климата.

В последнее десятилетие в Одесском государственном экологическом университете проводятся активные исследования влияния изменений климата на сельскохозяйственное производство. Результаты изучения влияния изменений климата на агроклиматические условия всей территории Украины, а также условия возделывания ведущих сельскохозяйственных культур представлены в третьей монографии университета [1]. В данной монографии приводятся сведения об изменениях сроков наступления основных фаз развития, фотосинтетической продуктивности растений и будущих урожаев. Также представлены рекомендации по перераспределению посевных площадей в Украине и определению рисков выращивания сельскохозяйственных культур в условиях реализации различных сценариев изменения климата.

Все перечисленные исследования проводились с использованием динамических моделей продуктивности ведущих сельскохозяйственных культур. Школа динамического моделирования продукционного процесса сельскохозяйственных культур, основанная доктором географических наук,

профессором, академиком Высшей школы Украины А.Н. Полевым развивается в Одесском государственном экологическом университете (ОГЭКУ) на кафедре агрометеорологии и агроэкологии уже много лет.

В данной работе анализируются агроклиматические условия вегетационного периода кукурузы, которые сложатся при реализации сценариев изменения климата RCP4.5 и RCP8.5 на территории Житомирской области.

Отметим, что сценарии используются в исследованиях климата для обеспечения реалистичности описаний того, как будущее может развиваться относительно целого ряда переменных, включая социально-экономические изменения, технологические изменения, энергетику и землепользование, а также выбросы парниковых газов и загрязнителей воздуха.

Особенности набора сценариев, а именно репрезентативные траектории концентраций (Representative Concentration Pathways - RCP), который использовался в рамках проекта Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5) Всемирной программы исследований климата (World Climate Research Programme) представлены в Пятом оценочном докладе МГЭИК (2013 г.) [2].

Объекты и методы исследования. Исследования влияния изменений климата на продуктивность посевов кукурузы выполнены для территории Житомирской области, которая занимает большую часть Центрального Полесья Украины.

В качестве теоретической основы для выполнения расчетов и сравнения результатов в данном исследовании были использованы модель формирования продуктивности агроэкосистемы [3] и модель фотосинтеза зеленого листа растений при изменении концентрации CO₂ в атмосфере [4].

Для идентификации параметров модели были использованы данные различных литературных источников, и прежде всего фундаментальной монографии Ю.И. Чиркова [5]. Написанная в конце 60-х годов прошлого века, эта работа не утратила своей актуальности и в наши дни. Она является основой для изучения студентами-агрометеорологами отдельных разделов таких дисциплин, как “Земледелие и растениеводство”, “Сельскохозяйственная метеорология”, “Долгосрочные агрометеорологические прогнозы”. Кроме того, теоретические положения данной монографии были положены в основу пяти квалификационных уровней (бакалавр, магистр, PhD, повышение квалификации и бизнес-курс) изучения курса «Влияние погодных условий на сельское хозяйство и земледелие», разработанного преподавателями кафедры агрометеорологии и агроэкологии в рамках международного проекта ESOIMPACT (Adaptive learning environment for competence in economic and societal impacts of local weather, air quality and climate) и получившего высокую оценку евроэкспертов осенью нынешнего года.

Анализ тенденции изменения климата выполнен путем сравнения данных по климатическим сценариям RCP4.5 и RCP8.5 и средних многолетних характеристик климатических и агроклиматических показателей за два периода: 1986 - 2005 (базовый период) и 2021 - 2050 (климатический или сценарный период).

Для кукурузы на фоне изменения климатических условий нами рассматривались следующие варианты: климатические условия периода; климатические условия периода с учетом увеличения CO₂ в атмосфере с 380 до 437 ppm (сценарий RCP4.5) и до 455 ppm (сценарий RCP8.5).

Для выполнения расчетов с помощью динамической модели необходимо определить соответствующие параметры для каждой исследуемой области, то есть провести идентификацию параметров. Для этого были использованы материалы среднемноголетних среднеобластных агрометеорологических наблюдений и данные о среднеобластной урожайности кукурузы. Следует отметить, что влияние изменения климата на формирование продуктивности кукурузы рассматривалось в условиях современной агротехники и современных сортов и гибридов сельскохозяйственных культур в предположении, что они существенно не изменятся.

Обсуждение результатов. Результаты расчетов по базовым и климатическим данным представлены в таблице 1. По данным 1986-2005 гг. (базовым), сев кукурузы проходит 10 мая, появление всходов кукурузы наблюдается 26 мая. В условиях реализации первого и второго сценариев изменения климата сев кукурузы в Житомирской области ожидается позже - 16 мая по сценарию RCP4.5 и 15 мая по сценарию RCP8.5. Дата всходов ожидается также почти на неделю позже - второго и первого июня соответственно.

Таблица 1

Фазы развития кукурузы по среднемноголетним (1986-2005 гг.) и сценарным (RCP4.5 и RCP8.5) данным

Период	Посев	Всходы	Выметывание метелки	Восковая спелость
1986-2005 гг.	10.05	26.05	27.07	15.09
<i>RCP4,5</i>	16.05	2.06	3.08	30.09
Разница	+6	+7	+7	+15
<i>RCP8,5</i>	15.05	1.06	3.08	30.09
Разница	+5	+6	+7	+15

Наступление фазы выметывания метелки у кукурузы при базовых условиях в Житомирской области наблюдается 27 июля. Молочная спелость кукурузы наблюдается 25 августа, а восковая - 15 сентября. В условиях реализации обоих сценариев изменения климата сроки выметывания метелки кукурузы также сместятся на неделю в сторону более поздних значений. На территории Житомирской области выметывание ожидается 3 августа, что на 7 дней позже по сравнению с базовым периодом 1986-2005 гг.

Также позже базовых сроков ожидается созревание кукурузы в сценарных вариантах. На 8 дней позже по сравнению с базовым сроком, а именно 2 сентября, ожидается наступление молочной спелости. На две недели позже базовых условий, а именно 30 сентября, ожидается наступление восковой спелости.

Агроклиматические показатели температурного режима вегетационного периода кукурузы представлены следующими данными: продолжительность основных межфазных периодов кукурузы; средние по межфазным периодам температуры воздуха; суммы активных температур воздуха за период вегетации.

Для характеристики условий увлажнения вегетационного периода кукурузы рассматривались следующие показатели: суммы осадков за межфазные периоды; сумма осадков за вегетационный период в мм и в процентах от климатической нормы; суммарное испарение и испаряемость за вегетационный период; влагообеспеченность периода вегетации.

Среднемноголетняя (базовая) продолжительность периода всходы - выметывание метелки составляет 62 дня. По сравнению с базовым вариантом в Житомирской области продолжительность этого периода в условиях реализации обоих сценариев изменения климата практически не изменится и составит 62 дня (сценарий RCP4.5) и 64 дня (сценарий RCP8.5).

Среднедекадная температура воздуха в течение первой половины вегетационного периода кукурузы в сценарных условиях изменится незначительно. Средняя температура за этот период составляет в базовом варианте 17,9°C, в сценарных вариантах она также не изменится. Так, период всходы - выметывание метелки будет проходить при температуре меньше базовой на 0,1°C в условиях реализации сценария RCP4.5 и на 0,7°C в условиях реализации сценария RCP8.5.

Продолжительность периода выметывание метелки - восковая спелость несколько изменится. Если по базовому варианту в Житомирской области она составляет 50 дней, то при реализации обоих сценариев она увеличится до 58 дней (то есть на 8 дней).

В Житомирской области средняя температура за период выметывание метелки - восковая спелость составляет по базовому варианту 16,8°C. В условиях реализации первого сценария она составит 15,5°C, в условиях реализации второго - 15,8°C. То есть сценарные температуры этого периода изменятся незначительно - на -1,3°C в условиях реализации сценария RCP4.5 и на 1,0°C в условиях реализации сценария RCP8.5.

Сумма температур за вегетационный период кукурузы в Житомирской области составляет по базовому варианту 1950°C. В условиях реализации сценария RCP4.5 она практически не изменится (составит 2005°C, то есть на 55°C больше). В условиях реализации сценария RCP8.5 это увеличение будет еще менее существенным (сумма составит 1985°C, то есть на 35°C больше).

Модельные расчеты показывают, что в связи с тем, что по обоим рассматриваемым сценариям не ожидается повышения температуры воздуха, теплообеспеченность вегетационного периода кукурузы скорее всего будет отвечать показателям, взятым за основу (1986-2005 гг.).

Для анализа условий увлажнения были рассмотрены суммы осадков за межфазные периоды кукурузы и за весь вегетационный период. В базовом варианте количество осадков за период всходы - выметывание метелки в Житомирской области составляет 175 мм. При реализации обоих сценариев

количество осадков в этот период существенно уменьшится: в условиях реализации первого сценария оно составит 144 мм (на 31 мм меньше базового), а в условиях реализации второго сценария - 156 мм (на 13 мм меньше базового). В процентном отношении это уменьшение составляет соответственно 18 и 15%.

В базовом варианте количество осадков за период выметывание - восковая спелость составляет 117 мм. Уменьшение осадков за этот период в условиях реализации обоих сценариев составит соответственно 38 и 27 мм. То есть по сценарию RCP4.5 сумма осадков уменьшится в этот период до 79 мм (на 32%), а по сценарию RCP8.5 – до 90 мм (на 23%).

Сумма осадков за вегетационный период кукурузы в Житомирской области в базовом варианте составляет 292 мм. В условиях реализации первого сценария она уменьшится до 223 мм (на 69 мм), а в условиях реализации второго сценария - до 238 мм (на 54 мм). Таким образом количество осадков за весь вегетационный период кукурузы в условиях изменения климата уменьшится на 24 и на 18% соответственно.

Уменьшение количества осадков за вегетационный период приведет к уменьшению суммарного испарения по сравнению с базовым, составляющим 336 мм, до 307 мм в условиях реализации сценария RCP4.5 и до 313 мм в условиях реализации сценария RCP8.5. То есть это уменьшение составит 29 и 23 мм соответственно. В процентном соотношении эти изменения составляют 9% и 7% соответственно, таким образом сценарное уменьшение суммарного испарения не является очень существенным.

Благодаря неизменности температурного режима в Житомирской области и увеличению величины дефицита влажности воздуха в условиях реализации обоих сценариев несколько уменьшится и величина испаряемости. При базовом значении 380 мм, испаряемость по первому сценарию увеличится до 416 мм, а по второму сценарию до 390 мм. Соответственно это увеличение составит 36 мм (или 9%) и 10 мм (3%).

Одним из основных показателей, характеризующих условия увлажнения вегетационного периода любой сельскохозяйственной культуры, является влагообеспеченность, то есть отношение величины суммарного испарения к величине испаряемости. Влагообеспеченность вегетационного периода кукурузы на территории Житомирской области в условиях реализации сценария RCP4.5 существенно изменится, о чем свидетельствует ее значение 74%, тогда как базовое значение влагообеспеченности составляет 88%. В условиях реализации сценария RCP8.5 условия влагообеспеченности по сравнению с базовым значением изменятся менее существенно и значение влагообеспеченности составит 80%, т.е. разница будет составлять соответственно 14 и 8%.

Таким образом, как свидетельствуют результаты проведенных расчетов, в сценарных условиях ожидается значительное уменьшение количества осадков за вегетационный период. Следовательно, условия увлажнения будут основным лимитирующим фактором для будущего уровня урожайности кукурузы. Существенное уменьшение запасов влаги во второй половине вегетации

кукурузы вероятно вызовет более раннюю потерю влаги (высушивание почвы) метрового слоя по сравнению с современными условиями, что в свою очередь приведет к ухудшению условий для завершения формирования урожая кукурузы и, соответственно, к уменьшению урожайности культуры.

Согласно теории фотосинтетической продуктивности, показателями фотосинтетической продуктивности посевов являются размеры фотосинтезирующей площади и фотосинтетический потенциал (ФСП) посевов, количественные показатели приростов растительной биомассы, а также сухая биомасса как целых растений, так и их отдельных частей. Количественные значения этих показателей для территории Житомирской области в базовых и в сценарных условиях представлены в таблице 2.

Как видно из таблицы 2, ожидается уменьшение всех показателей в условиях реализации климатических сценариев по сравнению с их значениями в базовый период.

Например, в базовый период величина фотосинтетического потенциала посева составляла $465 \text{ м}^2/\text{м}^2$. Расчеты по первому сценарию показали, что в период с 2021 по 2050 гг. произойдет уменьшение ФСП на 27%, а при увеличении концентрации CO_2 это уменьшение будет менее существенным - на 20%. Изменение климатических условий по сценарию RCP8.5 также приведет к уменьшению ФСП посева кукурузы на 12%, а при увеличении содержания CO_2 - на 5%.

Таблица 2

Показатели фотосинтетической продуктивности посевов кукурузы в Житомирской области

Вариант	Период максимального роста		ФСП, $\text{м}^2/\text{м}^2$ за вегетацию	Общая сухая биомасса, $\text{г}/\text{м}^2$	Урожай зерна, ц/га
	площадь листьев, $\text{м}^2/\text{м}^2$	прирост сухой биомассы, $\text{г}/\text{м}^2 \cdot \text{сут}$			
1986–2005 гг.	7,2	49,6	465	1835	76
RCP4,5	5,5	39,0	340	1470	56
RCP4,5+CO ₂	5,9	40,4	372	1570	60
Разность*	-1,7...-1,3	-10,6...-9,2	-125...-93	-365...-265	-20...-16
Разность в %*	-24...-18	-21...-19	-27...-20	-20...-14	-26...-21
RCP8,5	6,4	42,1	408	1650	68
RCP8,5+CO ₂	6,9	44,9	442	1745	70
Разность*	-0,8...-0,3	-7,5...-4,7	-57...-23	-185...-90	-8...-6
Разность в %*	-11...-4	-15...-9	-12...-5	-10...-5	-11...-8

* первое число - разность между базовым и климатическим периодами, второе число – та же разность с учетом изменения концентрации CO_2

Также, как видно из таблицы 2, при базовых условиях общая сухая биомасса посева кукурузы на конец вегетационного периода составляет 1835

г/м². За счет изменений климатических условий по первому сценарию она уменьшится на 20 %, а по второму сценарию - менее существенно - на 10%. С учетом изменения содержания CO₂ эти изменения составят соответственно 14% и 5%.

Уменьшение значений показателей фотосинтетической продуктивности посевов кукурузы в Житомирской области в условиях изменения климата обусловит и уменьшение сухой массы початков и зерна, а также конечного урожая зерна при стандартной влажности (табл. 2).

В условиях изменения климата по сценарию RCP4.5 урожай зерна кукурузы в Житомирской области уменьшится по сравнению с базовым периодом с 76 до 56 ц/га (на 20 ц/га или 26%). Повышение концентрации CO₂ в атмосфере обусловит несколько большую величину урожая зерна кукурузы - 60 ц/га (уменьшение по сравнению с базовым периодом на 16 ц/га или 21%).

Менее существенно изменится ожидаемый урожай при реализации сценария RCP8.5 - с 76 до 68 ц/га. В этом случае уменьшение составит 8 ц/га или 11%. С учетом изменения концентрации CO₂ в атмосфере уменьшение урожая составит 6 ц/га или 8% (с 76 до 70 ц/га).

Заключение. В целом можно сделать вывод, что для территории Житомирской области в условиях реализации сценария RCP4.5 вероятно наибольшее ухудшение агроклиматических условий, а вместе с этим и падение урожайности почти на 25%. Изменения климата по сценарию RCP8.5 для посевов кукурузы будут менее существенными, однако и в этом случае следует ожидать уменьшения урожайности практически на 10%.

Библиографический список

1. Кліматичні ризики функціонування галузей економіки України в умовах зміни клімату [монографія] / колектив авт.: С.М. Степаненко, А.М. Польовий, Н.С. Лобода [та ін.]; за ред. С.М. Степаненка, А.М. Польового. – Одеса: Вид. “ТЕС”, 2018. – 550 с.
2. Climate Change 2013: The Physical Science Basis / T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor [et al.] // Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. – Cambridge University Press, 2013. 1535 p.
3. Дронова Е.А., Асауляк И.Ф., Белолубцев А.И. Агроклиматическая оценка условий формирования урожая кукурузы в степной зоне Украины на период до 2050 гг - Гидрометеорология и экология, Ежеквартальный научно-технический журнал № 2 2017 г. с.16-26 Алматы.
4. Маринин Е.И., Полевой А.Н., Вольвач О.В. Моделирование влияния изменения концентрации CO₂ в атмосфере на фотосинтез зеленого листа // XII Международная ландшафтная конференция «Ландшафтоведение: теория, методы, ландшафтно-экологическое обеспечение природопользования и устойчивого развития». Том 1. Тюменский государственный университет, Тюмень-Тобольск. 22-25 августа 2017 г. С. 89-94.
5. Чирков Ю.И. Агрометеорологические условия и продуктивность кукурузы. Л.: Гидрометеиздат, 1969. 251 с.

THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON MAIZE PRODUCTIVITY IN THE CENTRAL POLISSYA (ON THE EXAMPLE OF ZHITOMIR REGION)

O.V. Volvach, E.I. Marinin

Odessa State Environmental University Odessa, rada.d.4109001@gmail.com

Summary: The study of the impact of climate change according to the scenarios RCP4.5 and RCP8.5 on the formation of maize productivity in the Zhitomir region. Differences in the heat and moisture supply of the vegetative period of maize are established. The influence of agro-climatic conditions on the indicators of photosynthetic productivity of crops, growths and accumulation of dry biomass is estimated. An assessment of the influence of agro-climatic conditions on the formation of a corn maize under climate change is presented.

Keywords: maize, productivity model, climate change, agro-climatic conditions, crop grain.

ОЦЕНКА ОСНОВНЫХ СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В ВЕСЕННИЕ МЕСЯЦЫ ВЕГЕТАЦИОННОГО ПЕРИОДА РИСА НА НИЖНЕЙ КУБАНИ

А.Б. Кавалли

*Российский государственный аграрный университет – МСХА имени
К.А.Тумирязева, Москва, info@rgau-msha.ru*

Аннотация: все рассмотренные внутригодовые интервалы обладают незначительным положительным трендом температуры в течение 60 лет. В целом в последние три десятилетия - рассмотренный период апрель-май оказался более тёплым, чем в предыдущие тридцать лет.

Ключевые слова: температура, рисовые чеки, водопотребление, вегетационный период, критерий Фишера, критерий Стьюдента.

Актуальность. Почти каждый год уменьшается водоотдача из Краснодарского водохранилища на орошение риса из-за дефицита воды относительно планового водопотребления [1]. Величины эвапотранспирации с рисовых чеков составляют существенную долю водопотребления из водохранилища Эвапотранспирацией в мировой практике [6,7] принято характеризовать как суммарный эффект испарения и транспирации). Измерить достаточно корректно величину транспирации затруднительно, как и испарение с водной поверхности исключительно мелких водных объектов [4-7], Поэтому, имеет смысл отдельно исследовать степень испарения с водной поверхности рисовых чеков посредством различных моделей в весенний период апреля и мая – в начале вегетационного периода, когда транспирация практически либо отсутствует, либо имеет не значительную долю в эвапотранспирации ввиду отсутствия или незначительности всходов риса.

Объекты и методы исследования. В качестве исследуемого объекта был использован длительный ряд суточных наблюдений за температурой воздуха насетевой метеорологической станции города Приморско-Ахтарск, данные о которых имеются в свободном доступе системы Росгидромета. В целом были сформированы статистические ряды за 60 лет (с 1960 по 2019 годы) относительно средних температур за апрель и май месяцы и их внутригодовых интервалам по декадам.

Обсуждение результатов. Последовательности декадных значений температур и за двухмесячный период по годам наблюдений представлены на рисунках 1-3. На этих же рисунках очевидны положительные линейные тренды средней температуры воздуха для всех рассмотренных внутригодовых интервалов, что отчасти подтверждает гипотезу о повышении температуры за последние десятилетия.

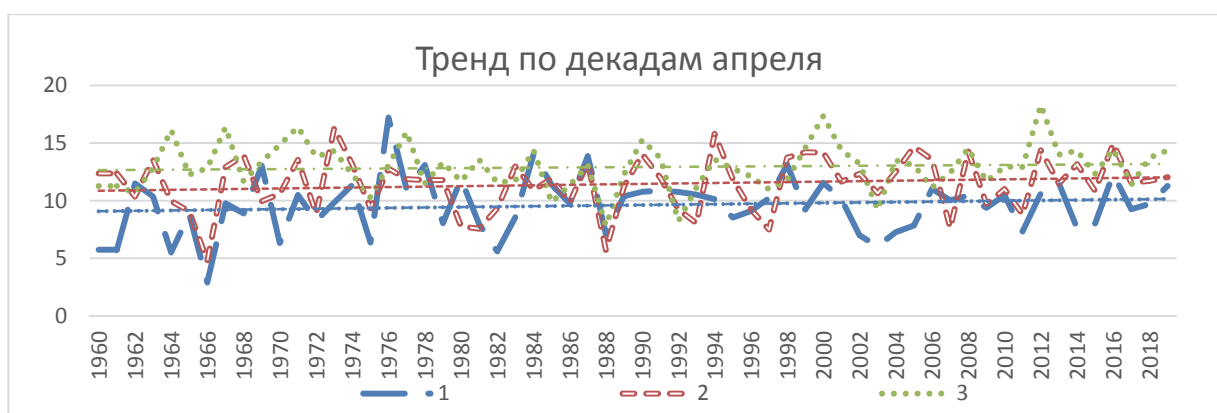


Рис. 1. Тренд средней температуры воздуха по каждой декаде апреля месяца (1: 1-10 апр.; 2: 11-20 апр.; 3: 21-30 апр.) за 1960-2019 года

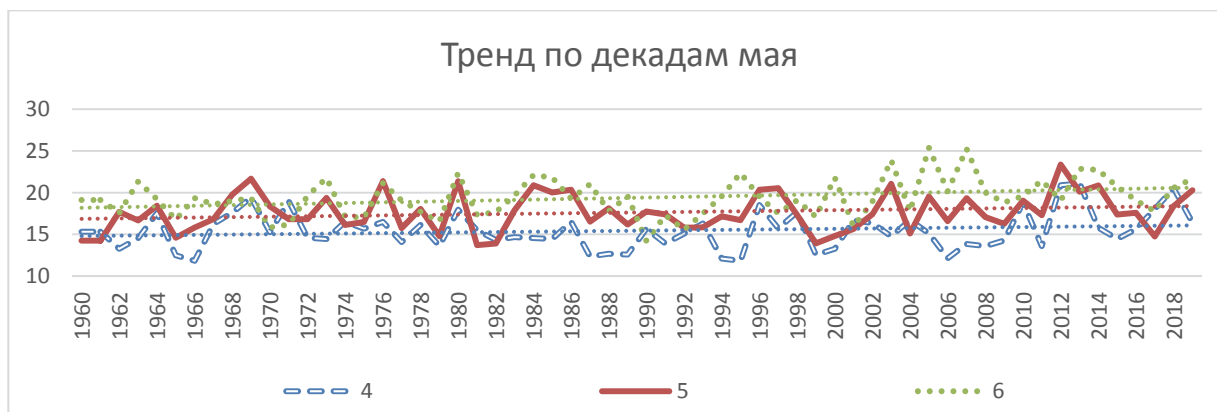


Рис. 2. Тренд средней температуры воздуха по каждой декаде мая месяца (1: 1-10 мая.; 2: 11-20 мая.; 3: 21-31 мая) за 1960-2019 года

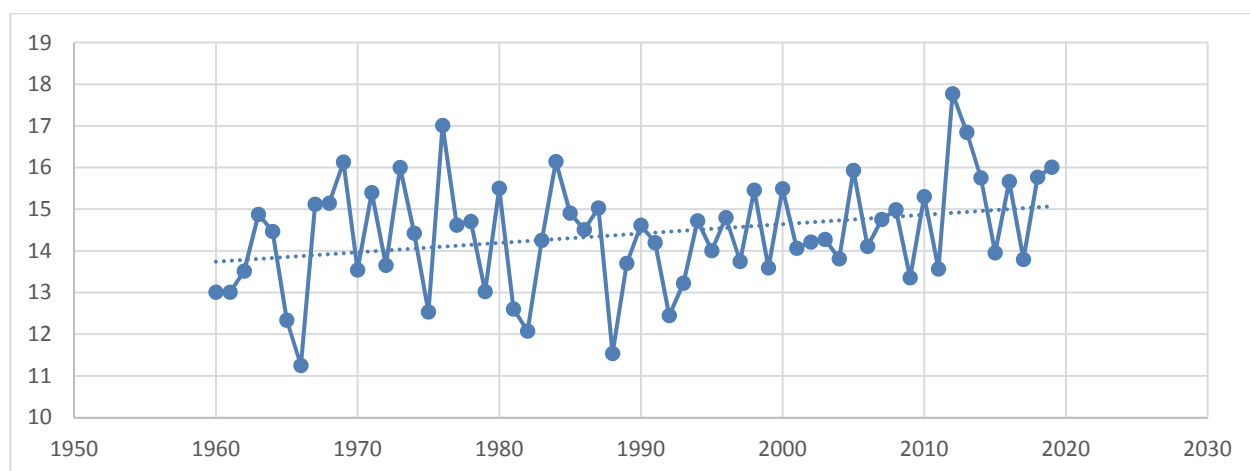


Рис. 3. Тренд по усредненным значениям средней температуры воздуха весенней части вегетационного периода (апрель и май) с 1960 года по 2019 год

Основные статистические параметры (среднее, коэффициент вариации и статистические ошибки средних значений) за различные последовательности лет, определённые традиционными способами [2] , приведены в таблице 1.

Таблица 1

Основные статистические характеристики рядов наблюдений

Месяцы	апрель			май			Апрель - Май
Декады	1	2	3	1	2	3	
Среднее (1960-1989г.г.)	9,49	11,00	12,73	15,16	17,43	19,00	14,10
Среднее (1990-2019г.г.)	9,74	11,89	13,11	15,71	17,83	19,77	14,70
Среднее за весь ряд (1960-2019г.г.)	9,62	11,44	12,92	15,44	17,63	19,39	14,40
Cv (1960-1989)	0,33	0,23	0,16	0,13	0,14	0,10	0,10
Cv(1990-2019)	0,17	0,19	0,16	0,16	0,12	0,14	0,08
Cv весь ряд	0,26	0,21	0,16	0,15	0,13	0,12	0,09
ε% сред	3,34	2,74	2,02	1,89	1,68	1,55	1,16
ΔX сред%	1,26	3,90	1,50	1,78	1,12	1,99	2,08

Статистические погрешности были оценены по следующим формулам:

$$\varepsilon\% \text{ сред} = Cv \cdot 100\% / (N+1)^{0,5} \quad (1)$$

при этом принимался Cv, вычисленный по всему ряду за 60 лет;

Из таблицы 1 можно сделать выводы, что ошибки среднего значения в целом не очень существенны и только во второй декаде апреля и за период апреля и мая превышают относительную погрешность, вычисленную для всего ряда. Тем не менее, в связи с проявившимися трендами температуры воздуха и

краткостью рассмотренных периодов (декады и 2-х месячный интервал апрель+май) была поставлена задача оценки однородности рассматриваемых статистических рядов. Предварительно для более объективного их разделения на интервалы перед определением критериев однородности была построена разностная интегральная кривая средних значений температур для интервала апрель-май за весь многолетний период наблюдений (рис. 4). Ординаты R_i этой кривой являются накапливающейся суммой разностей так называемых нормированных коэффициентов температур относительно их среднемноголетней величины ($K_i = T_i/T_{cp}$) и единицы, то есть $\{R_i = \sum (K_i - 1)\}$, где i – порядковый временной индекс (год в хронологическом порядке). Первая производная функции ординат разностной интегральной кривой R_i по времени (то есть относительно - индекса i) показывает к какому периоду можно отнести момент апреля и мая в i -ом году – к тёплому или к холодному по сравнению со среднемноголетним значением температуры рассматриваемого интервала. Проще говоря: если кривая поднимается, то температура выше среднего значения – период признаётся тёплым, если кривая опускается, то период признаётся холодным. Из рисунка 4 видно, что с 1993 года кривая в основном поднимается с небольшими колебаниями, в то время как предыдущий период в целом имеет обратную тенденцию, из чего можно сделать вывод, что практически в последние три десятилетия период апрель-май можно считать более тёплым, чем в предыдущие годы.



Рис. 4. Разностная интегральная кривая средней температуры за интервал с 1 апреля по 31 мая в многолетнем разрезе

На основании представленного предварительного анализа разностной интегральной кривой температуры за апрель и май месяцы для оценки однородности данных наблюдений было произведено деление всего ряда наблюдений на два статистических ряда по 30 лет с 1960 по 1989 и с 1990 по 2019 годы. Однородность оценивалась по наиболее традиционным и общеизвестным критериям Фишера и Стьюдента в соответствии с порядком их определения изложенным в [2]. Соответственно, количество членов в каждом ряду наблюдений было одинаковым $m=n=30$ и за критические величины критерия Фишера (F) и Стьюдента (t) были приняты значения при 5%-ом

уровне значимости $F_{\alpha=5\%} = 2,1$ и $t_{\alpha=5\%} = 2,0$. Вычисленные значения этих критериев относительно рассмотренных внутригодовых интервалов приведены в таблице 2.

Таблица 2

Критерии однородности рядов наблюдений

Месяцы	Апрель			Май			Весь интервал Апрель-май
Декады	1	2	3	1	2	3	
F	1,860	1,097	1,024	1,308	1,062	1,475	1,470
t	0,375	1,438	0,740	0,941	0,666	1,291	0,533

Из данных таблицы 2 можно заключить, что несмотря на возможное влияние разных климатических фаз в разные годы и некоторое повышение температур (графики 1-3 и табл. 1) в рассматриваемых внутригодовых интервалах в течение всего многолетнего периода наблюдений – сформированные статистические ряды обладают достаточной однородностью, так как все полученные значения критериев Фишера и Стьюдента существенно меньше их установленных критических значений. Таким образом мы можем считать эти ряды стационарными без проверки их другими критериями однородности и использовать для стохастических прогнозов температуры воздуха средней заблаговременности. Однако, для этого необходимо наличие корреляционных или функциональных зависимостей между температурами в смежные внутригодовые интервалы. Численные значения парных величин коэффициентов корреляции между величинами температуры в смежные декады представлены в табл. 3.

Таблица 3

Парные коэффициенты корреляции (R) между температурами воздуха в смежные декады апреля и мая и их погрешности (σ_R).

Параметры	$R_{1.IV}/R_{2.IV}$	$R_{2.IV}/R_{3.IV}$	$R_{3.IV}/R_{1.V}$	$R_{1.V}/R_{2.IV}$	$R_{2.V}/R_{3.V}$
R	0,350	0,459	0,325	0,458	0,481
σ_R	0,0544	0,0377	0,0587	0,0378	0,0347

Из таблицы 3 можно заключить, что несмотря на небольшие значения коэффициентов корреляции, их погрешности не велики, они не составляют более 18% от самой величины, а в большинстве случаев они значительно меньше 10%.

Выводы:

1. Все рассмотренные внутригодовые интервалы обладают незначительным положительным трендом температуры в течение 60 лет. В целом в последние три десятилетия - рассмотренный период апрель-май оказался более тёплым, чем в предыдущие тридцать лет.

2. Численные значения критериев Фишера и Стьюдента позволяют с уверенностью заключить, что гипотеза однородности рассмотренных рядов данных наблюдений – не отвергается.
3. 3) Анализ коэффициентов парной корреляции между температурами смежных декадных интервалов показал их достаточную значимость для использования в стохастических прогнозах температуры.

Библиографический список

1. Ильинич В.В., Светлов Е.А. Стохастическое моделирование функционирования ирригационного водохранилища. // Мелиорация и водное хозяйство. – 2010, №6 – С. 25-27.
2. Овчаров Е.Е., Захаровская Н.Н., Ильинич В.В. и др. Практикум по гидрологии, гидрометрии и регулированию стока.- М.: Агропромиздат, 1988.-224 с.
3. Попов В.А., Островский Н.В., Агроклиматология и гидравлика рисовых систем. Монография. Краснодар 2013
4. Рындин А.Н. Управление осушением рисовых чеков путем оптимизации водного режима. Автореферат диссертации. Краснодар, 2006. (<https://www.dissercat.com/content/upravlenie-osusheniem-risovykh-chekov-putem-optimizatsii-vodnogo-rezhima>).
5. World Meteorological Organisation, 1997: Guide to Hydrological Practices. Fifth edition, WMO-No.168, Geneva
6. World Meteorological Organization, 1997: Estimation of Areal Evapotranspiration. Technical Reports in Hydrology and Water Resources No. 56, WMO/TD-No. 785, Geneva.

ASSESSMENT OF THE BASIC STATISTICAL CHARACTERISTICS OF AIR TEMPERATURE IN THE SPRING MONTHS OF THE RICE VEGETATION PERIOD IN THE LOWER KUBAN

A.B. Cavalli

Abstract: all the considered intra-annual intervals have a slight positive temperature trend for 60 years. In general, in the last three decades - the considered period, April-May turned out to be warmer than in the previous thirty years.

Keywords: temperature, rice checks, water consumption, growing season, Fisher's criterion, student's criterion.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГОДОВОГО ХОДА ОБЛАЧНОСТИ И ТЕМПЕРАТУРЫ ПО М/С САРАТОВ, МОСКВА И САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

Е.В. Завьялова¹, С.В. Морозова²

¹ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского», Саратов, lenok_1987.87@bk.ru

² ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского», Саратов, swetwl@yandex.ru

Аннотация: В настоящей статье рассматривается годовой ход облачности и температуры в различных по климатическим условиям районах. Также выделяются, проявляющиеся глобально, периоды повышения и понижения температуры и облачности методом интегрально-разностных кривых.

Ключевые слова: облачность, температура, метод интегрально-разностных кривых.

Актуальность. Облачность является одним из основных метеорологических факторов, роль которого велика в формировании термического режима планеты, так как облачный покров в значительной степени определяет количество радиации, поступающей к земле. Дискретность в распределении облачности над земным шаром сказывается на региональном изменении радиационного баланса и, следовательно, может влиять на климатический режим различных регионов.

По опубликованным данным видно, что количество общей облачности в целом по земному шару растет [1]. Но в разных регионах изменение общего количества облаков может быть различным.

Объекты и методы исследования. Исходными данными для выполнения исследования послужили данные о средней месячной температуре воздуха и облачности в сроки по метеостанции Москва ВДНХ [2].

Для исследования режима температуры и облачности по станции Москва ВДНХ и анализа были построены временные графики изменения температуры и облачности.

Обсуждение результатов. На рисунке 1 показано изменение хода температуры и облачности с 1948 по 2017 гг. и построены линии тренда.

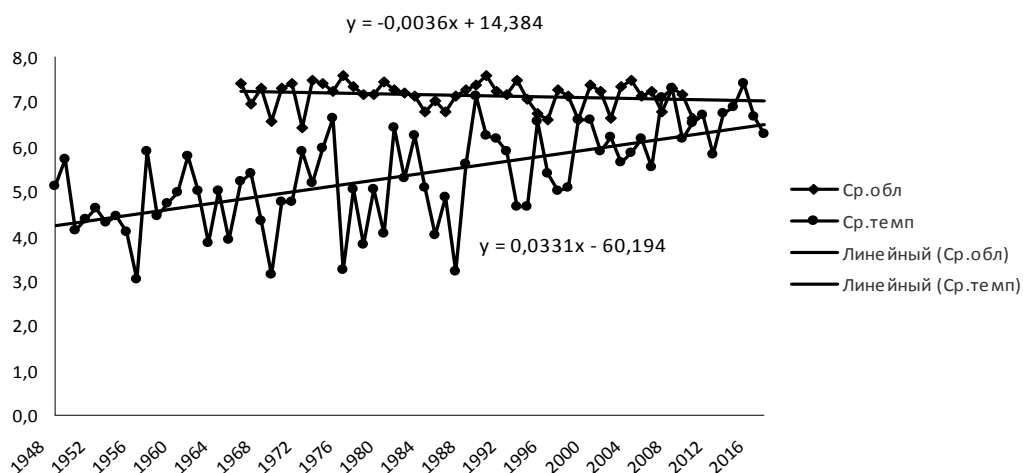


Рис. 1. Изменение средней годовой температуры воздуха с 1948 по 2017 гг. и облачности с 1966 по 2017 гг. в Москве (составлено автором)

Отметим, что за указанный промежуток времени (70 лет) температура выросла с 5°С до 7,3°С (на 0,32°С за 10 лет). Количество же общей облачности заметно снизилось примерно с 7,4 до 6,8 баллов. В соответствии с рисунком 1 можно сделать вывод, что на фоне роста средних годовых температур наблюдается снижение количества общей среднегодовой облачности. Обнаруженная тенденция характерна и для юго-востока русской равнины [3].

Оказывается интересным рассмотреть режим температуры и облачности в трех регионах Европейской России (северо-западная, центральная и юго-восточная части русской равнины) различающихся климатическими условиями. Северо-западный регион характеризуется климатически достаточным увлажнением, относительно низкими летними температурами и относительно высокими зимними температурами по сравнению с центральной частью Европейской России (метеостанция Москва ВДНХ) и юго-востоком европейской равнины (метеостанция Саратов Юго-Восток), который отличается сухим и континентальным климатом. Для анализа климатических изменений выбраны две метеорологические величины: средние годовые температуры и средний годовой балл общей облачности.

Как видно из рисунков 1 и 2 за исследуемые промежутки времени температуры во всех трех пунктах растут, на что указывают линейные тренды.

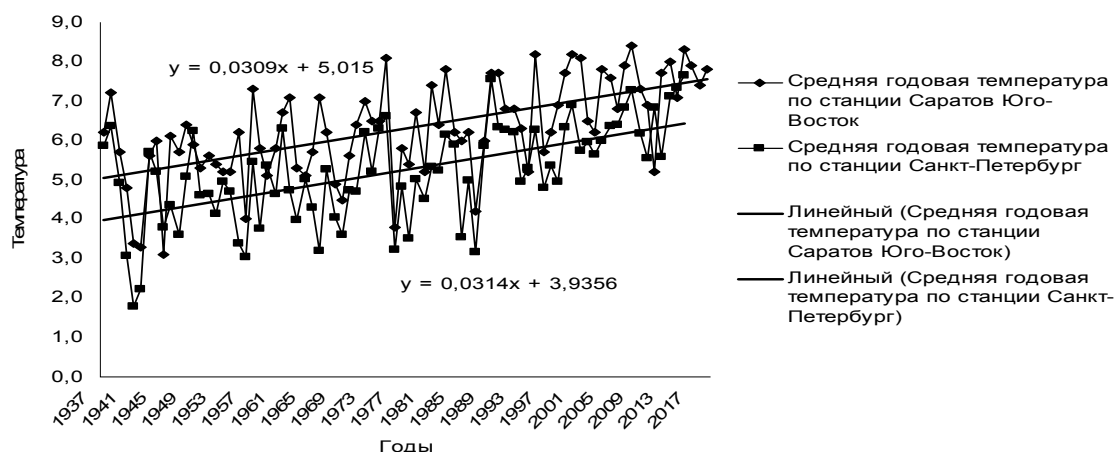


Рис. 2. Изменения средней годовой температуры воздуха по станциям Саратов Юго-Восток и Санкт-Петербург с 1937 по 2018 гг. (составлено автором)

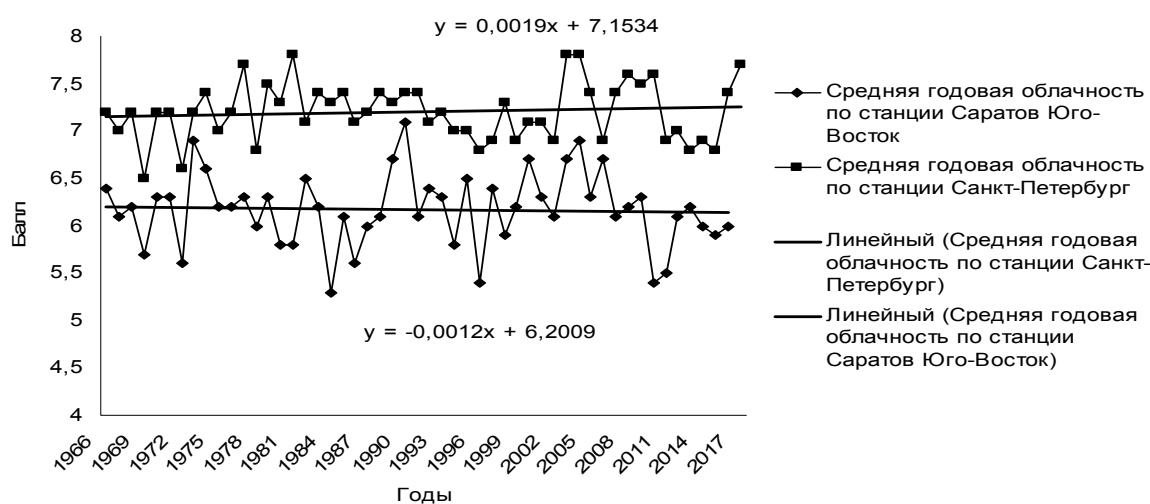


Рис. 3. Изменения средней годовой облачности по станциям Саратов Юго-Восток и Санкт-Петербург с 1966 по 2017 гг. (составлено автором)

В соответствии с рисунками 1 и 3 можно заключить, что за исследуемый промежуток времени по станциям Москва ВДНХ и Саратов Юго-Восток наблюдалось слабое падение количества облачности, а по станции Санкт-Петербург – рост. О чем говорят и значения коэффициентов линейных трендов: -0,0036 и -0,0012 для станций Москва ВДНХ и Саратов Юго-Восток соответственно и 0,0019 для станции Санкт-Петербург.

Отметим, что на рисунках 1, 2 и 3 линии тренда являются довольно сглаженными и не отражают периодов повышения и понижения температуры, проявляющихся глобально. Для более четкого выделения периодов повышения и понижения температуры был применен метод интегрально-разностных кривых, заключающийся в последовательном суммировании отклонений от некоторой нормы за длительный период в пределах всего периода [4].

На рисунке 4 можно выделить несколько периодов, различающихся характером изменения температуры. Первый – период падения температуры с начала исследуемого периода (1966 год) до 70-х годов. Второй соответствует периоду стабилизации, которая имеет место с середины 70-х годов по 80-е

годы. В третий период наблюдается ярко выраженный рост средней годовой температуры воздуха, начавшийся с 90-х годов и продолжающийся по настоящее время. Такой региональный ход средней годовой температуры воздуха хорошо согласуется с глобальными тенденциями повышения и понижения температуры [5].

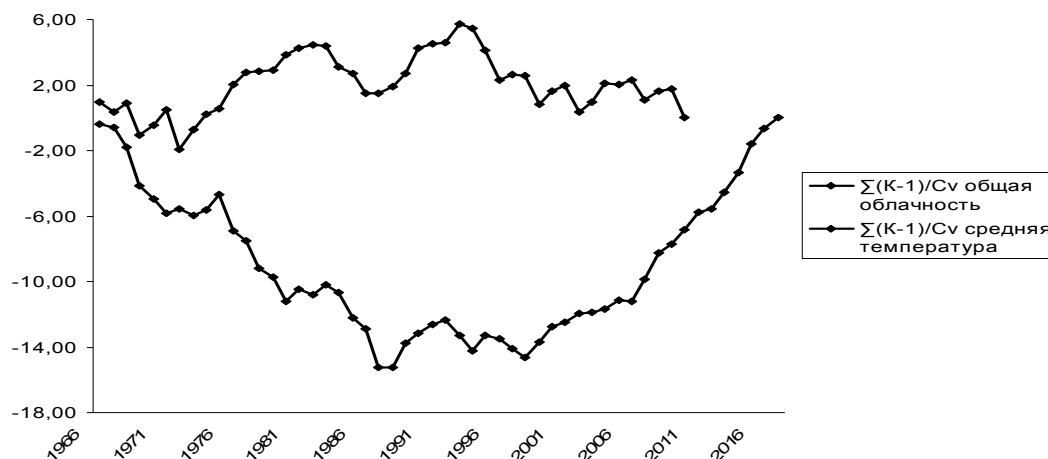


Рис. 4. Интегрально-разностные кривые изменения среднегодовой температуры воздуха (нижняя кривая) и облачности (верхняя кривая) по станции Москва ВДНХ с 1966 по 2017 гг. (составлено автором)

Как видно из рисунка 4 в изменении общего количества облаков прослеживается некая цикличность. Периоды преобладания отрицательных аномалий имеют место в конце 60-х годов, а также с середины 90-х годов по настоящее время. Интересен факт снижения общего количества облаков в первой половине 80-х годов.

Из рисунка 4 следует, что, как и на юго-востоке ЕЧР [3] минимальным значениям интегрально-разностной кривой температуры соответствуют самые большие значения на интегрально-разностной кривой общей облачности.

Таким образом, климатические периоды выявленные, по режиму общей облачности и температуры, находятся в противофазе. Расположение этих кривых друг относительно друга оказывается примерно таким же, как и на юго-востоке русской равнины. Периодам относительного понижения температуры соответствуют периоды роста среднегодовой и общей облачности.

На рисунках 5 и 6 представлены интегрально-разностные кривые хода средней температуры и облачности по станции Саратов Юго-Восток и Санкт-Петербург. Из данного рисунка видно, что для Саратова и Санкт-Петербурга можно выделить аналогичные станции Москва ВДНХ периоды повышения и понижения температуры, только несколько сдвинутые по времени. Период стабилизации для Саратова оказался более растянут по времени. Для средней годовой облачности каких-либо четких периодов выделить не удалось.

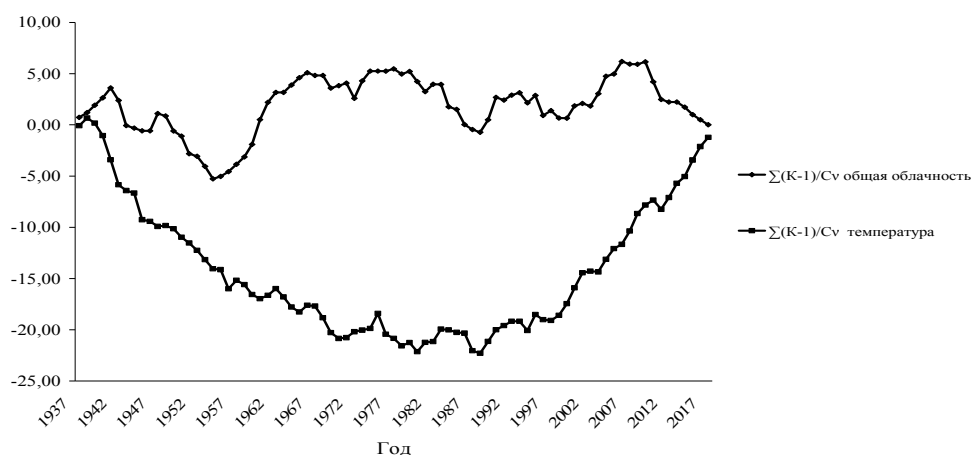


Рис. 5. Интегрально-разностные кривые изменения среднегодовой температуры воздуха (нижняя кривая) и облачности (верхняя кривая) по станции Саратов Юго-Восток с 1937 по 2017 гг. (составлено автором)

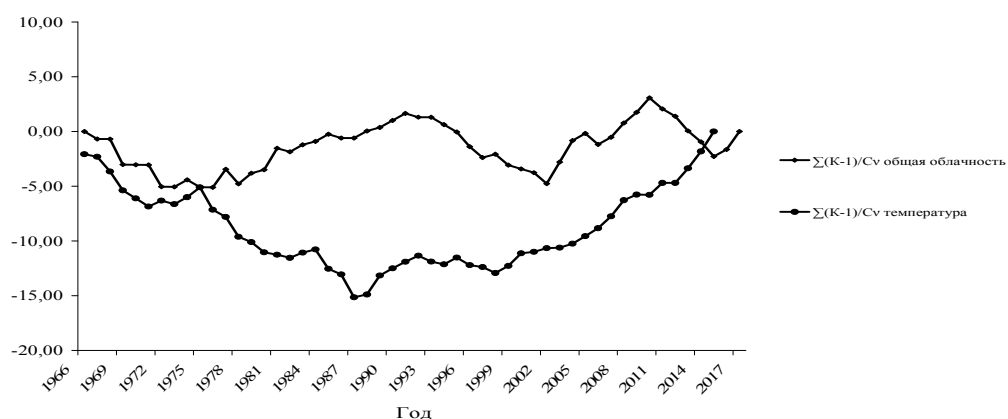


Рис. 6. Интегрально-разностные кривые изменения среднегодовой температуры воздуха (нижняя кривая) и облачности (верхняя кривая) по станции Санкт-Петербург с 1966 по 2017 гг. (составлено автором)

Выводы. Из анализа интегрально-разностных кривых, построенных по данным метеостанций трех регионов, находящихся на Русской равнине и различающихся климатическими характеристиками, можно заключить следующее. Связь облачность температура довольно устойчива и проявляется во всех регионах – периодам преобладаний отрицательных температур соответствуют периоды положительных аномалий общего количества облаков. Выделяемые по интегрально-разностным кривым периоды соответствуют естественным климатическим периодам, проявляющимся глобально [6].

Библиографический список

1. Хромов С.П. Метеорология и климатология для географических факультетов – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – С. 250-251.

2. Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – мировой центр данных. [Электронный ресурс] URL.:<http://aisori-m.meteo.ru/waisori/>

3. Морозова С.В, О возможной роли облачности в настоящих климатических изменениях // Труды ГГО. 2017, вып 586, С. 251-260.

4. Дроздов О.А, О свойствах интегрально-разностных кривых // Труды ГГО – Л.: Гидрометеиздат, вып. 162, 1964., С. 3-6.

5. Шерстюков Б.Г. Региональные и сезонные закономерности изменений современного климата – Обнинск, ГУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2008. – 247 с.

6. Morozova SV et al. Variability of the circulation processes in the Lower Volga Region on the background of global climate trends // IOP Conference Series: Earth and Environmental. 2018. Volume 107.2018.P.1-8.

COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF THE ANNUAL CLOUD AND TEMPERATURE RATE FOR M / S SARATOV, MOSCOW AND ST. PETERSBURG

E.V. Zavyalova¹, S.V. Morozova²

Abstract: This article discusses the annual course of cloud cover and temperature in regions with different climatic conditions. Globally manifested periods of increase and decrease in temperature and cloudiness are also distinguished by the method of integral-difference curves.

Key words: cloudiness, temperature, method of integral-difference curves.

УДК 551.588.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОЧВЫ НА ЮГЕ ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА

А.С. Михайлова, Л. Н. Василевская

*Дальневосточный федеральный университет, Владивосток,
anyut201@gmail.com; lubavass@mail.ru*

Аннотация: Цель работы заключается в исследовании температурного режима деятельного слоя почвы по данным наблюдений за температурой почвы на метеорологических станциях юга Дальнего Востока.

Ключевые слова: метеорология, климатология, почвоведение.

Актуальность. Современная проблема в метеорологии – глобальные изменения климата, которые воздействуют на все компоненты биосферы. Глобальное потепление климата характеризуется большим комплексом изменений в климатической системе Земли. Начиная с 1970-х гг., потепление регистрируется на большей части Земного шара и отражается в изменениях основных климатических характеристик атмосферы [1, с. 5].

С наибольшей скоростью под влиянием климатических условий изменяется такое свойство почвы, как ее температура. Климатообразующая роль почвенного покрова велика, поскольку в метровом почвенном слое содержится втрое больше углерода, чем во всей атмосфере [2]. Из-за глобальных изменений климата почвы, служившие резервуаром для стока углерода, могут обеспечить дополнительное поступление углеродсодержащих парниковых газов в атмосферу, что, в свою очередь, ускорит потепление.

В связи с этим актуальным является изучение изменений термического состояния почв и грунтов за последние десятилетия. Такие исследования в основном проводятся для районов вечной мерзлоты Евразии и Северной Америки, однако для остальных районов подобных работ крайне мало [1, с. 6].

Объекты и методы исследований. Целью данной работы является исследование особенностей режима, оценка изменения температуры почвогрунтов, режимных характеристик, включая динамику сезонно-мерзлого слоя (СМС) на юге Дальневосточного Федерального округа.

В качестве исходных материалов использовались данные ежедневных наблюдений за температурой почвы как на основных (20, 40, 80, 160 и 320 см), так и на дополнительных глубинах (120 и 240 см) на 40 станциях Дальнего Востока (рис. 1) с 1963 по 2013 гг., взятых с сайта ВНИГМИ МЦД, <http://www.meteo.ru/>. [5] Гидрометеослужбой России за более чем столетний период наблюдений собран огромный массив данных по температуре почвогрунтов, который содержит суточные значения температуры почвы на глубинах до 320 см, полученные на метеорологических станциях Российской Федерации за последние десятилетия [3,4]. Период наблюдений на метеостанциях разный, самый длительный – 51 год (табл. 1).



Рис. 1. Карта-схема расположения метеостанций [6]

Для выполнения поставленной цели решались следующие задачи: формирование исходной базы данных; заполнение (восстановление) пропусков в базе данных; расчет статистических характеристик температуры;

классификация годового хода на различных глубинах; анализ динамики многолетнего хода температуры почвы за сезон; построение календаря дат промерзания и оттаивания почвы на глубинах 20, 80 и 160 см; определение продолжительности безморозного периода на этих же глубинах для оценивания мощности деятельного слоя почв; исследование динамики продолжительности и показателей температурного состояния почв за многолетний период.

Таблица 1

**Индекс координаты, высота над уровнем моря и периоды наблюдений
за температурой почвы на метеорологических станциях**

№	Индекс станции	Название станции	Годы наблюдений	Широта	Долгота	Высота над уровнем моря, м
1	31168	Аян	1963-2013	56,4	138,2	6
2	31174	Большой Шантар	1977-2013	54,8	137,5	9
3	31253	Бомнак	1963-2013	54,7	128,8	365
4	31371	Черняево	1977-2013	52,7	126	210
5	31416	Им. П.Осипенко	1963-2017	52,4	136,5	73
6	31439	Богородское	1977-2013	52,4	140,4	33
7	31388	Норск	1963-2013	52,3	129,9	207
8	31442	Шимановск	1977-2011	51,9	127,6	270,1
9	31443	Мазаново	1990-2013	51,6	128,8	161
10	31445	Свободный	1977-2011	51,4	128,1	188
11	31513	Белогорск	1977-2011	50,9	128,5	182,6
12	32061	Александровск-Сахалинский	1963-2013	50,9	142,1	30
13	31532	Чекунда	1963-2011	50,8	132,2	271
14	32071	Тымовское	1977-2013	50,7	142,7	94
15	31561	Комсомольск-на-Амуре	1963-2011	50,5	137,1	36
16	31510	Благовещенск	1963-2013	50,2	127,5	131
17	31527	Завитая	1977-2011	50,1	129,5	240
18	31587	Поярково	1977-2011	49,6	128,3	116
19	31594	Архара	1963-2013	49,4	130,1	133
20	32088	Углегорск	1963-2003	49	142	39
21	31770	Советская Гавань	1977-2013	49	140,3	21
22	31733	Елабуга	1989-2013	48,9	135,8	90
23	32099	Мыс Терпения	1977-2013	48,6	144,7	33
24	31725	Смидович	1977-2013	48,6	133,8	51
25	31792	Бичевая	1977-2001	47,8	135,6	105
26	31707	Екатерино-Никольское	1963-2003	47,7	130,9	72
27	31786	Вяземский	1977-2011	47,6	134,8	211
28	31829	Золотой	1963-2010	47,3	138,9	27
29	31788	Лермонтовка	1977-2013	47,1	134,3	75
30	32128	Холмск	1977-2011	47,1	142,1	74
31	32150	Южно-Сахалинск	1977-2013	46,9	142,7	22
32	31832	Бикин	1977-2011	46,8	134,2	58

33	31845	Красный Яр	1977-1998	46,5	135,3	128
34	31873	Дальнереченск	1963-2012	45,8	133,7	97
35	31884	Малиново	1977-2011	45,4	134,2	139
36	31931	Свиягино	1977-1997	44,8	133,1	99
37	31921	Астраханка	1977-2011	44,7	132,1	78
38	31961	Тимирязевский	1977-2012	43,8	131,9	34
39	31960	Владивосток, порт	1963-2012	43,8	131,9	187
40	31969	Посъет	1977-1998	42,6	130,8	41

На первом этапе работы [6] из ежедневных наблюдений была сформирована база ежемесячных данных о температуре почвогрунтов на горизонтах 20, 40, 80, 120, 160, 240 и 320 см; пропуски в исходных рядах заполнялись средними многолетними значениями (число пропусков составило менее 30% от общего количества). Был выполнен статистический анализ месячной температуры почвы на всех горизонтах, включающий расчет стандартных характеристик. Отметим, что практически во всех исходных рядах среднемесячной температуры относительная ошибка среднего не превышает 10%, что указывает на репрезентативность исходной выборки.

Нами было показано, скорость повышения температуры на глубинах различная: температура интенсивнее всего повышается в высоких слоях летом из-за прогревания подстилающей поверхности, менее всего на нижележащих глубинах осенью согласно закону теплопроводности Фурье: волны тепла распространяются от поверхности почвогрунтов на глубины с отставанием по фазе и с уменьшением амплитуды колебаний по мере увеличения глубины. Максимальный прогрев наблюдается на большинстве станций в конце лета – начале осени; максимальное охлаждение происходит в середине зимы. В таблице 2 помещены значения годовой амплитуды, рассчитанные как разница температуры между максимальными и минимальными значениями в годовом ходе.

Таблица 2

**Средние многолетние значения годовой амплитуды температуры почвы
на разных горизонтах**

Индекс станции	Название станции	Годовая амплитуда на горизонте, °С			
		20 см	80 см	160 см	320 см
31168	Аян	19,2	13,0	8,5	5,1
32071	Тымовское	15,9	12,1	8,4	5,2
31510	Благовещенск	28,5	20,0	12,7	7,2
31725	Смидович	27,2	17,1	11,1	5,1
31960	Владивосток	26,8	19,2	13,5	–

Уменьшение годовых колебаний температуры происходит по мере увеличения глубины. В пространственном распределении выявлена следующая закономерность: большие сезонные колебания характерны для юга исследуемой территории, меньшие – для севера. Наибольшие амплитуды наблюдаются на станции Благовещенск (от 28,5 °С вблизи поверхности до 7,2

°C на глубине 320 см), наименьшие – на станции Тымовское (от 15,9 °C на горизонте 20 см до 5,2 °C на горизонте 320 см).

Далее было проведено исследование динамики годовой и сезонных температур почвы на глубинах 20, 80, 160 см (рис. 2). В качестве сезонной температуры рассматривалась температура в центральные месяцы сезонов (январь, апрель, июль, октябрь). Повышение температуры почвы по построенному линейному тренду выявлено на более 80% станций (табл. 3).

Таблица 3

Количество значимых линейных трендов, выявленных на станциях на различных глубинах (%).

Глубина, см	Сезон			
	зима	весна	лето	осень
20	17	20	25	22
40	15	17	30	40
80	32	52	62	77
120	17	35	40	45
160	52	62	60	72
240	35	37	32	35
320	42	40	45	47

Средняя скорость повышения температуры на всех глубинах зимой составила 0,24°C/10 лет (0,3°C/10 лет на глубине 80 см); весной – 0,18°C/10 лет (0,25°C/10 лет на глубине 160 см); летом – 0,33°C/10 лет (0,41°C/10 лет на горизонте 240 см); осенью – 0,31°C/10 лет (0,33°C/10 лет на глубине 120 см).

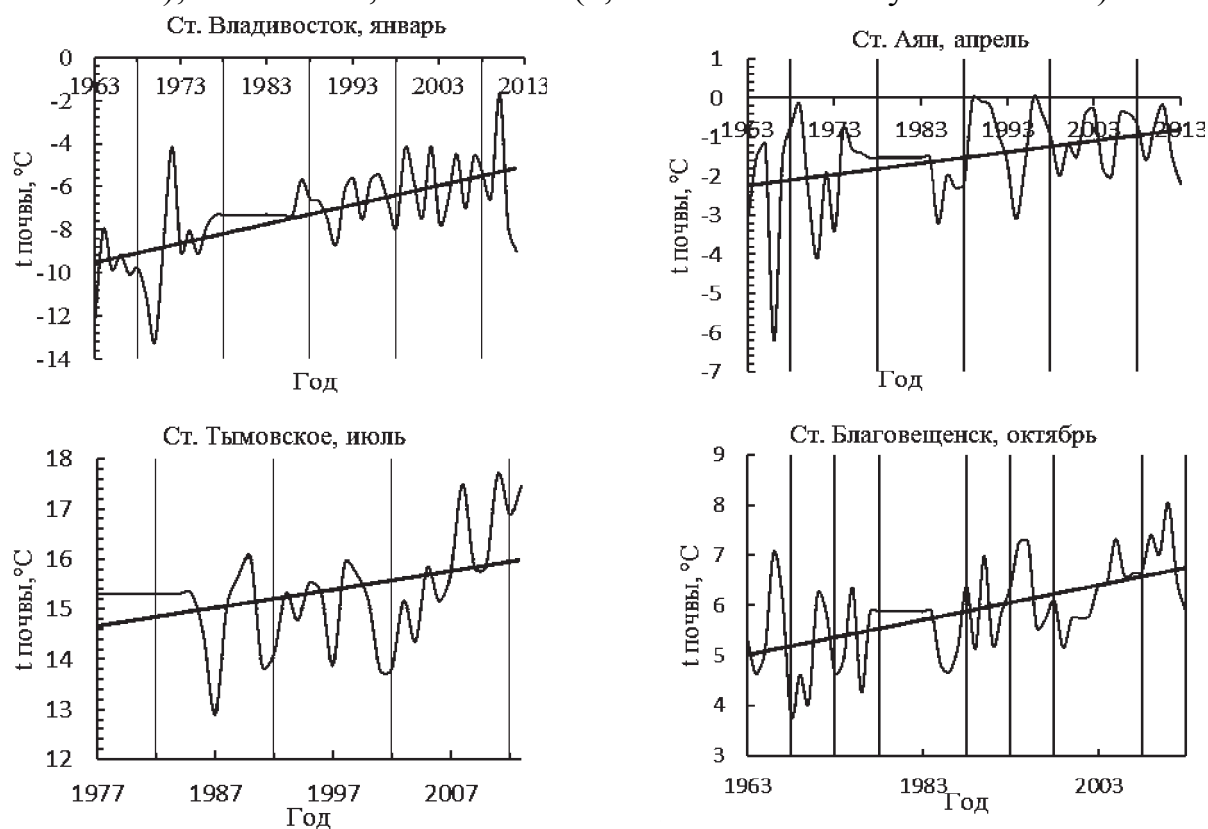


Рис. 2. Динамика температуры почвы на глубине 20 см (жирная линия – линейный тренд)

Для определения продолжительности сезонного оттаивания определялись даты промерзания и оттаивания почвы за каждый год на горизонтах 20, 80 и 160 см. За дату промерзания выбиралось значение температуры почвы ниже нуля градуса, а за дату оттаивания – выше нуля. Соответственно, отрезок времени между этими датами представляет собой безморозный период или период сезонного оттаивания.

В результате анализа календаря характеристик сезонного оттаивания были выявлены следующие пространственно-временные закономерности. Сезонное промерзание деятельного слоя на севере исследуемого района начинается в среднем в конце ноября; с глубиной дата замерзания смещается и в среднем наступает в конце декабря – начале января. В центральной и южной частях района замерзание почвы начинается позже, в начале декабря, на нижележащих глубинах – в январе – феврале. Таяние почв на северных станциях начинается в мае, на глубине почва достигает положительной температуры в среднем в середине июня. На центральных станциях температура выше нуля градусов выявлена уже в апреле; на южных станциях – в конце марта–начале апреля (табл. 4).

Таблица 4

Характеристики сезонного оттаивания почвы в районах юга Дальнего Востока

20 см						
Название станции	Даты замерзания			Даты оттаивания		
	Средняя	Поздняя	Ранняя	Средняя	Поздняя	Ранняя
Аян	25.11	20.01	26.10	21.05	11.06	14.04
Тымовское	25.01	7.03	7.12	25.04	13.05	23.03
Благовещенск	12.11	1.12	29.10	8.04	18.04	29.03
Смидович	20.11	29.11	10.11	12.04	23.04	28.03
Владивосток	28.11	13.12	12.11	31.03	12.04	13.03

80 см						
Название станции	Даты замерзания			Даты оттаивания		
	Средняя	Поздняя	Ранняя	Средняя	Поздняя	Ранняя
Аян	26.01	9.03	17.11	31.05	2.07	6.04
Тымовское	–					
Благовещенск	13.12	30.01	29.11	6.05	15.05	1.04
Смидович	22.01	23.03	7.12	17.05	6.06	30.03
Владивосток	3.01	16.12	23.02	13.04	9.05	9.03

160 см						
Название станции	Даты замерзания			Даты оттаивания		
	Средняя	Поздняя	Ранняя	Средняя	Поздняя	Ранняя
Аян	13.02	15.04	24.12	29.06	2.08	15.05
Тымовское	–					
Благовещенск	12.02	20.03	21.01	6.06	22.06	11.04
Смидович	9.03	25.03	22.02	23.05	30.06	7.04
Владивосток	13.02	28.02	18.01	14.04	12.05	24.03

Продолжительность безморозного периода в регионах юга Дальнего Востока с севера на юг увеличивается как в верхнем (20 см), так и в нижележащих слоях. С глубиной безморозный период имеет большую продолжительность, чем на поверхности почвы. (рисунок 4). Так, на севере района средняя продолжительность периода положительных температур составляет 185–200 дней в верхних слоях почвы, южнее продолжительность увеличивается до 240–300 дней. Наименьшая продолжительность безморозного периода в почвах наблюдается в Амурской области, средняя продолжительность сезонного оттаивания составляет здесь около 208 дней, наибольшая – на территории Сахалинской области, где положительные температуры отмечаются в году в среднем в течение 256 дней.

Глубина промерзания почвы с севера на юг, естественно, уменьшается. По нашим данным средняя глубина промерзания в Амурской области, на севере Хабаровского края, в Еврейской автономной области составляет приблизительно 300 см (глубже температуры почвы положительные); на юге Хабаровского края, Приморья – 80–120 см. В Сахалинской области положительные температуры наблюдаются почти на всех горизонтах, кроме северных станций, где глубина промерзания составляет 80 см.

В Амурской области (рис. 4) наибольший размах колебаний между верхним и нижним горизонтом наблюдается на станции Поярково (69 дней), наименьший – на станциях Черняево и Шимановск (21 день). Средняя глубина промерзания почв составляет около 300 см. Устойчивая динамика продолжительности в верхнем слое почв выявлена на ст. Бомнак, Черняево, Норск, Шимановск, Благовещенск и Завитая, средняя скорость составляет 0,3 дн/10 лет (табл. 5).

Таблица 5

Значимые тренды продолжительности безморозного периода почв на глубинах 20, 80 и 160 см в Амурской области

Станция	20 см		80 см		160 см	
	Линейный	Полиномиальный	Линейный	Полиномиальный	Линейный	Полиномиальный
	K	R ²	K	R ²	K	R ²
Норск	0,221		0,323	0,098	-0,166	0,079
Шимановск	0,507		0,470		0,335	0,173
Благовещенск	0,281		0,698		0,655	0,158
Завитая	0,280	0,187	0,329	0,140	1,782	
Чекунда	0,158	0,096	0,783			



Рис. 3. Средняя продолжительность безморозного периода в Амурской области, дни (на оси абсцисс станции расположены с севера на юг)

Для определения характера динамики продолжительности безморозного периода производилось построение линейных или полиномиальных трендов, успешность аппроксимации которых определялась по коэффициенту детерминации, пороговые значения которого определялись в зависимости от длины исходной выборки. Было выявлено устойчивое увеличение продолжительности этого периода на исследуемых глубинах на северных станциях Бомнак, Им. П. Осипенко, Шимановск, Благовещенск и на самой южной станции Владивосток. Средняя скорость изменения продолжительности безморозного периода на данных станциях составила 0,3 дня/10 лет на глубине 20 см (который в почвенной климатологии считается показателем теплового состояния корнеобитаемого слоя); на горизонте 80 см – 0,58 дней/10 лет; на глубине 160 см – 1,2 дня/10 лет.

На основе обработанного массива данных ежедневных наблюдений за температурой почвы на станциях юга ДВФО за период 1963-2013 было произведено исследование температурного режима почв. Нами были сделаны следующие выводы:

- 1) по мере увеличения глубины даты максимума и минимума сдвигаются по сравнению с подстилающей поверхностью – максимальный прогрев почвы наблюдается на большинстве станций в конце лета – начале осени; максимальное охлаждение происходит в середине зимы;
- 2) температура почвы с севера на юг повышается как на поверхности, так и в нижних слоях;
- 3) при исследовании амплитуд температуры в пространственном распределении выявлена закономерность: большие амплитуды наблюдаются на юге исследуемой территории, меньшие – на севере;
- 4) при анализе динамики многолетнего хода температуры почвы по линейному тренду выявлено потепление грунта на более 80% станций: средняя

скорость повышения температуры на всех глубинах зимой составила $0,24^{\circ}\text{C}/10$ лет; весной – $0,18^{\circ}\text{C}/10$ лет; летом – $0,33^{\circ}\text{C}/10$ лет; осенью – $0,31^{\circ}\text{C}/10$ лет;

5) наибольшее потепление наблюдается летом на глубине 320 см на севере исследуемой территории, средняя скорость составляет $0,38^{\circ}\text{C}/10$ лет;

6) наименьшая средняя скорость выявлена весной на южных станциях на глубине 40 см ($0,07^{\circ}\text{C}/10$ лет);

7) максимальное количество значимых линейных трендов выявлено на станциях на глубинах 80, 160 и 320 см, что свидетельствует об устойчивом повышении температуры почвы;

8) средняя наименьшая продолжительность безморозного периода (208 дней) – в Амурской области, наибольшая – в Сахалинской области (256 дней);

9) с глубиной безморозный период имеет большую продолжительность, чем на поверхности почвы;

10) сезонное промерзание деятельного слоя на севере наступает в конце ноября; в центральной и южной части – в начале декабря. С глубиной дата замерзания смещается и в среднем наступает в конце декабря – начале января.

11) таяние почв на северных станциях начинается в мае; на центральных станциях температура выше нуля градусов выявлена уже в апреле; на южных станциях – в конце марта–начале апреля;

12) было выявлено устойчивое увеличение продолжительности безморозного периода на глубинах 20, 80 и 160 см на отдельных станциях (Бомнак, Им. П. Осипенко, Шимановск, Благовещенск и Владивосток);

13) устойчивое увеличение продолжительности на горизонте 20 см выявлено у 30% станций, средняя скорость равна $0,22$ дн/10 лет; на глубине 80 см – 35%, средняя скорость увеличения равняется $0,67$ дн/10 лет; на глубине 160 см – 27% станций, увеличение происходит со скоростью $0,68$ дн/10 лет;

14) средняя скорость изменения многолетней продолжительности на данных станциях составила $0,3$ дн/10 лет на глубине 20 см; на горизонте 80 см – $0,58$ дн/10 лет; на глубине 160 см – $1,2$ дн/10 лет.

Библиографический список

1. Корнева И.А. Современные климатические изменения нижней тропосферы и деятельного слоя почвы в Московском регионе: диссертация канд. геогр. наук: 25.00.30; [Место защиты: Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова] Москва, 2015, 247 с.

2. Морина О.М., Е.Э.Холоден, С.А. Лобанов, А.М. Дербенцева Динамика температуры почв при антропогенных нагрузках. Учебное пособие. Владивосток, ДВГУ, 2008. – 114 с.

3. Шерстюков А. Б. Массив суточных данных о температуре почвогрунтов на глубинах до 320 см по метеорологическим станциям Российской Федерации// Труды ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». 2012. Вып. 176, С.233

4. Шерстюков А. Б. Статистический контроль массива суточных данных температуры почвогрунтов // Труды ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». 2012. Вып. 176. С.224
5. ФГБУ Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – мировой центр данных [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.meteo.ru>
6. Михайлова А.С. Василевская Л.Н. Исследование температуры почв на юге Дальневосточного федерального округа //Труды II Всероссийской конференции «Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития». – СПб.: ХИМИЗДАТ, 2018. – с.448-451.

RESEARCH OF SOIL TEMPERATURE IN THE SOUTH OF FAR EASTERN FEDERAL DISTRICT

A.S. Mikhaylova, L.N. Vasilevskaya

Far Eastern Federal University, Vladivostok, anyut201@gmail.com;
lubavass@mail.ru

Summary: The purpose of the work is research of temperature regime of active soil layer using to observations of temperature data of soil in the meteorological stations in the South of the Far East.

Keywords: meteorology, climatology, agrology

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НА ЮГЕ РОССИИ И В БОЛГАРИИ

Иванова Д.¹, Кузмова К.¹, Белолобцев А.И.², Дронова Е.А.², Бажеева А.².

¹Аграрный Университет Пловдива, Болгария, +(032) 633157

²Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А.Тимирязева, Москва, info@rgau-msha.ru

Аннотация. Проверяемая в статье гипотеза о потеплении климата в пределах субтропического климатического пояса Восточной Европы в целом подтверждается практически почти по всем рассмотренным критериям

Ключевые слова: температура, изменение климата, субтропический пояс, критерий Фишера, критерий Стьюдента.

Актуальность. В последние десятилетия в многочисленных научных и общих популярных журналах обсуждается проблема потепления климата [1-4]. Этот процесс особенно важен для сельского хозяйства, в частности, для растениеводства, поскольку конкретные статистические характеристики температуры воздуха определяют различные виды и сорта растений, культивируемых в регионе. Поэтому для каждого региона важно подтвердить

гипотезу о наличии процесса потепления климата и оценить степень его проявления.

В настоящей статье анализируются температурные характеристики по данным сетевых метеостанций Болгарии и России, располагающихся в одном климатическом поясе примерно на одинаковом расстоянии по обе стороны от Чёрного моря.

Объекты и методы исследования. В качестве объектов исследования были приняты данные длительных наблюдений за температурой воздуха на сетевых метеостанциях Болгарии и России, а именно на метеостанциях: Софии (Широта: $42^{\circ}42'$ с.ш., долгота: $23^{\circ}19'$ в.д., высота над уровнем моря: 562 м); Пловдива (Широта: $42^{\circ}09'$ с.ш., долгота: $24^{\circ}45'$ в.д., высота над уровнем моря: 169 м); Минеральные Воды (Широта: $44^{\circ}12'37''$ с.ш., Долгота: $43^{\circ}08'07''$ в.д., высота над уровнем моря: 310 м). Очевидно, что все пункты имеют примерно одну широту и находятся в субтропическом поясе, однако Минеральные Воды расположены примерно на 370 км на востоке Чёрного моря, а Пловдив и София на 350-370 км на западе, при этом их высотное положение различается не существенно.

Основной гипотезой настоящего научного анализа является гипотеза о потеплении климата и аналогичности степени его проявления в регионах субтропическом климатического пояса Восточной Европы, существенно различающихся долготой местности. Соответственно основной целью работы является оценка изменения различных температурных характеристик за последние десятилетия на территориях, климатические показатели которых могут характеризоваться данными наблюдений рассматриваемых метеостанций.

Основными задачами исследований являлись:

- анализ температурных характеристик воздуха в приземном слое за период с 1951-2015 гг.;
- построение линейных трендов изменения среднегодовых температур;
- анализ разносных интегральных кривых среднегодовых температур за вегетационный период.

Исходными данными наблюдений являлись месячные и годовые температуры воздуха на рассматриваемых метеостанциях за многолетний период с 1951 по 2015 годы, из которых был выделен отдельно вегетационный период. На рис.1. представлены хронологические графики среднегодовых величин температуры, а на рис.2. графики средних температур вегетационных периодов в многолетнем разрезе.

На представленных рисунках линейные тренды всех графиков явно положительны, что уже отчасти подтверждает гипотезу потепления климата в субтропическом поясе.

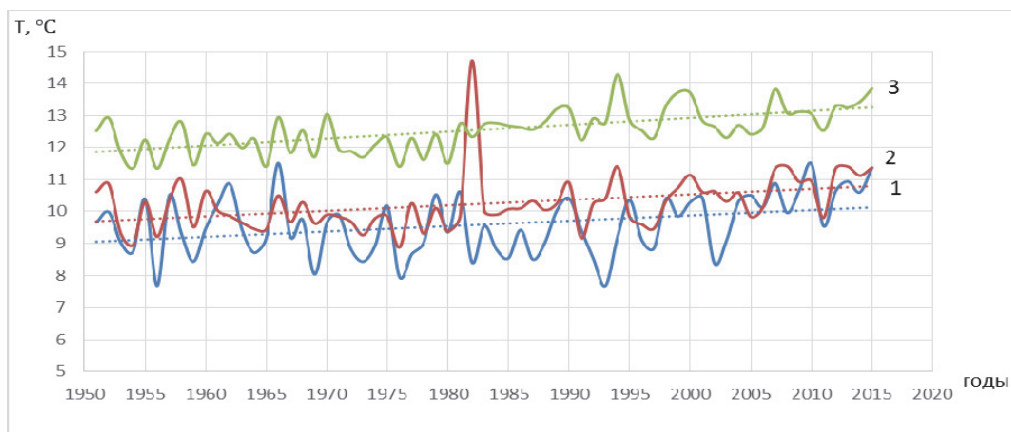


Рис. 1. Временная изменчивость среднегодовых температур на метеостанциях Минеральные Воды(1), София(2), Пловдив(3)

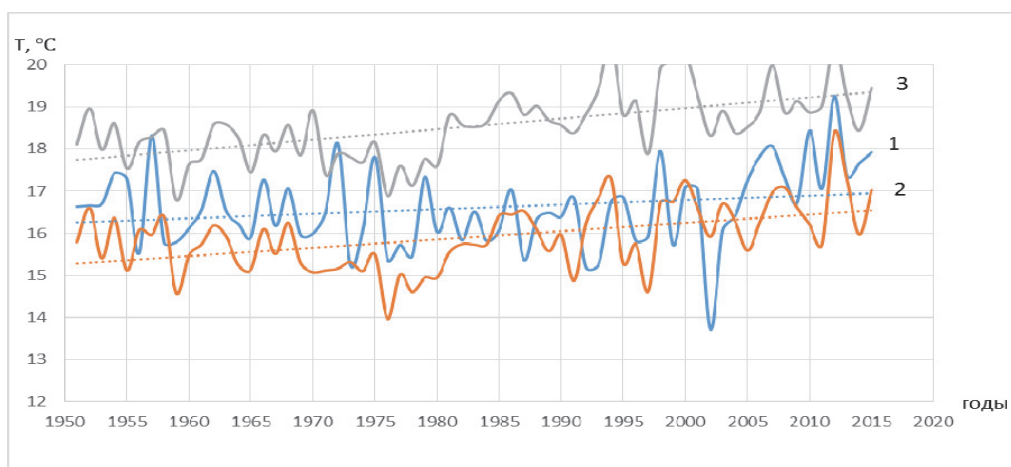


Рис. 2. Динамика среднегодовых температур вегетационных периодов Минеральные Воды(1), София(2), Пловдив(3)

Ещё одним косвенным показателем подтверждения этой гипотезы можно считать разносные интегральные кривые температуры (рис. 3 и 4), на которых можно выделить тёплые и холодные временные интервалы относительно среднего значения температуры за весь рассматриваемый период. Формула для ординат (R_i) этой кривой следующая:

$$R_i = \sum_i (K_i - 1), \quad (1)$$

где i – порядковый временной индекс - годы в хронологическом порядке;

K_i – модульный коэффициент температуры (T_i), нормированный относительно средней температуры по всему ряду наблюдений ($K_i = T_i / T_{cp}$).

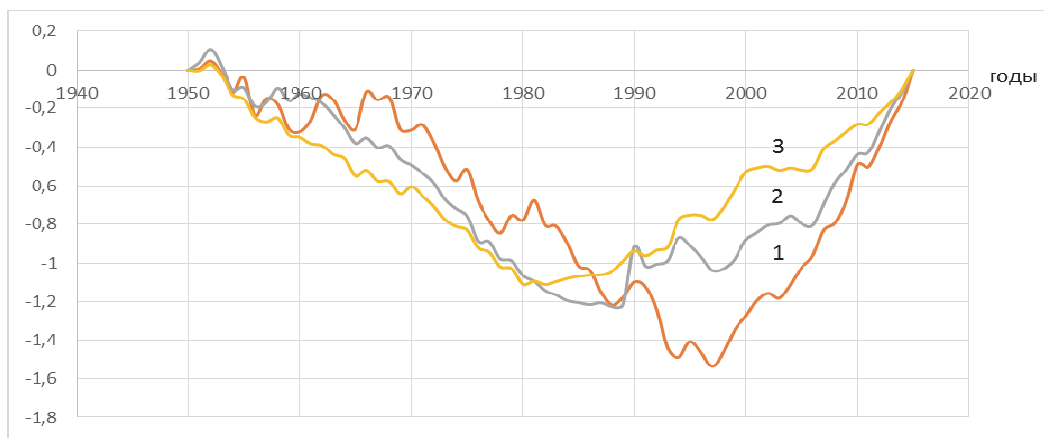


Рис. 3. Разносные интегральные кривые среднегодовых температур метеостанций Минеральные Воды(1), София(2), Пловдив(3)

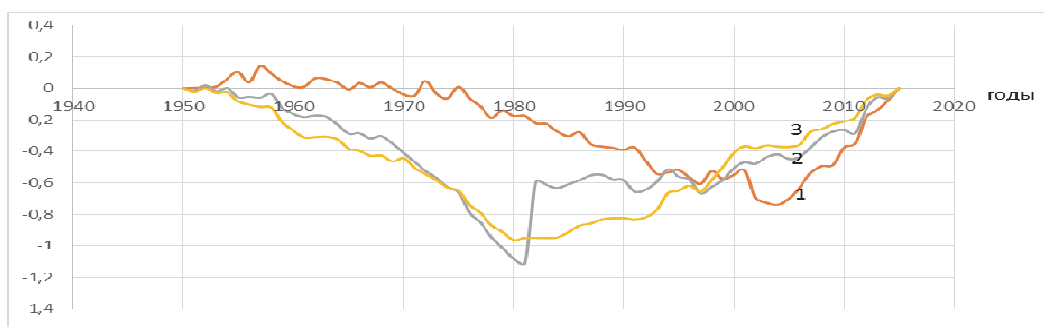


Рис. 4. Разносные интегральные кривые среднегодовых температур за вегетационный период метеостанций Минеральные Воды(1), София(2), Пловдив(3)

Первая производная функции ординат разностной интегральной кривой R_i по времени показывает к какому периоду можно отнести конкретные интервалы – к тёплому или к холодному по сравнению со среднемноголетним значением температуры рассматриваемого интервала. Там где кривая опускается вниз по ходу времени – холодный период, там, где кривая поднимается – тёплый период. Из анализа графиков можно заключить, что в интервале с 1980 года по 1995 год кривые меняют свою тенденцию и далее с небольшими колебаниями поднимаются вверх. В общем можно сказать, что смена тенденций относительно всех кривых в среднем имела место в середине восьмидесятых годов прошлого века. Поэтому, чтобы оценить стационарность процесса изменения температуры по критериям однородности статистических рядов исходные ряды были поделены следующим образом: 1-ый ряд с 1951 года по 1985 (всего 35 лет); 2-ой ряд с 1986 по 2015 (всего 30 лет). Анализ однородности рядов проводился по традиционным критериям Фишера (F) и Стьюдента (t) относительно 5%-го уровня значимости [1]. Все необходимые статистические характеристики для определения критериев F и t и сами вычисленные характеристики представлены в таблицах 1 и 2, где $\bar{X}$ и D – средние значения и дисперсии. Критическими значениями критериев были установлены $F_{\alpha=5\%} = 2,01$ и $t_{\alpha=5\%} = 2,0$ в соответствии со степенями свободы [2].

Таблица 1

Основные статистические характеристики годовых температур воздуха

Города\параметры	Xcp1	Xcp2	D1	D2	F	t
Мин Воды	9,3559524	9,816868	0,79	0,877	1,11	2,26
София	10,000952	10,49483	0,93	0,41	2,28	2,53
Пловдив	12,165238	12,96868	0,29	0,27	1,04	3,9

Таблица 2

**Основные статистические характеристики температур воздуха
вегетационного периода**

Города\параметры	Xcp1	Xcp2	D1	D2	F	t
Мин Воды	16,4	16,8	0,619	1,26	1,019	1,4
София	15,51	16,7	0,353	0,616	1,05	7,21
Пловдив	18,07	19,12	0,343	0,431	1,063	11,05

Сравнивая полученные численные значения критериев Фишера и Стьюдента с их критическими значениями, приходится констатировать, что почти во всех случаях (за исключением температуры вегетационного периода на метеостанции Минеральные Воды) нулевая гипотеза однородности не поддерживается. То есть только ряд температур метеостанции Минеральные Воды за вегетационный период можно признать стационарным.

Следует также особо отметить, что во всех случаях ряды наблюдений за период с 1986 по 2019 годы имеют средние температуры выше, чем за период с 1985 по 2015 годы.

Выводы. Гипотеза о потеплении климата в пределах субтропического климатического пояса Восточной Европы в целом подтверждается практически по всем рассмотренным критериям и метеостанциям.

При проведении анализа температурных характеристик для получения расчётных вероятностных величин температур воздуха более корректно будет использовать ряд наблюдений за последние три десятилетия, несмотря на то, что он гораздо менее продолжителен нежели полный исходный ряд.

Библиографический список

1. Statistical methods in the Atmospheric Sciences. (2011) /Ed. R. Dmowska, D. Hartman, H.T. Rossby / Inter. Geoph. Series, Oxford, OX51GB, UK. Vol.1: 668 p. ратура.
2. Дружинин В.С., Сикан А.В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. - СПб.: изд. РГГМУ. 2001. - с.168.
3. UNEP/GRID-Arendal. Climate in Peril: A popular guide to the latest IPCC Reports. Eds: Kirby A., Stuhlberger Ch., Heberlein C., Tveitdal S. 2009. Доступно в интернете: <http://www.grida.no/publications/climate-in-peril>
4. World Bank. Adapting to Climate Change in Europe and Central Asia. 2008. Доступно в интернете: http://siteresources.worldbank.org/ECAEXT/Resources/258598-1243892418318/ECA_CCA_Full_Report.pdf

COMPARATIVE ASSESSMENT OF CHANGE OF AIR TEMPERATURE IN THE
SOUTH OF RUSSIA AND IN BULGARIA

Ivanova D¹., Kuzmova K¹., Belolyubtsev A.I.²., Dronova E.A.²., Bazheeva A²

¹Agricultural University Plovdiv, Plovdiv, Bulgaria +(032) 633157

²Russian State Agrarian University-MTAA, Moscow, info@rgau-msha.ru

Summary. The hypothesis on climate warming in the subtropical climatic zone of Eastern Europe is confirmed by all of the considered criteria.

Keywords: temperature, climate change, subtropical zone, Fisher's test, Student t-test.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>И.Г. Грингоф. Жизнь и судьба Юрия Ивановича Чиркова (к 100-летию со дня рождения).....</i>	3
<i>И.А. Шульгин. О Юрии Ивановиче Чиркове и его музе – кукурузе.....</i>	17
<i>А.Д. Клещенко, О.В. Вирченко, О.В. Савицкая, Ю. А. Моргунов, С.А. Косякин. Технология мониторинга состояния и оценки урожайности посевов зерновых культур на основе наземной и спутниковой информации.....</i>	27
<i>В.Г. Лошаков. К вопросу об оценке агрометеорологических условий при подборе пожнивных культур в Нечерноземной зоне.....</i>	39
<i>О.Г. Анискина, Х.С. Асеро Триана, Ю.В. Ефимова, Я.В. Дробжева. Разработка гидродинамического прогноза и его использование для планирования сельскохозяйственных работ.....</i>	45
<i>И.В. Латышева, Л.В. Голубева, С.В. Латышев, К.А. Лощенко. Климатические условия развития сельского хозяйства Иркутской области.....</i>	52
<i>Ю.В. Ефимова, С.А. Лыскова, Я.В. Дробжева, О.Г. Анискина, И.В. Лаврова. Режим оттепелей на европейской территории России, как неблагоприятный фактор для перезимовки плодовых культур за период с 1960 по 2016 гг.....</i>	58
<i>Ю.П. Переведенцев, К.М. Шанталинский, В.В. Гурьянов, Т.Р. Аухадеев. Изменения современных климатических условий на территории Татарстана и их последствия для сельского хозяйства.....</i>	65
<i>Е.А. Дронова, Р.А. Дронов. Моделирование процесса формирования агроэкологического уровня потенциального урожая озимой пшеницы в степной зоне Украины.....</i>	74
<i>О.В. Яловенко. Оценки современных тенденций изменений климата на территории Песчанокского района Ростовской области...</i>	80
<i>С.С. Байшоланов, Б.О. Баймагамбетов. Уязвимость к изменению климата орошаемого земледелия в Туркестанской области Республики Казахстан.....</i>	88
<i>М.В. Захарова. Развитие методов математического моделирования паводочного стока на кафедре гидроэкологии и водных исследований ОГЭКУ.....</i>	97
<i>В.В. Ильинич. Оценка асимметрии максимальных осадков на территории Воронежской области в рамках биномиального распределения случайных величин.....</i>	109
<i>Я.А. Нейштадт, М.Ю. Червяков. Изменчивость потоков солнечной радиации на территории Нижнего Поволжья по данным спутниковых и наземных наблюдений.....</i>	114
<i>С.И. Пряхина, Н.Г. Левицкая, Е.И. Ормели. Модели урожайности</i>	120

и качества яровой пшеницы по станции Саратов Юго-Восток.....	
<i>Л.Ю. Новикова, А.И. Белолубцев.</i> Цифровизация растениеводства как основа адаптации к меняющимся климатическим условиям.....	125
<i>С.М. Авдеев.</i> Биоклиматический потенциал и производственный процесс.....	130
<i>В.Е. Путырский, А.В. Павлова.</i> Динамика количества экстремальных атмосферных осадков на территории Российской Федерации.....	135
<i>А.Н. Полевой, Л.Е. Божко.</i> Динамика органического углерода чернозема оподзоленного в полевом севообороте при изменении климата.....	142
<i>И.Ф. Асауляк, А.С. Салмин.</i> Урожайность кукурузы в агрометеорологических условиях Южного Федерального округа.....	156
<i>В.В. Чурсин, И.В. Кужевская, О.Е. Нечепуренко.</i> Прогноз урожайности зерновых культур при помощи данных дистанционного зондирования земли и нейронных сетей.....	161
<i>И.Г. Велиев.</i> Моделирование элементов водного баланса ирригационного водохранилища.....	170
<i>А.Г. Болотов.</i> Методический аспект применения метода моделирования параметров микроклимата в учебном процессе.....	175
<i>О.В. Носырева, И.А. Старикова, А.Н. Квасова, М.А. Никифоров.</i> Современные тенденции агроклиматических показателей на территории Западной Сибири.....	180
<i>О.В. Вольвач, Е.И. Маринин.</i> Влияние изменений климата на продуктивность кукурузы в Центральном Полесье (на примере Житомирской области).....	192
<i>А.Б. Кавалли.</i> Оценка основных статистических характеристик температуры воздуха в весенние месяцы вегетационного периода риса на Нижней Кубани.....	199
<i>Е.В. Завьялова, С.В. Морозова.</i> Сравнительная характеристика годового хода облачности и температуры по м/с Саратов, Москва и Санкт-Петербург.....	205
<i>А.С. Михайлова, Л. Н. Василевская.</i> Исследование температуры почвы на юге Дальневосточного Федерального округа.....	210
<i>Иванова Д¹., Кузмова К¹., Белолубцев А.И.²., Дронова Е.А²., Бажеева А².</i> Сравнительная оценка изменения температуры воздуха на юге России и в Болгарии	219

Научное издание

**МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ,
ПОСВЯЩЕННАЯ 100-ЛЕТИЮ Ю.И. ЧИРКОВА**

СБОРНИК СТАТЕЙ

Издается в авторской редакции
Корректурa авторов

ПОдписено в печать 14.11.2019 г. Формат 60×84 ¹/₁₆.
Печ. л. 14,25. Тираж 50 экз. Заказ 40.

Издательство РГАУ-МСХА
127550, Москва, ул. Тимирязевская, 44
Те. 8 (499) 977-40-64