

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

АГРОМЕТЕОРОЛОГИЯ XXI ВЕКА

ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ,
ПОСВЯЩЕННАЯ 145-ЛЕТИЮ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ
ИМЕНИ В.А.МИХЕЛЬСОНА РГАУ-МСХА
ЧАСТЬ 4

Сборник статей



Москва
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева
2024

Агрометеорология XXI века, часть 4: материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 145-летию метеорологической обсерватории имени В.А.Михельсона РГАУ-МСХА, г. Москва, 20 марта 2024 г.: сборник статей / Сост.: А.И. Белолобцев; Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2024. 184 с.

ISBN 978-5-6050994-2-0

Редакционная коллегия: заведующий кафедрой метеорологии и климатологии, д.с.х.н., профессор А.И. Белолобцев; и.о. директора метеорологической обсерватории И.А. Кузнецов.

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

В сборнике представлены доклады участников Всероссийской научно-практической конференции «Агрометеорология XXI века», посвященной 145-летию метеорологической обсерватории имени В.А.Михельсона РГАУ-МСХА, проводившейся 20 марта 2024 г. на базе ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. В сборнике отражены результаты научных исследований в области метеорологии, климатологии, агрометеорологии, агрогидрологии и экологии. Затронуты вопросы агрометеорологического обеспечения аграрного сектора экономики; дана оценка природно-ресурсного потенциала территорий в условиях изменяющегося климата; проанализированы отдельные гидрометеорологические риски в сельском хозяйстве и др. Авторами большинства докладов являются молодые ученые. Доклады представлены в авторской редакции.

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

ISBN 978-5-6050994-2-0



© Белолобцев А.И.,
составитель, 2024

МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ ИМЕНИ В.А. МИХЕЛЬСОНА: 145 ЛЕТ ИСТОРИИ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ПОГОДОЙ В МОСКВЕ. ПРЕДИСЛОВИЕ

Общеизвестно, что состояние и продуктивность агроландшафтов, многие технологические процессы в агросфере, а также функционирование природных экосистем и жизнедеятельность человека во многом зависят от развития и сочетания метеорологических факторов и погодных условий. Несмотря на существующую техническую вооруженность и защищенность от воздействий природных явлений, без правильного учета информации о текущем и будущем состоянии атмосферы сегодня не может обойтись ни одна отрасль экономики.

В 1865 г. в Уставе открываемой сельскохозяйственной академии была предусмотрена организация обсерватории и производство наблюдений за погодой. Для этой цели из «бюджетных сумм академии ежегодно выделялась тысяча рублей на физический кабинет и метеорологическую обсерваторию». Однако обсерватория начала работать только через 14 лет после основания академии. 1 января 1879 г. профессор кафедры земледелия А.А. Фадеев (1879-1885 гг.) снял первые отсчеты по метеорологическим приборам, который получил от Главной физической обсерватории необходимые оборудование, открыв тем самым многолетнюю историю метеорологической обсерватории сельскохозяйственной академии.

Обсерватория академии становится центром многих направлений научных исследований в метеорологии. В первые десятилетия с момента основания она также входила в состав кафедры физики.

С 1885 до 1891 г. обсерваторией руководил профессор кафедры физики и метеорологии Р.А. Колли. Уже в этот период проявился особый интерес к актинометрическим наблюдениям. Были построены оригинальные приборы для наблюдения за солнечной радиацией. В 1889 г. с 1 июня по 23 октября профессором Р.А. Колли была произведена непрерывная регистрация прямой и рассеянной радиации при помощи актинографа



Рис. 1. Р.А. Колли

Ришара. С тех пор актинометрические наблюдения практически не прекращались. Результаты наблюдений были опубликованы в 1890 г. в «Известиях» академии и получили высокую оценку видных метеорологов (А.И. Воейкова и др.). Таким образом, впервые актинометрические наблюдения в России начались именно в академии.

Под руководством Р.А. Колли продолжались наблюдения по программе Главной физической обсерватории и, кроме того, начали проводиться фенологические наблюдения. С этой целью была создана специальная фенологическая комиссия, в состав которой входили профессора К.А. Тимирязев, М.К. Турский, доцент А.В. Фортунатов и ассистент Н.П. Мышкин. Параллельные наблюдения за погодой и состоянием растений имели определённое значение в дальнейшем становлении сельскохозяйственной метеорологии как науки.

Особое место в истории развития науки и метеорологических наблюдений принадлежит выдающемуся учёному-физику профессору В.А. Михельсону, который руководил обсерваторией с 1894 по 1927 г. (рис. 2). В результате его деятельности уровень и постановка преподавания метеорологии, а также метеорологические наблюдения были существенно улучшены. В настоящее время старейшая в стране обсерватория носит имя В.А. Михельсона, присвоенное ей в 1927 г., продолжая непрерывные наблюдения за погодой в г. Москве вот уже 145 лет.



Рис. 2. В.А. Михельсон

В.А. Михельсона считают одним из основоположников агрометеорологических наблюдений в России. В 1895-1898 гг. при метеорологической обсерватории академии, директором которой он был, организована и функционировала «Средне-Русская сельскохозяйственная метеорологическая сеть», охватывающая 10 губерний. На станциях этой сети по разработанным инструкциям велись метеорологические и сельскохозяйственные наблюдения.

Осознавая значение метеорологии для сельского хозяйства, на площадке обсерватории было выделено 20 делянок (рис. 3). На них выращивались

различные культуры и были введены севообороты: двухпольный (рожь-пар), однопольный (бессменный овес) и два сеиполья (пар с навозным удобрением, рожь, корнеплод свеклы с удобрением, овес с подсевом клевера и тимофеевки, клевер, лен). С этого времени стал входить в науку основной метод агрометеорологии – параллельных (сопряжённых) наблюдений за погодой и состоянием, продуктивностью сельскохозяйственных растений.

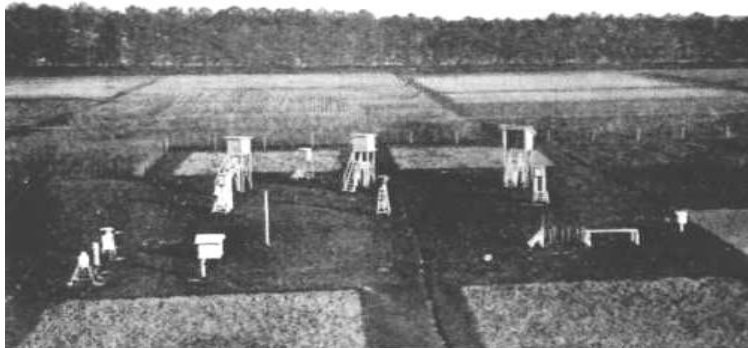


Рис. 3. Метеорологическая площадка обсерватории с опытными делянками

Ещё одно приоритетное направление метеорологии связано с именем В.А. Михельсона – развитие методов актинометрических наблюдений. Он испытал и усовершенствовал ряд пиргелиметров (приборы для измерения интенсивности прямой солнечной радиации), а затем сконструировал несколько видов актинометров. Пластинчатый актинометр Михельсона нашёл широкое применение не только на российских, но и на зарубежных станциях. Вместе с В.А. Михельсоном проблемами актинометрии занимались И.А. Здановский, А.К. Савинов, П.П. Борисов, Н.М. Закойдакова (рис. 4).

В.А. Михельсон организовал постройку специального здания обсерватории на более подходящем для проведения наблюдений месте – к югу от аллеи вязов. Новое здание было построено в 1911 г., с ажурной вышкой на нем высотой 23 метра. На вышке были установлены приборы для измерения скорости и направления ветра. С южной стороны здания был построен балкон для актинометрических наблюдений (рис. 5).

Новое здание дало возможность разделить преподавание физики и метеорологии. В обсерватории была выделена аудитория, в которой

профессор П.П. Борисов с 1919 г. читал курс лекций по метеорологии и вел практические занятия по этому предмету.



Рис. 4. Наблюдения на актинометрической площадке здания обсерватории проводят И.А. Здановский, А.К. Савинов, П.П. Борисов и Н.М. Закайдакова



Рис. 5. Новое здание метеорологической обсерватории, 1912 г.

Кафедра физики и метеорологии в числе других занималась и вопросами растениеводства, изучала требования растений к условиям окружающей среды. В здании обсерватории была организована лаборатория по химическому анализу. Через каждые 10 дней проводилось определение количества азота в почве, а также азота и фосфора в растениях, взятых с 20 участков с опытными культурами.

Возделывание различных культур на делянках было начато по предложению Метеорологического бюро по разработанной теме: «Исследования зависимости произрастания культурных растений от погоды». Эти наблюдения считались «сельскохозяйственно-метеорологическими». Полученные результаты этих исследований использовались и в учебном процессе.

Последующий период, с 1927 по 1933 гг., является черной страницей в истории метеорологии. Он совпал с широкой реорганизацией академии, которая была разделена на целый ряд самостоятельных институтов. Преподавание метеорологии в это время испытывало большие трудности. Курс вместе с практическими занятиями сократился до 20 часов в год. Обсерватория была передана Московскому управлению гидрометеорологической службы. Преподавание метеорологии в академии осталось без необходимой базы, без помещения, приборов и квалифицированного руководства.

Осенью 1933 г. начато возрождение и дальнейшее развитие метеорологической работы. В составе агрономического факультета ТСХА была открыта кафедра сельскохозяйственной метеорологии, теперь уже как отдельное самостоятельное подразделение. На должность профессора и заведующего кафедрой избран по конкурсу доктор физико-математических наук Витольд Игнатьевич Виткевич (рис. 6).



Рис. 6. В.И. Виткевич

В результате проделанной большой организационной работы в 1934 г. метеорологическая обсерватория была возвращена академии и вошла в состав кафедры. Возвращение обсерватории в академию было обусловлено необходимостью продолжать наблюдения и результаты сообщать государственной службе погоды.

Профессор В.И. Виткевич возглавлял кафедру и обсерваторию на протяжении 37 лет. Его учебник и практикум по сельскохозяйственной метеорологии были первыми в нашей стране учебными пособиями, по которым обучались многие поколения студентов сельскохозяйственных вузов. Известны работы В.И. Виткевича по физике атмосферы. Им разработаны методы учёта солнечной энергии для целей сельского хозяйства, в частности решения вопроса о «наивыгоднейшем» направлении рядков сева (посадки). Сконструирован ряд приборов, которые можно использовать в агрономическом опыте: фитопсихрометр для измерения температуры и влажности воздуха среди растений, самопишущий почвенный испаритель, сигнализатор заморозков и ряд других оригинальных приборов для метеорологических измерений.

С 1970 года важнейшая роль в развитии обсерватории и кафедры принадлежит одному из ведущих отечественных агрометеорологов профессору Ю.И. Чиркову (рис. 7). С приходом Юрия Ивановича научная работа этих подразделений получила новый импульс в развитии. Достойный вклад в агрометеорологическую науку в этот период внесли многие ученые и сотрудники кафедры и обсерватории.

Профессором Ю.И. Чирковым была выполнена детальная многолетняя проработка влияния агрометеорологических условий на рост, развитие и продуктивность растений. Его метод агрометеорологического прогноза урожайности кукурузы и до настоящего времени используется в Гидрометцентре России. Агрометеорологические показатели жизнедеятельности земляники обосновал кандидат географических наук Б.И. Огородников.

Учеными кафедры и обсерватории большое внимание уделяется исследованиям эффективности использования агроклиматических ресурсов Нечерноземной зоны в растениеводстве. Оценены агроклиматические ресурсы для зерновых в этой зоне и других регионах, неблагоприятные явления (засухи, суховеи), выявлены закономерности системы «погода – урожай» (профессор В.А. Сенников); разработаны агроклиматические показатели для перспективных кормовых растений (доцент Л.Г. Ларин), выполнена статистическая обработка

зависимостей производственного процесса от погоды на основе многолетних данных (доцент А.В. Стародубцев) и др.



Рис. 7. Ю.И. Чирков проводит практические занятия

Заложенная при основании обсерватории широкая программа наблюдений сохранилась до настоящего времени и согласована с общегосударственными программами системы Гидрометеорологической службы страны. Она включает в себя регистрацию атмосферного давления, солнечного сияния, температуры и влажности воздуха, направления и скорости ветра, облачности и осадков, характеристик снежного покрова, температуры почвы на различной глубине и атмосферных явлений. С 1886 г. здесь впервые в России начали проводиться актинометрические наблюдения.

Обсерватория стала научно-методическим центром агрометеорологических наблюдений. Здесь были разработаны методики, руководства, инструкции, которые и сегодня являются основополагающими в области агрометеорологии.

Метеорологическая обсерватория имени В.А. Михельсона была и остается мощной учебно-научной базой кафедры метеорологии и климатологии, сохранив свой статус старейшего метеорологического пункта наблюдений. В научных

статьях, дипломных и курсовых работах, рекомендациях производству невозможно обойтись без анализа погодных условий. В связи с этим основное назначение обсерватории было и остается обеспечение метеорологической информацией студентов, аспирантов, научных сотрудников и преподавателей академии, проводящих опыты в Московском регионе. Эта информация находит применение для многих учреждений столицы или просто для обычных граждан, интересующихся погодой. Нередко в течение года сотрудники обсерватории, используя уникальный архив, обеспечивают более 300 обращений за информацией.

Архив содержит информацию в нескольких видах:

первичная – метеорологические книжки, таблицы, принятого в системе Гидрометцентра РФ образца;

для потребителей – метеорологический бюллетень обсерватории;

на технических носителях – в Гидрометцентре РФ;

обобщенная – справочники, атласы, пособия.

В условиях современного глобального экологического кризиса, особую актуальность приобретают вопросы управления качеством окружающей среды. Атмосферный воздух является одной из основных ее составляющих и для решения проблемы управления этим качеством необходимо изучение процессов формирования уровня загрязнения и его изменения под влиянием метеорологических и гелиофизических факторов, что и обеспечивают наблюдения обсерватории.

И, конечно же, особую значимость многолетним наблюдениям обсерватории придаст современная глобальная трансформация климатической системы на планете и связанный с этим климатический кризис. Анализ температурного и влажностного режимов последних десятилетий дает все основания утверждать, что с начала 1980 и особенно с 1990 гг. происходят самые заметные изменения климата за весь 145 летний срок непрерывных инструментальных наблюдений. Они характеризуются значительным ростом температуры холодных сезонов года, увеличением испаряемости при сохранении и даже при снижении количества атмосферных осадков за теплый период и повышении их сумм в холодный, возрастанием повторяемости засух, при одновременном увеличении интенсивности экстремальных осадков и температуры. Эти изменения могут привести к непредсказуемым последствиям для различных экосистем и их представителей, в т.ч. и самого человека.

В последние годы в Метеорологической обсерватории совершенствуется организация работы и осваиваются новые методы наблюдений, в том числе с применением цифровых технологий. Интенсивно обновляется материально техническая база современным оборудованием и приборами. В настоящее время молодой коллектив сотрудников обсерватории проводит масштабную и сложную работу по переносу архива многолетних наблюдений и научных данных из первичных бумажных документов в цифровой формат на электронные носители. Помощь по приведению архива в цифровой вид внесли сотрудники обсерватории П.С. Ильин и Д.Ю. Осин, а также студенты кафедры метеорологии и климатологии К.А. Долгих, Е.Д. Фролов, А.А. Борисов, Д.А. Зайцева и И.Н. Чернова.

Сегодня метеорологический архив обсерватории не имеет себе равных в г. Москве, а по объему информации и ее уникальности относится к числу немногих не только в России, но и во всем мире. За 145-летнюю историю наблюдений накоплены важнейшие данные о погоде во всем многообразии ее проявлений, причем наблюдения проведены в одном месте, по единой методике и непрерывно, что обеспечивает их научную и историческую ценность. Решением Управления Государственного контроля охраны памятников г. Москвы Метеорологической обсерватории имени В.А. Михельсона присвоен статус памятника истории, науки и культуры.

Таким образом, Метеорологическая обсерватория имени В.А. Михельсона РГАУ-МСХА прошла нелегкий и славный путь. В настоящее время обсерватория твердо стоит на страже Службы погоды в г. Москве, продолжая свою исключительно важную многолетнюю научную работу для нынешних и будущих поколений.

А.И. Белолобцев,
заведующий кафедрой метеорологии и климатологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, д.с-х.н., профессор.
И.А. Кузнецов,
и.о. директора Метеорологической обсерватории имени В.А. Михельсона РГАУ-МСХА

УДК 528.88+551.509.3+332.3

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПУТНИКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ОПЕРАТИВНОМ АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ

А.Д. Клещенко¹, О.В. Савицкая¹

¹ *Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной метеорологии, Обнинск, cxm-dir@obninsk.ru*

Аннотация: дано описание технологий мониторинга оценки состояния, и продуктивности посевов зерновых культур, а также мониторинга засух на основе интеграции наземной метеорологической и спутниковой информации, разработанных в ФГБУ «ВНИИСХМ». Показана возможность использования спутниковой информации в оперативном режиме для решения задач агрометеорологического мониторинга.

Ключевые слова: вегетационные индексы, метеорологическая информация, урожайность, мониторинг, засуха.

Актуальность. Одной из важных задач агрометеорологии является оперативная оценка состояния и условий формирования урожайности посевов сельскохозяйственных культур. С этой целью проводится регулярный мониторинг состояния посевов сельскохозяйственных культур на основе агрометеорологической информации наземных наблюдательных учреждений. В последние десятилетия для этих целей стала широко использоваться спутниковая информация, которая позволяет получать более детализированную информацию по рассматриваемой территории. Появилось большое количество публикаций в этой области. В данной статье не ставится задача проведения обзора публикаций, можно для примера отметить одну из публикаций, в которой приводится достаточно хороший обзор [1]. Задачей данной статьи является информация о состоянии разработок в этой области, проводимых во ВНИИСХМ Росгидромета за последние годы.

В статье приводятся краткие результаты исследований по следующим направлениям: оценка состояния посевов и продуктивности зерновых культур на основе комплексирования наземной и спутниковой информации и мониторинг засух на основе наземной и спутниковой информации.

Обсуждение результатов. В начале девяностых годов в ФГБУ «ВНИИСХМ» была разработана и введена в эксплуатацию оперативная система мониторинга состояния посевов по спутниковой информации AVHRR (NOAA) [2, 3]. В связи с прекращением функционирования радиометров AVHRR для территории России, в институте в 2021 г. была создана новая система мониторинга с использованием спутниковых измерений более современного сканера VIIRS спутника SUOMI NPP, обеспечивающего увеличение пространственного разрешения в 2,9 раза по сравнению с AVHRR. Пространственное разрешение радиометра AVHRR составляет 1100 м, пространственное разрешение VIIRS – 375 м. Разработанная система включает в себя следующие процедуры: формирование и передачу спутниковых композитов, расчет вегетационных индексов, многомерную кластеризацию на основе минимизации внутриклассовой дисперсии, калибровку спутниковых данных по результатам наземных агрометеорологических наблюдений и статистических данных, привязку выходной информации к картографической основе.

Спутниковая информация VIIRS поступает в ФГБУ «ВНИИСХМ» из ФГБУ «НИЦ «Планета» в виде безоблачных композитов, составленных из фрагментов снимков за десятидневный период. Композиты представляют собой цифровые массивы информации, полученной по четырём спектральным каналам (в красном, ближнем инфракрасном, среднем инфракрасном и длинноволновом инфракрасном). По информации в красном и ближнем инфракрасном каналах рассчитывается вегетационный индекс NDVI. NDVI представляет собой разность между значениями коэффициентов отражения в красном и ближнем инфракрасном участках спектра к их сумме. Значения в четырех спектральных каналах и NDVI используются в неконтролируемой многомерной классификации с минимизацией внутриклассовой дисперсии. Эта процедура позволяет идентифицировать сельскохозяйственный объект как целое благодаря объединению в одно спектральное пространство исходных сигналов и NDVI. В результате классификации, формируются 19 кластеров, которые достаточно хорошо совпадают с реальными объектами на поверхности Земли. Такое количество кластеров достаточно полно удовлетворяют следующим условиям: объекты внутри кластера достаточно однородны, объемы кластеров не отличаются на порядок, разные кластеры соответствуют различным объектам. После этого рассчитываются средние значения NDVI по каждому кластеру и сами кластеры упорядочиваются по возрастанию вегетационного индекса. После завершения работы процедуры, пользователь имеет возможность изменить распределение

кластеров по выделенным градам. Многочисленные исследования по оценке зависимости спектрально-отражательных характеристик посевов сельскохозяйственных культур от густоты стояния, площади листовой поверхности и урожайности в различные периоды вегетации позволили определить критерии для NDVI, которые определяют посевы с плохим, удовлетворительным и хорошим состоянием [2, 4]. Таким образом, выходным продуктом системы являются карто-схемы оценки состояния посевов по трем градам: хорошее, удовлетворительное и плохое состояние. На карто-схемах выделены также участки с водой, лесом и прочими землями. Так же в программе реализована возможность сравнения результатов спутникового мониторинга с наземными данными.

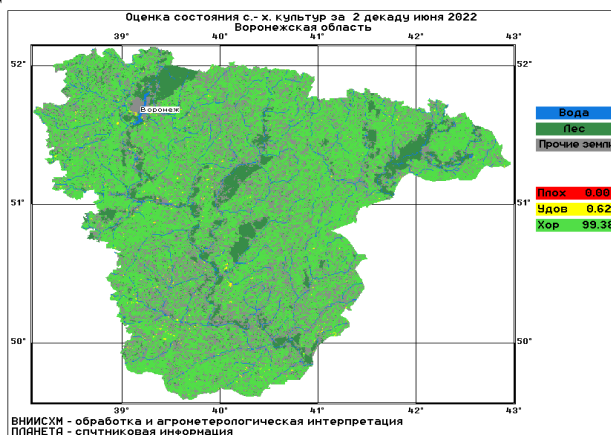


Рис. 1. Оценка состояния посевов по Воронежской области на конец второй декады июня 2023 года

Для этого в программе предусмотрена возможность отображать информацию по агрометеорологическим станциям соответствующего региона за указанный период по следующим характеристикам: культура, фазы развития, визуальная оценка на последний день декады, высота посева на последний день декады, густота посева, запасы продуктивной влаги в слоях почвы 0-20 см, 0-50 см и 0-100 см. Эта информация позволяет провести анализ по соответствию наземного и спутникового мониторинга. Для примера на рисунке 1 показана

карто-схема оценки состояния посевов по Воронежской области на конец второй декады июня 2023 года.

Аналогичные карты строятся ежедекадно для субъектов, федеральных округов и России в целом и передаются в Гидрометцентр России и оперативные подразделения УГМС для агрометеорологического обеспечения сельскохозяйственных организаций.

Другой решаемой задачей в этом направлении во ВНИИСХМ является разработка технологии оценки, ожидаемой средней районной урожайности зерновых культур на основе интеграции наземной и спутниковой информации [5, 6].

При решении этой задачи в качестве спутниковой информации используются данные со спектрорадиометра MODIS спутника Тетта с пространственным разрешением 250 м, которые доступны на сервисе Vega-PRO (<http://pro-vega.ru>, ИКИ РАН). С помощью этого сервиса были получены следующие спутниковые индексы: NDVI, VCI. Описание NDVI приведено выше. Индекс условий вегетации VCI учитывает изменение значений NDVI в течение вегетационного периода с учётом их минимальных и максимальных значений за рассматриваемый период. Этот индекс одним из первых предложил Ф. Коган [7], он рассчитывается по следующей формуле:

$$VCI_j = \frac{NDVI_j - NDVI_{\min}}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}} * 100\%, \quad (1)$$

где VCI_j – значение индекса условий роста растительности для даты j ; $NDVI_j$ – значение NDVI для даты j ; $NDVI_{\max}$ – значения максимальных NDVI внутри всего набора данных; $NDVI_{\min}$ – значение минимальных NDVI внутри всего набора данных.

VCI_j – это процентное отношение значений NDVI за время j по отношению к максимальной амплитуде изменений значений NDVI за рассматриваемый период времени.

Наземная метеорологическая информация была получена по данным наблюдений на гидрометеорологических станциях Росгидромета. В качестве наземных данных в исследовании использовались следующие параметры: средняя температура воздуха, сумма осадков за декаду, дефицит влажности воздуха, гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК).

В качестве статистической информации использованы данные о средней районной урожайности основных зерновых культур, начиная с 2012 года, доступные на сайте Федеральной службы государственной статистики [8].

В качестве методов исследования использовались метод корреляционно-регрессионного анализа и метод главных компонент. В таблице 1 в качестве примера представлены коэффициенты корреляции между исходными параметрами и средней районной урожайностью озимой пшеницы для двух групп районов Ростовской области за период с 2012–2021 гг.

Таблица 1

Коэффициенты корреляции между исходными параметрами и средней районной урожайностью озимой пшеницы для двух групп Ростовской области за период с 2012–2021 гг.

Группа	Длина ряда	Месяц	Декада	Метеорологические параметры							Спутниковые индексы	
				T	P	D	T3	P3	D3	GTK	NDVI	VCI
1	160	май	1	-0,35	0,28	-0,32	-0,59	0,45	-0,58	0,46	0,60	0,58
		май	2	-0,68	0,38	-0,78	-0,72	0,63	-0,71	0,64	0,86	0,87
		май	3	-0,60	0,12	-0,49	-0,73	0,43	-0,73	0,48	0,85	0,86
		июнь	1	-0,30	0,01	-0,17	-0,67	0,25	-0,61	0,34	0,75	0,79
2	150	май	1	-0,49	0,27	-0,48	-0,56	0,52	-0,63	0,54	0,53	0,52
		май	2	-0,62	0,41	-0,65	-0,68	0,61	-0,68	0,64	0,72	0,70
		май	3	-0,29	-0,27	-0,23	-0,63	0,27	-0,65	0,34	0,79	0,78
		июнь	1	-0,26	0,25	-0,14	-0,52	0,24	-0,44	0,30	0,70	0,67

Примечание: NDVI – среднее за декаду значение вегетационного индекса; VCI – среднее за декаду значение индекса условий роста растительности; T – средняя декадная температура воздуха; T3 – средняя температура воздуха за 3 декады; P – сумма осадков за декаду; P3 – сумма осадков за 3 декады; D – средний за декаду дефицит влажности воздуха; D3 – средний дефицит влажности воздуха за 3 декады; GTK – значение GTK за месяц

Представленные данные в таблице 1 позволяют судить о связях между факторами и средней районной урожайностью озимой пшеницы. Со спутниковыми индексами на протяжении всех декад и для всех групп наблюдаются достаточно высокие коэффициенты корреляции. С метеорологическими параметрами в большинстве случаев также наблюдаются устойчивые связи, хотя в отдельные декады связь недостаточно высокая. На следующем этапе осуществлялось построение регрессионных моделей. Для этого применялся пошаговый алгоритм регрессионного анализа с включением

переменных, который заключается в следующем: на каждом шаге в уравнение регрессии включается переменная, имеющая максимальное значение коэффициента парной корреляции с урожайностью, при этом выполняется проверка коэффициента множественной корреляции, значимости уравнения регрессии по критерию Фишера и значимости коэффициентов уравнения по критерию Стьюдента. Таким образом, были построены регрессионные модели для районов Северо-Кавказского УГМС. Разработанные модели позволяют выполнять расчёты ожидаемой урожайности озимой пшеницы и строить карты распределения ожидаемой урожайности. Для примера на рисунке 2 показан пример карты распределения ожидаемой урожайности озимой пшеницы по районам Ростовской области за 1 декаду июня 2023 г.

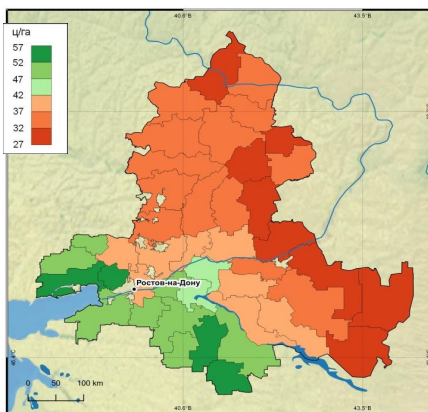


Рис. 2. Ожидаемая урожайность озимой пшеницы (ц/га) по состоянию посевов на конец 1 декады июня 2023 г. для Ростовской области

Как видно из рисунка 2 наблюдается значительная вариабельность ожидаемой урожайности озимой пшеницы по районам Ростовской области. Наиболее высокая урожайность в 2023 г. ожидалась в южных и юго-западных районах области.

Таким образом, были получены регрессионные модели за период с 2012 по 2022 гг., по которым можно рассчитывать ожидаемую среднюю районную урожайность озимой пшеницы в оперативном режиме. В качестве предикторов, как правило, в уравнения входили по одному спутниковому и метеорологическому

параметру, от остальных параметров пришлось отказаться в силу их взаимозависимости, хотя корреляция с урожайностью у этих параметров достаточно высокая. Кроме того, с агрометеорологической точки зрения бывает достаточно сложно отдать предпочтение какому-то определенному параметру, поскольку каждый фактор имеет свое специфическое влияние на рост и развитие растений. В этой связи необходимо было найти метод, который бы позволил расширить список входных параметров, имеющих достаточно высокую корреляцию с урожайностью, что может уменьшить ошибку расчётов при их учёте. В качестве такого метода был использован метод главных компонент, который успешно используется в гидрометеорологических исследованиях [9]. Суть метода главных компонент заключается в преобразовании данных из исходного многомерного пространства в новое пространство, оси (главные компоненты) которого некоррелированы. Далее осуществляется построение регрессии на главные компоненты. Новые регрессионные уравнения позволили включить большее количество входных переменных, при этом коэффициент множественной корреляции повышается по сравнению с уравнениями, полученными на исходных данных, а ошибка расчётов уменьшается.

В ФГБУ «ВНИИСХМ» для изучения феномена засух, их мониторинга и оценки их влияния на продуктивность посевов зерновых культур в 2002 г. по решению Межгосударственного Совета по гидрометеорологии СНГ был создан Центр мониторинга засух (ЦМЗ) [10]. В ЦМЗ была разработана автоматизированная оперативная система оценки засух (АОСОЗ) с помощью которой проводится ежедекадный оперативный мониторинг засух. Система использует наземные метеорологические данные и позволяет регулярно отслеживать появление и развитие засух по пунктам наблюдений с шагом в одну декаду в течение всего вегетационного периода. Однако в связи с недостаточной плотностью сети метеорологических станций в отдельных регионах бывает затруднительно получить информацию с достаточным пространственным разрешением. Спутниковая информация позволяет решить эту проблему. В ЦМЗ реализован подход оценки засухи на основе индекса состояния растительности VCI, о котором говорилось выше. Значения VCI изменяются от 0 до 100 %, в соответствии с погодными условиями от сухих до влажных. Ф. Коган предложил использовать три градации индекса для мониторинга засухи. Значения индекса, превышающие 70 %, соответствуют влажным и благоприятным условиям. Изменения значений VCI от 30 до 70 % отражают нормальные условия увлажнения. Значения индекса менее 30 % определяют стрессовое состояние

растительности. VCI рассчитывается только для пахотных угодий, с учётом маски сельскохозяйственных земель. Следует отметить, что при расчёте VCI данные субъектов в пределах федерального округа объединялись в общий массив, что позволило увеличить объем выборки и наиболее точно определить минимальное и максимальное значение NDVI. Для примера на рисунке 3 показаны карты распределения индекса VCI для Ростовской, Волгоградской областей, Краснодарского края и Крыма для первой декады мая и первой декады августа 2023 г.

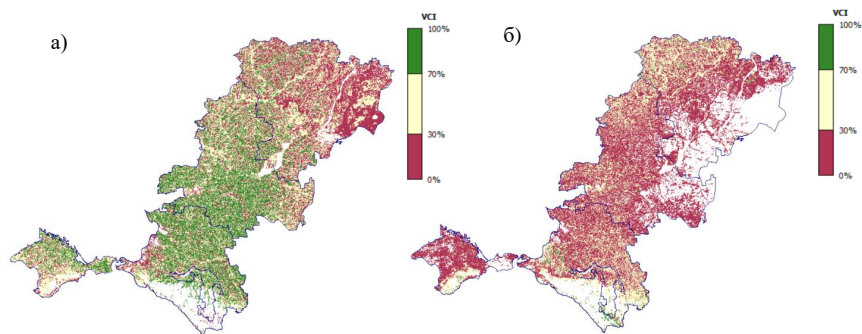


Рис. 3. Карта распределения индекса VCI для Ростовской, Волгоградской областей, Краснодарского края и Крыма для первой декады мая 2023 г. (а) первой декады августа 2023 г. (б)

Как видно из рисунка 3 наиболее благоприятные условия увлажнения наблюдаются в начале мая 2023 г., а в августе 2023 г. по индексу VCI наблюдается средняя и сильная засуха, что достаточно близко к оценкам, полученным по наземной системе. В настоящее время в институте ведётся разработка соответствующей технологии мониторинга засух, основанного на использовании спутникового индекса VCI.

Заключение. Проведенные исследования показали эффективность использования спутниковой информации в комплексе с наземными данными для оценки состояния посевов, засух и ожидаемой урожайности зерновых культур. Разработанные технологии позволяют оперативно получать более детализированную информацию о состоянии посевов и условиях формирования продуктивности зерновых культур, а также выявлять районы с аномальными (засушливыми) условиями роста и развития посевов. Это позволит своевременно

применять необходимые агротехнические приёмы (процедуры) для минимизации отрицательных последствий воздействия аномальных условий.

Библиографический список

1. Гарбук С.В., Гершензон В.Е. Космические системы дистанционного зондирования Земли. – М.: Издательство А и Б, 2003. 296 с.

2. Клещенко А.Д., Вирченко О.В. Технология оценки состояния посевов сельскохозяйственных культур и мониторинга засух по спутниковой информации // Труды ВНИИСХМ. 2006. Вып. 35. С. 3–33.

3. Kleschenko A.D., Virchenko O.V., Martinenko O.V. Contemporary satellite-based systems for agro-meteorological monitoring // Use of Satellite and In-Situ Data to Improve Sustainability. Springer. Published with NATO Diplomacy Division. 2011. P. 61–69.

4. Клещенко А. Д. Оценка состояния зерновых культур с применением дистанционных методов. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. 190 с.

5. 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 г. Вып. 571. С. 147–161.

6. Клещенко А. Д., Савицкая О. В. Оценка урожайности озимой пшеницы с использованием метода главных компонент на основе комплексирования спутниковой и наземной информации // Метеорология и Гидрология. 2021. № 12. С. 127–136. doi: 10.52002/0130-2906-2021-12-127-136.

7. Kogan F.N. Remote sensing of weather impact on vegetation in non-homogeneous areas // International Journal of Remote Sensing. 1990. No. 8. P. 1405–1419.

8. База данных показателей муниципальных образований // Федеральной службы государственной статистики [Электронный ресурс]. URL: <https://www.gks.ru/dbscripts/munst> (дата обращения: 05.10.2023).

9. Мещерская А. В., Руховец Л. В., Юдин М. И., Яковлева Н. И. Естественные составляющие метеорологических полей. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. 199 с.

10. Клещенко А.Д., Страшная А.И., Вирченко О.В., Чуб О.В., Хомякова Т.В., Задорнова О.И. Мониторинг засух на основе наземной и спутниковой информации // Труды ВНИИСХМ. 2013. Вып. 38. С. 87–108.

THE USE OF SATELLITE INFORMATION IN OPERATIONAL AGROMETEOROLOGICAL MONITORING

A.D. Kleshchenko, O.V. Savitskaya

National Research Institute of Agricultural Meteorology, Obninsk, Russia,
cxm-dir@obninsk.ru

Summary: A description of monitoring technologies for assessing the condition, and productivity of grain crops, and also drought monitoring based on the integration of ground-based meteorological and satellite information developed at the NRIAM is given. The possibility of using satellite information in real time to solve problems of agrometeorological monitoring is shown.

Keywords: vegetation indices, meteorological information, yield, monitoring, drought.

УДК 551.582.2

КЛИМАТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ МЕТЕОПАРАМЕТРОВ ЗИМЫ, ВЛИЯЮЩИХ НА УРОЖАЙНОСТЬ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В ЦЕНТРАЛЬНО-ЧЕРНОЗЕМНОМ ЭКОНОМИЧЕСКОМ РАЙОНЕ

И.А. Смирнов¹, Е.А. Дронова¹

¹ *Российский государственный аграрный университет – МСХА
имени К. А. Тимирязева, Москва, ivan-2-2-99@yandex.ru, edronova@rgau-msha.ru*

Аннотация: *на основе данных за период с 1993 по 2022 год оценены изменения метеопараметров зимы, влияющих на урожайность озимой пшеницы в областях Центрально-Черноземного экономического региона. В частности, рассмотрены такие показатели как: средняя температура воздуха самого холодного месяца и самой холодной пятидневки, продолжительность периода между датами устойчивого перехода температуры воздуха через 0°C осенью и весной, а также сумма отрицательных температур воздуха за этот период.*

Ключевые слова: *многолетние изменения, температура воздуха, зимний период, даты перехода через 0°C, линия тренда, ЦЧЭР.*

Актуальность. В период перезимовки озимых зерновых культур на растения оказывает воздействие множество факторов, в том числе и метеорологических, связанных с температурой воздуха и почвы, осадками, снежным покровом и т.д. Действуя отдельно или в совокупности, они могут повлиять на продуктивность озимых сельскохозяйственных культур и вызвать снижение итогового урожая. На фоне наблюдающихся климатических изменений важно следить за многолетней динамикой этих метеопараметров, чтобы оценить их вклад в колебания урожайности озимых зерновых культур.

В свою очередь по данным Росстата Центрально-Черноземный экономический район (ЦЧЭР), который включает в себя Липецкую, Белгородскую, Тамбовскую, Воронежскую и Курскую области, можно назвать одним из ключевых и наиболее благоприятных регионов для производства зерна озимой пшеницы в России [1].

В ряде работ исследователи оценивали климатические изменения условий перезимовки озимой пшеницы в рассматриваемом регионе [2-6]. Однако зачастую в них оценивалось изменение метеопараметров зимы без привязки к фактическим данным об урожайности озимой пшеницы, или же рассматривались отличные от используемых в нашем исследовании временные рамки.

Ранее мы, в ходе нашего исследования влияния изменений климата на продуктивность озимой пшеницы в областях ЦЧЭР, провели корреляционно-регрессионный анализ, направленный на оценку моделей парной регрессии между урожайностью данной культуры и 21 метеопараметром зимы за период с 1993 по 2022 год. Так как все коэффициенты детерминации для полученных моделей были меньше 0,5, мы отобрали для анализа лишь те зависимости, которые можно назвать статистически значимыми, основываясь на оценке критерия Фишера и Р-значений [7]. Такого рода зависимости могут быть более выраженными при наличии более обширного объема данных.

В итоге нами было выделено четыре параметра перезимовки, при которых статистически значимые зависимости урожайности отмечаются во всех пяти областях ЦЧЭР. Это: средняя температура воздуха самого холодного месяца и самой холодной пятидневки, продолжительность периода между датами устойчивого перехода температуры воздуха через 0°C осенью и весной, а также сумма отрицательных температур воздуха за этот период. В данном же исследовании мы оценим многолетние изменения этих четырех показателей за период с 1993 по 2022 год, и отдельные десятилетия.

Объекты и методы исследования. При проведении данного исследования использовались многолетние данные о средней температуре воздуха, на основе которых также были определены даты устойчивого перехода температуры воздуха через 0°C. Используемые метеоданные были взяты из базы данных Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – мировой центр данных (ВНИИГМИ-МЦД) по метеостанциям: Поньри, Курск, Рылск – север, центр и запад Курской области, Каменная Степь и Воронеж – центр и север Воронежской, Тамбов – центр Тамбовской, Готня, Валуйки, Богородицкое-Фенино – запад, юго-восток и север Белгородской, Конь-Колодезь – юг Липецкой [8]. Эти метеостанции были взяты как единственные в регионе с доступным для использования набором метеоданных за период с 1993 по 2022 год.

За каждый год тридцатилетнего периода нами было определено число дней между датами устойчивого перехода температуры воздуха через 0°C осенью и весной, суммы отрицательных температур воздуха между этими датами, а также значения средней температура воздуха самого холодного месяца и самой холодной пятидневки за период перезимовки озимой пшеницы.

Полученные результаты по двум – трем метеостанциям в Воронежской, Белгородской и Курской областях были осреднены и приняты как среднеобластные значения, в тоже время для Липецкой и Тамбовской областей за такие значения приняты данные единственных метеостанций.

Как уже было отмечено, анализ проведен за тридцатилетний период с 1993 по 2022 год, а также за отдельные десятилетия: 1993-2002, 2003-2012 и 2013-2022.

Обсуждение результатов. В таблицах 1 – 4 представлены средние значения и уравнения линий тренда для рассматриваемых параметров за тридцатилетний период и отдельные десятилетия. Рассмотрим их подробнее.

Как видно по таблице 1 показатель со средней температуры воздуха за самый холодный месяц имеет положительный тренд во всех пяти областях ЦЧЭР, наиболее выраженный в Воронежской и Белгородской. Но при рассмотрении отдельных десятилетий видно, что в период с 2003 по 2012 год температура самого холодного месяца имела тенденцию к понижению. Однако за последние десять рассматриваемых лет такие температуры значительно выросли, в том числе и на фоне периода 1993-2002 гг.

Наименьшее значение средней температуры воздуха за самый холодный месяц во всех областях пришлось на зиму 2009-2010 гг.: -18,1°C в Тамбовской, -16,7°C в Липецкой, -14,4°C в Воронежской, -13,8°C в Курской и -12,2°C в

Белгородской. Наибольшее отмечено в сезоне 2019-2020 гг.: -1,8°C, -1,2°C, - 0,9°C, -0,8°C и -0,7°C соответственно.

Таблица 1

Средние многолетние значения и уравнения линии тренда средней температуры воздуха за самый холодный месяц в областях ЦЧЭР

Область		1993-2022 гг.	1993-2002 гг.	2003-2012 гг.	2013-2022 гг.
Тамбовская	Среднее, °С	-9,8	-9,7	-11,8	-7,9
	Ур. Линии тренда	$y = 0,082x - 11,082$	$y = 0,212x - 10,853$	$y = -0,349x - 9,913$	$y = 0,209x - 9,047$
Липецкая	Среднее, °С	-8,8	-8,9	-10,7	-6,9
	Ур. Линии тренда	$y = 0,095x - 10,321$	$y = 0,34x - 10,78$	$y = -0,404x - 8,507$	$y = 0,219x - 8,107$
Воронежская	Среднее, °С	-8,4	-8,7	-10,1	-6,4
	Ур. Линии тренда	$y = 0,107x - 10,09$	$y = 0,297x - 10,373$	$y = -0,402x - 7,903$	$y = 0,233x - 7,72$
Белгородская	Среднее, °С	-7,6	-8,1	-8,9	-5,8
	Ур. Линии тренда	$y = 0,107x - 9,242$	$y = 0,19x - 9,153$	$y = -0,35x - 6,938$	$y = 0,257x - 7,202$
Курская	Среднее, °С	-8	-8,2	-9,4	-6,5
	Ур. Линии тренда	$y = 0,08x - 9,25$	$y = 0,129x - 8,878$	$y = -0,299x - 7,753$	$y = 0,238x - 7,832$

Стоит отметить, что с 1993 по 2002 год в областях ЦЧЭР декабрь был самым холодным месяцем зимы 6 раз из 10 лет, но начиная с 2003 года таковым он был лишь в зимнем сезоне 2012-2013 гг. в Воронежской, Курской и Белгородской областях. Еще пару раз он был отмечен как самый холодный на отдельных метеостанциях в Воронежской (2017 год) и Курской (2015 год) областях. С 2003 года январь и февраль были самыми холодными месяцами зимы примерно одинаковое количество раз, с небольшим перевесом в сторону января. При этом за период 2003-2012 гг. чаще самым холодным месяцем был февраль, а за последние десять лет январь.

Самые холодные пятнадцатидневки как правило приходятся на самый холодный месяц зимнего сезона. В связи с этим средние температуры воздуха за самую холодную пятнадцатидневку в целом имеют схожую многолетнюю динамику значений с аналогичными показателями для самого холодного месяца (табл. 2). Также по всем пяти областям отмечается положительный тренд при оценке тридцатилетнего периода и отрицательный при рассмотрении периода с 2003 по 2012 гг. Однако

разница между средними значениями этого показателя за периоды 1993-2002 гг. и 2003-2012 гг. здесь в целом значительно ниже.

Таблица 2

Средние многолетние значения и уравнения линии тренда средней температуры воздуха за самую холодную пятидневку в областях ЦЧЭР

Область		1993-2022 гг.	1993-2002 гг.	2003-2012 гг.	2013-2022 гг.
Тамбовская	Среднее, °С	-19,5	-20,1	-21,3	-17,3
	Ур. Линии тренда	$y = 0,138x - 21,661$	$y = 0,161x - 20,967$	$y = -0,442x - 18,82$	$y = 0,609x - 20,607$
Липецкая	Среднее, °С	-18,7	-20,1	-20	-16,1
	Ур. Линии тренда	$y = 0,186x - 21,604$	$y = 0,407x - 22,307$	$y = -0,746x - 15,887$	$y = 0,59x - 19,33$
Воронежская	Среднее, °С	-17,7	-18,9	-19	-15,2
	Ур. Линии тренда	$y = 0,176x - 20,396$	$y = 0,481x - 21,5$	$y = -0,79x - 14,64$	$y = 0,637x - 18,68$
Белгородская	Среднее, °С	-16,7	-17,6	-17,7	-14,7
	Ур. Линии тренда	$y = 0,147x - 18,936$	$y = 0,451x - 20,071$	$y = -0,603x - 14,362$	$y = 0,653x - 18,293$
Курская	Среднее, °С	-16,8	-18,2	-17,5	-14,8
	Ур. Линии тренда	$y = 0,175x - 19,547$	$y = 0,518x - 21,004$	$y = -0,517x - 14,698$	$y = 0,704x - 18,667$

Наиболее высокие температуры воздуха за самую холодную пятидневку были также отмечены зимой 2019-2020 гг.: -9,2°С в Тамбовской, -8,3°С в Воронежской, -8,2 в Белгородской, -8,0°С в Липецкой и -7,0°С в Курской областях. Наименьшие же значения этого показателя были отмечены в сезоне 2005-2006 гг.: -27,8°С в Тамбовской, -24,2°С в Курской и Белгородской областях. В Липецкой и Воронежской они были зафиксированы зимой 2009-2010 гг. и составили -27,4°С и -25,1°С соответственно.

Теперь рассмотрим изменение продолжительности периода между датами устойчивого перехода температуры воздуха через 0°С осенью и весной (табл. 3).

По данным за тридцать лет во всех пяти областях наблюдается отрицательный тренд этого показателя, число дней за этот период становится меньше. Среднее значение за 2013-2022 гг. примерно на 18 – 25 дней меньше, чем за 1993-2002 гг. Однако в тоже время при рассмотрении отдельных десятилетий видно, что в последние десять лет продолжительность этого периода имеет тенденцию к увеличению и демонстрирует положительный тренд во всех пяти областях. В Тамбовской, Липецкой и Воронежской областях такой тренд отмечен также и за 2003-2012 гг.

Таблица 3

Средние многолетние значения и уравнения линии тренда продолжительности периода между датами устойчивого перехода температуры воздуха через 0°C осенью и весной в областях ЦЧЭР

Область		1993-2022 гг.	1993-2002 гг.	2003-2012 гг.	2013-2022 гг.
Тамбовская	Среднее, дни	119	133	116	108
	Ур. Линии тренда	$y = -1,049x + 135,23$	$y = -0,376x + 134,87$	$y = 0,885x + 111,53$	$y = 1,327x + 100,4$
Липецкая	Среднее, дни	111	121	111	101
	Ур. Линии тренда	$y = -0,921x + 125,2$	$y = -1,879x + 131,53$	$y = 1,121x + 104,73$	$y = 0,527x + 97,8$
Воронежская	Среднее, дни	111	120	111	102
	Ур. Линии тренда	$y = -0,821x + 123,79$	$y = -2,452x + 133,13$	$y = 0,555x + 108,4$	$y = 0,812x + 97,633$
Белгородская	Среднее, дни	103	114	104	92
	Ур. Линии тренда	$y = -1,138x + 120,6$	$y = -3,853x + 134,89$	$y = -0,776x + 107,87$	$y = 0,416x + 89,311$
Курская	Среднее, дни	110	123	107	100
	Ур. Линии тренда	$y = -1,051x + 126,37$	$y = -2,447x + 136,09$	$y = -0,273x + 108,73$	$y = 1,073x + 94,467$

Дополнительно кратко рассмотрим изменение в датах устойчивого перехода температуры воздуха через 0°C осенью и весной.

Таблица 4

Средние многолетние значения дат устойчивого перехода температуры воздуха через 0°C осенью и весной в областях ЦЧЭР

Область		1993-2022	1993-2002	2003-2012	2013-2022
Тамбовская	Осень	22.ноя	15.ноя	26.ноя	25.ноя
	Весна	20.мар	26.мар	22.мар	12.мар
Липецкая	Осень	26.ноя	17.ноя	30.ноя	30.ноя
	Весна	16.мар	17.мар	20.мар	10.мар
Воронежская	Осень	25.ноя	17.ноя	29.ноя	29.ноя
	Весна	15.мар	15.мар	20.мар	10.мар
Белгородская	Осень	28.ноя	19.ноя	02.дек	04.дек
	Весна	11.мар	13.мар	16.мар	06.мар
Курская	Осень	25.ноя	16.ноя	01.дек	29.ноя
	Весна	14.мар	17.мар	18.мар	08.мар

Как видно из таблицы 4 средняя дата устойчивого перехода температуры воздуха через 0°C осенью в 2003-2012 гг. в областях ЦЧЭР стала наступать

примерно на 11–15 дней позже, чем в 1993–2002 гг. В тоже время весной она также отмечалась позже на 1–5 дней во всех областях, кроме Тамбовской.

В свою очередь за последние десять лет устойчивый переход температуры воздуха через 0°C весной стал отмечаться примерно на 10 дней раньше, чем за период 2003–2012 гг., в то время как средние даты перехода через 0°C осенью практически не изменились.

Таблица 5

Средние многолетние значения и уравнения линии тренда сумм отрицательных температур воздуха за период между датами устойчивого перехода температуры воздуха через 0°C осенью и весной в областях ЦЧЭР

Область		1993-2022 гг.	1993-2002 гг.	2003-2012 гг.	2013-2022 гг.
Тамбовская	Среднее, °С	-781,4	-842,8	-869,4	-632
	Ур. Линии тренда	$y = 10,55x - 944,94$	$y = 32,902x - 1023,8$	$y = -8,52x - 822,54$	$y = 7,535x - 673,48$
Липецкая	Среднее, °С	-683,5	-758,1	-757,8	-534,5
	Ур. Линии тренда	$y = 11,324x - 858,97$	$y = 36,528x - 958,97$	$y = -10,061x - 702,43$	$y = 11,072x - 595,43$
Воронежская	Среднее, °С	-650,8	-723,5	-715,6	-513,3
	Ур. Линии тренда	$y = 10,651x - 815,89$	$y = 38,547x - 935,51$	$y = -11,057x - 654,78$	$y = 7,898x - 556,76$
Белгородская	Среднее, °С	-567	-643,4	-620,3	-437,4
	Ур. Линии тренда	$y = 10,836x - 734,98$	$y = 36,011x - 841,45$	$y = -1,925x - 609,69$	$y = 11,433x - 500,28$
Курская	Среднее, °С	-603,8	-677,4	-659,7	-474,3
	Ур. Линии тренда	$y = 10,823x - 771,59$	$y = 33,504x - 861,71$	$y = 0,923x - 664,82$	$y = 14,205x - 552,44$

Наконец, оценим изменение сумм отрицательных температур воздуха за период между датами устойчивого перехода через 0°C осенью и весной (табл. 5). По данным за тридцатилетний период во всех пяти областях отмечается положительный тренд для этого показателя, т.е. за зиму накапливается меньше отрицательных температур, что объясняется, собственно, ростом средних температур воздуха (потеплением) и уменьшением продолжительности периода между датами устойчивого перехода через 0°C. Тем не менее за период 2003–2012 гг. во всех областях, кроме Курской, отмечена тенденция к увеличению сумм отрицательных температур воздуха, которая в 2013–2022 опять сменяется их снижением.

Наибольшая сумма отрицательных температур воздуха отмечена в Тамбовской области в сезоне 2002–2003 гг. и составила -1238°C, в остальных

областях максимум был отмечен зимой 1995-1996 гг.: -1233°C, -1157°C, -1154°C, -1100°C в Липецкой, Курской, Воронежской и Белгородской соответственно. Минимум во всех областях отмечен в сезоне 2019-2020 гг.: -235°C в Тамбовской, -177°C в Воронежской, -170°C в Липецкой, -134°C в Курской и -113°C в Белгородской областях соответственно. Начиная с 2013 года сумма отрицательных температур воздуха ни разу не превысила 800°C в Тамбовской (кроме 2021 года) и Липецкой областях, 700°C в Воронежской и Курской, 600°C в Белгородской.

Заключение. На основе доступных метеорологических данных мы оценили климатические изменения параметров зимнего периода, влияющих на урожайность озимой пшеницы в областях ЦЧЭР. Среди этих параметров: средняя температура воздуха самого холодного месяца и самой холодной пятидневки, продолжительность периода между датами устойчивого перехода температуры воздуха через 0°C осенью и весной, а также сумма отрицательных температур воздуха за этот период. Дополнительно мы оценили изменения дат устойчивого перехода температуры воздуха через 0°C. Анализ проведен за тридцатилетний период с 1993 по 2022 год, а также за отдельные десятилетия – 1993-2002 гг., 2003-2012 гг. и 2013-2022 гг.

В результате анализа за рассматриваемый тридцатилетний период во всех пяти областях ЦЧЭР наблюдается тенденция к росту средней температуры воздуха за самый холодный месяц и пятидневку, причем если до 2003 года в больше чем в половине случаев таким месяцем был декабрь, то после он таковым практически не был. В 2003-2012 гг. наиболее холодным месяцем чаще был февраль, а последние десять лет январь. Также за тридцать рассматриваемых лет отмечается тенденция к уменьшению продолжительности периода между датами перехода температуры воздуха через 0°C. В 2003-2012 гг. такая дата осенью стала отмечаться на 11–15 дней позже, а в 2013-2022 гг. весной на 10 дней раньше. Изменение этих двух показателей также характеризуют уменьшение сумм отрицательных температур воздуха за период между датами устойчивого перехода температуры воздуха через 0°C.

При рассмотрении отдельных десятилетий можно отметить, что в 1993-2002 гг. и 2013-2022 гг. наблюдаются схожие тенденции, что и при оценке тридцатилетнего периода. В тоже время в 2003-2012 гг. отмечена тенденция к похолоданию. Отметим также, что в трех областях в 2003-2012 гг., а в 2013-2022 гг. уже во всех пяти наблюдается положительный тренд, и как следствие

тенденция к увеличению, продолжительности периода между датами устойчивого перехода температуры воздуха через 0°C.

Библиографический список

1. Бюллетени о состоянии сельского хозяйства [Электронный ресурс]. – Федеральная служба государственной статистики. – URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13277> (дата обращения 18.09.2023).
2. Тарасова Л.Л. Оценка агрометеорологических показателей условий зимовки озимых зерновых культур в центральных черноземных областях в условиях климатических изменений // Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации, 2016, № 360, с. 26-44.
3. Моисейчик В.А., Богомолова Н.А., Страшная А.И., Максименкова Т.А. Влияние глобального изменения климата на агрометеорологические условия перезимовки и формирования урожая озимых зерновых культур в России за последние 50 лет // Труды ВНИИСХМ. – 2007. – Вып. 36. – С. 106–132.
4. Толстопятова О.С., Голованова Е.В., Толстопятов С.Н. Зависимость урожайности основных сельскохозяйственных культур Белгородской области от климатических показателей // Инновации в АПК: проблемы и перспективы, 2019, № 1(21), с. 141-147.
5. Белолобцев А.И., Суховеева О.Э., Асауляк И.Ф. Агроклиматическая оценка продуктивности озимой пшеницы на склоновых землях // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2012. № 2. С. 46-57.
6. Белолобцев А.И., Асауляк И.Ф. Агроклиматическое обеспечение продукционных процессов сельскохозяйственных культур в условиях центрального района Нечерноземной зоны // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2013. № 4. С. 66-84.
7. Кеткина О.С. Возможности MS Excel для регрессионного анализа. Екатеринбург: УрФУ, 2020. 43 с.
8. Булыгина О. Н. Описание массива срочных данных об основных метеорологических параметрах на станциях России [Электронный ресурс] / О. Н. Булыгина, В. М. Веселов, В. Н. Разуваев, Т. М. Александрова // Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014620549. URL: <http://meteo.ru/data/163-basic-parameters#описание-массива-данных> (Дата обращения 07.11.2023).

CLIMATIC ASSESSMENT OF CHANGES IN WINTER METEOROLOGICAL PARAMETERS AFFECTING THE YIELD OF WINTER WHEAT IN THE CENTRAL BLACK EARTH ECONOMIC REGION

I.A. Smirnov, E.A. Dronova

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy,
Moscow, ivan-2-2-99@yandex.ru, edronova@rgau-msha.ru

Summary: based on data for the period from 1993 to 2022, changes in winter meteorological parameters affecting the yield of winter wheat in the regions of the Central Black Earth Economic Region are estimated. In particular, such indicators are considered as: the average air temperature of the coldest month and the coldest five-day period, the duration of the period between the dates of a steady transition of air temperature through 0°C in autumn and spring, as well as the sum of negative air temperatures for this period.

Key words: long-term changes, air temperature, winter period, dates of transition through 0°C, trend line, CBEER.

УДК 551.502.42

ОЦЕНКА ОБЪЕМНОЙ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ РЕАНАЛИЗА ERA5-LAND ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ ВЛАГОЗАПАСОВ В РЕГИОНАХ ЕТР

П.С. Кланг¹, В.М. Хан¹, Л.Л. Тарасова¹

¹ *Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации, Москва, ais@mecom.ru*

***Аннотация:** выполнен корреляционный анализ объемной влажности почвы реанализа ERA5-Land и запасов продуктивной влаги, измеренных на станциях сети Росгидромета, для различных типов почв европейской части России за вегетационные периоды 2011-2023 годов.*

***Ключевые слова:** влажность почвы, ERA5-Land, запасы продуктивной влаги.*

Актуальность. В целом за последние 50 лет аграрное производство и продуктивность сельскохозяйственных культур увеличилась [1]. По экспертным оценкам, приведенным в Третьем оценочном докладе Росгидромета, к середине XXI века при изменении погодно-климатических факторов в будущем возможно увеличение аридности климата в основных зернопроизводящих районах европейской территории России, причём наибольшие потери урожая ожидаются центрально-чернозёмных областях [2]. Снизить зависимость продуктивности растений от атмосферных явлений возможно только при своевременном проведении адаптационных мер с учётом оперативного агрометеорологического мониторинга, что позволит Российской Федерации продолжить обеспечивать собственную продовольственную безопасность.

Обсуждение результатов. Продуктивность сельскохозяйственных культур обуславливается двумя основными агрометеорологическими ресурсами: ФАР и почвенной влагой. Однако в формировании конечной продуктивности значительную роль играет культура земледелия. В компетенции аграрного метеоролога находится мониторинг за температурно-влажностным режимом воздуха и почвы, состоянием посевов и их продуктивностью, наличием и интенсивностью опасных явлений погоды.

Отдел агрометеорологических прогнозов ФГБУ «Гидрометцентр России» ежедекадно производит подобный мониторинг, а также формирование баз данных. Так, был произведен анализ исторического архива средних за декаду запасов продуктивной влаги под яровыми зерновыми культурами по основным зернопроизводящим территориям Европейской части России в метровом слое почвы с 1958 по настоящее время. Анализ данных позволил сделать вывод, что в большинстве районов европейской части России влагообеспеченность сельскохозяйственных культур существенно повысилась, а аномалии влагозапасов имеют квазидвухлетнюю цикличность, объясняемую циклами Северо-Атлантического колебания [3].

Специфика архивных данных предполагает их использование лишь в исследованиях климата. Для продления ряда архивных данных и уточнения данных оперативного архива, а также расширения возможностей прогнозирования условий увлажнения почвы, авторами была предпринята попытка оценки объемной влажности почвы по набору данных ERA5-Land по данным стационарных наблюдений для различных типов почв европейской территории России.

ERA5-Land – расширенный набор данных реанализа для наземного компонента, представленный Европейским центром среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF) совместно со службой изменения климата Коперникус (C3S). Набор данных ERA5-L охватывает период с 1950-го года до настоящего времени, с задержкой поступления данных по времени от 2 до 3 месяцев по сравнению с реальным временем. Набор данных ERA5-L имеет улучшенное горизонтальное расширение, которое составляет около 9 км, или 0,1°. Среди многочисленных компонент реанализа интегрированная система прогнозирования ECMWF представляет данные о почвенной влаге. Почвенная влага представлена в объёмном виде ($\text{м}^3\text{м}^{-3}$) по трем слоям почвенного горизонта (0-7 см, 7-28 см, 28-100 см и 100-289 см). В модельных данных объём влаги в почве зависит от её структуры (классификации), глубины залегания и уровня грунтовых вод [4, 5]. Сам реанализ ERA5 основан на интегрированной системе прогнозирования, учитывающей ряд разработок в области моделей физики и ассимиляции данных [6].

Для проведения исследования были отобраны данные реанализа ERA5-Land по трем слоям почвы с апреля 2011 года по октябрь 2023 года подекадно (8, 18, 28 числа месяца, в дни, в которые наблюдатели на агрометеорологических станциях отбирают пробы на с.-х. полях [7]).

ГМС сети Росгидромета	Координаты	
	Широта	Долгота
Белогорка Ленинградская обл.	59,350	30,133
Плавск Тульская обл.	53,650	37,233
Каменная Степь Воронежская обл.	51,050	40,700
Гигант Ростовская обл.	46,516	41,350
Бугульма Респ. Татарстан	54,583	52,800
Сорочинск Оренбургская обл.	52,433	53,133



Рис. 1. Географическое расположение агрометеорологических станций Росгидромета, рассматриваемых в исследовании

Для первичной оценки объемной влажности почвы были выбраны пять станций метеорологической сети Росгидромета (рисунок 1) с наиболее широкой географией и различными типами почв, ведущих ежедекадные наблюдения за влажностью почвы. Результаты этих наблюдений рассчитываются для слоёв 0-10 см, 0-20 см, 0-50 см, 0-100 см и передаются в Гидрометцентр.

Таким образом, у нас было два источника информации: частые по пространству и времени данные моделирования объёмной влажности почвы, но с неизвестным качеством, и редкие по пространству, ежедекадные, но с высоким качеством наблюдения запасов продуктивной влаги на станциях.

Основной задачей проведенного исследования была оценка качества воспроизведения условий увлажнения почвы по данным реанализа и возможность его дальнейшего использования для диагностирования почвенных засух и климатических исследований.

Т.к. на станциях влагозапасы в почве определяются в период активной вегетации культуры (от сева до молочной спелости), то для удлинения сезонного хода были выбраны значения запасов продуктивной влаги на участках с озимыми и ранними яровыми зерновыми культурами. В декады, когда наблюдения влагозапасов под этими культурами были параллельными, были рассчитаны средние значения для каждого из слоев почвы.

Таблица 1

Метеорологические станции сети Росгидромета

ГМС сети Росгидромета	Тип почвы*1	Количество наблюдений				
		ERA5-L		по станциям		
		0-7см, 7-28см, 28-100см 100-289 см	0-10см	0-20см	0-50см	0-100см
Белогорка Ленинградская обл.	Дерново-среднеподзолистая	252	202	202	202	82
Плавск Тульская обл.	Чернозем выщелоченный, тяжелосуглинистый	252	148	148	148	148
Каменная Степь Воронежская обл.	Чернозем обыкновенный тяжелосуглинистый	252	191	191	184	184
Гигант Ростовская обл.	Чернозем предкавказский	252	191	191	184	184
Бугульма Респ. Татарстан	Чернозем типичный тяжелоглинистый	252	177	177	177	177
Сорочинск Оренбургская обл.	Чернозем южный супесчаный	252	79	79	79	79

В таблице 1 представлены типы почвы и количество наблюдений, взятых на различных почвенных слоях. Тип почвы в таблице 1 определен по таблицам ТСХ-5, включающих в себя все значения агрогидрологических свойств почвы, необходимых при проведении контроля влажности почвы в соответствии с РД 52.33.219–2002 [7].

Далее был произведен корреляционный анализ значений запасов продуктивной влаги и объёмной влажности почвы по данным реанализа ERA5-Land и оценена значимость коэффициентов корреляции по методу Пирсона (таблица 2). Умеренная и значительная теснота связи выявлена между запасами продуктивной влаги во всех слоях почвы и первыми тремя слоями ERA5-L. Тесная связь отмечается между значениями реанализа в слое почвы 0-7 см и влагозапасами в слоях 0-10 и 0-20 см. Коэффициенты корреляции в этом случае составляли от 0,59 до 0,82, за исключением АМП «Сорочинск» (количество фактических наблюдений в котором оказалось самым низким).

Таблица 2

Значения коэффициентов корреляции, между запасами продуктивной влаги и значениями реанализа

		Запасы продуктивной влаги в слоях почвы, мм								
		0-10	0-20	0-50	0-100	0-10	0-20	0-50	0-100	
ERA5-L, m ³ m ⁻³		Белогорка				Бугульма				
	0-7	0,62	0,59	0,56	0,53	0,64	0,61	0,50	0,32	0-7
	7-28	0,72	0,70	0,66	0,70	0,68	0,68	0,61	0,46	7-28
	28-100	0,62	0,61	0,60	0,65	0,50	0,55	0,61	0,61	28-100
		Плавск				Гигант				
	0-7	0,62	0,63	0,61	0,67	0,82	0,75	0,61	0,54	0-7
	7-28	0,56	0,58	0,58	0,62	0,84	0,84	0,75	0,68	7-28
	28-100	0,24	0,25	0,23	0,23	0,56	0,63	0,71	0,75	28-100
		Каменная Степь				Сорочинск				
	0-7	0,75	0,68	0,54	0,45	0,55	0,52	0,45	0,36	0-7
	7-28	0,51	0,47	0,36	0,28	0,51	0,52	0,51	0,43	7-28
	28-100	0,51	0,52	0,51	0,49	0,43	0,45	0,50	0,50	28-100
	0-10	0-20	0-50	0-100	0-10	0-20	0-50	0-100		

Столь высокие коэффициенты корреляции влажности почвы приземных и неглубоких слоев могут объясняться использованием разработчиков ERA5-L данных дистанционного зондирования, таких как ветер и влажность почвы, получаемых с приборов ASCAT спутников MetOp-B [6]. Значимые коэффициенты

так же были получены между третьим почвенным слоем реанализа и слоями 0-50 и 0-100 см (0,50-0,70, за исключением АМП «Плавск»).

Значительная корреляционная связь между всеми слоями почвы и данными реанализа отмечается между всеми станциями. Наиболее высокие значения коэффициентов корреляции получены по станциям Гигант, Белогорка и Каменная Степь. Вероятно, такое распределение связано с механическим составом почв: в более тяжелых почвах с большим содержанием глины (дерново-среднеподзолистая почва, черноземы обыкновенный тяжелоглинистый или тяжелосуглинистый и предкавказский) происходит более равномерное распределение влаги по почвенному профилю, чем в более легких почвах (чернозем южный супесчаный) [8].

Стоит отметить, что значение коэффициентов корреляции достаточно логично и наблюдается уменьшение тесноты связи при рассмотрении приземных и более глубоких слоев почвы (например, коэффициент корреляции первого объемного слоя почвы с контрольным слоем 0-100 см не превышает 0,53).

Заключение. В работе был произведен корреляционный анализ между значениями объемной влажности почвы по данным ERA5-Land и запасами продуктивной влаги по данным пяти контрольных станций наблюдательной сети Росгидромета. На всех станциях получены значимые коэффициенты корреляции. Таким образом, данные реанализа ERA5-Land можно использовать для изучения особенностей увлажнения почвы.

Библиографический список

1. Shukla P.R., Skea J., Slade R., Khourdajie A. Al, van Diemen R., McCollum D., Pathak M., Some S., Vyas P., Fradera R., Belkacemi M., Hasija A., Lisboa G., Luz S., Malley J. IPCC, 2022: Summary for Policymakers [Текст] / Shukla P.R., Skea J., Slade R., Khourdajie A. Al, van Diemen R., McCollum D., Pathak M., Some S., Vyas P., Fradera R., Belkacemi M., Hasija A., Lisboa G., Luz S., Malley J. 2022. 63 p.
2. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме [Текст] / Том 3. СПб.: Наукоемкие технологии, 2022. 124 с.
3. Тарасова, Л. Л., Кланг, П. С. Режим влажности почвы в сельскохозяйственных районах европейской территории России, как результат региональных проявлений изменения климата / Л. Л. Тарасова, П. С. Кланг [Текст] // Материалы IV Международной научной конференции «Тенденции развития агрофизики: от

актуальных проблем земледелия и растениеводства к технологиям будущего» ФГБНУ АФИ. Санкт-Петербург: ФГБНУ АФИ, 2023. С. 721 с.

4. Parameter detail / [Электронный ресурс] // European Centre for Medium-Range Weather Forecasts : [сайт]. URL: <https://codes.ecmwf.int/grib/param-db/40> (дата обращения: 22.02.2024).

5. ERA5-Land hourly data from 1950 to present / [Электронный ресурс] // The Climate Data Store | Copernicus: [сайт]. URL: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-land?tab=overview> (дата обращения: 22.02.2024).

6. Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Abdalla, S., Abellan, X., Balsamo, G., Bechtold, P., Biavati, G., Bidlot, J., Bonavita, M., De Chiara, G., Dahlgren, P., Dee, D., Diamantakis, M., Dragani, R., Flemming, J., Forbes, R., Fuentes, M., Geer, A., Haimberger, L., Healy, S., Hogan, R. J., Hólm, E., Janisková, M., Keeley, S., Laloyaux, P., Lopez, P., Lupu, C., Radnoti, G., de Rosnay, P., Rozum, I., Vamborg, F., Villaume, S., and Thépaut, J.-N. The ERA5 global reanalysis [Текст] / Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Abdalla, S., Abellan, X., Balsamo, G., Bechtold, P., Biavati, G., Bidlot, J., Bonavita, M., De Chiara, G., Dahlgren, P., Dee, D., Diamantakis, M., Dragani, R., Flemming, J., Forbes, R., Fuentes, M., Geer, A., Haimberger, L., Healy, S., Hogan, R. J., Hólm, E., Janisková, M., Keeley, S., Laloyaux, P., Lopez, P., Lupu, C., Radnoti, G., de Rosnay, P., Rozum, I., Vamborg, F., Villaume, S., and Thépaut, J.-N. // Q J R Meteorol Soc. 2020. № 146. С. 1999–2049.

7. РД 52.33.217-99. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 11. Агрометеорологические наблюдения на станциях и постах. Ч.1. Основные агрометеорологические наблюдения. М.: Росгидромет. 2000. С 374.

8. Шеин Е.В., Судницын И.И. Уточненный метод определения коэффициента влагопроводности // Биологические науки. М.: издательство Высш. шк. 1975, № 6, с. 136-144

ESTIMATION OF VOLUMETRIC SOIL MOISTURE OF THE ECMWF REANALYSIS V5 - LAND (ERA5-LAND) BASED ON OBSERVATIONS OF MOISTURE RESERVES IN THE EUROPEAN PART OF RUSSIA

P.S. Klang, V.M. Khan, L.L. Tarasova

Hydrometeorological Reserch Center of Russian Federation, Moscow, ais@mecom.ru

Abstract: The article presents a performed correlation analysis of the volumetric soil moisture from the ERA 5-Land reanalysis and productive moisture reserves measured at the stations of the Roshydromet network for various types of soils in the European part of Russia for the growing seasons 2011-2023.

Keywords: soil moisture, ERA5-Land, reserves of productive moisture.

УДК 551.580

ОЦЕНКА ТЕНДЕНЦИЙ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СУТОЧНЫХ ОСАДКОВ НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА КРАСНОДАР

С.С. Давыдов¹

Научный руководитель – доц. С.М. Авдеев¹

¹ ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», Москва, avdeev@rgau-msha.ru

Аннотация: в проведенных исследованиях были рассмотрены суммы выпадающих осадков, а также изменения температуры воздуха за вегетационный период на территории города Краснодар.

Ключевые слова: осадки, экстремальные осадки, температура воздуха.

Актуальность. Изменение климата и увеличения числа опасных явлений погоды, оказывают влияние на все сферы жизни человека и отрасли экономика. В тоже время максимальные суточные осадки входят в формулу нормативных данных строительного СП по гидрологии для расчета максимального расхода воды с водосборов при отсутствии данных наблюдений. В этой связи мы поставили перед собой цель - сформировать статистические ряды максимальных суточных осадков и средним температурам вегетационного периода, по

репрезентативным данным на территории города Краснодар и проанализировать их.

Атмосферные осадки являются основным источником увлажнения суши. В условиях современного изменения климата необходимо контролировать их количество. От точности определения количества осадков зависит достоверность расчетов, относящихся к уравнениям водного баланса суши, связи теплового и водного балансов деятельной поверхности, водохозяйственным расчетам, в том числе и к оценке урожайности.

Современные климатические изменения, а именно повышение температуры воздуха, оказывают решающее влияние на формирование количества фактической природной влаги в границах одного региона или одной страны [1, 2, 3]. Это может непредсказуемо сказываться на продуктивности агроэкосистем, в том числе на кормовые угодья, на которых выращиваемые культуры достаточно требовательны к теплу и влаге [4, 5].

Тема изменения климата в настоящее время становится все более актуальной, так как количество стихийных бедствий резко возросло в последние годы, а погода становится все более непредсказуемой. Особенно тяжелые и редко выпадающие осадки очень важны из-за экстремальных гидрологических явлений, которые в будущем приведут к огромным экономическим потерям. Изучение динамики может помочь минимизировать ущерб от вредного воздействия изменения климата, уменьшить стихийные бедствия, а также дать возможность оценить степень воздействия человеческой деятельности на природу [2, 6, 7].

Обсуждение результатов. Для определения изменения метеорологических характеристик в данной работе были использованы многолетние данные по метеостанции (34927) «Круглик» Краснодар за 1963–2022 годы. По выбранной метеостанции были получены и обработаны базы данных суточных данных по осадкам и по средним температурам за вегетационный период, за выбранный период наблюдений. Для начала был построен график средних температур за вегетационный период (рис. 1) и на него была нанесена линия тренда, которая и показывает тенденцию изменения средних температур за выбранный временной период.

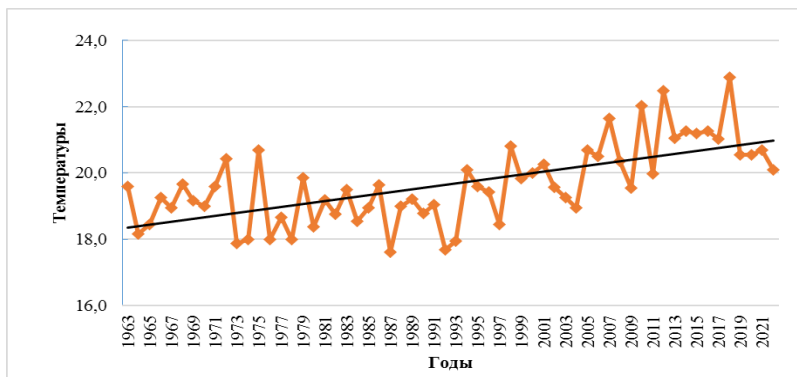


Рис. 1. График средних температур вегетационного периода Круглик, 1963-2022 гг

На рисунке 1 продемонстрирован график средних температур вегетационного периода для метеостанции Круглик (г. Краснодар), по выбранному временному периоду. Краснодар расположен на удалении от морского побережья, что наглядно видно на графике, благодаря тому, что линейный тренд находится на порядок выше горизонтали в 18, и лишь самые низкие средние показатели оказываются ниже этой горизонтали.

В результате можно отметить, что средние температуры на территории города Краснодар имеют тенденцию к увеличению. Их рост за последние 60 лет составил около 1,5-2 градуса Цельсия. Этот факт подтверждает возможность усиления экстремальных осадков и их частоты, на территории города, в частности из-за повышения температурного режима.

Далее после того, как был проведен температурный анализ территории, следующим шагом стал анализ непосредственно суточных осадков по данным метеостанции. Для оценочной работы, были отобраны данные превышающие показатели осадков более 10 мм за сутки. Это было сделано по причине того, что осадки ниже данных значений за сутки не несут значимых убытков, например эрозионных эффектов (за исключением продолжительных ливней), которые не рассматриваются работе. Поэтому работа проводилась с рядами отобранных, высоких значений осадков.

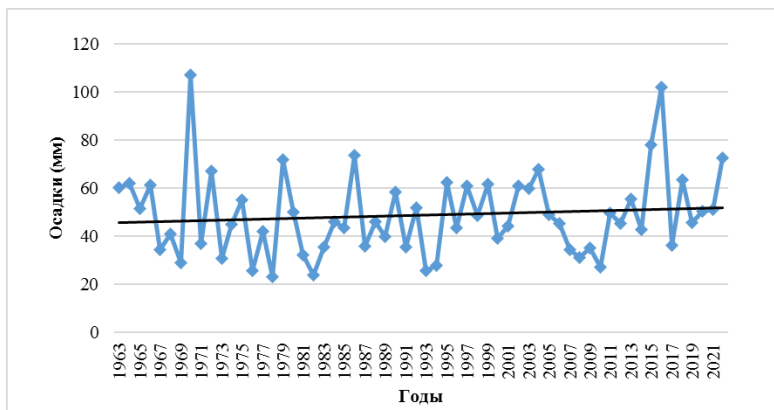


Рис. 2. Максимальные суточные осадки Круглик, 1963-2022 гг.

На рисунке 2 представлен график максимальных суточных осадков по метеостанции Круглик за период с 1963 по 2022 год. На нем, виден четкий восходящий линейный тренд. На графике по данной метеостанции прослеживается следующая ситуация по распределению экстремальных пиках: выделяются два пика максимальных показателей наблюдений в начале и в конце выбранного периода, когда в средней части, показатели достаточно однородны. Вторая половина ряда менее однородна и имеет больший разброс смежных значений.

Следующим этапом стало составление таблиц вероятностей превышения различных значений, представляющих собой таблицу из 2 рядов по 30 лет каждый. Расчет вероятности превышения производили по формуле:

$$P = \left(\frac{n}{m+1} \right) * 100, \quad (1)$$

где:

n – порядковый номер значения в таблице.

m – общее количество значений в ряду.

Таблица 1 является расчетом эмпирической вероятности превышения максимальных суточных осадков по метеостанции Круглик, за период с 1963 по 2022 годы. Она поделена на два равных периода по тридцать лет в каждом.

Показатели осадков во второй половине выше, чем в первой практически на всех значениях вероятностей превышения. Так значения при 96% вероятности превышения возрастают на 2,4 мм. С 23,3 мм до 25,7 мм. Рост наблюдается вплоть до 7% вероятности превышения, который составляет 4,7 мм. С 73,6 мм до 78,3 мм. В среднем рост составил примерно 3-5 мм.

Таблица 1

Расчет эмпирической вероятности превышения максимальных суточных осадков по метеостанции Круглик

№	1963–1992	Осадки	P	1993-2022	Осадки	P
1	1970	107,2	3,2	2016	102	3,2
2	1986	73,6	6,5	2015	78,3	6,5
3	1979	72	9,7	2022	72,8	9,7
4	1972	67,2	12,9	2004	67,9	12,9
5	1964	62	16,1	2018	63,6	16,1
6	1966	61,5	19,4	1995	62,6	19,4
7	1963	60,4	22,6	1999	61,6	22,6
8	1990	58,3	25,8	1997	61,2	25,8
9	1975	55,2	29,0	2002	60,9	29,0
10	1992	51,8	32,3	2003	60	32,3
11	1965	51,5	35,5	2013	55,4	35,5
12	1980	50,1	38,7	2021	51,3	38,7
13	1984	46,2	41,9	2020	50,5	41,9
14	1988	46,2	45,2	2011	49,9	45,2
15	1974	45,1	48,4	2005	48,9	48,4
16	1985	43,5	51,6	1998	48,8	51,6
17	1977	42,2	54,8	2019	45,9	54,8
18	1968	41,1	58,1	2006	45,4	58,1
19	1989	39,9	61,3	2012	45,3	61,3
20	1971	37,1	64,5	2001	44,2	64,5
21	1987	35,8	67,7	1996	43,4	67,7
22	1983	35,7	71,0	2014	43	71,0
23	1991	35,4	74,2	2000	39,3	74,2
24	1967	34,3	77,4	2017	36,4	77,4
25	1981	32,3	80,6	2009	35,3	80,6
26	1973	30,8	83,9	2007	34,3	83,9
27	1969	28,9	87,1	2008	31,1	87,1
28	1976	25,8	90,3	1994	28	90,3
29	1982	23,8	93,5	2010	27,1	93,5
30	1978	23,3	96,8	1993	25,7	96,8

После расчета эмпирических вероятностей превышения максимальных суточных осадков по выбранным метеостанциям, был построен график (рисунок 3) сравнений полученных данных, на котором наглядно видно превышение показателей более позднего временного периода, над начальным. Этот график демонстрирует различия двух рядов и проясняет некоторые закономерности.

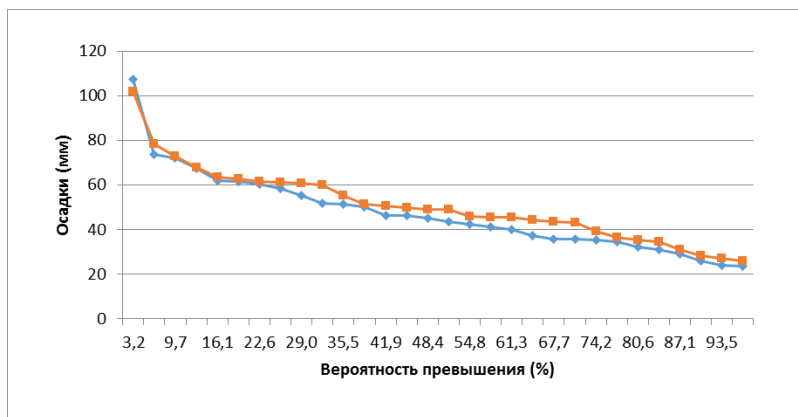


Рис. 3. Сравнительный график вероятностей превышения различных осадков за период 1963-2022 гг., Круглик

График, представленный на рисунке 3, демонстрирует рост показателей осадков с определенной обеспеченностью. По данному графику заметно, что значения низкой обеспеченности превышения выше во втором временном ряду. Так же на графике можно увидеть тенденцию на максимальный рост показателей обеспеченности превышения именно на показателях с низкой вероятностью превышения, а именно 3-15% вероятность, что еще раз показывает возрастание стратификации интенсивности осадков по годам и возрастанию колебаний данных параметров, что позволяет предположить дальнейшие усиления сильных ливневых осадков.

На рисунке 4 представлено увеличение числа дней в году с осадками всех трёх представленных интенсивностей. При наблюдается самый большой рост показателя дней с осадками более 10 мм.

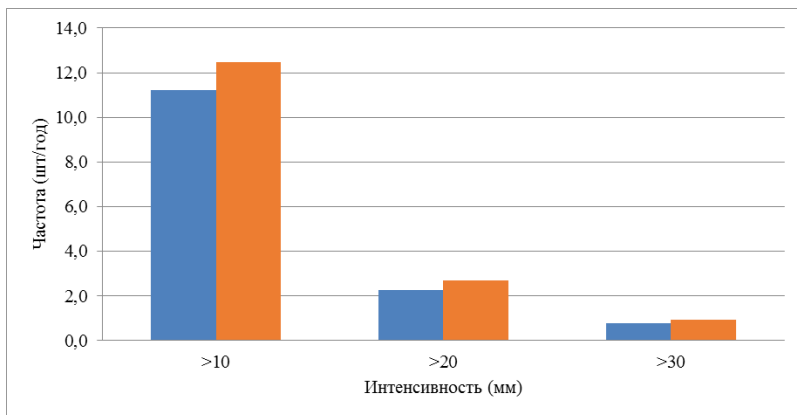


Рис. 4. Гистограмма Частоты дней с осадками выше определеннй значений
Круглик

В результате анализа гистограммы частоты дней с осадками выше определенных значений можно сделать вывод о том, что увеличились не только показатели максимальных (экстремальных) осадков, но и их частота.

Заключение. В данной работе были рассмотрены такие показатели как максимальные суточные осадки и средние температуры воздуха за вегетационный период. Были сформированы статистические ряды максимальных суточных осадков и на их основе проведена оценка с помощью построения графиков данных, на которые наносились линии тренда, которые продемонстрировали возрастание исследуемых показателей. Проверка повторяемости проводилась подсчётом количества дней с осадками различной обеспеченности и последующим построением гистограмм. Они продемонстрировали возрастание количества дней с сильными осадками на всех метеостанциях за последние 60 лет.

В итоге были выявлены тренды, как на возрастание максимальных значений осадков, так и увеличения частоты их выпадения. Так же были выявлены линейные тренды возрастания эмпирических вероятностей превышения значений различной обеспеченности, по второму временному периоду с 1993 по 2022 годы.

Библиографический список

1. Анисимов О. А. Пространственные и временные закономерности динамики температуры воздуха на территории России в 20 – начале 21 века /

О. А. Анисимов, Е.Л. Жильцова, В.А. Кокорев // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. 2011, Том XXIV. С. 80-93

2. Бедрицкий А.И., Коршунов А.А., Хандожко Л.А., Шаймарданов М.З. Основы оптимальной адаптации экономики России к опасным проявлениям погоды и климата // Метеорология и гидрология, №4, 2009. С. 5-14.

3. Дымников В.П., Лыкосов В.Н., Володин Е.М. и др. Моделирование климата и его изменений // Современные проблемы вычислительной математики и математического моделирования. Т. 2. Математическое моделирование. М.: Наука, 2005

4. Долголетие и урожайность злаковых трав газонного типа при использовании на кормовые цели / Н. Н. Лазарев, В. В. Соколова, Я. Г. Бутько, С. М. Авдеев // Кормопроизводство. 2019. № 2. С. 8-13. EDN ZJLUQF.

5. Клевер ползучий (*Trifolium repens* L.) в пастбищных экосистемах / Н. Н. Лазарев, О. В. Кухаренкова, А. Р. Тяжкороб, С. М. Авдеев // Кормопроизводство. 2020. № 8. С. 20-26. EDN HQVFKZ.

6. Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при наличии данных гидрометрических наблюдений. Гидрометиздат, 2005, 103 с.

7. Гидрометцентр России [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://meteoinfo.ru/>

ASSESSMENT OF TRENDS IN EXTREME DAILY PRECIPITATION IN THE TERRITORY OF THE CITY OF KRASNODAR

S.S. Davydov

Scientific supervisor – S.M. Avdeev

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A.

Timiryazev", Moscow, avdeev@rgau-msha.ru

Abstract: the studies conducted examined the amount of precipitation, as well as changes in air temperature during the growing season in the city of Krasnodar.

Key words: precipitation, extreme precipitation, air temperature.

СПУТНИКОВЫЙ МОНИТОРИНГ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ СО СНИЖЕННЫМ СТОКОМ ВОДЫ НА ПРИМЕРЕ ОЗЕРА ХАНКА

*Ю.А.Шапилова¹, В.В.Суханова¹, Ю.А.Амельченко¹, А.А.Филей¹,
Е.И.Холодов¹*

¹Дальневосточный Центр ФГБУ «Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии «Планета», г. Хабаровск, ovr@dvrscrod.ru

Аннотация: в статье представлены результаты анализа морфометрических изменений озера Ханка на основе спутниковых снимков за период 1976-2018 гг. Исследования показали, что за период 2013-2018 гг. динамика морфометрических изменений существенно ускорилась: прирост площади озера увеличился в 5,2 раза, а скорость смещения восточного (российского) берега выросла более чем в 9 раз.

Ключевые слова: озеро Ханка, морфометрические изменения, площадь озера, спутниковые изображения, индексные изображения, РОС.

Актуальность. Озеро Ханка – уникальный природный водоём, расположенный на границе Приморского края (РФ) и провинции Хэйлунцзян (КНР), характеризуется сложным гидрологическим режимом с многолетними циклическими колебаниями уровня, в результате которых площадь водной поверхности озера существенно изменяется. Важным фактором, влияющим на гидрологический режим озера, является антропогенное воздействие на водные ресурсы, наблюдаемое на водосборном бассейне озера в результате развития орошаемого земледелия как с российской, так и с китайской стороны.

Обсуждение результатов. При учете площадей, занятых под те или иные сельскохозяйственные культуры, определении состояния почв, стадий вегетации растений в сельском хозяйстве, в том числе в орошаемом земледелии, активно используются результаты космической съёмки среднего и высокого разрешения, которые несут в себе большую информативность.

Для определения по спутниковым изображениям посадок риса в разных стадиях вегетации, площадей участков пахотной земли для выращивания риса, залитых водой (чеков), рисовых оросительных систем (РОС), связанных с озером

Ханка, в Дальневосточном центре НИЦ «Планета» был разработан оригинальный подход, который использует более 10 комбинаций спектральных индексов, а также пространственно-статистическое распределение признаков объектов разных классов.

Учитывая, что расчёт используемых в работе вегетационных индексов возможен только при наличии определённого перечня спектральных каналов, в исследованиях использовались данные спутниковых приборов Thematic Mapper (TM), Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) и Operational Land Imager (OLI), установленных на космических аппаратах Landsat-5, Landsat-7 и Landsat-8 соответственно, за период с 1976 года по 2018 год. Для анализа было отобрано и обработано более 500 спутниковых сцен указанных съёмочных систем.

Уникальные физические свойства рисовых полей во время их затопления, а также в период созревания риса позволяют проследить динамику изменения индексов растительности, и идентифицировать рисовые поля на фоне других сельскохозяйственных культур.

Для детектирования рисовых полей по спутниковым данным использовались индексы [1]:

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) – нормализованный относительный индекс растительности;

Enhanced Vegetation Index (EVI) – расширенный индекс растительности;

Land Surface Water Index (LSWI) – индекс поверхностных вод.

На основе рассчитанных индексов были синтезированы индексные изображения, на которые поля во время созревания риса отображаются в светлоресничных и оранжевых тонах. Пример такого изображения представлен на рисунке 1а.

Далее были получены растровые и векторные полигоны РОС и чеков как на китайской, так и на российской территориях бассейна озера Ханка, произведён расчёт, и получены суммарные площади выделенных полигонов. На рис. 1б представлены графики динамики площадей РОС и чеков на территории провинции Хэйлунцзян и динамика площадей РОС на территории Приморского края.

Полученные результаты наглядно отражают устойчивый тренд интенсивного увеличения площадей территорий, используемых под выращивание риса на китайской стороне бассейна озера Ханка, и незначительный тренд к увеличению рисовых полей на российской стороне, наметившийся с 2010 года. Для китайской территории прирост рисовых полей, заливаемых водой, за период

1976-2015 гг. увеличился примерно в 9 раз, что привело к существенному увеличению водообмена с озером Ханка за счет создания сложных технических систем перераспределения водных ресурсов [2].

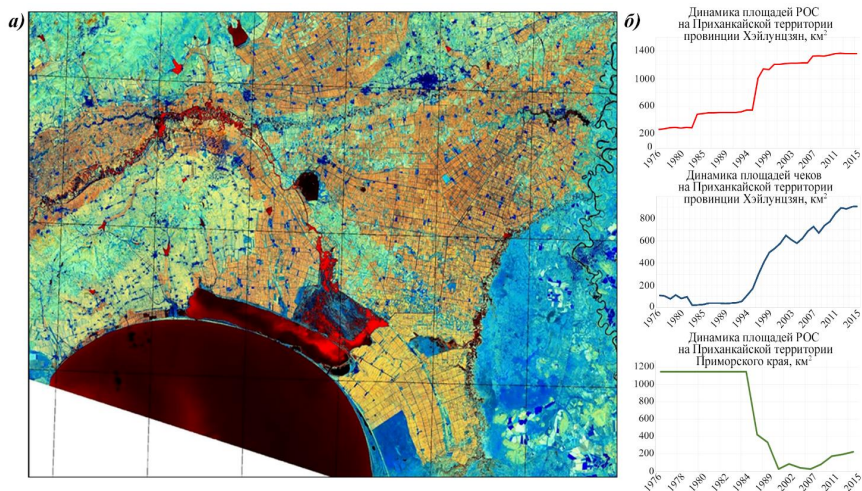


Рис. 1. Идентифицирование рисовых полей и их динамика: а) пример индексного изображения по данным прибора OLI (синтез $R=LSWI$, $G=NDVI/((NDVI+EVI)$, $B=2-LSWI$), за 08.09.2015; б) динамика площадей РЭС и чеков на Приханкайской территории.

С российской стороны инфраструктура водохранилищ и гидротехнических сооружений оросительных систем в пределах районов возделывания риса сформировалась до 1976 года, и при анализе не выявлено значительных её изменений.

Несмотря на то, что ведущими факторами, определяющими многолетние изменения уровня озера Ханка, являются климатические, увеличение водообмена, наблюдающееся в результате интенсивного развития орошаемого земледелия на территории КНР, вносит свой вклад в повышение уровня воды. Согласно оценкам [2], общий вклад антропогенных факторов в повышение уровня в настоящий момент составляет 18%.

При анализе морфометрических изменений водных объектов со сниженным стоком воды с использованием спутниковых данных основная задача заключается в оценке изменения площади зеркала в зависимости от различных характеристик

водных объектов: уровня воды, соотношения приходной и расходной части водного баланса и т.д. В работе исследовалась зависимость площади зеркала от уровня воды.

Для обнаружения водных объектов на спутниковых изображениях широко используются стандартные водные индексы Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI) [3], NDVI, Automated Water Extraction Index (AWEI) [4] и Water Ratio Index (WRI) [4]. Основным фактором, затрудняющим выделение границы «вода-суша» для озёр (водохранилищ), является отсутствие в большинстве случаев «жестких» берегов. Общеизвестно, что границы озера Ханка не имеют «жестких» берегов с юга и юго-востока озера: берега покрыты зарослями болотной растительности (осокой, камышом, тростником), достигающей высоты 2-2,5 метров, которая при дистанционном зондировании маскирует воду.

Для корректного выделения границ озера на таких участках возникла необходимость комбинировать водные и вегетационные индексы. Для выделения площади «чистого» зеркала озера использовались указанные выше водные индексы, для маскированных растительностью участков – комбинированные индексные изображения, удовлетворяющие условию:

$$(NDVI+EVI)/2-LSWI<0,2.$$

В результате обработки для каждого из исследуемых спутниковых изображений были получены векторные и растровые слои полигонов участков, принадлежащих разным классам.

Таким образом, были выделены полигоны открытой водной поверхности и воды, маскированной болотной растительностью, и получены численные значения площадей полигонов. Полная площадь акватории озера складывалась из площади открытой поверхности воды озера («чистое» зеркало) и площади участков воды, маскируемой растительностью.

Зависимость полной площади акватории озера от его уровня воды показана на рис. 2а. За период с 2013 по 2018 гг. прирост площади озера ускорился в 5,2 раза – рисунок 2б.

Кроме того, было выявлено значительное размывание и смещение восточного берега озера Ханка в сторону суши. Величина смещения оценена по семи точкам за периоды 1989-2018 гг., 1989-2012 гг. и 2013-2018 гг. (рис. 3).

Важно отметить, что скорость «отступания» берега после 2013 года выросла более чем в 9 раз.

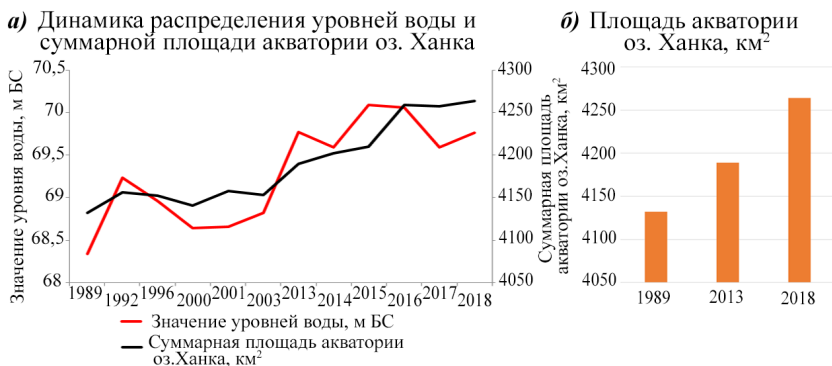


Рис. 2. Зависимость площади акватории озера от уровня воды: а) график динамики распределения уровней воды и суммарной площади акватории оз. Ханка; б) график площади оз. Ханка в 1989, 2013 и 2018 гг.

В ходе работы было отмечено, что при значительном росте уровня воды в озере наблюдается затопление расположенных на низменных восточном и южном побережьях водно-болотных угодий (ВБУ), которые характеризуются наличием травянистых влажных лугов с участками открытой воды, называемых плавнями. Повышение уровня воды в озере приводит к перемещению плавней по открытой поверхности воды, что хорошо прослеживается на последовательности спутниковых изображений. Очевидно, что если плавни перемещаются, то под ними достаточный для этого уровень воды. Перемещения плавней в водно-болотных угодьях наблюдаются, начиная с 2013 года. В предыдущие годы на спутниковых изображениях перемещений не наблюдалось.

Были выделены контуры ВБУ с достаточно высоким уровнем воды для определения в этих полигонах поверхности классов «вода» и «вода, маскированная болотной растительностью», произведен расчет и получены их суммарные площади на участках ВБУ.

Роль ВБУ в формировании площади зеркала, а также степень взаимодействия уровня воды озера Ханка и прилегающих к ней ВБУ необходимо изучать дополнительно.

Применяемые подходы позволили выделить характерные РОС и рисовые чеки, заливаемые водой, и провести исследования динамики многолетних антропогенных изменений на Приханкайской территории. Полученные результаты

наглядно отражают устойчивый тренд увеличения площадей территорий, используемых под выращивание риса на китайской стороне бассейна озера Ханка, и незначительный тренд к увеличению рисовых полей на российской стороне, наметившийся с 2010 года.

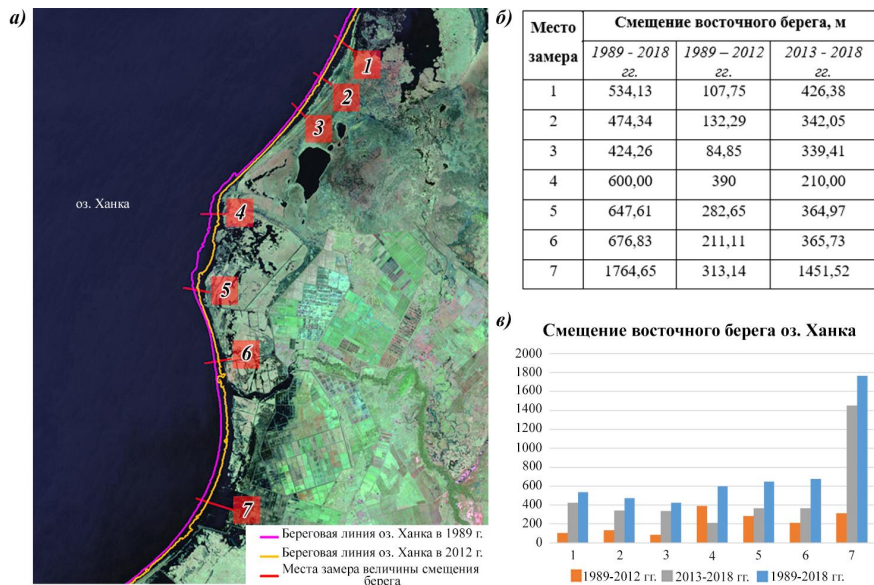


Рис. 3. Смещение восточного берега озера Ханка в сторону суши: а) наложение береговых линий озера Ханка за 1989 и 2012 гг. на спутниковое изображение с космического аппарата Landsat-8 за 16.09.2018, синтез в «естественных» цветах; б) таблица значений величины смещения восточного берега озера Ханка; в) гистограмма распределения смещения восточного берега озера Ханка.

Акватория озера в исследованный период претерпевает значительные изменения, площадь зеркала озера неуклонно растет. До 2015 г. рост уровней воды коррелирует с ростом площади зеркала озера. После достижения наивысшей отметки уровня в 70,09 м БС в 2015 г., что превышает исторический максимум, корреляция уровней и площади озера не наблюдается. Сравнительный анализ показал, что площадь озера в настоящее время существенно больше, чем при аналогичных значениях уровней воды до 2015 г. Также выявлено ускорение

динамики морфометрических изменений озера Ханка: за период 2013-2018 гг. прирост площади озера ускорился в 5,2 раза, а скорость смещения восточного (российского) берега выросла более чем в 9 раз.

Стоит дополнительно отметить, что сильным изменениям подвергся не только восточный берег озера, но и теряющиеся среди болотной растительности ВБУ, изменения которых необходимо изучать дополнительно.

В последующие годы вплоть до настоящего времени продолжается постепенное увеличение площади озера Ханка. Причем по визуальным оценкам значительные изменения происходят не только в акватории самого водоема, но и на близлежащих территориях с восточной и юго-восточной стороны.

В исследованиях последних лет большое внимание уделяется анализу современного состояния гидрологического режима озера, связанного с колебаниями уровня воды. Материалы космической съемки позволяют осуществить комплексный системный подход к изучению пространственно-временных закономерностей влияния естественных и антропогенных факторов на морфометрические характеристики как самого озера, так и его бассейнового водосбора в целом, сокращая время на ознакомление со всей исследуемой территорией и позволяя решить проблему сопоставления данных, обработанных одновременно и с применением единого подхода.

Заключение. Исследования морфометрических изменений озера Ханка с учетом накопленных материалов космической съемки в Дальневосточном центре продолжаются. Особый интерес представляет не только увеличение площади его зеркала, но и перелив воды из озера и затопление окрестных ВБУ и полей на российской территории, наблюдаемые на спутниковых изображениях. Результаты оценок выявленных морфометрических изменений за период 2019-2023 гг. будут опубликованы в рамках последующих конференций.

Библиографический список

1. Qin Y., Xiao X., Dong J., Zhou Y., Zhu Z., Zhang G., Du G., Jin G., Kou W., Wang J., Li X. Mapping paddy rice planting area in cold temperate climate region through analysis of time series Landsat 8 (OLI), Landsat 7 (ETM+) and MODIS imagery // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. – 2015. – Vol. 105. – pp. 220-233.
2. Георгиевский В. Ю., Шалыгин А. Л., Болгов М. В., Коробкина Е. А. Многолетние изменения уровня озера Ханка и проблемы его регулирования // *Водное хозяйство России*. – 2017. – №3. – С. 69-88.

3. Xu H. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery // Int. J. Remote Sens. – 2006. – Vol. 27. – pp. 3025–3033.

4. Rokni K., Ahmad A., Selamat A., Hazini S. Water Feature Extraction and Change Detection Using Multitemporal Landsat Imagery // Remote Sens. – 2014. – Vol. 6. – pp. 4173-4189.

SATELLITE MONITORING OF MORPHOMETRIC CHANGES IN WATER BODIES WITH REDUCED WATER FLOW USING THE EXAMPLE OF LAKE KHANKA

I.A. Shamilova¹, V.V. Sukhanova¹, I.A. Amelchenko¹, A.A. Filey¹, E.I. Kholodov¹

¹Far-Eastern Center of the Federal State Budgetary Institution «State Research Center of Space Hydrometeorology «Planeta», Khabarovsk, ovp@dvrpod.ru

Summary: The paper presents the results of morphometric changes analysis in Lake Khanka based on retrospective satellite images from 1979 to 2018. Research has shown that the dynamics of morphometric changes accelerated significantly for 2013-2018: the accretion in the area of the lake increased by 5.2 times, and the offset speed of the eastern (Russian) shore increased by more than nine times.

Keywords: Lake Khanka, morphometric changes of the lake, satellite images, index images.

МИКРОКЛИМАТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ КАК СВЯЗУЮЩИЙ ФАКТОР В СОЗДАНИИ МЕТОДИЧЕСКОЙ БАЗЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ПОСТУПЛЕНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ С СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

Ю.А. Спирин¹

¹ ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, spirin.yuriy@rambler.ru

***Аннотация:** в статье рассмотрены этапы формирования методической основы для определения поступления загрязняющих веществ с сельскохозяйственных земель за счет сбора и сопряженного анализа необходимой для этого информации на заданном объекте исследования с дальнейшей экстраполяцией полученных результатов на другие территории.*

***Ключевые слова:** загрязнение воды, диффузные источники загрязнения, микроклиматические особенности, рационализация сельского хозяйства, моделирование стока загрязнения.*

Актуальность. В исследование экологического состояния водных объектов одним из основных критериев является уровень загрязнения воды. Загрязнителем считается то вещество, показатель которого превышает предельно допустимую концентрацию (ПДК), связанную с ним. Для выявления таких веществ, необходимо иметь ряды актуальных гидрохимических данных. Следует также разделять и учитывать, как качественные гидрохимические характеристики (концентраций химических веществ), так и количественные гидрохимические характеристики (масса химических веществ). Если говорить о прямом использовании водных объектов для удовлетворения человеческих нужд, то здесь значение имеют качественные характеристики загрязнения, но если требуется в какой-то мере иметь представление об общей картине загрязнения, то на передний план выходят количественные характеристики загрязнения [1-5]. Обычно ведется наблюдение за сбросом загрязняющих веществ соответствующими структурами, но с учетом специфики сельскохозяйственного загрязнения, это сделать проблематично. Все это говорит о необходимости создания методов, которые позволили бы исходя из обобщенных данных по ведению сельского хозяйства

получать количественные характеристика поступающих загрязняющих веществ в водотоки.

Обсуждение результатов. Сельское хозяйство в некоторых районах РФ можно считать основным источником загрязнения водных ресурсов, особенно на территориях, где активно проводится осушение земель [6-7]. Как показывает практика, большая часть подобных загрязнений связана с внесением на пахотные земли минеральных удобрений и пестицидов, которые в дальнейшем вымываются дождевыми сточными и грунтовыми водами в водоемы и водотоки. Сложность мониторинговых мероприятий за таким видом загрязнения заключается в его диффузном характере. Зачастую очень сложно определить, какая часть удобрений будет усвоена растительностью или останется в почве, а какая попадет в поверхностные воды в качестве загрязнителя.

Можно проводить систематический мониторинг поверхностных вод, расположенных вблизи сельскохозяйственного сектора, но этот способ имеет высокую затратность, и даст представление о концентрации загрязняющих веществ в воде, но не об их массе в водном объекте, что в свою очередь усложнит подбор рациональных водозащитных и водоохраных мероприятий. При должных гидрологических наблюдениях можно перейти от концентрации к массе, через объем речного стока или водоема, но сеть гидрологического мониторинга имеет очень малую плотность, что приводит к дефициту данных по этому направлению [8].

Для приближения к решению данного вопроса необходимо проводить натурные исследования и методами аналогии и сравнения производить моделирование такого рода процессов. В РГАУ-МСХА имеется ряд сельскохозяйственных полей, сопряженных с несколькими водоемами, а также несколько водных объектов, расположенных в тех же природно-хозяйственных условиях, но в удаленности от сельскохозяйственного воздействия. Этот комплекс объектов может стать отличным полигоном для натурных наблюдений за поступлением сельскохозяйственных загрязнений.

В рамках этого мониторинга перспективно решить следующий ряд задач:

1. Провести гидрохимический мониторинг по 3 прудам, сопряженным с сельскохозяйственными землями (контрольные пункты мониторинга), и по 1 пруду в удаленности (фоновый пункт мониторинга). Мониторинг требуется провести по 24 месяцам.

2. В день отбора проб провести гидрологический мониторинг для расчета объема воды в прудах с целью перевода концентраций загрязняющих веществ, в

массу загрязняющих веществ. Помимо этого, должен проводиться постоянные метеорологические наблюдения, так как это немаловажный косвенный фактор распространения загрязнений.

3. Найти разницу по целевым химическими показателям между контрольными и фоновым пунктами мониторинга, а потом сопоставить ее с количеством вносимых удобрений.

4. На основе полученных результатов выйти на отношения внесенных удобрений и поступающих загрязнений.

5. Дополнительно построить пространственно-временную динамику загрязнения исследуемых объектов и предложить мероприятия по улучшению экологического состояния водных объектов.

6. При удачном стечении обстоятельств сформировать модель, по количественной оценке, сельскохозяйственного загрязнения водных объектов с использованием сопряженной химической, гидрологической, метеорологической и агрономической информации.

Немаловажно учитывать в потенциальной модели явления метеорологического и микроклиматического характера, как основную составляющую сопряжённого анализа, в следствии их быстрой в масштабах исследования изменчивости и достаточно интенсивного воздействия на перенос химических веществ. Дожди приводят к смыву с сельскохозяйственных участков пестицидов, удобрений и других химических веществ в водные объекты. Это особенно верно в случае недостаточной инфильтрации почвы, например, из-за плотной почвенной структуры или наличия участков с большим количеством асфальта и бетона. Повышение температуры воздуха может ускорять процессы разложения органических веществ в почве, что в свою очередь приведёт к увеличению содержания в ней азота и фосфора, которые в дальнейшем попадут либо в грунтовые воды, либо будут вымыты осадками. Сильные ветры могут обострить эрозию почвы на сельскохозяйственных участках, что способствует смыву почвенных частиц и химических веществ в прилегающие водотоки и водоемы. Поэтому мониторинг данных показателей следует проводить с низкой дискретностью для калибровки результатов модели.

Заключение. Решение поставленных задач, возможно, позволит рассчитывать количественные показатели загрязняющих веществ от сельского хозяйства, для территорий со схожими природно-хозяйственными характеристиками, и как следствие подбирать рациональные мероприятия по нейтрализации загрязнений. Такие данные наиболее актуальные в биологических

методах защиты от загрязнения, таких как: создания замкнутых биогеохимических циклов азотных и фосфорных соединений в сельскохозяйственном производстве и системы пространственно-распределенной биологической очистки водотоков высшей водной и древесной растительностью.

Библиографический список

1. Брюханов А.Ю., Кондратьев С.А., Обломкова Н.С. и др. Методика определения биогенной нагрузки сельскохозяйственного производства на водные объекты // Теоретический и научно-практический журнал. ИАЭП. 2016. Вып. 89. С. 175-182.
2. Минакова Е.А., Шлычков А.П., Биктемирова Э.И., Кондратьев С.А. Внешняя биогенная нагрузка организованных источников на водотоки в пределах Республики Татарстан в современный период // Проблемы региональной экологии. 2020. №1. С. 74-78.
3. Лозовик П.А., Бородулина Г.С., Карпечко Ю.В. и др. Биогенная нагрузка на Онежское озеро по данным натурных наблюдений // Труды Карельского научного центра РАН. 2016. №5. С. 35-52.
4. Терехов А.В., Обломкова Н.С., Шамова М.В. и др. Внешняя и внутренняя фосфорная нагрузка на Дудерговские озера // Ученые записки РГТМУ. 2019. №54. С. 58-72.
5. Tong Y., Zhao Y., Zhen G. Nutrient et al Loads Flowing into Coastal Waters from the Main Rivers of China (2006-2012) // Scientific reports. 2015. Vol. 5. pp. 1-12.
6. Спирин Ю.А., Ахмедова Н.Р. К вопросу о состоянии водоприемников осушительной мелиоративной сети в Калининградской области // Вестн. молодёжной науки: сб. науч. ст. Калининград: ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2014. С. 391-393.
7. Спирин Ю. А., Пунтусов В.Г. Тенденции и перспективы развития гидромелиоративного комплекса Славского района Калининградской области // Овощи России. 2021. № 2. С. 86-92.
8. Спирин, Ю. А. Гидрологические характеристики речного стока в геоэкологических исследованиях поверхностных вод Славского района Калининградской области // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2021. Т. 31. № 2. С. 185-197

MICROCLIMATIC ASPECTS AS A LINKING FACTOR IN THE CREATION OF A METHODOLOGICAL BASIS FOR CALCULATING THE INCOME OF POLLUTANTS FROM AGRICULTURAL LANDS

Yu.A. Spirin

Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy,
Moscow, spirin.yuriy@rambler.ru

Abstract: The article discusses the stages of forming a methodological basis for determining the flow of pollutants from agricultural lands through the collection and associated analysis of the information necessary for this on a given research object with further extrapolation of the results obtained to other territories.

Key words: water pollution, diffuse sources of pollution, microclimatic features, rationalization of agriculture, modeling of pollution runoff.

УДК 551.579

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ МЕТЕОПАРАМЕТРОВ, ИЗМЕРЕННЫХ ДВУМЯ БЛИЗЛЕЖАЩИМИ МЕТЕОСТАНЦИЯМИ, ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ИХ ДИСКРЕТНОСТИ НА МОДЕЛЬНУЮ ВЛАЖНОСТЬ ПОЧВЫ

А.В. Кожунов¹

¹ ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, avkozhuinov@mail.ru

Аннотация: исследованы характер влияния метеопараметров при различной степени осреднения (суточные, декадные, месячные), измеренных двумя близлежащими метеостанциями за 2-летний и 1-летний периоды и вводимых в модель HYDRUS-1D, на изменение модельной влажности почвы во времени, а также на характер различий между модельной и измеренной / интерполированной влажностью почвы на глубинах 10 – 100 см при условии ввода в HYDRUS-1D значений уровня грунтовых вод за весь период моделирования.

Ключевые слова: HYDRUS-1D; педотрансферные функции; суточные, декадные, месячные метеопараметры; измеренная и интерполированная влажность почвы; осреднение метеоданных; полная влагоёмкость почвы.

Актуальность. Понимание процессов, влияющих на пространственное и временное распределение влажности почвы, имеет огромное значение [1]. При моделировании влажности почвы в различных слоях почвенного профиля и изменения влажности почвы во времени необходимо учитывать влияние на неё метеорологических параметров. Ввод в модель влагопереноса в почве значений метеопараметров, измеренных на соседних метеостанциях, даже расположенных на небольшом расстоянии друг от друга, может существенно повлиять на итоговые значения и саму динамику модельной влажности почвы, а также на характер изменения модельной влажности относительно фактической влажности почвы. Особенно это актуально для верхней части почвенного профиля, поскольку верхние горизонты почвы в наибольшей степени подвержены влиянию динамично меняющихся погодных условий.

Кроме того, на величину модельной влажности почвы должна влиять дискретность вводимых в модель значений метеорологических параметров. Теоретически осреднение измеренных величин метеорологических элементов должно приводить к ухудшению точности моделирования влажности почвы, что должно отражаться в виде ухудшения согласованности динамик модельной и фактической влажности почвы.

Обсуждение результатов. Объектом исследования является дерново-подзолистая рыхлопесчаная почва, расположенная в зоне избыточного увлажнения, в центральной части агроэкологического полигона Всероссийского научно-исследовательского института мелиорированных земель (ВНИИМЗ) в пос. Эммаусс Тверской области [2].

Предметом исследования является сравнительная качественная и количественная оценка характера влияния на величины и динамику модельной влажности почвы, а также на характер расхождения между модельной и измеренной/интерполированной влажностью почвы метеорологических параметров, измеренных автоматической метеостанцией ATMOS 41, расположенной на агрополигоне ВНИИМЗ, а также метеопараметров, измеренных на ближайшей к агрополигону (в 4 км северо-западнее) ведомственной (Росгидромет) метеостанции Тверь, при вводе их в модель влагопереноса в почве HYDRUS-1D с различной степенью осреднения (суточные, декадные, месячные). Периоды моделирования составляли 2 года (730 суток) при использовании метеоданных по м/с Тверь и 1 год (точнее, 370 суток) при использовании метеоданных по обоим метеостанциям.

Для моделирования динамики влажности почвы использовалась модель HYDRUS-1D, которая является одномерной конечно-элементной прогнозной моделью для численного моделирования одномерного переноса воды, тепла и растворённых веществ в многофазных переменном насыщенном пористых средах [3, 4]. Данная модель была разработана в США Дж. Шимунком, М.Т. ван Генухтенем и М. Шейна.

Вблизи точки исследования влагопереноса в почве и распределения влажности почвы по глубинам (точка 4 агрополигона) была установлена автоматическая метеостанция ATMOS 41. А в самой точке исследования, из которой проводился отбор почвенных образцов, были также установлены датчики влажности почвы в пределах метрового слоя почвы через каждые 10 см. Влажность почвы определялась в дни измерения уровня грунтовых вод (УГВ). Параметры экспериментального обеспечения модели, т.е. параметры функции ван Генухтена – Муалема и коэффициент фильтрации, были рассчитаны с помощью алгоритма искусственной нейронных сетей через педотрансферные функции (ПТФ) в программе RETC, встроенной в модель HYDRUS-1D. Для этого в программу RETC вводились процентное содержание песка, пыли и глины, а также плотность каждого из 11 слоёв почвы толщиной 10 см, образцы которой были отобраны в точке 4, находящейся в центральной части агрополигона ВНИИМЗ, и у этих образцов почвы были определены гранулометрический состав методом лазерной дифракции [5], а также плотность. Программа RETC использует базу данных для ПТФ (Rosetta Lite v. 1.1).

Параметры основной гидрофизической характеристики (ОГХ) и коэффициент фильтрации (K_s) каждого слоя почвы были рассчитаны программой RETC с помощью функции ван Генухтена – Муалема:

$$\theta = \frac{\theta_s - \theta_r}{(1 + (\alpha P_{k-c})^n)^m} + \theta_r; P_{k-c} < 0; m = 1 - 1/n \quad (1)$$

$$K_{вл} = K_s S_e^{1/2} [1 - (1 - S_e^{1/m})^m]^2; m = 1 - 1/n; n > 1 \quad (2)$$

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \frac{1}{[1 + (\alpha P_{k-c})^n]^m}; P_{k-c} < 0; m = 1 - 1/n \quad (3)$$

где P_{k-c} – капиллярно-сорбционное давление почвенной влаги (кПа или гПа);

θ_s – влажность полного насыщения. Близка к полной влагоёмкости почвы;

θ_r – остаточная влажность почвы, соответствующая влажности точки перегиба в сорбционной области;

α – величина, обратная капиллярно-сорбционному давлению, близкому к давлению входа воздуха (1/кПа или 1/гПа);

n – крутизна кривой аппроксимации ОГХ, характеризующая распределение пор по размерам;
 K_s – коэффициент фильтрации (см/сут);
 S_e – степень насыщения почвы влагой ($0 \leq S_e \leq 1$). [6, 2]

Из метеопараметров в HYDRUS-1D вводились: количество осадков в сантиметрах (суточное, декадное или месячное); облачность в баллах, если метеоданные вводились с метеостанции Тверь; суммарная солнечная радиация (в МДж/м²), если вводились метеоданные по метеостанции ATMOS 41 (суточная, средняя за декаду или за месяц); максимальная и минимальная температуры воздуха (°С) и относительная влажность воздуха (%); скорость ветра на высоте её измерения в км/сут [7]. При вводе метеопараметров с м/с Тверь высота измерения скорости ветра указывалась равной 1000 см, поскольку на метеостанциях наблюдательной сети Росгидромета ветер измеряется на высоте 10–12 м над поверхностью земли. Когда вводились метеоданные с автоматической метеостанции ATMOS 41, высота измерения скорости ветра составляла 200 см, поскольку датчик температуры воздуха у данной метеостанции располагается на высоте 2 м над поверхностью земли.

Верхним граничным условием (ВГУ) в HYDRUS-1D было выбрано «Атмосферное граничное условие с поверхностным стоком». Данное условие предполагает, что часть выпавших осадков стекает по поверхности почвы [7]. Нижним граничным условием (НГУ) было выбрано условие переменного напора. В рамках данного условия в HYDRUS-1D вводились значения УГВ за весь период моделирования. Недостающие значения УГВ были получены методом линейной интерполяции между измеренными значениями УГВ.

Для сравнения динамик модельной и фактической/интерполированной влажности почвы при различной дискретности метеопараметров были использованы значения объёмной влажности почвы на глубинах 10–100 см, измеренные по электронным датчикам влажности почвы в точке 4 агрополигона ВНИИМЗ, а также интерполированные значения объёмной влажности. Динамики влажностей почвы сравнивались при использовании метеопараметров с м/с Тверь за 2 года (730 суток) – с 9 апреля 2021 г. по 8 апреля 2023 г. и за 1 год, точнее за 370 суток – с 1 августа 2022 г. по 5 августа 2023 г. При применении метеоданных с м/с ATMOS 41 динамики влажностей почвы сравнивались только за 370 суток. Выбор таких временных периодов был обусловлен тем, что данные по УГВ имеются с 9 апреля 2021 г. и метеоданные с метеостанции Тверь имеются на эту

дату, в то время как измерение метеопараметров метеостанцией ATMOS 41 началось только 23 июля 2022 г.

При ежесуточных метеоданных модельная влажность почвы сравнивалась с фактической в дни измерения УГВ в точке 4 и с интерполированной (реже с фактической) влажностью – в последние дни декад. Поскольку большая часть данных о влажности почвы в последние дни декад отсутствует ввиду того, что в эти дни в большинстве случаев не проводилось измерений по датчикам влажности почвы, эти данные были получены методом линейной интерполяции между измеренными величинами влажности почвы.

При среднедекадных и среднемесечных метеоданных, вводимых в HYDRUS-1D, модельная влажность почвы сравнивалась с интерполированной влажностью в последние дни декад и месяцев. Поскольку большая часть значений влагосодержания почвы в последние дни декад и месяцев отсутствует по причине того, что в данные дни не проводилось измерений по почвенным влагомерам, то влажность почвы за эти дни была посчитана также методом линейной интерполяции между измеренными значениями влажности почвы.

Сравнение динамик модельных влажностей почвы за 2-летний период, полученных на последние дни декад в результате ввода в модель ежесуточных, а затем среднедекадных метеопараметров с м/с Тверь, показало, что в результате осреднения метеопараметров модельная влажность почвы возрастает и отдалается от измеренной/интерполированной влажности на глубинах 10–70 см в течение всего модельного периода. На 80 и 90 см модельная влажность почвы отдалается от фактической/интерполированной влажности в течение большей части первого года (1–310/330 сутки) и большей части второго года (490–710/690 сутки), а в середине (310/330–490 сутки) и в конце 2-летнего периода (710/690–730 сутки) – наоборот, приближается к интерполированной влажности. На 100 см модельная влажность при осреднении метеовеличин приближается к измеренной/интерполированной влажности не только в середине (230–470 сутки), но и в последней трети 2-летнего периода (610–730 сутки), а при нахождении модельной почвы в состоянии полной влагоёмкости (ПВ) влажность её не меняется, находясь близко к измеренной/интерполированной влажности. Почва не достигает полного насыщения на глубинах 10–50 см ни при суточных, ни при декадных метеопараметрах (лишь на 40 см при декадных метеоданных модельная почва только один раз достигает близкого к ПВ состояния – на 540-е сутки). На 60 см модельная влажность при ежедневных метеоданных достигает близкого к ПВ состояния также только 1 раз – на 540-е сутки, а при декадных метеоданных –

достигает уровня ПВ и близкого к нему в первый и второй год, но на довольно короткое время (11–12 суток). На 70–100 см модельная почва и при ежедневных, и при декадных метеоданных достигает полного насыщения в первый и во второй год, но при среднедекадных метеоданных она находится в состоянии ПВ более длительное время. С ростом глубины длительность нахождения модельной почвы в состоянии ПВ и близком к нему также возрастает: при суточных метеоданных – от 11 до 111 суток, при декадных метеоданных – от 41 до 121 суток (таблица 1).

Таблица 1

Длительность (сутки) нахождения модельной почвы в состоянии ПВ и/или близком к нему (различие влажностей почвы $\leq 1\%$) при различной дискретности метеоданных с м/с Тверь за 1 и 2 год (в скобках) периода моделирования.

Глубина, см	Суточные данные	Декадные данные	Месячные данные
10	0	0	1
20	0	0	0
30	0	0	1
40	0	1	1
50	0	0	0
60	1	11 (11)	32 (62)
70	11 (11)	41 (51)	62 (93)
80	41 (91)	71 (111)	62 (93)
90	71 (101)	81 (111)	62 (93)
100	81 (111)	91 (121)	93 (153)

При применении среднемесячных метеоданных по м/с Тверь модельная влажность вновь увеличивается, по сравнению с вводом в модель среднедекадных метеоданных, и отдалается от измеренной/интерполированной влажности уже не только на 10–70 см, но и на 80 и 90 см, за исключением конца первого года (365-е сутки) на глубине 90 см, где она почти совпадает с измеренной влажностью почвы. На 100 см модельная влажность становится близка к интерполированной влажности на протяжении большей части 2-летнего периода. На 10 см модельная почва достигает состояния, близкого к ПВ, только 1 раз; на 30 и 40 см влажность почвы достигает ПВ также только 1 раз; на 20 и 50 см почва не достигает насыщения. На 60, 70 и 100 см влажность почвы держится на уровне ПВ или близком к нему дольше, чем при декадных метеовеличинах. На 80 и 90 см длительность нахождения почвы в состоянии ПВ немного меньшая, чем при

декадных метеоданных, видимо, вследствие большей сглаженности графиков модельной влажности почвы. С ростом глубины период нахождения модельной почвы в состояниях ПВ и близком к нему в целом увеличивается.

При вводе в модель суточных метеоданных за 1-летний период с метеостанций Тверь и ATMOS 41 и оценке модельных влажностей почвы в дни измерения УГВ выяснилось, что использование метеопараметров с м/с ATMOS 41 приводит к некоторому увеличению модельной влажности в первой половине и в конце исследуемого периода на глубинах 10–70 см, по сравнению с применением метеоданных с м/с Тверь, а на 80 см – ближе к середине модельного периода. Однако количество близких значений (и даже совпадений) модельной и измеренной влажности при использовании метеоданных с м/с ATMOS 41 больше, чем при вводе в модель метеозначений с м/с Тверь – это характерно для глубин 20–50 и 80 см. Для 10 см ситуация обратная – близких значений модельной и измеренной влажности больше при применении метеовеличин с м/с Тверь. На 60 и 70 см модельная влажность отдалается от измеренной при вводе метеоданных с ATMOS 41. На 90 см модельная влажность меняется крайне слабо при смене вводимых в модель метеоданных и только в первой половине расчётного периода, хотя она слегка возрастает и приближается к фактической влажности. А вот на 100 см – практически не меняется при смене вводимых в модель метеоданных. На глубинах 10–50 см модельная почва не достигает насыщения, тогда как на 60–100 см влажность почвы достигает уровня ПВ или близкого к нему в первой половине модельного периода – при вводе метеоданных с обеих метеостанций. Причём с ростом глубины период нахождения почвы в состоянии полного насыщения увеличивается – с 8 дней на 60 см до 113 дней на 90 и 100 см (таблица 2).

Аналогичные выводы получаются и при сравнении как модельных влажностей почвы между собой, так и значений модельной и измеренной/интерполированной влажности в последние дни декад при сохранении суточной дискретизации метеоданных. Однако в этом случае длительность нахождения модельной почвы в состоянии полного насыщения или близком к нему возрастает и меняется от 11 суток на 60 см до 111 суток на 100 см – при вводе в модель метеовеличин с обеих метеостанций (таблица 2).

В результате ввода декадных метеоданных за 1-летний период модельная влажность почвы в последние дни декад на всех 10 глубинах почвенного профиля при применении метеоданных по м/с ATMOS 41, наоборот, оказалась немного ниже модельной влажности, полученной после ввода метеоданных с м/с Тверь.

При этом наблюдается больше близких значений (и совпадений) между модельной и интерполированной влажностью на глубинах 10–90 см при вводе метеозначений с м/с ATMOS 41, чем с м/с Тверь.

Таблица 2

Длительность (сутки) нахождения модельной почвы в состоянии ПВ и/или близком к нему (различие влажностей почвы $\leq 1\%$) при применении суточных метеоданных с метеостанций Тверь и ATMOS 41 и оценке динамик влажности почвы в дни измерения УГВ и в последние дни декад.

Глубина, см	В дни измерения УГВ		В последние дни декад	
	м/с Тверь	м/с ATMOS 41	м/с Тверь	м/с ATMOS 41
10 - 50	0	0	0	0
60	8	8	11	11
70	26	30	31	31
80	95	95	91	101
90	113	113	101	101
100	113	113	111	111

Для 100 см ситуация иная – близких значений модельной и интерполированной влажности больше при применении метеопараметров с м/с Тверь, а при введении метеовеличин с м/с ATMOS 41 модельная влажность отдалается от интерполированной, становясь немного ниже. На глубинах 10–50 см модельная влажность не достигает уровня ПВ или близкого к нему. На 60–100 см влажность почвы достигает величины ПВ и близкой к нему в первой трети расчётного периода. Причём с ростом глубины длительность нахождения модельной почвы в состоянии ПВ увеличивается – от 11 суток на 60 см до 101 суток на 100 см (таблица 3).

При использовании месячных метеоданных за 1-летний период модельная влажность, полученная на последние дни месяцев, оказывается ниже также при вводе метеоданных с м/с ATMOS 41 на всех 10 глубинах профиля почвы. При этом она приближается к интерполированной влажности на глубинах 10–90 см. Однако разница между влажностями почвы довольно высока – от 5 до 23 %, особенно на 10–70 см (на 60 см – до 25 %). На 80 и 90 см эта разница ниже – до 10–13 %. А вот на 100 см модельная влажность наиболее близка к интерполированной (максимальная разница между ними составляет 6 %), хотя при

вводе метеопараметров с м/с ATMOS 41 несколько отдалается от последней в меньшую сторону. Модельная почва достигает состояния ПВ при вводе метеозначений с м/с Тверь на 30 и 40 см по 1 разу – на 61-е сутки и на 60–100 см 2 раза – в течение первой трети и в конце годового периода. На 10, 20 и 50 см модельная почва не достигает ПВ, лишь на 10 см достигая близкой к ней величины (на 61-е сутки).

Таблица 3

Длительность (сутки) нахождения модельной почвы в состоянии ПВ и близком к нему (различие влажностей $\leq 1\%$) при применении декадных метеоданных с метеостанций Тверь и ATMOS 41 и оценке динамик влажности почвы в последние дни декад.

Глубина, см	м/с Тверь	м/с ATMOS 41
10 - 50	0	0
60	11	11
70	41	31
80	91	91
90	101	101
100	101	101

При вводе метеовеличин с ATMOS 41, модельная влажность достигает величины ПВ на 40 см (1 раз – на 61-е сутки) и на 60–100 см (2 раза – в течение первой трети и в конце расчётного периода), а на 30 см модельная почва достигает близкого к насыщению состояния лишь 1 раз – на 61-е сутки. На 10, 20 и 50 см модельная почва не достигает насыщения. С увеличением глубины продолжительность нахождения почвы в состоянии полной влагоёмкости или близком к нему в целом растёт (таблица 4).

При осреднении метеоданных по м/с Тверь за декаду и далее за месяц модельная влажность возрастает, и если при суточных метеоданных она была ниже или примерно равна фактической влажности на глубинах 10–50 и 80 см в течение большей части расчётного периода, то с дальнейшим осреднением метеоданных она становится выше фактической / интерполированной влажности практически весь модельный период. На 60 и 70 см более высокая модельная влажность по сравнению с фактической увеличивается ещё сильнее. На 90 см модельная влажность, будучи ниже фактической при ежедневных метеоданных, после их осреднения за декаду приближается к интерполированной влажности, и значения обеих влажностей почвы отличаются ненамного в течение большей

части модельного периода, а при осреднении метеоданных за месяц модельная влажность становится выше интерполированной. А вот на 100 см модельная влажность, которая также ниже фактической влажности при суточных метеоданных, в результате осреднения последних всё более приближается к интерполированной влажности.

Таблица 4

Период (сутки) нахождения модельной почвы в состоянии ПВ и/или близком к нему (различие влажностей $\leq 1\%$) при использовании месячных метеоданных с метеостанций Тверь и ATMOS 41 и оценке динамик влажности почвы в последние дни месяцев.

Глубина, см	м/с Тверь	м/с ATMOS 41
10	1	0
20	0	0
30	1	1
40	1	1
50	0	0
60	33	33
70	63	33
80	63	63
90	63	63
100	124	124

В целом при осреднении метеопараметров изменение модельной влажности почвы во времени хуже согласуется с ходом измеренной/интерполированной влажности почвы. Период нахождения модельной почвы в состоянии полного насыщения или близком к нему при осреднении метеовеличин, измеренных на м/с Тверь, возрастает на 60–100 см. На 10–50 см модельная влажность не достигает величины ПВ или близкой к ней при суточных и декадных метеоданных. Достигает модельная почва этого уровня лишь при месячных метеоданных 1 раз на 10, 30 и 40 см (таблица 5).

При аналогичном осреднении метеозлементов по м/с ATMOS 41 модельная влажность также возрастает, и на 10–50 см превышает фактическую/интерполированную влажность в течение большей части годового периода, тогда как при ежедневных метеоданных модельная влажность ниже измеренной на протяжении большей части расчётного периода, кроме глубины 10 см, где она, напротив, выше измеренной влажности. На 60 и 70 см модельная влажность, будучи выше фактической, продолжает увеличиваться. На 80 и 90 см

модельная влажность большую часть исследуемого периода ниже фактической при суточных метеопараметрах, но после их осреднения до декадных она становится близкой к интерполированной влажности в течение большей части расчётного периода, а при вводе осреднённых за месяц метеозначений модельная влажность выше интерполированной. На 100 см модельная влажность также возрастает по мере осреднения суточных метеоэлементов за декаду и за месяц, и также становится близкой к интерполированной влажности в течение всё большей части периода моделирования.

Таблица 5

Длительность (сутки) нахождения модельной почвы в состоянии ПВ и/или близком к нему (различие влажностей почвы $\leq 1\%$) при различной дискретности метеоданных с метеостанций Тверь и ATMOS 41 за 1-летний период моделирования.

Глубина, см	Метеостанция Тверь			Метеостанция ATMOS 41		
	Суточные данные	Декадные данные	Месячные данные	Суточные данные	Декадные данные	Месячные данные
10	0	0	1	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0
30	0	0	1	0	0	1
40	0	0	1	0	0	1
50	0	0	0	0	0	0
60	11	11	33	11	11	33
70	31	41	63	31	31	33
80	91	91	63	101	91	63
90	101	101	63	101	101	63
100	111	101	124	111	101	124

В целом с осреднением метеоэлементов наблюдается худшая согласованность между динамикой модельной и измеренной / интерполированной влажности почвы. Период нахождения модельной почвы в состоянии полного насыщения или близком к нему при осреднении метеоданных, полученных метеостанцией ATMOS 41, возрастает также на 60–100 см. На 10–50 см модельная влажность не достигает полной влагоёмкости или близкой к ней величины при

суточных и декадных метеоданных. Полное насыщение влагой почва достигает только при месячных метеоданных 1 раз на 30 и 40 см (таблица 5).

Заключение. По результатам сравнения динамик модельных влажностей почвы на 10 глубинах метрового слоя почвы за 2-летний и 1-летний период моделирования влагопереноса и распределения влажности почве при значениях УГВ за весь модельный период в ближайшей к месту проведения метеонаблюдений точке агрополигона ВНИИМЗ (точка 4), но при несколько отличающихся метеопараметрах, измеренных метеостанциями Тверь и ATMOS 41, были получены следующие результаты.

1. При сравнении модельных влажностей почвы за 2-летний период в последние дни декад оказалось, что осреднение суточных метеоданных по м/с Тверь за декаду и далее за месяц приводит к увеличению модельной влажности и отдалению её от измеренной / интерполированной влажности на абсолютном большинстве глубин профиля почвы. И лишь на 100 см модельная влажность приближается к интерполированной влажности при осреднении метеопараметров. Модельная почва не достигает полного насыщения на 10–50 см ни при суточных, ни при декадных метеоданных, лишь при месячных метеоданных она насыщается до уровня ПВ или близкого к нему только 1 раз на 10, 30 и 40 см. На 60–100 см период нахождения модельной почвы в состоянии ПВ и/или близком к нему возрастает с глубиной.

2. При сравнении модельных влажностей почвы за 1-летний период в дни измерения УГВ выяснилось, что использование суточных метеопараметров с м/с ATMOS 41 приводит к некоторому увеличению модельной влажности на 10–70 см в первой половине и в конце модельного периода, по сравнению с применением метеоданных с м/с Тверь, а на 80 см – ближе к середине годового периода. Однако на 20–50 и 80 см количество близких значений (и совпадений) модельной и измеренной/интерполированной влажности при вводе в модель метеоданных с м/с ATMOS 41 больше, чем при вводе метеоданных с м/с Тверь. Для 10 см ситуация обратная – близких значений влажностей почвы больше при вводе в модель метеопараметров с м/с Тверь. На 60 и 70 см модельная влажность отдалается от измеренной. На 90 см изменение модельной влажности крайне слабое при смене вводимых в модель метеоданных и происходит только в первой половине модельного периода, а на 100 см модельная влажность практически не меняется при смене метеоданных с м/с Тверь на метеоданные с м/с ATMOS 41. На 10–50 см модельная почва не достигает полного насыщения, а на 60–100 см влажность почвы достигает уровня ПВ или близкого к нему в первой половине модельного

периода – при вводе метеоданных с обеих метеостанций. Причём с ростом глубины период нахождения почвы в состоянии ПВ возрастает. Аналогичные выводы можно сделать и при сравнении как модельных влажностей почвы между собой, так и значений модельной и измеренной/интерполированной влажности почвы в последние дни декад при оставлении суточной дискретизации метеоданных.

3. Ввод в HYDRUS-1D декадных и месячных метеопараметров за 1-летний период, измеренных метеостанцией ATMOS 41 приводит, наоборот, к снижению модельной влажности в последние дни декад и месяцев на всех 10 глубинах профиля почвы, по сравнению с применением метеоданных, измеренных метеостанцией Тверь. Особенно это снижение заметно во второй трети периода моделирования. При этом на 10–90 см модельная влажность приближается к интерполированной, и при декадных метеоданных наблюдается больше близких значений (и совпадений) между влажностями почвы при вводе в модель метеоданных с м/с ATMOS 41, чем с м/с Тверь. На 100 см близких значений модельной и интерполированной влажности больше при применении метеоданных с м/с Тверь, а при вводе метеовеличин с м/с ATMOS 41 модельная влажность отдалается от интерполированной в меньшую сторону. Модельная почва не достигает состояния насыщения или близкого к нему на 10–50 см при декадных метеоданных с обеих метеостанций. При месячных метеоданных – достигает уровня ПВ или близкого к нему на 10 см при данных с м/с Тверь, на 30 и 40 см – при данных с обеих метеостанций. На 60–100 см период нахождения модельной почвы в состоянии полного насыщения или близком к нему в целом нарастает с увеличением глубины.

4. При осреднении метеоданных по метеостанциям Тверь и ATMOS 41 за декаду, а затем за месяц модельная влажность растёт на всех глубинах метрового слоя почвы. При этом она отдалается от фактической/интерполированной влажности на 10–80/90 см и приближается к последней на 80/90–100 см. В целом динамика модельной влажности почвы при осреднении метеопараметров хуже согласуется с динамикой фактической/интерполированной влажности почвы.

5. На глубинах 10–50 см модельная почва за 2-летний и 1-летний период не достигает полного насыщения ни при суточных, ни при декадных метеопараметрах. При месячных метеоданных с обеих метеостанций модельная влажность достигает уровня ПВ или близкой к нему на 10, 30 и 40 см (кроме глубины 10 см при вводе данных по ATMOS 41). На глубинах же 60–100 см период нахождения модельной почвы в состоянии полной влагоёмкости или

близком к ней в целом возрастает как при осреднении метеопараметров (за некоторыми исключениями), так и с ростом глубины слоя почвы.

Библиографический список

1. Martinez C., Hancock G.R., Kalma J.D., Wells T. Spatio-temporal distribution of near-surface and root zone soil moisture at the catchment scale // Hydrological Processes. 2008. Vol. 22, Issue 14. P. 2699–2714. DOI: 10.1002/hyp.6869.
2. Шеин Е.В. Курс физики почв: учебник. М.: Изд-во МГУ, 2005. 432 с.
3. Смагин А.В. Теория и практика конструирования почв. М.: Издательство Московского университета, 2012. 544 с.
4. Шеин Е.В., Рыжова И.М. Математическое моделирование в почвоведении: учебник. М.: «ИП Макарушев А.Б.», 2016. 377 с.
5. Гранулометрический состав почв конечно-моренной гряды Верхневолжского постледникового района (Восточно-Европейская равнина, Тверская область) / Шеин Е.В. [и др.] // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2022. Вып. 110. С. 5–21. DOI: 10.19047/0136-1694-2022110-5-21.
6. Полевые и лабораторные методы исследования физических свойств и режимов почв: методическое руководство / Шеин Е.В. [и др.] / под ред. Е.В. Шеина. М.: Изд-во МГУ, 2001. 200 с.
7. Seina M., Simunek J., van Genuchten M.Th. HYDRUS. User Manual. Version 5 // PC-Progress, Prague, Czech Republic. 2022. 342 p.

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF METEOROLOGICAL PARAMETERS MEASURED BY TWO NEARBY WEATHER STATIONS, AT THEIR DIFFERENT DISCRETENESS, ON THE MODEL SOIL MOISTURE

A.V. Kozhunov

Russian State Agrarian University – Moscow State Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Moscow, avkozhunov@mail.ru

Summary: The nature of the influence of meteorological parameters at different degrees of averaging (daily, ten-day, monthly), measured by two nearby weather stations over 2-year and 1-year periods and entered into the HYDRUS-1D model, on changes in model soil moisture over time, as well as on the nature of differences between model and measured/interpolated soil moisture at depths of 10-100 cm, provided that groundwater level values for the entire simulation period are entered into HYDRUS-1D.

Keywords: HYDRUS-1D; pedotransfer functions; daily, ten-day, monthly meteorological parameters; measured and interpolated soil moisture; averaging of meteorological data; total soil moisture capacity.

УДК 551.502.4:551.583:631.559

ДИНАМИКА АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ НА ЮГЕ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ КЛИМАТА

В.Н. Павлова^{1,2}, В.А. Романенков², А.А. Карачёнова¹

¹ *Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной метеорологии, Обнинск, ynp2003@bk.ru*

² *Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Аграрный центр, Москва, romanenkov@soil.msu.ru*

Аннотация: проведена оценка благоприятных и неблагоприятных последствий наблюдаемого изменения климата за 1991-2020 гг. относительно предшествующего тридцатилетия (1961-1990 гг.) в степной и лесостепной зоне европейской части России, и оценено их влияние на климатообусловленную урожайность пшеницы. Снижение урожайности на 10-20%, прежде всего, яровых зерновых культур обусловлено снижением запасов доступной влаги в вегетационный период и увеличением повторяемости засух.

Ключевые слова: изменение климата, климатически обусловленная урожайность, яровая и озимая пшеница, тепло- и влагообеспеченность.

Актуальность. Тенденция к потеплению, наблюдающаяся в течение последних десятилетий, не ослабляет внимания к исследованиям, связанным с погодно-климатическими факторами, изменением климата и агроклиматических ресурсов и их составляющей – продуктивности продовольственных культур.

Мировые посевные площади важнейшей зерновой культуры – пшеницы – занимают 216 млн га, средняя урожайность составляет 3,5 т/га, а общий объём производства – 765 млн т [1]. Ожидается, что изменение климата окажет большое влияние на мировое производство пшеницы: на каждый 1 °С повышения температуры мировые урожаи пшеницы могут снизиться на 4-6% при неизменной посевной площади на территории стран Восточной Европы и отсутствии

принципиального улучшения в агротехнологиях. Комплекс генетических признаков сорта, влияющих на ранние дружные всходы, устойчивость к температурным стрессам и удлиненный вегетационный период совместно с оптимизацией условий азотного питания определяют адаптационный потенциал данной культуры. Влияние глобального изменения климата на производство пшеницы изучалось достаточно подробно с использованием разнообразных подходов, включая динамическое моделирование, но лишь немногие рассматривали реализацию стратегии адаптации [1, 2]. Развивающиеся страны могут быть сравнительно более подвержены влиянию изменения климата, но обладают большим потенциалом роста продуктивности из-за большого нереализованного потенциала урожайности.

Адаптация к изменению климата и повышение способности адаптироваться к засухам стали главными приоритетами европейского сельского хозяйства. В целом, влияние агроклиматических факторов объясняет от 12 до 67% изменчивости урожайности пшеницы, являясь значимым для 90% посевных площадей пшеницы в Европе в период 1993-2017 гг. [3]. Считается, что производство яровой пшеницы в средних и высоких широтах может возрасти за счёт увеличения вегетационного периода. Тем не менее, тепловой стресс является отрицательным фактором, приводящим к резкому снижению урожайности [4].

Россия является одной из ведущих стран-производителей пшеницы в мире. С одной стороны, продолжающееся потепление вызывает изменения частоты и интенсивности экстремальных явлений погоды (засухи, переувлажнения и др.) и, как следствие, увеличение площадей сельскохозяйственных угодий, непригодных для возделывания зерновых культур. С другой стороны, рост продолжительности вегетационного периода из-за потепления вызывает сдвиг ареалов возделывания сельскохозяйственных культур, в том числе изменение северной границы пахотных земель и потенциальных площадей возделывания пшеницы [5]. В ряде работ рассматривается значительный потенциал роста урожайности богарной пшеницы в России, в то же время существуют публикации, оценивающие возможность только частичного снятия стресса за счёт сортосмены и оптимизации питания растений [1, 4]. Принятый план адаптации [6] направлен на ослабление и предотвращение негативных последствий изменений климата в сельском хозяйстве и в других отраслях экономики, вероятность которых велика без принятия эффективных мер противодействия.

Целью данной работы является оценка изменения агроклиматических ресурсов, в том числе климатически обусловленной урожайности в климатический

период 1991-2020 гг. в основных регионах возделывания яровых зерновых культур на европейской части России.

Объекты и методы исследования. Территория исследования включает степную и лесостепную зоны на европейской части России (ЕЧР), где исторически возделываются зерновые культуры, яровые и озимые. Рассматриваются крупные макрорегионы: центрально-чернозёмные области (ЦЧО), юг Приволжского ФО (ПФО) и Южный ФО (ЮФО), включая Ставропольский край.

Используются данные о температуре приземного воздуха и сумме осадков месячного разрешения на 134 метеорологических станциях за период с 1961 по 2020 г. Данные Росстата по урожайности и посевным площадям по отдельным субъектам также охватывают период с 1961 по 2020 г.

Для оценки изменений агроклиматических ресурсов выбраны агроклиматические показатели, характеризующие вегетационный период основных зерновых культур – яровой и озимой пшеницы (температура воздуха средняя за вегетационный период и сумма осадков), а также интегральный показатель – климатически обусловленная урожайность.

Основным методологическим подходом в работе является использование технологии мониторинга климата и агроклиматических ресурсов на основе имитационной системы «Климат-Почва-Урожай» (КПУ) [7, 8]. Имитационная система КПУ представляет собой набор программных модулей для моделирования динамики и роста сельскохозяйственных культур. Ядро системы – динамическая модель Погода-Урожай [9]. Система также включает модули предварительной обработки данных о погоде и климате, а также стохастическую модель для дезагрегации данных за 10-дневные или месячные периоды в суточные.

Обсуждение результатов. Теплообеспеченность. Мониторинг климатических полей температуры воздуха и атмосферных осадков свидетельствует, что основной тенденцией последних десятилетий остаётся тенденция к потеплению и связанные с этим рост теплообеспеченности и продолжительности тёплого периода года ($T > 5\text{ }^{\circ}\text{C}$) и периода активной вегетации сельскохозяйственных культур ($T > 10\text{ }^{\circ}\text{C}$) повсеместно в земледельческой зоне. В степной и лесостепной зоне ЕЧР скорость роста суммы активных температур воздуха самая высокая в земледельческой зоне и колеблется в диапазоне от $\sim 180\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет на юге ПФО до $\sim 230\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет в ЦЧО и южных областях ЕЧР. Рост температуры воздуха сопровождается тенденцией к росту продолжительности периода активной вегетации, составляющему от 8 до 12 сут. относительно периода

1961-1990 гг. Даты всходов яровых зерновых культур наблюдаются на 3-7 сут. ранее (табл. 1).

Значимое изменение средней температуры вегетационного периода яровой пшеницы наблюдается на всей исследуемой территории (рис. 1). Известно, что в урожайные годы температура периода от всходов до созревания в среднем ниже 18 °С [10]. Основная особенность высокоурожайных лет – отсутствие резкого, хотя бы кратковременного повышения температуры воздуха. Температурный режим не только определяет продолжительность вегетации пшеницы, но и прямо влияет на продуктивность, особенно когда температура выходит за рамки минимально и максимально допустимых для нормального роста и развития растений. Высокая температура и недостаток влаги в репродуктивный период (фазы от цветения до созревания) является причиной череззерницы и пустоколосости, приводящие к значительным потерям урожая, но при достаточном увлажнении почвы она благоприятствует росту.

Средняя температура вегетационного периода яровой пшеницы от периода 1961-1990 к 1991-2020 гг. максимально повысилась на юге ПФО (+0,4 °С), где яровой клин составляет основную часть посевных площадей. Высокая степень чувствительности урожаев яровой пшеницы к повышению температуры вегетационного периода характерна для южных областей ПФО.

Таблица 1

Изменения показателей термического режима за вегетационный период яровой и озимой пшеницы в 1991-2020 гг. относительно 1961-1990 гг.

Регион	T _i , °С	T _{vii} , °С	ΣT ₅ , °С	ΣT ₁₀ , °С	Яровая пшеница			Озимая пшеница				
					T, °С	D _{beg} , сут.	D _{end} , сут.	N, сут.	T, °С	D _{beg} , сут.	D _{end} , сут.	N, сут.
ЦЧО	2,7	1,5	253	232	0,2	-5	-7	-2	0,2	-5	-6	-2
ПФО, юг	2,5	0,9	206	180	0,4	-3	-5	-2	0,2	-3	-5	-2
ЮФО	1,3	1,2	245	235	-0,3	-7	-5	2	-0,2	-6	-4	2

Примечание. T_i, T_{vii} – средняя температура воздуха за январь, июль, соответственно; ΣT₅, ΣT₁₀ – сумма температур воздуха выше 5, 10 °С; T – средняя температура воздуха за вегетационный период (от всходов до восковой спелости); D_{beg} и D_{end} – даты начала и окончания вегетационного периода; N – продолжительность вегетационного периода.

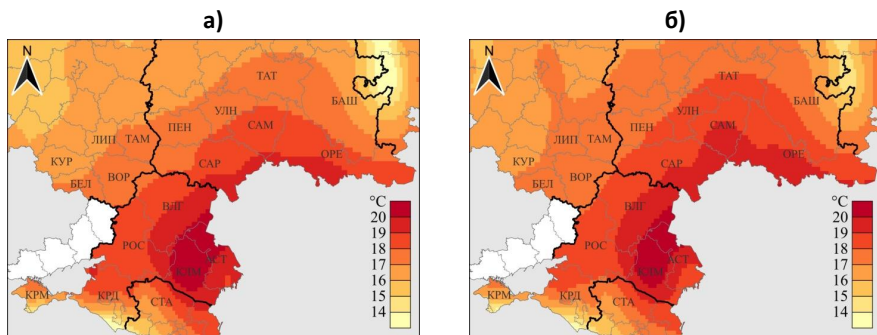


Рис. 1. Температура воздуха, средняя за вегетационный период яровой пшеницы: а) 1961-1990 гг., б) 1991-2020 гг.

Анализ показывает, что сохраняется устойчивая отрицательная корреляционная связь между температурой вегетационного периода и урожайностью яровой пшеницы для «старого» и «нового» базовых периодов. Соответствующие коэффициенты детерминации (R^2) составляют 53 и 47% (p -level < 0,0001) [2].

Наблюдаемые изменения климата проявляются в повышении температуры воздуха и в холодный период года. Основным условием размещения посевов озимых зерновых культур является благоприятные условия перезимовки. Если ограничиться оценкой тенденции температуры воздуха января, критического месяца для зимующих культур, то факт повышения температуры на 1,0-1,2 °С, свидетельствует об улучшении условий перезимовки озимой пшеницы. Потепление климата привело к значительному уменьшению числа зим с опасной для озимых культур минимальной температурой почвы ниже -10 °С. Как показали расчёты, в ЦЧО частота таких зим снизилась с 18-20 до 8-10%, а в ЮФО – с 10 до 5%. При этом растёт повторяемость «мягких» зим (с температурой января выше -5 °С) в ЦЧО – с 10-30 до 20-40% [2].

В период с 1961 по 1990 г. основные посевные площади озимой пшеницы были сосредоточены в ЮФО, в ЦЧО и на юге ПФО (рис. 2). Плодородные чернозёмные почвы при достаточном количестве осадков за время вегетации и относительно тёплые зимы создают благоприятные условия для получения высоких урожаев в этих регионах. За период 1991-2020 гг. по сравнению с 1961-1990 гг. в 4-5 раз увеличились посевные площади озимой пшеницы на юге ПФО –

в Саратовской, Самарской и Оренбургской областях, в Республиках Татарстан и Башкортостан (рис. 3).

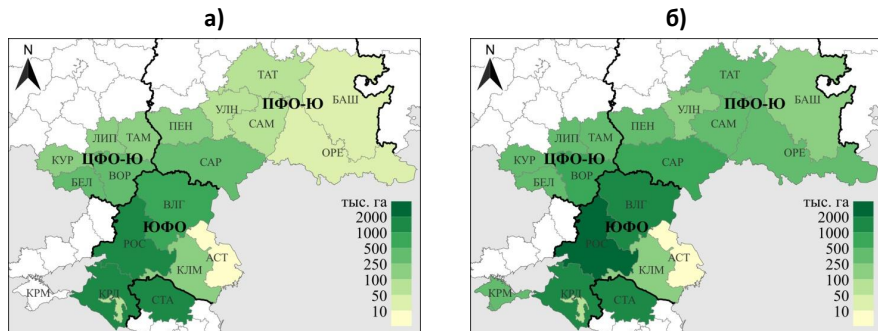


Рис. 2. Средняя посевная площадь озимой пшеницы в центре и на юге европейской части России за периоды: а) 1961-1990 гг., б) 2011-2020 гг.

Расширение посевов озимых культур можно рассматривать как эффективную меру адаптации сельского хозяйства к изменению климата. Озимая пшеница обладает значительными резервами повышения урожая в условиях роста засушливости климата – благодаря использованию запасов влаги ранневесеннего периода и началу вегетации с даты устойчивого перехода температуры воздуха через 5°C она «обходит» условия напряжённого термического режима в июле-августе.

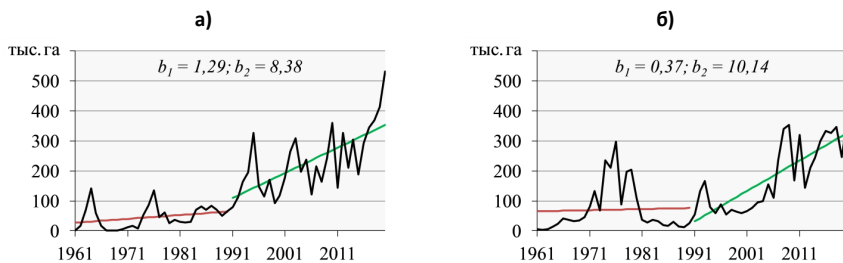


Рис. 3. Динамика посевной площади озимой пшеницы в Оренбургской области (а) и Республике Татарстан (б) за 1961-2020 гг. и коэффициенты линейного тренда b (тыс. га/год): b_1 – период 1961-1990 гг. и b_2 – период 1991-2020 гг.

Влагообеспеченность. Показателем степени неблагоприятности агроклиматических условий для возделывания сельскохозяйственных культур может служить оценка повторяемости засух ($ГТК \leq 0,6$). Повторяемость засух на исследуемой территории в период 1991-2020 гг. варьирует значительно: от 20-30% в ЦЧО (~2-3 случая за 10 лет) до ~60-70% в среднем и нижнем Поволжье (~6-7 случаев за 10 лет).

Самые продолжительные засухи зафиксированы в последнее десятилетие нового климатического периода – в 2010, 2014 и 2018 г., а их продолжительность достигала практически 4-х месяцев, например, в Оренбургской области в 2014 г.

Изменение климатически обусловленной урожайности. В ЦЧО в последние десятилетия наблюдается усиление негативного влияния изменения климата, проявившееся в скачкообразном снижении климатически обусловленной урожайности до уровня 75% в 2011-2020 гг. относительно 1961-1990 гг. На этой территории изменение климата увеличивает риск снижения урожайности, прежде всего, яровых зерновых культур, в результате уменьшения доступной влаги в вегетационный период. В то же время, благоприятные условия увлажнения осеннего периода и заметное уменьшение повторяемости лет с вымерзанием озимых смягчает отрицательные последствия роста засушливости климата и являются благоприятными факторами для озимых зерновых культур.

В южных областях ПФО климатически обусловленная урожайность яровой пшеницы в 1991-2020 гг. составила $85 \pm 5,9\%$ от уровня 1961-1990 гг. (табл. 2). Климатические изменения в регионе проявились в росте теплообеспеченности при возрастании повторяемости засух. К положительным последствиям относится улучшение условий перезимовки зерновых культур.

Таблица 2

Климатически обусловленная урожайность яровой пшеницы за период 1991-2020 гг. и в динамике по десятилетиям относительно 1961-1990 гг. Расчёты в имитационной системе «Климат-Почва-Урожай»

Регион	Оценка урожайности, %, за период, гг.			
	1991-2020	1991-2000	2001-2010	2011-2020
Центральный ФО, юг	$85 \pm 4,1$	90	91	75
Приволжский ФО, юг	$85 \pm 5,9$	90	91	73
Южный ФО (включая Ставропольский край)	$91 \pm 4,3$	105	89	80

В ЮФО и Ставропольском крае наблюдается постепенное снижение климатически обусловленной урожайности яровой пшеницы от 105% в 1991-2000 гг. до 80% в 2011-2020 гг. (табл. 2). Продолжительные интенсивные засухи, зафиксированные в 2012, 2013 и 2018 г. внесли основной отрицательный вклад в эту оценку. В целом, климатические изменения в ЮФО проявляются в возрастании продолжительности и интенсивности жаркой погоды. Происходит небольшое уменьшение осадков летом при одновременном увеличении интенсивности ливневых осадков, возрастает засушливость в летний период.

Заключение. Изменение климата в климатическом периоде 1991-2020 гг. проявилось в росте термических и снижении влажностных ресурсов в степной и сухостепной зоне ЕЧР, что привело к снижению климатически обусловленной урожайности зерновых культур. Самое значительное её понижение отмечается в южных областях Приволжского ФО ($85 \pm 5,9\%$). Полученные в исследовании количественные оценки тенденций и пространственные закономерности изменения климатически обусловленной урожайности зерновых культур на примере яровой пшеницы, отражают особенности изменения агроклиматических ресурсов в основных регионах её возделывания на ЕЧР и могут служить основой для научного обоснования разрабатываемых мер адаптации зернового комплекса России к изменению климата.

Библиографический список

1. Morgounov A., Sonder K., Abugalieva A., Bhadauria V., Cuthbert R.D., Shamanin V. et al. Effect of climate change on spring wheat yields in North America and Eurasia in 1981-2015 and implications for breeding // PLoS ONE. 2018. № 13(10): e0204932.
2. Павлова В.Н., Карачёноква А.А. Изменение агроклиматических ресурсов зернопроизводящих регионов России и продуктивности зерновых культур в новом климатическом периоде 1991-2020 гг. // Метеорология и гидрология. 2023. № 9. С. 29-42.
3. Pinke Z., Decsi B., Jámboor A., Kardos M.K., Kern Z., Kozma Z., Ács T. Climate change and modernization drive structural realignments in European grain production // Scientific Reports. 2022. № 12:7374.
4. Pequeno D.N.L., Hernandez-Ochoa I.V., Reynolds M. et al. Climate impact and adaptation to heat and drought stress of regional and global wheat production // Environ. Res. Lett. 2021. № 16:054070.

5. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме // СПб.: Научно-технологические технологии. 2022. 124 с.

6. Национальный план мероприятий первого этапа адаптации к изменениям климата на период до 2022 года, утвержденный распоряжением Правительства Российской Федерации от 25 декабря 2019 г. № 3183-р. [Электронный ресурс] // Правительство России. URL: <http://static.government.ru/media/files/OTrFMr1Z1sORh5NIx4gLUsdgGHyWIAqy.pdf> (дата обращения 01.02.2024).

7. Сиротенко О.Д. Имитационная система Климат-Урожай // Метеорология и гидрология. 1991. № 4. С. 67-73.

8. Pavlova V.N., Karachenkova A.A., Varcheva S.E., Sinityn N.M. Assessment approach of the spatial wheat cultivation risk for the main cereal cropping regions of Russia / In: Landscape Modelling and Decision Support. W. Mirschel, V.V. Terleev and K.-O. Wenkel (eds.) // Springer Nature. 2020. P. 363-382.

9. Сиротенко О.Д. Математическое моделирование водно-теплового режима и продуктивности агроэкосистем. Л.: Гидрометеиздат. 1981. 167 с.

10. Бараев А.И., Бакаев Н.М., Веденеева М.Л. и др. Яровая пшеница / Под общей ред. А.И. Бараева. М.: Колос. 1978. 429 с.

DYNAMICS OF AGROCLIMATIC RESOURCES IN THE SOUTH OF THE EUROPEAN PART OF RUSSIA UNDER CLIMATE CHANGE

V.N.Pavlova, V.A.Romanenkov, A.A.Karachenkova

All-Russian Institute of Agricultural Meteorology, Obninsk, ynp2003@bk.ru

Lomonosov Moscow State University, Agrarian Center, Moscow,

romanenkov@soil.msu.ru

Summary: The favorable and unfavorable consequences of the observed climate change for 1991-2020 relative to the previous thirty years (1961-1990) in the steppe and forest-steppe zones in the European part of Russia were assessed, as well as their impact on climate-dependent wheat yield. A 10-20% yield decrease, primarily for spring grain crops, is due to a decrease in available moisture reserves during the growing season and an increase in the frequency of droughts.

Keywords: climate change, climate-dependent yield, spring and winter wheat, heat and moisture availability.

УДК 551.521.11

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ
СОЛНЕЧНОГО СИЯНИЯ ПО МНОГОЛЕТНИМ
АКТИНОМЕТРИЧЕСКИМ ДАННЫМ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ
ОБСЕРВАТОРИИ ИМЕНИ В.А. МИХЕЛЬСОНА РГАУ-МСХА**

Д.А. Зайцева¹

Научный руководитель – проф. А.И.Белолобцев¹

¹ ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», dashazaytseva@gmail.com

Аннотация: в статье приведены результаты анализа многолетних актинометрических данных продолжительности солнечного сияния по данным метеорологической обсерватории имени В.А. Михельсона, а также выявлены закономерности их изменения с 1961 по 2023 гг.

Ключевые слова: продолжительность солнечного сияния, облачность, атмосферное давление, климатическая норма.

Актуальность. В настоящее время наблюдаются существенные изменения в процессах общей циркуляции атмосферы северного полушария в результате глобального и регионального потепления климата. Подобные изменения окажут значительное влияние на многие отрасли экономики и, в первую очередь, на сельское хозяйство, которое в наибольшей степени зависит от возможной трансформации внешней среды и ее текущих параметров [1, 2, 8].

В связи с наблюдаемым потеплением климата на планете происходят перемены и в формируемой для каждой территории синоптической обстановке. Это, в свою очередь, отражается и на характере текущей погоды, определяя разные условия по тепло и влагообеспеченности. Продолжительность солнечного сияния является одним из главных системообразующих факторов природной среды. В агрометеорологии ему придается особое значение. Именно свет и тепло ключевые факторы для роста и развития сельскохозяйственных растений, успешного их возделывания в разных природно-географических зонах [3, 4].

На изменение общей облачности и, соответственно, продолжительности и интенсивности солнечного сияния оказывает существенное влияние атмосферное давление. В зависимости от состояния и характеристик барических систем

(циклон, антициклон, седловина и др.) общая облачность может заметно варьироваться в пространстве и даже меняться в течение одного часа во времени. Это в свою очередь определяет продолжительность и интенсивность поступающей прямой солнечной радиации, и вместе с ней фактический световой режим территории.

Объекты и методы исследования. Объектом исследования в данной работе послужил ряд многолетних наблюдений Метеорологической обсерватории имени В.А. Михельсона РГАУ-МСХА, включающий следующие показатели: общую облачность (баллы), определяемую визуально [5]; атмосферное давление (гПа) на уровне моря метеорологической площадки (163,4 метра); продолжительность солнечного сияния (часы). Продолжительность солнечного сияния определялась при помощи специального самописца – гелиографа, принцип действия которого основан на фокусировке солнечных лучей с помощью стеклянной сферы и прожоге на бумажной ленте прибора.

Для определения зависимости продолжительности солнечного сияния от общей облачности, а также атмосферного давления на территории Московского региона, были использованы месячные и среднегодовые актинометрические данные и наблюдения за атмосферным давлением обсерватории имени В.А. Михельсона.

В нашем исследовании рассматривались две климатические нормы, включающие разные временные периоды осреднения: 1961-1990 гг. (базовая) и 1990-2020 гг. (оперативная). В указанных интервалах были определены параметры временного распределения продолжительности солнечного сияния и общей облачности. Для более подробной оценки этих параметров была проведена визуализация данных.

В период с 1961 по 2020 гг. также была проведена корреляционная оценка между объектами исследования по каждому месяцу наблюдений, где отмечены изменения в зависимости от синоптических и климатических условий каждого отдельного месяца. Также была проведена статистическая оценка этого показателя за исследуемые периоды.

Обсуждение результатов. По результатам оценки многолетних актинометрических данных и общей облачности, наблюдается тенденция к увеличению продолжительности солнечного сияния. Так, например, сравнивая показатели двух климатических норм (1961-1990 и 1991-2020 гг.) можно отметить, что в каждом отдельном месяце наблюдаются различия в распределении данного показателя: в теплый период (март-октябрь) наблюдается тенденция к увеличению

продолжительности, а в холодный (ноябрь-февраль), наоборот, уменьшение или отсутствие изменений (рис. 1). Разница в отдельные месяцы может составлять от 0,5 до 11,3 часов. Общие среднегодовые параметры, тем не менее, указывают на увеличение продолжительности солнечного сияния.

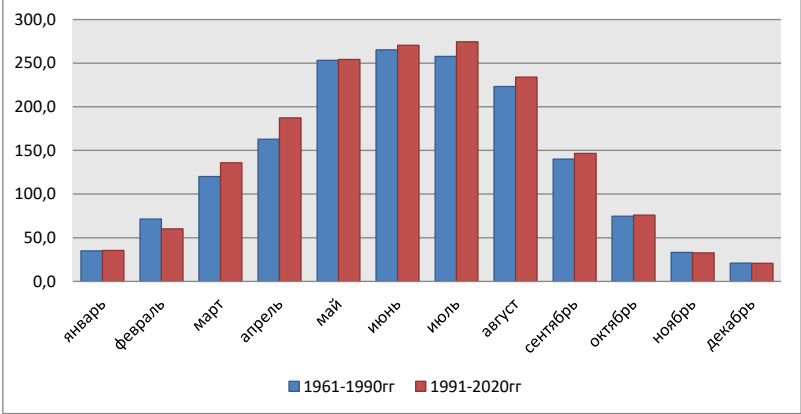


Рис 1. Среднемноголетние данные по продолжительности солнечного сияния, час

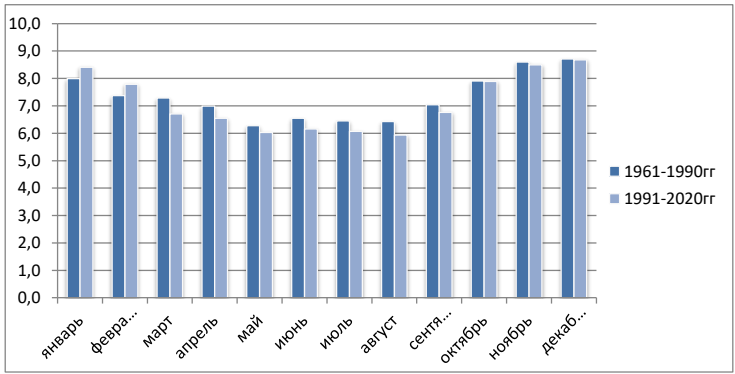


Рис 2. Среднемноголетние данные по общей облачности, баллы

Аналогичным образом была проведена оценка общей облачности для территории Московского региона (рис. 2). Здесь следует отметить, что наблюдается обратная тенденция: в холодный период общая облачность увеличивается, а в теплый период идёт значительное уменьшение общей облачности. По среднемноголетним данным количество баллов общей облачности не опускалось ниже 6 баллов, где максимальные значения составили 9 баллов. Количество баллов общей облачности в периоде с 1961 по 1990 год в январе, феврале несколько меньше, чем за период оперативной климатической нормы. Незначительная разница в баллах между периодами оказалась в октябре, ноябре и декабре.

При рассмотрении взаимосвязи между продолжительностью солнечного сияния и общей облачностью, также были выявлены закономерности. В феврале за последний временной период облачность увеличивается, так же, как и снижается количество часов солнечного сияния. Апрель, июль, август имеют значительную разницу, то есть имеют большее количество часов солнечного сияния по сравнению с предыдущим периодом. По полученным результатам установлена обратная зависимость – с уменьшением общей облачности, происходит увеличение числа часов продолжительности солнечного сияния, что прослеживается в исследуемых климатических периодах и является закономерным подтверждением устойчивой связи между данными показателями.

По среднемноголетним данным продолжительности солнечного сияния, выявлены годы с максимальными и минимальными их значениями. Рекордным показателем в период с 1961 по 1990 гг. отмечен 1963 год (1982,7 часа), где максимальные значения получены в мае (337,8 час) и сентябре (210,2 час). За период с 1991 по 2020 год рекордным годом стал 2018 год (2088,4 час).

Меньше всего солнечного света, по данным обсерватории, было зарегистрировано в 1980 году, где продолжительность солнечного сияния составила только 1402,9 часа. Существенную роль в этом сыграл холодный период. Общая высокая плотность облаков, обусловила минимальное количество продолжительности инсоляции (табл. 1).

Таблица 1

Параметры временного распределения месячной и годовой продолжительности солнечного сияния
Характеристики продолжительности солнечного сияния (ПСС)

Период (годы)	МЕСЯЦЫ												ГОД
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
средняя многолетняя ПСС, часы													
1961-1990	34.9	71.4	120.1	162.8	253.3	265.1	257.7	223.2	140.2	74.8	33.3	21.0	1657.7
1991-2020	35.5	60.1	135.9	187.4	254.1	270.5	274.4	234.0	146.5	75.9	32.8	20.6	1727.6
максимальная ПСС, часы													
1961-1990	91.3	153.1	228.5	258.2	337.8	356.7	338.4	286.5	210.2	136.1	68.6	39.9	1982.7
год	1973	1969	1969	1965	1963	1968	1981	1971	1963	1987	1967	1978	1963
1991-2020	86.1	89.6	208.4	237.6	341.0	401.2	386.2	336.8	198.0	148.9	79.6	61.4	2088.4
год	2014	1996	1996	2009	2002	1999	2014	2018	2018	2005	1998	2002	2018
минимальная ПСС, часы													
1961-1990	8.1	20.0	53.9	78.4	112.6	193.5	178.7	152.1	44.9	19.3	8.8	2.4	1402.9
год	1986	1990	1976	1986	1980	1987	1980	1980	1990	1982	1977	1968	1980
1991-2020	11.9	25.4	88.8	125.5	177.5	168.2	192.4	162.8	53.8	31.2	9.9	0.2	1470.0
год	2004	2002	1993	1992	2020	2003	1993	1998	2013	1997	2006	2017	1993
Параметры временного распределения месячной и годовой ПСС													
Период (годы)	МЕСЯЦЫ												ГОД
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
среднее квадратическое отклонение, часы													
1961-1990	21	31	37	41	51	46	48	33	42	26	17	11	163
1991-2020	18	18	25	31	41	45	49	47	32	31	18	15	155
коэффициент вариации, %													
1961-1990	60	43	31	25	20	17	19	15	30	34	52	54	10
1991-2020	50	30	19	16	16	17	18	20	22	41	55	73	9
коэффициент асимметрии													
1961-2020	1.1	0.8	0.2	-0.4	-0.4	0.3	0.2	0.3	-0.6	0.2	0.8	0.9	0.4
коэффициент эксцесса													
1961-2020	1.0	1.6	0.9	0.2	0.7	0.1	-0.6	-0.1	-0.2	-0.3	0.0	0.4	-0.6

Для среднегодовых значений продолжительности солнечного сияния был рассчитан ряд статистических параметров, которые могут дать более детальную оценку изменений этого показателя во времени. Коэффициент асимметрии является безразмерной величиной и характеризует степень симметричности показателей [6].

За период 1961-1990 гг. годовое среднее квадратическое отклонение составило 163 часа, а за период 1991-2020 гг. – 155 часов. Также был рассчитан коэффициент вариации продолжительности солнечного сияния. В теплый период (май-август) он составил не более 20%, а в холодный период (январь-декабрь) в пределах от 50 (январь 1991-2020 гг.) до 73% (декабрь 1991-2020 гг.). Годовой коэффициент вариации составил 9 и 10% соответственно. За весь исследуемый период были рассчитаны коэффициент асимметрии и коэффициент эксцесса.

Таблица 2

Корреляционная связь исследуемых параметров, 1961-2023 гг.

Месяц	Атмосферное давление и общая облачность	Атмосферное давление и продолжительность солнечного сияния	Общая облачность и продолжительность солнечного сияния
Январь	-0.76	0.67	-0.88
Февраль	-0.59	0.50	-0.90
Март	-0.33	0.29	-0.87
Апрель	-0.41	0.37	-0.92
Май	-0.53	0.53	-0.90
Июнь	-0.70	0.75	-0.89
Июль	-0.75	0.72	-0.94
Август	-0.77	0.78	-0.91
Сентябрь	-0.73	0.68	-0.91
Октябрь	-0.54	0.48	-0.94
Ноябрь	-0.44	0.39	-0.91
Декабрь	-0.44	0.34	-0.80

Связь между атмосферным давлением и общей облачностью показывает наиболее устойчивый результат, особенно в январе, июне, июле, августе и в сентябре. Менее 0,5 в марте, апреле, ноябре и декабре. Это характеризует более выраженную зависимость данных показателей.

Менее отчётливо наблюдается корреляционная связь между атмосферным давлением и продолжительностью солнечного сияния. Корреляция в июне, июле и августе составляют более 0,7. Корреляционная зависимость между общей облачностью и продолжительностью солнечного сияния ПСС имеет аналогичный характер, как и между атмосферным давлением и общей облачностью.

Заключение. Таким образом, проведенные исследования по данным Метеорологической обсерватории имени В.А. Михельсона, позволяют сделать вывод, что современные природно-климатические условия для Московского региона становятся менее устойчивыми. Изменение общей облачности и продолжительности солнечного сияния, подтверждают общую теорию трансформации среды обитания в результате глобального потепления.

Увеличение продолжительности солнечного сияния улучшает световой режим и увеличивает теплообеспеченность Московского региона для различных отраслей экономики, в том числе, и прежде всего, для сельского хозяйства. Этот параметр позволяет определять, можно ли возделывать более теплолюбивые культуры, или культуры «длинного» светового дня.

Комплексная оценка изучаемых параметров и полученные на этой основе результаты свидетельствуют о переосмыслении подходов к целям и задачам агрометеорологии, где отдельные положения становятся менее актуальными и требуют уточнения.

Библиографический список

1. Белолобцев, А.И. Сценарии воздействия изменений климата на сельское хозяйство / А.И. Белолобцев, Е.А. Дронова, И.Ф. Асауляк // Естественные и технические науки, № 6, 2018г. С. 77-82.
2. Быстров А.А., Кузнецов И.А., Охлопков И.А. Основные агрометеорологические параметры 2022 года и их анализ по данным обсерватории имени В.А. Михельсона. Сборник статей международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвященная 180-летию со дня рождения К.А. Тимирязева. Москва: Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева, 2023 – 350 с.;
3. Белолобцев А.И., Суховеева О.Э., Асауляк И.Ф. Агроклиматическая оценка продуктивности озимой пшеницы на склоновых землях // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2012. № 2. С. 46-57.

4. Белолюбцев А.И., Асауляк И.Ф. Агроклиматическое обеспечение продукционных процессов сельскохозяйственных культур в условиях центрального района Нечерноземной зоны // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2013. № 4. С. 66-84.

5. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам: вып. 3, ч. 1 Метеорологические наблюдения на станциях. – Л.: Гидрометеоздат, 1985. – 142 с.

6. Сикан А.В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. Учебник - СПб.: изд. РГГМУ, 2007, 18 с.

7. Осин Д.Ю., Ильин П.С. Анализ временной изменчивости агроклиматических условий тепло- и влагообеспеченности по данным Метеорологической обсерватории имени В.А. Михельсона. Материалы Всероссийской конференции молодых исследователей «Аграрная наука-2022». Москва: Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева, 2022 – 1526 с.;

8. Belolubtsev A.I., Pinich V.V., Dronova E.A., Asaulyak I.F., Kuznetsov I.A Assessment of trends of air temperature based on 140-year observations of v.a. mikhelson meteorological observatory. Caspian Journal of Environmental Sciences. 2021. T. 19. № 5. С. 909-914.

**REGULARITIES OF SUNSHINE DURATION DISTRIBUTION
ACCORDING TO LONG-TERM ACTINOMETRIC DATA OF THE V.A.
METEOROLOGICAL OBSERVATORY MIKHELSON RGAU-MSHA**

D.A. Zaitseva

Scientific supervisor – A.I.Belolyubtsev

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev",
dashazaytseva6@gmail.com

Abstract: the article presents the results of the analysis of long-term actinometric data on the duration of sunshine at the V.A. Meteorological Observatory. Mikhelson, and also revealed patterns of their changes from 1961 to 2023.

Key words: duration of sunshine, cloudiness, atmospheric pressure, climate norm.

УДК 551.50: 551.506.8: 631: 633.1

АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ 2023 ГОДА И ИХ АНАЛИЗ НА ОСНОВЕ НАБЛЮДЕНИЙ ОБСЕРВАТОРИИ ИМЕНИ В.А. МИХЕЛЬСОНА

А.А. Быстров¹, Е.В. Береснева¹, Ю.А. Спирин¹, И.А. Охлопков¹

¹ ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА
имени К.А. Тимирязева», E-mail: bustrov@rgau-msha.ru

Аннотация: в данной статье проведен анализ основных метеорологических параметров за период согласно оперативной климатической норме и за 2023 год на основе данных из обсерватории имени В.А. Михельсона. Из проведенного анализа следует, что метеорологические условия в исследуемом периоде не соответствуют климатической норме: наблюдаются значительные отклонения как в среднемесячных температурах воздуха, так и в суммах осадков.

Ключевые слова: вегетация растений, температура воздуха, осадки, суровость зимы, гидротермический коэффициент.

Актуальность. Агроклиматические параметры играют ключевую роль в сельском хозяйстве, для обеспечения продовольственной устойчивости различных стран мира. Изменения в климатических условиях, включая среднюю температуру, осадки и экстремальные явления, оказывают существенное влияние на урожайность. Изучение этих параметров помогает оптимизировать производство и разрабатывать методы борьбы с климатическими рисками, а также предсказывать погоду для оптимального времени посевов и уборки [5]. Например, низкие зимние температуры могут повредить растения [2], а увеличение экстремальных погодных явлений увеличивает риск потери урожая и снижает безопасность производства продукции [7]. В связи с этим важно проанализировать многолетние данные и сравнить их с последними показателями [1].

Объекты и методы исследования. Цель исследования - сравнительный анализ метеорологических данных за 2023 год и периода климатической нормы с 1991 по 2020 гг. Нами был проведен анализ текущих метеорологических данных по сравнению с климатической нормой (1991-2020 гг.) обсерватории имени В.А. Михельсона.

Обсуждение результатов. Основные метеорологические показатели представлены в таблице. За период оперативной климатической нормы средние значения температуры воздуха колебались от $-6,1^{\circ}\text{C}$ в январе до $19,8^{\circ}\text{C}$ в июне. Показатели среднемесячной температуры воздуха в 2023 году варьировались от $-4,7^{\circ}\text{C}$ в январе до $19,8^{\circ}\text{C}$ в августе, с превышением среднегодового значения на $0,8^{\circ}\text{C}$, и составили $7,3^{\circ}\text{C}$.

Таблица 1

Значения основных метеорологических элементов за период оперативной климатической нормы и 2022 года

Параметр	Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Среднемесячная температура воздуха $^{\circ}\text{C}$	1991-2020	-6,1	-5,7	-0,5	7,2	13,8	17,5	19,8	17,8	12,1	6,0	-0,4	-4,3
	2023	-4,7	-4,1	1,4	9,9	12,8	16,9	18,5	19,8	15,3	5,4	0,7	-4,4
Отклонения, $^{\circ}\text{C}$		-10,8	-9,8	0,9	17,1	26,6	34,4	38,3	37,6	27,4	11,4	0,3	-8,7
Сумма осадков, мм	1991-2020	50,9	42,2	37,1	35,6	59,1	77,9	83,2	77,1	65,6	68,8	51,8	49,1
	2023	35,7	42,7	64,9	37,7	33,3	78,2	151,2	39,7	10,4	114,9	87,9	83,8
Отклонения, мм		86,6	84,9	102	73,3	92,4	156,1	234,4	116,8	76	183,7	139,7	132,9

В период с 1991 по 2020 гг. наибольшее количество осадков было зафиксировано в июле и составляло 83,2 мм, а минимальное количество - в апреле, составляя 35,6 мм. В 2023 году максимальное количество осадков пришлось на июль и составило 151,2 мм, что превышает среднегодовые значения на 11%. Сентябрь оказался самым сухим месяцем, с общим количеством осадков в 10,4 мм. Графики отклонений температуры воздуха от климатической нормы и отклонений суммарных осадков от среднегодовых значений представлены на рисунках 1 и 2 соответственно.

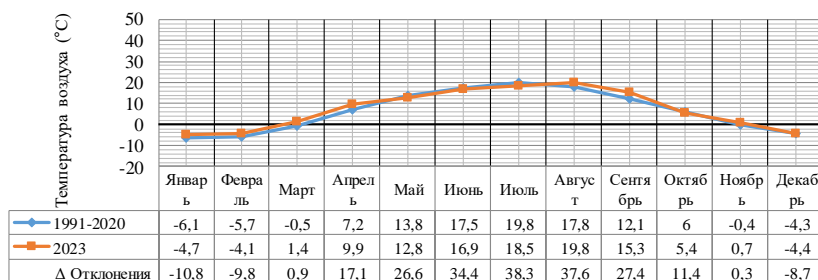


Рис. 1. График ежемесячного хода температуры за период 1991-2020 и 2023 гг.

В период с 1991 по 2020 гг. минимальное количество осадков пришлось на апрель - 35,6 мм. Наибольшее значение наблюдалось в июле и составляло

83,2 мм. В 2023 году максимальное количество осадков пришлось на июль - 151,2 мм, что превышает среднегодовые значения на 11%. Сентябрь оказался самым сухим месяцем, с общим количеством осадков в 10,4 мм. В работе представлены графики ежемесячного хода температуры за период с 1991 по 2020 гг и за 2023 год, а также график ежемесячного хода сумм осадков [6].

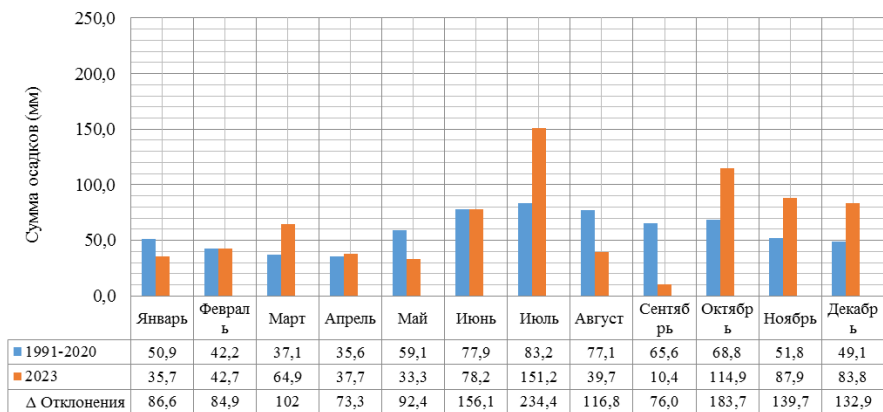


Рис. 2. График ежемесячного хода сумм осадков

Общая сумма осадков за изучаемый год превысила среднегодовые значения за период 1991-2020 годов на 6,8 мм, что свидетельствует о повышенной влажности в этом году. Наибольшее отклонение от средних многолетних значений, пришлось на июль и составило 35% или 234,4 мм. Минимальное расхождение отмечено в сентябре и составило 15%.

Одними из ключевых показателей являются температура приземного воздуха и количество атмосферных осадков. Изменение климата приводит к изменению осадков и, следовательно, к изменению загрязнения атмосферы и выпадению различных веществ, включая те, которые переносятся через границы страны [4].

Начало периода активной вегетации в 2023 году 23.03, а конец фазы вегетации пришелся на 17.10, в эти дни состоялся устойчивый переход температуры за отметку 5°C. Температура и осадки играют ключевую роль в вегетационном процессе растений. Они обеспечивают оптимальные условия для роста и развития растений, ускоряя фотосинтез и обмен веществ. Низкие

температуры могут замедлить вегетацию и даже вызвать заморозки, что приведет к повреждению растений.

Недостаточное количество осадков может привести к засухе, ограничивая доступ и питательным веществам.

Так же был рассчитан гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК) был рассчитан по формуле:

$$\text{ГТК} = \frac{\sum P}{0,1 \sum t} = 1,45$$

где $\sum P$ – сумма осадков, выпадающих за период активной вегетации, мм; $\sum t$ – сумма активных температур за тот же период, °C.

Согласно полученным данным в 2023 году, значение ГТК составило 1,45, что характеризует увлажнение территорий как близкое к среднему, согласно классификатору критериев увлажненности.

Расчёт комплексного показателя суровости зимнего периода 2023 г. основан на данных метеорологической обсерватории и формуле предложенной А.М. Шульгиным:

$$\bar{K} = \frac{t_m}{h} = 0,2$$

где t_m - средний из абсолютных минимумов температуры воздуха за самый холодный месяц, °C; h - средняя высота снежного покрова за этот же период, см.

По полученному комплексному показателю была определена степень суровости зимы, где $K < 1$ характеризует зиму как мягкую по классификатору [8].

Заключение. Анализ данных за 2023 год показал, что средняя температура превышала многолетние климатические нормы, а уровень осадков был благоприятным. Исследование показателя суровости зимы свидетельствует о благоприятных условиях для озимых культур. Анализ воздействия изменений климата на сельское хозяйство подтверждает увеличение продолжительности вегетационного периода, что способствует в теории может поспособствовать росту сельскохозяйственных культур в результате повышения температуры и закономерного ускорения процессов их развития.

Полученные выводы о динамике температур и осадков могут использоваться для принятия решений в сельском хозяйстве, включая более

детальный анализ состояния растительности на полях на основе данных NDVI, агрогидрологии и в других областях, зависящих от погоды и изменения климата.

Библиографический список

1. Быстров, А.А. Основные агрометеорологические параметры 2021 года и их анализ по многолетним данным обсерватории имени В.А. Михельсона / А.А. Быстров, И.А. Кузнецов, И.А. Охлопков, Ю.А. Спириин // Аграрная наука - 2022: материалы Всероссийской конференции молодых исследователей, Москва, 22–24 ноября 2022 года. – Москва: Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2022. – С. 1459-1463.

2. Быстров, А. А. Влияние современных агрометеорологических условий на перезимовку озимой тритикале в условиях полевой станции РГАУ-МСХА / А.А. Быстров, А.И. Белолобцев, В.Н. Игонин//Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. –2022. – Т. 32, № 4. – С. 460-467.

3. Быстров, А. А. Основные агрометеорологические параметры 2022 года и их анализ по многолетним данным обсерватории имени В.А. Михельсона / А.А. Быстров, И.А. Кузнецов, И.А. Охлопков // Международная научная конференция молодых учёных и специалистов, посвящённая 180-летию со дня рождения К.А. Тимирязева: Сборник статей, Москва, 05–07 июня 2023 года. Том 1. – RUS: Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2023. – С. 350-355.

4. Галушин, Д.А. Межгодовая динамика химического состава и кислотности атмосферных осадков на территории Приморского края за период с 2011 по 2020 г / Д.А. Галушин, С.А. Громов, С.М. Авдеев // Успехи современного естествознания. – 2022. – № 3. – С. 42-48.;

5. Моисейчик, В.А. Агрометеорологические условия и перезимовка озимых культур. Ленинград: Гидрометеиздат, 1975. 295 с.;

6. Охлопков И.А. Анализ состояния посевов на опытных полях РГАУ-МСХА на основе данных спутникового зондирования / И. А. Охлопков, А. А. Быстров, Ю. А. Спириин, И. А. Кузнецов // Аграрная наука - 2022: материалы Всероссийской конференции молодых исследователей, Москва, 22–24 ноября 2022 года. – Москва: Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2022. – С. 1522-1525.;

7. Перевертин, К.А. Влияние режима снежного покрова на агрономические риски развития розовой снежной плесени / К. А. Перевертин, А.И. Белолобцев, Е.А. Дронова, И.Ф. Асауляк, И.А. Кузнецов, М.А. Мазиров,

Т.А. Васильев // Лёд и снег. – 2022. – Т. 62, № 1. – С. 75-80.;

8. Сенников, В.А. и др. Агрометеорология: метод. указания / В.А. Сенников, Л.Г. Ларин, А.И. Белолюбцев, Л.Н. Коровина. Москва: Изд-во РГАУ-МСХА, 2012. 23 с.

**AGROMETEOROLOGICAL CONDITIONS IN 2023 AND THEIR
ANALYSIS BASED ON OBSERVATIONS NAMED AFTER V.A.
MIKHELSON**

A.A. Bystrov, E.V. Beresneva, Y.A. Spirin, I.A. Okhlopkov
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Russian
State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after
K.A. Timiryazev", E-mail: bustrov@rgau-msha.ru

Abstract: this article analyzes the main meteorological parameters for the period according to the operational climate norm and for 2023 based on data from the V.A. Observatory. Mikhelson. From the analysis it follows that meteorological conditions in the period under study do not correspond to the climatic norm: significant deviations are observed in both average monthly air temperatures and precipitation amounts.

Key words: plant vegetation, air temperature, precipitation, winter severity, hydrothermal coefficient.

АНАЛИЗ СТЕПЕНИ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ В МОСКОВСКОМ РЕГИОНЕ В ТЕПЛЫЙ ПЕРИОД 2023 ГОДА

М.О. Обухов¹,

Научный руководитель – доц. И.Ф. Асауляк¹

¹ Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, obukhov.mo@yandex.ru, irasaulak@mail.ru

***Аннотация:** в статье анализируется степень пожарной опасности в лесных массивах на территории Москвы и Московской области в пожароопасный период (апрель - октябрь) 2023 года. Рассчитаны основные показатели горимости, составлены графики хода показателей горимости и выпавших осадков.*

***Ключевые слова:** природный пожар, пожарная опасность, показатель горимости, пожароопасный период, Московский регион.*

Актуальность. Природный пожар – это стихийно возникающий и распространяющийся процесс горения в природной среде (в лесной или степной местности). Высокая пожарная опасность - неблагоприятное метеорологическое явление, которое значительно повышает вероятность возникновения пожаров на природных территориях. Объектом исследования является значения показателя горимости леса на территории города Москва и Московской области. Исследования проводились на основе статистического метода.

Обсуждение результатов. В работе использовались данные ФГБУ «Центральное УГМС», где ежедневно в пожароопасный период (с апреля по октябрь) производится расчет пожарной опасности в лесных массивах Москвы и Московской области.

В 2023 году расчет пожарной опасности производился в Московском регионе с 14 апреля по 8 октября, когда в регионе прошли сильные дожди. Общее количество дней с непрерывным анализом пожарной ситуации составило 178 дней. Расчет производился по данным 14 метеорологических станций (2 в Москве - ВДНХ, Михайловское; 12 в области - Ново-Иерусалим, Дмитров, Клин, Волоколамск, Можайск, Наро-Фоминск, Серпухов, Коломна, Черусти, Павловский Посад, Кашира, Подмосковная). Для оценки горимости

применяется метод расчета, предложенный академиком В.Г. Нестеровым, а также шкала степени пожарной опасности (таблица 1).

Таблица 1

Шкала степени пожарной опасности по расчетам В.Г. Нестерова

Комплексный показатель горимости, мбар-град	Класс пожароопасности (по шкале Нестерова В.Г.)	Степень пожароопасности
< 300	1	отсутствует
301-1000	2	малая
1001-4000	3	средняя
4001-10000	4	высокая
> 10000	5	чрезвычайная

Вычисление комплексного показателя горимости начинается после схода снега, то есть в момент начала пожароопасного периода, продолжается ежедневно и заканчивается осенью, когда несколько дней наблюдается выпадение обильных осадков (на Европейской территории России это происходит в сентябре или октябре). Показатель пожарной опасности (ППО), предложенный В. Г. Нестеровым [1], рассчитывается путём ежедневного суммирования (нарастающим итогом) произведения температуры воздуха (t) на дефицит влажности воздуха ($t-r$) в 12 часов местного времени, также учитывается сумма осадков за прошедший день и прошедшую ночь - 24 часа (формула): если сумма выпавших осадков за сутки составляет 3 мм и более, показатель горимости на метеостанции обнуляется.

$$\text{КПП} = \sum_n^1 t(t-r) \quad (1)$$

Согласно полученным данным Центрального УГМС, в среднем на территории Московского региона в теплый период 2023 года наиболее высокий средний показатель горимости составил 2204 градуса на станции Москва (ВДНХ), наименьший средний показатель наблюдался на станции Черусти (городской округ Шатура, восток области) - 1391 градус. В среднем по станциям показатель горимости в 2023 году составил 1757 градуса.

На рисунке 1 представлен график среднего показателя горимости за теплый период 2023 года.

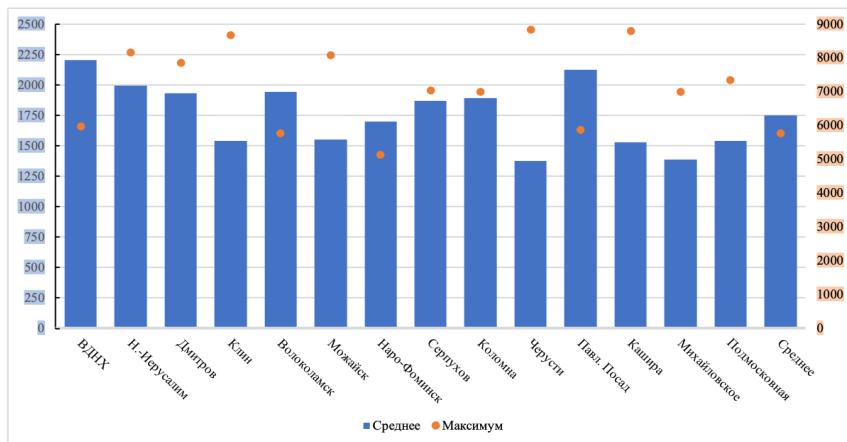


Рис. 1. Средний и максимальный показатель горимости

Наибольшее значение показателя составил 8830 градуса, наблюдался в Коломне 27 июня. Среди станций на территории Москвы максимальный показатель составил 8169 градуса. Данное значение наблюдалось на станции ВДНХ 06 октября. На станции Михайловское максимальное значение было существенно ниже - 5974 градуса, и наблюдалось оно 22 июня. На рисунке 1 в виде точек представлены данные о максимальных значениях показателя горимости за 2023 год для каждой станции.

По средним ежедневным показателям горимости, можно выделить 3 периода с высокой пожарной опасностью в Московском регионе: с 17.05 по 20.05, с 16.06 по 23.06, с 23.09 по 3 октября. Наиболее высокий средний показатель горимости по региону составил 5759 градусов (22.06). Также можно выделить 5 наиболее заметных периодов сухой погоды: во второй декаде апреля, в первой и второй декаде мая и июня, а также в сентябре. В эти периоды значения показателя горимости накапливались активнее всего. На рисунке 2 представлен график хода среднего показателя горимости и средняя сумма осадков за изучаемый период.

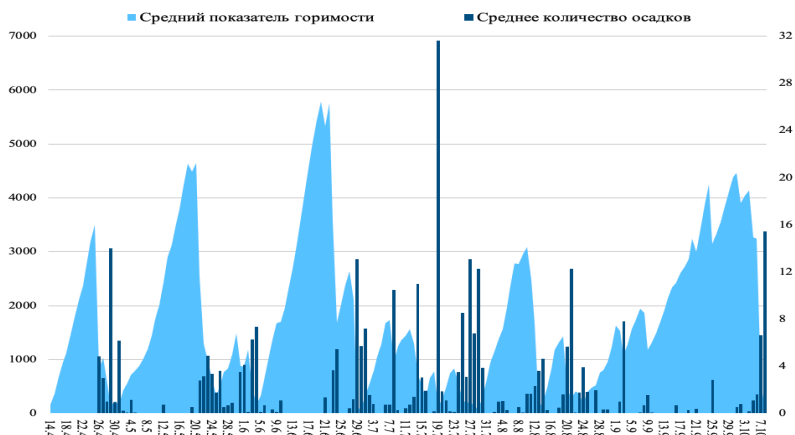


Рис. 2. Среднее значение показателя горимости и количества осадков в Московском регионе

Все засушливые периоды связаны с установлением антициклональной погоды: чем дольше период сухой погоды, выше температура воздуха и ниже влажность, тем быстрее копится показатель горимости. График среднего показателя горимости и график среднего количества осадков по дням рисунку 2 имеют между собой прямую связь.

Всего было отмечено 2 дня, когда высокий класс пожарной опасности отмечался на всех станциях региона: 18.05 и 20.06.

Самый дождливый день в регионе наблюдался 18 июля, когда за сутки в среднем выпало 31,6 мм дождя. Больше всего дождя выпало в Клину - 90 мм. Самой дождливой станцией оказалась Москва (ВДНХ), а самой сухой метеостанция Михайловское (Троицкий АО). В среднем на территории Москвы и области с 14.04 по 08.10 выпало 326 мм дождя.

За рассматриваемый период на станциях в среднем наблюдалось 39 дней с действующим первым классом пожароопасности, 44 дня со вторым классом, 72 дня с третьим классом и 23 дня с четвертым (высоким) классом пожароопасности. Сравнительно высокое количество дней с третьим классом (средним) может быть связано с неравномерно распределенной градацией шкалы Нестерова: третий класс включает в себя 3000 градусов (с 1001 до 4000 градуса), когда первый и второй класс включают в себя 300 и 700 градусов соответственно. На рисунке 3 представлен график распределения количества дней с определенным классом пожарной опасностью для каждой станции.

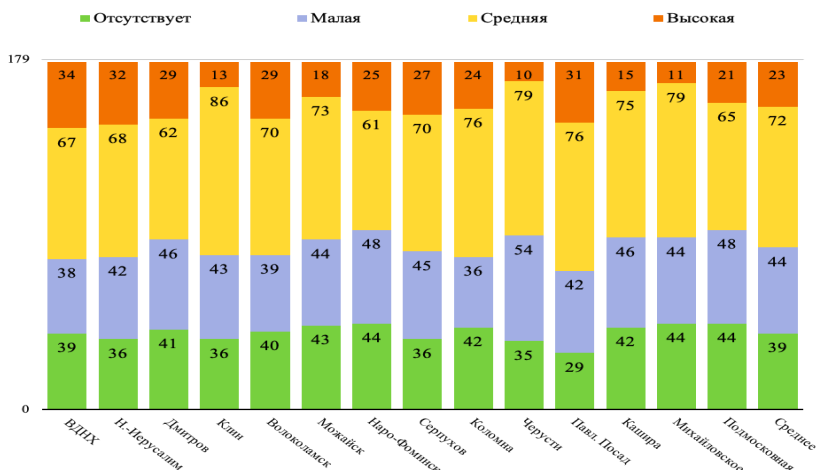


Рис. 3. Общая продолжительность классов пожарной опасности

Больше всего дней с малой пожарной опасностью наблюдалось на станции Подмосковная - 44 дня, малый класс чаще всего наблюдался в Черустях - 54 дня, средний класс в Клину - 86 дней, а высокий класс на станции Москва (ВДНХ) - 34 дня. Реже всего высокий класс отмечался в Черустях – 10 дней с высокой пожарной опасностью.

Беспрерывная продолжительность высокой пожарной опасности между станциями сильно различалась: наибольшая продолжительность наблюдалась на станции Москва (ВДНХ) - 23 дня (с 14.09 по 08.10), наименьшая продолжительность (6 дней) отмечалась на станции Михайловское (Троицкий АО) и на станции Черусти с 17.06 по 22.06. В общей сложности в Московской области четвертый класс пожарной опасности действовал 58 дней, а в Москве 35 дней.

Подводя итог, теплый период 2023 года можно охарактеризовать, в целом, как спокойный. Класс пожарной опасности в основном находился в диапазоне от малой до средней, что связано с благоприятной для частого выпадения дождей синоптической ситуацией, которая обуславливалась частым прохождением циклонов и связанных с ними атмосферных фронтов. Чрезвычайной пожарной опасности (5 класс) не наблюдалось. Для более точного мониторинга пожарной ситуации в Московском регионе необходимо увеличить количество пунктов наблюдения (метеостанций), данные которых

будут учитываться при составлении ежедневного бюллетеня пожарной опасности.

Библиографический список

1. ГОСТ Р 22.1.09-99. Группа Т58. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование лесных пожаров.
2. Агробиотехнологии XXI века. коллективная монография. Москва, 2022. Число страниц: 516. Издательство: Общество с ограниченной ответственностью "Мегаполис" (Москва).
3. Влияние режима снежного покрова на агрономические риски развития розовой снежной плесени. Перевертин К.А., Белолубцев А.И., Дронова Е.А., Асауляк И.Ф., Кузнецов И.А., Мазиров М.А., Васильев Т.А. Лёд и снег. 2022. Т. 62. № 1. С. 75-80.
4. Assessment of trends of air temperature based on 140-year observations of v.a. mikhelson meteorological observatory. Belolubtsev A.I., Ilinich V.V., Dronova E.A., Asaulyak I.F., Kuznetsov I.A. Caspian Journal of Environmental Sciences. 2021. Т. 19. № 5. С. 909-914.

ANALYSIS OF FIRE DANGER IN THE MOSCOW REGION IN THE WARM PERIOD OF 2023

М.О. Obukhov

Scientific supervisor - Candidate of Geographical Sciences Associate,

Professor I.F. Asaulyak

Russian State Agrarian University - Moscow State Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Moscow, obukhov.mo@yandex.ru, irasaulak@mail.ru

Annotation: the article analyzes the degree of fire danger in forests in Moscow and the Moscow region during the fire-hazardous period (April - October) 2023. The main indicators of burnability have been calculated, graphs of the progress of indicators of burnability and precipitation have been compiled.

Keywords: Natural fire, fire hazard, indicator of burnability, fire-hazardous period, Moscow region.

МОНИТОРИНГ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИ АКТИВНОЙ РАДИАЦИИ В МО МГУ

Е.В. Горбаренко¹, Н.А. Бунина¹

¹ *Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова,
Географический факультет, E-mail: catgor@mail.ru*

Аннотация: *на основе многолетних актинометрических наблюдений Метеорологической обсерватории МГУ получены статистически достоверные данные по ФАР с различным временным разрешением (час, сутки, месяц, год), отражающие климатические особенности ФАР Московского региона. Дана оценка факторов, определяющих изменчивость ФАР. Приведены косвенные методы расчета ФАР по данным актинометрических и метеорологических станций. Проанализирована многолетняя изменчивость месячных значений ФАР. Отмечена незначимая тенденция к увеличению поступления ФАР в теплый период, что наряду с увеличением продолжительности вегетационного периода, ростом температуры и влагосодержания атмосферы, может привести к улучшению условий вегетации растений в Московском регионе.*

Ключевые слова: *мониторинг, фотосинтетически активная солнечная радиация, радиационный режим, облачность, вегетационный период.*

Актуальность. Важной составляющей радиационного режима атмосферы является солнечная радиация в интервале длин волн 380–710 нм, называемая фотосинтетически активная радиация (ФАР). ФАР играет ведущую роль в процессе фотосинтеза, на его долю в спектре солнечной радиации приходится около 42%. Информация о режиме ФАР находит применение в геоботанике, физиологии и географии растений, агрометеорологии и других областях, используется в тепличном хозяйстве, при прогнозировании продуктивности растений, фитопланктона в водоемах, при изучении круговорота углерода в природе.

В 1980 году в метеорологической обсерватории, входящей в состав кафедры метеорологии и климатологии Географического факультета МГУ (МО МГУ) Т.В. Евневич и О. А. Щиловцевой были организованы наблюдения за ФАР. В настоящее время МО МГУ является единственной станцией в России,

где ведется непрерывная регистрация ФАР с дискретностью в одну минуту. МО МГУ обладает уникальным комплексом метеорологических и актинометрических наблюдений. На их базе создан банк данных; определены климатические нормы, пределы суточной, годовой, многолетней изменчивости ФАР. Получены и проанализированы зависимости ФАР от факторов, определяющих ее изменчивость, а так же разработаны косвенные методы расчета ФАР по данным суммарной интегральной радиации и продолжительности солнечного сияния.

Методика и приборы. Наблюдения за суммарной и рассеянной ФАР проводились в МО МГУ с 1980 по 2001 г. с помощью видоизмененного пиранометра Янишевского, называемого цветной пиранометр ГГО [1]. Прибор представляет собой модификацию стандартного пиранометра М-80М. При окраске термобатареи вместо черной краски применялась киноварь, что позволило получить спектральную чувствительность пиранометра в области ФАР. Погрешность измерений ФАР цветными пиранометрами ГГО составляет 10–15%, что близко к точности измерений стандартным пиранометром. Измерения суммарной ФАР проводились в режиме регистрации с мая 1980 г. по 2002 год, а рассеянной - с мая 1983 по декабрь 1995 г. С 2002 года для регистрации ФАР используется прибор LI-190SA (www.licor.ru), измеряется только суммарная ФАР, в работе анализируется суммарная ФАР (ФАР). Спектр прибора LI-190SA (400–700 нм) несколько отличается от цветного пиранометра. Для сохранения однородности ряда ФАР на протяжении нескольких лет шли параллельные синхронные наблюдения по обоим приборам в различных погодных условиях. При всем многообразии условий (время дня, облачность, прозрачность и влагосодержание атмосферы) разница между солнечной радиацией, измеряемой LI-190 Quantum Sensor, и солнечной радиацией, измеряемой цветными пиранометрами, составляет порядка 6%. Эта величина меньше погрешности измерений ФАР, что позволило объединить в единый однородный ряд данные наблюдений по разным приборам. Подробное описание приборов и методов измерений приведено на сайте МО МГУ (www.momsu.ru). Анализ многолетней изменчивости ФАР проведен для часовых, суточных, месячных и годовых значений. В качестве факторов, регулирующих ее изменчивость, рассмотрены: продолжительность солнечного сияния в часах (ПСС), балл общей и нижней облачности, форма облаков, прозрачность атмосферы. Анализ режима облачности представлен по ежечасным визуальным наблюдениям, прозрачность атмосферы оценивается по значениям аэрозольной оптической толщины атмосферы на 550 нм (АОТ),

рассчитанной по данным измерений прямой интегральной солнечной радиации по методике [2].

Результаты и обсуждение. Интенсивность ФАР испытывает как периодические, так и непериодические изменения. Периодические, закономерные изменения потоков солнечной радиации обусловлены астрономическими факторами: высота Солнца над горизонтом (h), продолжительность светового дня. Суточный ход ФАР при ясном небе имеет простой вид с максимумом в околополуденные часы. В безоблачной атмосфере наряду с астрономическими факторами, влияние на приход солнечной радиации оказывает прозрачность атмосферы для солнечных лучей и ее основная аэрозольная составляющая. При изменении АОТ от 0.1 до 0.5 при одной и той же высоте Солнца значения ФАР уменьшается от 10 до 20% в зависимости от высоты Солнца (табл.1). В сильно замутненной атмосфере ($АОТ > 1$), в условиях дымной мглы от лесных и торфяных пожаров значения ФАР уменьшаются до 70% относительно «нормальных» условий ($АОТ=0.2$) [3].

Главным естественным фактором, регулирующим радиационный режим атмосферы, является облачность. При небольшом балле верхней и средней облачности часовые суммы ФАР могут на несколько процентов превышать соответствующие значения при безоблачном небе, в силу значительного роста рассеянной радиации при отсутствии ослабления прямой ФАР.

Таблица 1

Значения ФАР ($кВт/м^2$) в зависимости от высоты Солнца, АОТ и форм облачности

h	Ясное небо			Облака (сплошной покров)					
	АОТ=0.1	АОТ=0.2	АОТ=0.5	Ci	Sc	St	Cb	туман	Ns
10	0,065	0,060	0,052	0,186	0,018	0,013	0,009	0,017	0,009
20	0,141	0,133	0,118	0,219	0,036	0,025	0,020	0,033	0,018
30	0,223	0,215	0,192	0,240	0,053	0,036	0,031	0,048	0,026
40	0,307	0,300	0,271	0,255	0,069	0,046	0,043		0,033
50	0,387	0,381	0,347	0,266	0,083	0,055	0,053		0,040

В весенне-летние месяцы дополууденные значения ФАР несколько больше соответствующих послеполууденных, это объясняется развитием внутримассовой облачности в послеполууденные часы в это время года (табл. 2). Сплошная облачность нижнего яруса уменьшает величину ФАР более чем в три раза (табл. 1).

Таблица 2

Суточный ход средних часовых сумм суммарной ФАР (МДж/м²) при
средних условиях облачности

Часы	Месяцы											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
3–4					0,00	0,02	0,01					
4–5				0,00	0,05	0,09	0,07	0,01				
5–6			0,00	0,05	0,16	0,22	0,19	0,09	0,01			
6–7		0,00	0,04	0,16	0,34	0,40	0,37	0,23	0,08	0,01		
7–8	0,00	0,02	0,15	0,32	0,53	0,59	0,56	0,40	0,19	0,05	0,00	
8–9	0,02	0,10	0,30	0,48	0,71	0,77	0,73	0,58	0,32	0,14	0,03	0,01
9–10	0,08	0,21	0,45	0,62	0,88	0,91	0,85	0,73	0,46	0,24	0,09	0,05
10–11	0,14	0,31	0,56	0,73	0,97	0,98	0,93	0,84	0,55	0,31	0,15	0,10
11–12	0,17	0,36	0,62	0,78	1,01	1,00	0,97	0,86	0,59	0,36	0,19	0,13
12–13	0,18	0,36	0,61	0,77	1,01	1,00	0,97	0,86	0,58	0,37	0,19	0,13
13–14	0,14	0,31	0,56	0,71	0,93	0,95	0,92	0,80	0,53	0,32	0,15	0,10
14–15	0,08	0,20	0,44	0,60	0,81	0,83	0,83	0,69	0,44	0,24	0,09	0,05
15–16	0,02	0,11	0,30	0,46	0,66	0,71	0,68	0,55	0,32	0,15	0,03	0,01
16–17	0,00	0,03	0,14	0,30	0,49	0,54	0,51	0,39	0,18	0,05	0,00	
17–18		0,00	0,04	0,15	0,30	0,38	0,35	0,22	0,07	0,01		
18–19			0,00	0,04	0,15	0,21	0,19	0,08	0,01			
19–20				0,00	0,04	0,08	0,07	0,01				
20–21					0,00	0,01	0,01					

Примечание: сроки наблюдений указаны по истинному солнечному времени.

Околополуденные часовые суммы вносят основной вклад в суточную сумму. Суточные суммы ФАР в течение года в среднем возрастают от 0,43 МДж/м² (декабрь) до 8,99 МДж/м² (июнь). Их экстремальные величины дают представление о пределах изменения этой величины в реальных условиях. На рисунке 1 представлены межсуточная изменчивость ФАР: средние суточные значения за каждый день года, выбранные максимальные и минимальные значения на этот день года.

Междусуточная изменчивость составляет в среднем 45–50% от средних суток ФАР в холодный и 20–30% в теплый период года. Распределение суточных сумм ФАР в разные месяцы асимметрично, что вызвано наличием пределов: с одной стороны нуля, с другой «возможные» значения ФАР. Коэффициент вариации V% суточных сумм ФАР изменяется от 33% в июне-июле до 65% в ноябре, что определяется изменчивостью облачного покрова.

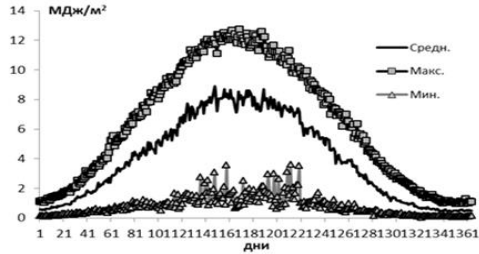


Рис.1. Средние, максимальные и минимальные суточные суммы ФАР

Наибольший практический интерес имеют пентадные и декадные суммы ФАР, так как они дают возможность получить более детальную информацию о распределении радиации в течение месяца и, следовательно, вегетационного периода (ВП). В среднем наибольшее значение ФАР (98 МДж/м²) наблюдается в третьей декаде мая, после этого прослеживается так называемое летнее плато: с первой декады июня до последней декады июля приход ФАР меняется незначительно (на 2%) и составляет в среднем 87–89 МДж/м² за декаду. После третьей декады июля наблюдается резкое (на 20%) падение декадной суммы ФАР (рис. 2). Изменчивость декадных сумм в 2–3 раза меньше, чем суточных, и составляет около 15–20%. В среднем для периода наблюдений в МО МГУ (с 1954 года) продолжительность ВП в Москве составляет 190 дней (с 8.04 по 14.10), а для периода 1961–1990 продолжительность меньше 183 дней (с 16.04 по 15.10). За весь срок метеорологических наблюдений МГУ прослеживается тенденция увеличения длины вегетационного периода и смещение его начала на более ранние даты апреля [4].

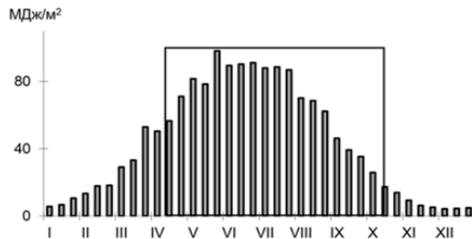


Рис. 2. Годовой ход декадных сумм ФАР
Квадратом выделен вегетационный период

В соответствии с изменением высоты Солнца, продолжительности солнечного сияния и облачности в годовом ходе максимальное поступление ФАР наблюдается в июне (257 МДж/м^2), а минимальное – в декабре (13 МДж/м^2), разница между минимальными и максимальными месячными значениями в 1,5–2 раза (табл. 3). В отдельные годы, в зависимости от условий облачности, максимум может наблюдаться в июле, минимум в ноябре. Распределение месячных сумм ФАР близко к нормальному, их изменчивость меньше, чем суточных сумм ФАР. В течение года доля ФАР в интегральном потоке изменяется незначительно: от 39% зимой до 44% в летнее время.

Таблица 3

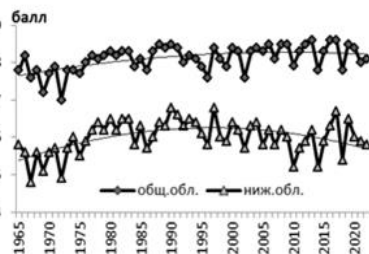
Месячные и годовые суммы ФАР (МДж/м^2); доля ФАР в суммарной интегральной радиации (1999–2023 гг.)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Сред.	22	46	107	168	240	257	251	203	120	55	20	13	1502
Макс.	49	60	134	201	303	315	327	249	150	78	30	22	1743
год	2014	2007	2018	2014	2002	1999	2014	2005	2014	2005	1999	2002	2014
Мин.	13	35	27	135	183	192	198	164	73	37	15	8	1326
год	2023	2002	2023	2022	2020	2003	2018	2008	2013	2017	2003	2019	2017
V, %	32	15	20	10	11	10	13	12	15	20	17	25	7
$Q_{\phi}/Q_n \cdot 100\%$	40	40	40	42	44	44	43	43	41	41	40	39	41

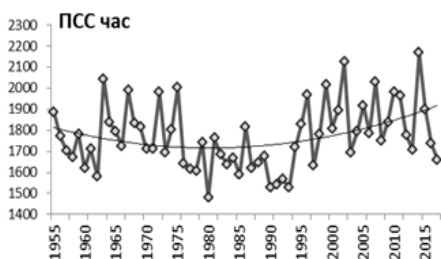
Многолетние изменения годовых значений ФАР квазициклически. Тенденция к уменьшению её поступления в середине 1980-х годов сменяется ростом в последние годы наблюдений (рис. 3г). При анализе многолетних изменений месячных значений ФАР отмечена незначимая тенденция к увеличению поступления ФАР в теплый период и незначимая отрицательная тенденция в холодный период. Для годовых сумм линейный тренд практически отсутствует. Оценка тренда в вегетационный период показала тенденцию к увеличению прихода ФАР. Для всех периодов линейный тренд статистически незначим. Тенденция изменения ФАР согласуется с изменчивостью факторов ее определяющих в большей степени с баллом облачности и продолжительностью солнечного сияния (рис. 3а,б,в) [5].



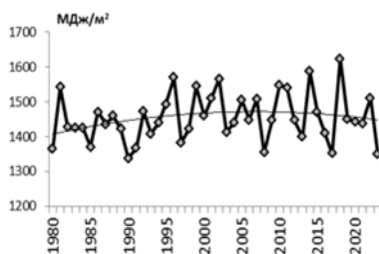
а



б



в



г

Рис. 3. Межгодовая изменчивость: а-аэрозольной оптической толщины; б-балла общей и нижней облачности; в-продолжительности солнечного сияния; г-годовых сумм ФАР

Для изучения продуктивности растительного покрова в различных регионах необходимо знать величину ФАР [6]. На сети актинометрических станций такие наблюдения отсутствуют. О. А. Шиловцевой было разработано несколько эмпирических методов расчета ФАР по данным как актинометрических, так и метеорологических измерений [7, 8, 9]. Принцип косвенного метода расчета ФАР по актинометрическим данным заключался в детальном изучении её вклада в суммарную интегральную радиацию. При средней за сутки облачности нижнего яруса (не более 8 баллов) следует использовать формулу: $Q_{\text{фар}} = (0.49 \cdot \sinh^{0.086}) \cdot Q_{\text{ир}}$, а при более значительной облачности – формулу: $Q_{\text{фар}} = (0.51 \cdot \sinh^{0.096}) \cdot Q_{\text{ир}}$, где $Q_{\text{фар}}$ - суммарная ФАР, $Q_{\text{ир}}$ - суммарная интегральная радиация.

При отсутствии актинометрической информации возможно использовать линейные уравнения зависимости суточной суммы ФАР от дневной

продолжительности солнечного сияния, полученные на обширном материале (табл.4)

Таблица 4

Эмпирические уравнения для определения суточных сумм ФАР по продолжительности солнечного сияния [3]

Подстилающая поверхность – снег	Подстилающая поверхность - трава
$\Sigma_c Q_{\Phi} = (0,385 \cdot \sin h^2 + 1,106 \cdot \sin h - 0,091) \cdot \text{ПСС} + 6,221 \cdot (\sin h)^{1,31}$	$\Sigma_c Q_{\Phi} = (0,385 \cdot \sin h^2 + 1,106 \cdot \sin h - 0,091) \cdot \text{ПСС} + 6,123 \cdot (\sin h)^{1,71}$

Заключение. На основе многолетних непрерывных актинометрических наблюдений в МО МГУ:

- получены статистически достоверные сведения о режиме ФАР с различным временным разрешением (час, сутки, месяц, год), отражающие климатические особенности ФАР Московского региона;
- проанализирована зависимость изменения величин ФАР от различных факторов;
- приведены косвенные методы расчета ФАР по данным актинометрических и метеорологических станций;
- отмечена незначимая тенденция к увеличению поступления ФАР в теплый период, что наряду с увеличением продолжительности вегетационного периода, ростом температуры и влагосодержания атмосферы, может привести к улучшению условий вегетации растений в Московском регионе.

Библиографический список

1. Махоткина Е.Л. Цветные пиранометр. //Труды ГГО. 1983. Вып. 456. С. 71-77.
2. Абакумова Г. М., Горбаренко Е. В. Прозрачность атмосферы в Москве за последние 50 лет и её изменения на территории России //М.: Издательство ЛКИ. 2008.192 с.
3. Абакумова Г. М., Горбаренко Е. В., Незваль Е. И., Шиловцева О. А. Климатические ресурсы солнечной радиации Московского региона // М.: ЛИБРОКОМ. 2012. 312 с.
4. Климат Москвы в условиях глобального потепления // под ред. Кислова А.В. Издательство Московского университета Москва. 2017. ISBN 978-5-19-011227-6. 288 с.

5. Горбаренко Е. В. Экстремумы и основные тенденции в многолетней изменчивости радиационных параметров атмосферы города Москвы // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2022. № 6. С. 90–103.

6. Дьяконов К.Н., Шиловцева О.А. Балдина Е.А. Распределение суммарной ФАР на территории Восточно-Европейской равнины // Вестник МГУ. 2004. Сер.5. География. № 1. С.38-41.

7. Евневич Т.В., Шиловцева О.А. Метод расчета суммарной фотосинтетически активной и инфракрасной солнечной радиации по продолжительности солнечного сияния // Метеорология и гидрология. 1994. № 3, С.31-37.

8. Шиловцева О.А. Доли ФАР в интегральной солнечной радиации по расчетам и наблюдениям в Москве // Международный симпозиум стран СНГ «Атмосферная радиация» (МСАР-02). СПб. 2002.С.78

9. Шиловцева О.А., Дьяконов К.Н., Балдина Е.А. Косвенные методы расчета суммарной фотосинтетически активной радиации по актинометрическим и метеорологическим наблюдениям // Метеорология и гидрология. 2005. № 1. С.37-47.

MONITORING OF PHOTOSYNTHETICALLY ACTIVE RADIATION AT THE MOSCOW STATE UNIVERSITY

Gorbarenko E.V., Bunina N.A.

Moscow, Moscow State University. M.V. Lomonosov, Faculty of Geography, tel. 939-24-79, E-mail: catgor@mail.ru

Annotation. Based on long-term actinometric observations of the Meteorological Observatory of Moscow State University, statistically reliable data on PAR with different time resolutions (hour, day, month, year) were obtained, reflecting the climatic features of PAR in the Moscow region. An assessment of the factors determining the variability of PAR is given. Indirect methods for calculating PAR using data from actinometric and meteorological stations are presented. The long-term variability of monthly PAR values was analyzed. An insignificant tendency towards an increase in PAR intake in the warm period was noted. Which, along with an increase in the duration of the growing season, an increase in temperature and moisture content of the atmosphere, can lead to an improvement in the growing conditions of plants in the Moscow region.

Key words: monitoring, photosynthetically active solar radiation, radiation regime, cloudiness, growing season.

УДК 551.5

**ДИНАМИКА АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
ПРОДУКЦИОННОГО ПРОЦЕССА В УСЛОВИЯХ НЕЧЕРНОЗЕМНОЙ
ЗОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

А.В. Михайленко¹, Е.В. Береснева¹, С.М. Авдеев¹

¹ ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА
имени К.А. Тимирязева», Москва,
mikhailenko@rgau-msha.ru, beresneva.ev@bk.ru, avdeev@rgau-msha.ru

***Аннотация:** в статье приводится анализ динамики изменения максимальных температур воздуха по сезонам и выпадения осадков за периоды 1879-1908 гг. и 1990-2020 гг. на основе данных Метеорологической обсерватории имени В.А. Михельсона РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, которая расположена в Нечерноземной зоне РФ. Выявлено, что если за первый период годовая норма осадков составляла 534 мм, то для последних 30 лет эта величина равна 698 мм, то есть годовая норма возросла на 174 мм.*

***Ключевые слова:** температура, осадки, Нечерноземная зона.*

Актуальность. В настоящее время тема изменения климата вызывает достаточно большое внимание. Известно, что климат подвержен изменениям [1]. Агроклиматические факторы имеют важное значение для успешного развития и обеспечения продовольственной безопасности разных стран в мире. Изменения климатических показателей оказывают критическое воздействие на почвенный покров и, как следствие, на урожайность сельскохозяйственных культур [2]. Особенно зависимы от климатических изменений многолетние культуры, которые все сезоны проводят на полях, например, многолетние травы [3-6]. Анализ долгосрочных данных об осадках и температурах, полученных из обсерватории имени В.А. Михельсона в РГАУ-МСХА, и их сопоставление с последними показателями поможет успешнее осуществлять прогностическую работу и определить наиболее оптимальное время для посева и уборки.

Материалы и методы. Цель исследования - проанализировать динамику изменения максимальных температур воздуха по сезонам и выпадения осадков за периоды 1879-1908 гг. и 1990-2020 гг. на основе данных метеорологической обсерватории имени В.А. Михельсона.

Длительные ряды метеорологических данных обсерватории им. В.А. Михельсона по осадкам и температурам за два периода.

Результаты и обсуждение. Проанализируем динамику изменения максимальных температур воздуха за периоды 1879-1908 гг. и 1990-2020 гг. по сезонам:

1. Зимний сезон. По данным рисунков 1-3 видно, что в трёх месяцах наблюдается повышение максимальных температур воздуха. Наиболее всего это заметно в декабре, при том, что в период 1879-1908 гг. максимальная температура идет на спад, когда период 1990-2020 гг. стремительно движется вверх, но при этом в январе и феврале наблюдается максимальные температуры сильно не поменялись, в феврале линии трендов практически идут на одной линии.

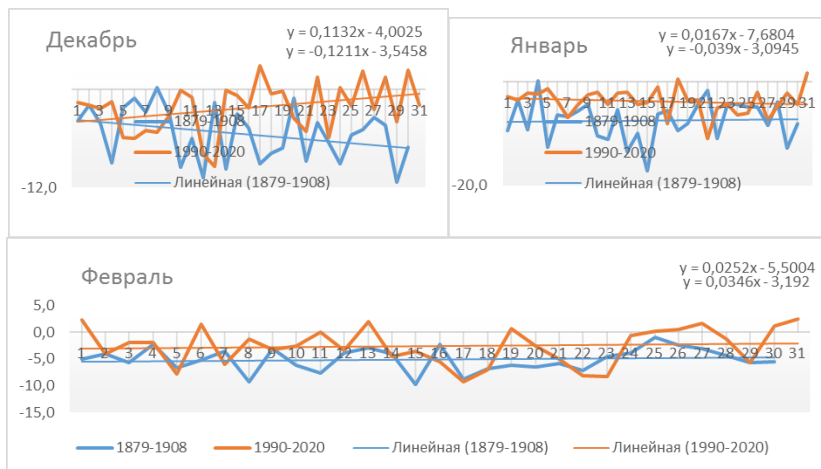


Рис. 1-3. Сравнение максимумов температуры зимнего сезона за периоды 1879-1908 гг. и 1990-2020 гг.

Из графиков видно, что максимумы температур в зимний период за эти два периода практически не отличаются. Но все же повышение максимальных температуры было зафиксировано и составило приблизительно 3°C .

2. Весенний сезон. На графиках весеннего периода (рис. 4-6) ситуация отлична от данных за зимний период.

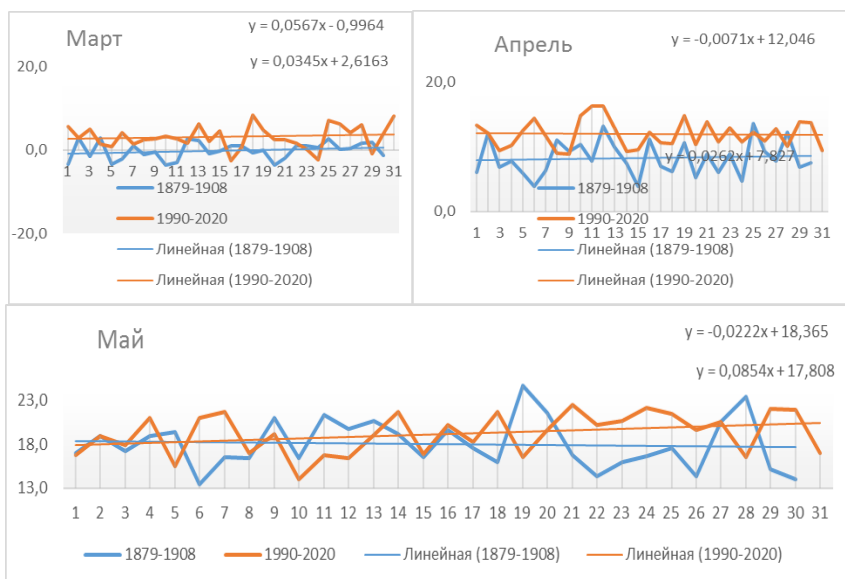


Рис. 4-6. Сравнение максимумов температуры весеннего сезона за периоды 1879-1908 гг. и 1990-2020 гг.

В периоде 1879-1908 гг. наибольшее значение в марте было зафиксировано в 1882 году (2,9 °С), а наименьшие в 1898 году (-3,7 °С). Наибольшие значения максимальных температур в апреле и мае составили 13,5 и 24,7 °С в 1903 и 1897 годах, а минимальные 3,8 и 13,4 °С в 1884 году, соответственно. В современный период максимальные значения температур составили 8,4 °С, 16,2 °С и 22,5 °С (2007, 2001 и 2010 года, соответственно). В весенний сезон разница в температурах составила порядка 3-4 °С.

3. Летний сезон. В летний сезон разница в периодах максимальных температур воздуха составила около 3-4 °С. По линиям тренда (рисунки 7-9) можно увидеть, что температура медленно движется вверх. Так, максимальная температура в период 1879-1908 гг. была отмечена в июле 1885 года и составила 28,9 °С, когда в современном периоде в июле было зафиксировано 32,9 °С в 2010 году, а минимальное значение в современном периоде было отмечено в 17,6 °С (1999 год) и в периоде 1879-1908 гг. 17,6 °С в августе 1897 году.

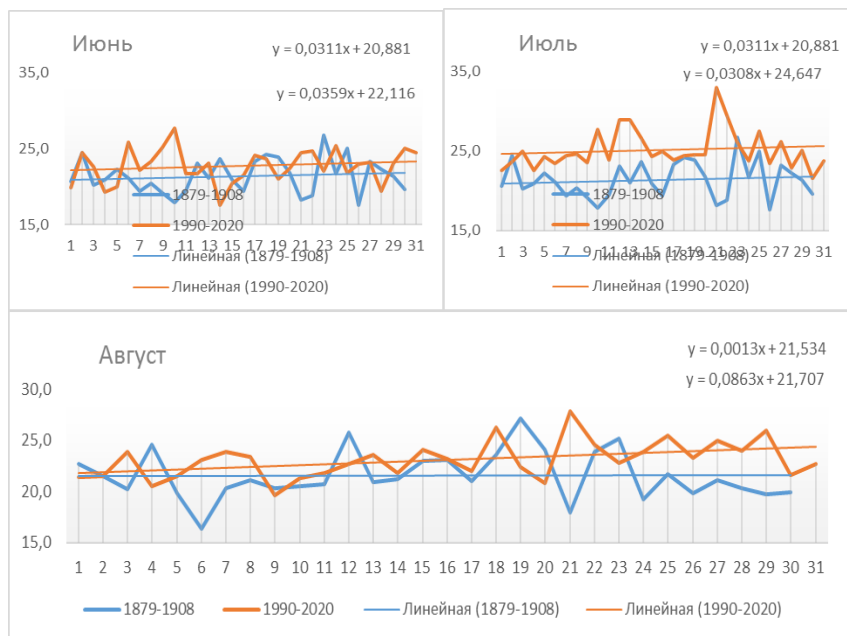


Рис. 7-9. Сравнение максимумов температуры летнего сезона за периоды 1879-1908 гг. и 1990-2020 гг.

Осенний сезон. По данным рисунков 10-12 можно отметить, что разница между периода небольшая, но есть особенность, практически во всех месяцах происходит увеличение температур в обоих исследуемых периодах. Современный период оказался теплее, чем период 1879-1990 гг.

Далее, были проанализированы данные по абсолютным максимумам температуры воздуха. Чтобы наглядно показать динамику изменений абсолютных максимумов температуры воздуха, как изменилась температура, сравним данные за период 1879-1908 гг. с данными за 1990-2020 гг. период.

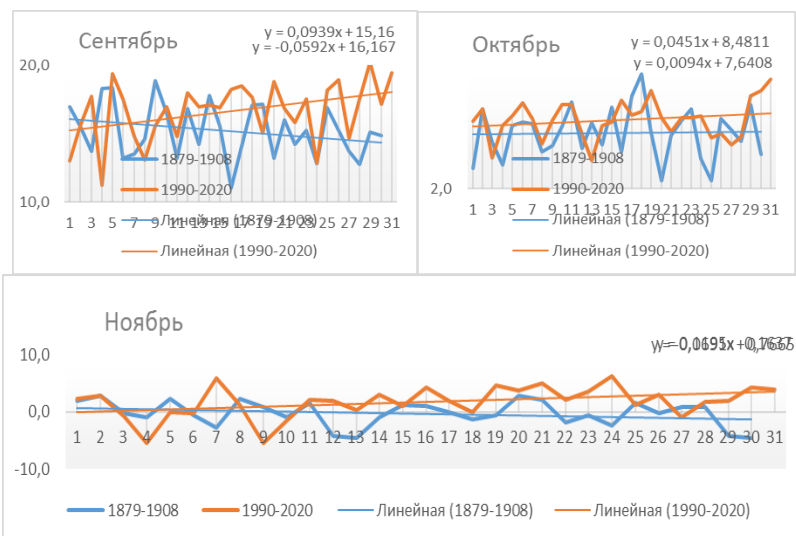


Рис. 10-12. Сравнение максимумов температуры осеннего сезона за периоды 1879-1908 гг. и 1990-2020 гг.

В период 1990-2020 гг. наблюдается рост абсолютных максимумов температуры воздуха. Наименьший из абсолютных максимумов в данный период составил +28,7 °С (1993 г.), а наибольший – +38,6°С (2010 г.). В период 1879-1908 гг. в наименьшие из максимумов отмечались в 1902 и 1904 годы – +28,9 и +28,7°С соответственно, а наибольшие – в 1890 и 1907 годы – +35,8 и +35,6°С соответственно.

По данным рисунка 13 можно отметить, что максимальные температуры могут сильно варьировать из года в год. В 1879-1908 период абсолютная максимальная температура составила +35,8 °С, +35,6 °С, +34,9 °С, в 1890, 1897 и 1901 годах, соответственно, наименьшие из максимумов отмечались в 1884 году – +29,3 °С, 1902 году – +28,9 °С и в 1904 году – +28,7 °С. В период 1990-2020 гг. наибольшие из максимумов были зафиксированы в 1996, 2010 и 2011 годах: +35,3, +38,6 и +33,8 °С соответственно, а наименьшие значения – в 1993 (+28,7 °С), 1997 (+29,2°С) и 2004 (+29,6 °С) годах. На основании полученных результатов можно сделать вывод о том, что максимальные температуры этих двух периодов почти не поменялись.

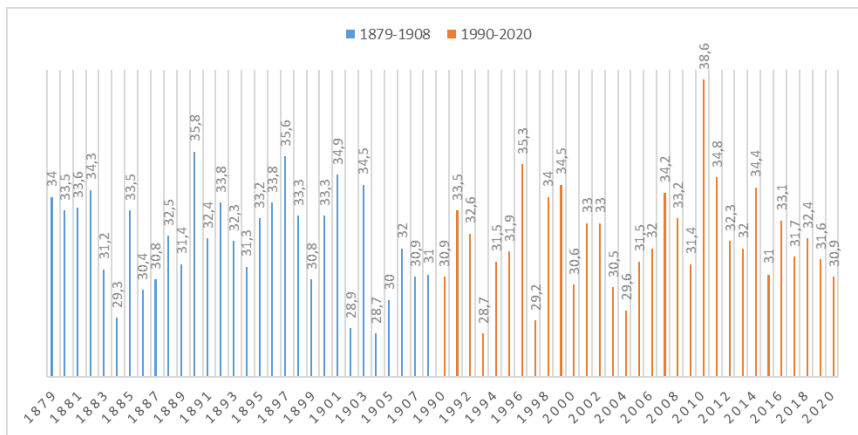


Рис. 13. Динамика изменения абсолютных максимумов температур за периоды 1879-1908 гг. и 1990-2020 гг.

При сравнении средних величин абсолютных максимумов за исследуемые периоды, было выявлено, что разница между периодами 1990-2020 гг. и 1879-1908 составила 0,02 °С.

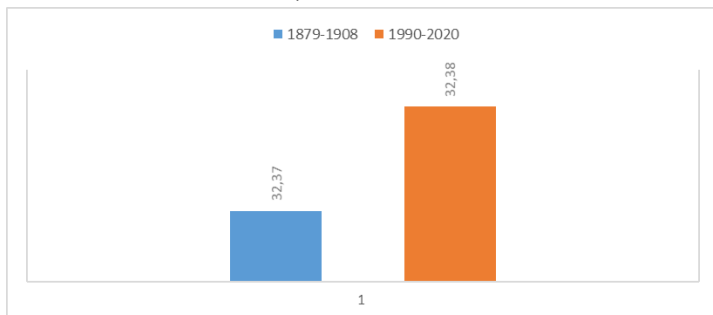


Рис. 14. Сравнение средних показателей абсолютных максимумов температур 1879-1908 гг. и 1990-2020 гг.

Сравним абсолютные максимумы температуры по каждому из месяцев за 1879-1908 гг. и 1990-2020 гг. (рисунок 15).

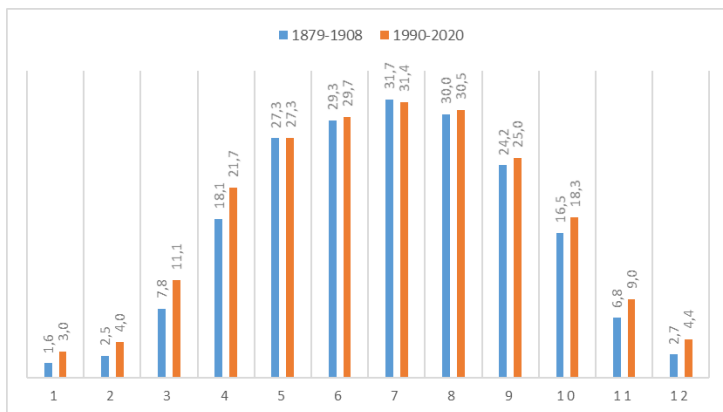


Рис. 15. Сравнение абсолютных максимумов температуры по месяцам за периоды 1879-1908 гг. и 1990-2020 гг.

По данным рисунка 15 можно отметить, что в период 1879-1908 гг. и в период 1990-2020 гг. в некоторых месяцах происходит сильное изменение температур. В марте температура повысилась, по сравнению с базовым периодом на $3,3^{\circ}\text{C}$, в апреле на $3,6^{\circ}\text{C}$, в октябре – на $1,8^{\circ}\text{C}$. Как в летнее, так и в зимнее время, абсолютные максимумы температуры по месяцам, в основном, повышаются, сезоны становятся теплее.

По графикам, расположенным на рисунках 13 и 14 мы не наблюдаем сильную разницу в максимальных температурах, но если обратиться к графику 15, где сравниваются абсолютные максимумы температур по месяцам за исследуемые периоды, то можно отметить, что максимальные значения за период 1990-2020 гг. превышают значения за период 1879-1908 гг.

Проанализируем сумму осадков по месяцам за периоды 1879-1908 гг. и 1990-2020 гг. Данный график показывает изменчивость режима осадков за 2 рассматриваемых периода.

По данным рисунка 16 видно, что в современных условиях осадков выпадает больше, чем выпадало в период 1879-1908 гг. И тогда, и сейчас, наблюдалась склонность к повышению количества осадков, что видно по линиям тренда.

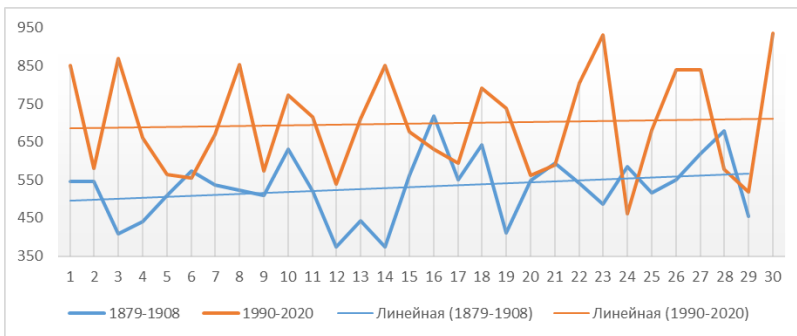


Рис. 16. Анализ динамики среднегодовых сумм осадков за периоды 1879-1908 гг. и 1991-2020 гг.

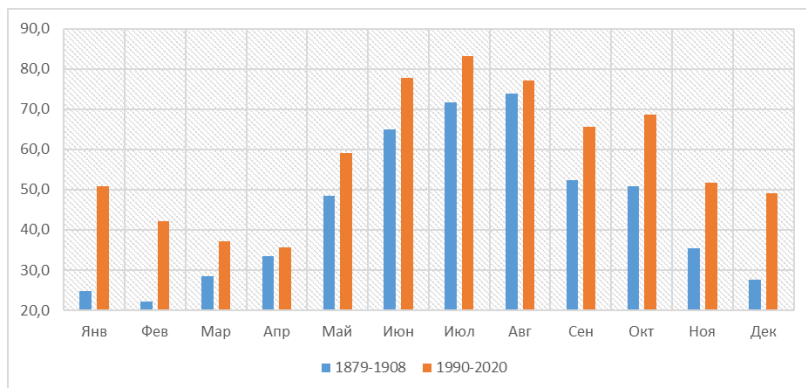


Рис. 17. Анализ изменчивости среднемесячных сумм осадков за периоды 1879-1908 гг. и 1991-2020 гг.

Сравнение средних величин осадков по месяцам за оба периода показало, что каждый месяц стал более влажным. Согласно рисунку 17, наиболее сильно количество осадков увеличилось в зимние месяцы.

Максимальное расхождение было зафиксированное в декабре и январе в период 1879-1908 гг. среднемесячная сумма осадков составила 27,7 и 24,9 мм, в современный период 49,1 и 50,9 мм, соответственно.

Заключение. В статье была проведена оценка динамики агрометеорологических показателей (максимальные температуры, суммы

осадков) по данным метеорологической Обсерватории имени В.А. Михельсона, расположенной в Нечерноземной зоне РФ. Были исследованы два периода: 1879-1908 гг. и 1990-2020 гг. Климат теплее в целом (что отчасти хорошо для холодолюбивых культур, однако, растущие абсолютные значения температур также увеличиваются, и эта тенденция, при общем расчете с другими аспектами, такими как недостаток влаги или засуха, может оказывать определенное негативное влияние на урожайность и, возможно, приводить к снижению качества и количества урожая, а также наносить ущерб сельскохозяйственным культурам. Климат становится в целом более влажным. В условиях Нечерноземной зоны РФ это не самая хорошая перспектива, так как территория переувлажнена. Среднегодовые нормы осадков увеличились. Так, если за первый период годовая норма осадков составляла 534 мм, то для последних 30 лет эта величина равна 698 мм, то есть годовая норма возросла на 174 мм. Так же, можно отметить, что рост осадков в определённой степени связан с ростом температур, так как более теплый воздух может содержать в себе большее количество влаги. То есть, влагосодержание условного столба воздуха увеличивается – а поэтому увеличивается и потенциально возможное максимальное количество осадков. Указанные показатели могут способствовать росту заболеваний, особенно грибковых, некоторых растений.

Библиографический список

1. Шведов И.В. Современные изменения климата // Информационный сборник УрГПУ – 2018 – С. 111;
2. Белолобцев, А.И. Сценарии воздействия изменений климата на сельское хозяйство / А.И. Белолобцев, Е.А. Дронова, И.Ф. Асауляк // Естественные и технические науки, № 6, 2018г. С. 77-82.
3. Клевер ползучий (*Trifolium repens* L.) в пастбищных экосистемах / Н. Н. Лазарев, О. В. Кухаренкова, А. Р. Тяжкороб, С. М. Авдеев // Кормопроизводство. – 2020. – № 8. – С. 20-26. – EDN HQVFKZ;
4. Долголетие и урожайность злаковых трав газонного типа при использовании на кормовые цели / Н. Н. Лазарев, В. В. Соколова, Я. Г. Бутько, С. М. Авдеев // Кормопроизводство. – 2019. – № 2. – С. 8-13. – EDN ZJLUQF;
5. Лазарев, Н. Н. Формирование урожаев многолетними бобовыми и злаковыми травами в засушливых условиях / Н. Н. Лазарев, А. В. Кольцов, С. М. Авдеев // Доклады ТСХА / Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева. Том Выпуск 275. – Москва:

Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2003. – С. 196-199. – EDN NYKQVD;

б. Симбиотическая фиксация азота многолетними бобовыми травами в луговых агрофитоценозах / Н. Н. Лазарев, О. В. Кухаренкова, С. М. Авдеев [и др.] // Кормопроизводство. – 2022. – № 2. – С. 20-28. – EDN BPHMZE.

DYNAMICS OF AGROMETEOROLOGICAL INDICATORS OF THE PRODUCTION PROCESS IN THE CONDITIONS OF THE NON-CHERNOZEM ZONE OF THE RUSSIAN FEDERATION

A.V. Mikhailenko, E.V. Beresneva, S.M. Avdeev

RGAU-Moscow State Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Moscow, mikhailenko@rgau-msha.ru, beresneva.ev@bk.ru, avdeev@rgau-msha.ru

Summary: The article provides an analysis of the dynamics of changes in maximum air temperatures by season and precipitation for the periods 1879-1908 and 1990-2020 based on data from the V.A. Mikhelson Meteorological Observatory of the Russian State Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, which is located in the non-Chernozem zone of the Russian Federation. It was revealed that if during the first period the annual precipitation rate was 534 mm, then for the last 30 years this value is 698 mm, that is, the annual rate increased by 174 mm.

Keywords: temperature, precipitation, non-Chernozem zone.

УДК 551.502

РАДИОЗОНДОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ЗАТУХАНИЯ СОЛНЕЧНОГО СВЕТА

A. B. Kochin¹

¹ *Центральная аэрологическая обсерватория, Долгопрудный, e-mail: amarl@mail.ru*

Аннотация: интегральное значение коэффициента затухания оптического излучения в атмосфере измеряется актинометрической сетью, но для ряда задач важны особенности вертикального распределения коэффициента затухания. В работы приведено описание прибора и метода для

измерения вертикального профиля затухания света с помощью обычного радиозонда, оснащенного фотодиодом в качестве оптического датчика. Результаты измерений демонстрируют резкое скачок величины ослабления света вблизи границы между тропосферой и стратосферой.

Ключевые слова: коэффициента ослабления, фотодатчик для радиозонда, граница между тропосферой и стратосферой.

Актуальность. Измерение коэффициента ослабления света в атмосфере проводится специализированными радиозондами [1, 2, 3, 4, 6] с высокоточными приемниками излучения в различных диапазонах. Для обеспечения высококачественных измерений радиозонды оснащаются системой стабилизации угла наклона оптического датчика радиозонда. Использование системы стабилизации приводит к значительному увеличению стоимости радиозонда. Чтобы снизить стоимость конструкции, оптический датчик был реализован на обычном коммерческом фотодиоде видимого диапазона с углом обзора 60 градусов.

Методы и оборудование. Эксперименты проводились с использованием двух типов оптических датчиков и двух типов радиозондов. Внешний вид радиозондов с установленными датчиками приведен ниже.



Рис. 1. Внешний вид радиозондов с оптическими датчиками (слева Modem, Франция, справа MP3-3, Россия). Белые стрелки показывают направление максимума диаграммы направленности датчиков

На радиозонд устанавливался обычный фотодиод ФД-256 производства РФ с рабочим диапазоном 0,4...1,1 мкм. Ширина диаграммы направленности (ДН) не менее ± 60 градусов. Фотодиоды проверялись в термокамере с возможностью охлаждения до температуры -70°C . Для использования в

экспериментах были выбраны экземпляры, у которых выходной сигнал практически не зависел от температуры в диапазоне от 40 до -70 °С. При пересечении облачности интенсивность прямого света, падающего на фотодатчик, уменьшается, а интенсивность света частиц облаков увеличивается. Это приводит к уменьшению дисперсии оптического сигнала и применялось для обнаружения облаков.

Обсуждение результатов. Эксперименты по исследованию оптических характеристик атмосферы выполнялись на аэрологической станции Долгопрудная (индекс 27713, координаты 55,93 N, 37,52 E) в стандартный срок 12 GMT. Так как время запуска по местному времени соответствует 15-ти часам, то высота Солнца менялась от 30 до 50 градусов. Для получения статистически значимых результатов выпущено более 20 радиозондов [5]. Пример экспериментальных данных приведен на рисунке 2.

Экспериментальные данные радиозонда с двумя датчиками разного диапазона представлены на Рис. 2. В соответствии с энергетическим спектром солнечного излучения сигнал больше в видимом диапазоне, но характер его изменения не определяется длиной волны. До определенной высоты интенсивность падающего излучения растет как в видимом диапазоне, так и в ближнем ИК диапазоне. а затем падает. Рост интенсивность падающего излучения связано с уменьшением оптической толщины, что сокращает величину затухания. Затем интенсивность падает ввиду смещения Солнца к горизонту из-за проведения пусков в 15 часов по местному времени. Целью запуска радиозондов с оптическими датчиками было измерение высоты ВГО.

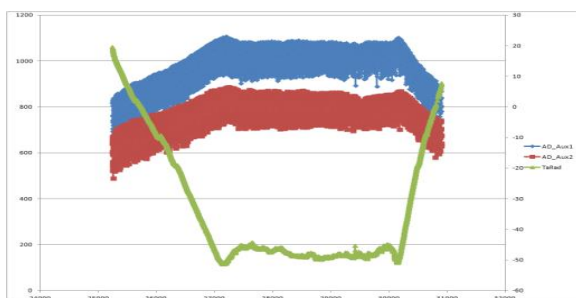


Рис. 2. Экспериментальные данные радиозонда с двумя датчиками разного диапазона. Синим цветом представлены данные датчика видимого диапазона, а красным цветом отображены данные датчика в ближнем ИК диапазоне порядка 1 мкм. Температура отображены зеленой линией

Однако характер изменения сырого сигнала на рисунке 2 указывает на возможность получения информации о затухании света. Для этого нужно продифференцировать усредненный сигнала датчика. Необработанный сигнал представляет собой случайный процесс с заметными флуктуациями. Требуется разработка специального алгоритма обработки информации, чтобы не терять подробности при использовании простого усреднение, как в [4]. Кроме того, требуется учесть изменение угла подъема Солнца, чтобы сигнал не изменялся. Подбор вариантов привел к алгоритму построения сигнала по максимумам в скользящем окне из 30 значений. Полученный файл дифференцировался по высоте. Результаты приведены на рисунке 3.

Производная среднего уровня сигнала соответствует коэффициенту затухания света с точностью до постоянного множителя. Ее уменьшение на высотах 2, 5 и 5 км соответствует слоям с инверсией температуры. Уменьшение в инверсионном слое концентрации аэрозолей и увеличении их концентрации под ним является известным эффектом, который дает изменения в коэффициенте затухания света. Разница в затухании света в стратосфере, где оно практически отсутствует [4] по сравнению с тропосферой известна. Однако наличие резкого изменения величины ослабления света вблизи границы между тропосферой и стратосферой ранее никем не отмечалось.



Рис. 3. График производной среднего уровня сигнала (зеленая линия) и температуры (синяя линия).

Заключение. Стандартный радиозонд, оборудованный простейшим оптическим датчиком на базе фотодиода, позволяет оценивать оптические характеристик атмосферы, в частности, вертикальный профиль коэффициента ослабления света. Эффект резкого изменения величины ослабления света

позволяет измерить высоту границы между воздушными массами тропосферы и стратосферы. Результаты измерений могут быть использованы в прогностических и климатических моделях.

Автор выражает благодарность коллегам из Центральной аэрологической обсерватории, в особенности Ф. Загуменнову и В. Фоменко, за разработку и изготовление фотодатчиков и проведение экспериментальных исследований.

Библиографический список

1. Asano S & al, Radiative Properties of Midlatitude Frontal Ice-Clouds Observed by the Shortwave and Longwave Radiometer-Sondes, *J. Meteorol. Soc. Jpn.*, 2004 82, doi: [10.2151/jmsj.2004.639](https://doi.org/10.2151/jmsj.2004.639).
2. Кондратьев К.Я. Актинометрия // 1965, Л., Гидрометеиздат. 357 с.
3. Костяной Г.Н. Актинометрический радиозонд // *Метеорология и гидрология*, 1963, № 7.
4. Philipona R & al, Balloon-borne radiation measurements demonstrate radiative forcing by water vapor and clouds, *Meteorologische Zeitschrift*. 2020, N 29(6), DOI: [10.1127/metz/2020/1044](https://doi.org/10.1127/metz/2020/1044)
5. Kochin A. V. Examination of Optical Processes in The Atmosphere During Upper Air Soundings. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*. 2021, DOI: [10.1175/JTECH-D-20-0158.1](https://doi.org/10.1175/JTECH-D-20-0158.1)
6. K. A. Nicoll, and R. G. Harrison Balloon-borne disposable radiometer for cloud detection. *Rev. Sci. Instrum.* 2012, 83, 025111; <https://doi.org/10.1063/1.3685252>

RADIOSONDE MEASUREMENTS OF THE ATTENUATION OF SUNLIGHT

Kochin A.V.

Central Aerological Observatory, Dolgoprudny, amarl@mail.ru

Summary: The integral value of the attenuation of optical radiation in the atmosphere is measured by an actinometric network, but for a number of tasks, the features of the vertical distribution of the attenuation coefficient are important. The paper describes a device and a method for evaluating the vertical profile of light attenuation using a conventional radiosonde equipped with a simple sensor based on a photodiode. The measurement data indicates a sharp change in the attenuation near the boundary between the troposphere and stratosphere.

Keywords: light attenuation coefficient, radiosonde, optical sensor, tropopause.

УДК 581.131 (567)

ОЦЕНКА СРЕДНИХ ЗНАЧЕНИЙ ПО МЕСЯЦАМ ГОДА ОПТИЧЕСКОЙ ТОЛЩИНЫ ОБЛАКОВ И ИХ КОЭФФИЦИЕНТА КОРРЕЛЯЦИИ С ИНДЕКСОМ ПЛОЩАДИ ЛИСТЬЕВ В ИРАКЕ

А.М. Махмуд¹ (Ирак)

*Российский государственный аграрный университет - МСХА
имени К.А. Тимирязева, abdow.adem@gmail.com, abdowadam@yahoo.com.*

Аннотация: *изучение оптической толщины облаков считается одним из важнейших показателей климата, особенно для селекционеров и фермеров, поскольку от него зависит количество осадков и их влияние на продуктивность растений в целом, а также на структуру растений и индекс площади листьев в частности. В работе было проведено сравнение внутригодовой средней оптической толщины облаков с 2002 по 2022 год и их коэффициента корреляции с индексом площади листьев.*

Ключевые слова: *Республика Ирак, облака, изменения климата, оптическая толщина облака, индекс площади листьев.*

Актуальность. Изучение облаков является одним из главных приоритетных направлений для многих ученых в области климатологии, поскольку облачность вносит значительную неопределенность при прогнозировании изменения климата Земли [2]. Ирак считается одной из стран, наиболее пострадавших от климатических изменений, и поэтому исследования в этом направлении являются крайне актуальными в настоящее время [1]. Свойства облаков тесно связаны с характером облачного покрова, поскольку изменение режима облачности приводит к изменению микрофизических свойств облаков, что в свою очередь влияет на радиационный баланс [6]. Также, осредненные значения за определенный период (год, месяц, сутки) некоторых микрофизических свойств облаков имеют важное значение при моделировании климата и напрямую связаны с результатами климатических моделей [9].

Материалы и методы. Цель исследований - сравнение внутригодовой средней оптической толщины облаков по широтам в Ираке и их влияние на физические свойства облаков и корреляцию с индексом площади листьев.

Географически, Ирак расположен в Северном полушарии, а именно в его северо-восточной части, на 33° параллели северной широты и 44° восточной долготы; расстояние до Ирака от экватора оценивается в 2280,79 миль (эквивалентно 3670,58 км), тогда как расстоянию от Северного полюса до Ирака составляет 3939,55 миль (эквивалентно 6340,10 км). Столица Ирака, Багдад, находится на 33°19' северной широты и 44°25' восточной долготы [7,8].

В работе применены сравнительно-географический анализ, включающий методы геоинформационного анализа и моделирования, а также построение пространственно-распределенных баз данных. Климатические и исследовательские данные взяты по ссылкам (использовались линейные функции): [https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni\[4\]](https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni[4]), <https://www.earthdata.nasa.gov> [5], [Модель MERRA-2 M2TMNXRAD v5.12.4]

Результаты и обсуждение. При анализе изменения среднемесячной оптической толщины облаков в течении года, для двенадцати месяцев над территорией Ирака, с 2002 по 2022 год (Рисунки 1-12), мы приходим к выводу, что зимний (декабрь, январь и февраль) режим формирования облачности повлиял на количество облачности, представленной оптической толщиной облаков. Это отмечено преимущественно в северном, центральном и южном регионах Ирака. Наибольшее значение оптической толщины облаков наблюдалось в северных регионах около 36°-37° северной широты, и в дальнейшем уменьшалось по мере продвижения к южным регионам до 30°-28° градусах южной широты, особенно в западной части (Западный Пустынный регион). Что касается весеннего сезона, который представлен месяцами март, апрель и май, то начало снижения облачности варьируется в северных регионах и уменьшается в центральных и южных регионах на треть от 1/3 площади Ирака, а площадь снижения облачности увеличивается в мае до трех четвертей 3/4 территории. Что касается летнего сезона (июнь, июль и август), то среднемесячная оптическая толщина облаков резко уменьшается почти над всей территорией. Облака присутствуют на Крайнем Севере, который составляет не более 10% площади Ирака. Данный район характеризуется гористыми высотами, которые увеличиваются по мере продвижения на север. Осенний сезон, представленного сентябрем, октябрем и ноябрем месяцем, характеризуется возвращением толщины облаков в северных, центральных и южных регионах, постепенно уменьшающейся в юго-западной части Ирака, где представлена пустынная местность.

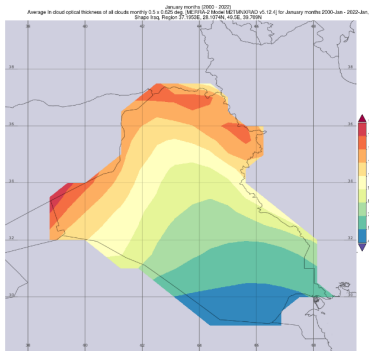


Рис. 1. Январь, средняя оптическая толщина за 2000-2022 гг.

Средняя оптическая толщина всех облаков за месяц, 0,5 x 0,625 град. [Модель MERRA-2 M2TMNXRAD v5.12.4] за январь 2000 г. - январь 2022 г. регион Ирак, 37.1953E, 28.1074N, 49.5E, 39.709N

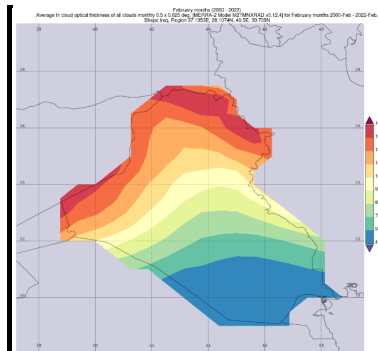


Рис. 2. Февраль, средняя оптическая толщина за 2000-2022 гг.

Средняя оптическая толщина всех облаков за месяц, 0,5 x 0,625 град. [MERRA-2 Model M2TMNXRAD v5.12.4] за февраль 2000 - февраль 2022 февраль, регион Ирак, 37.1953E, 28.1074N, 49.5E, 39.709N

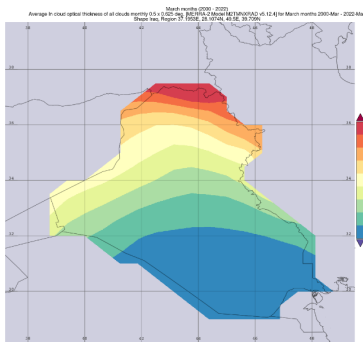


Рис. 3. Март, средняя оптическая толщина за 2000-2022 гг.

Средняя оптическая толщина всех облаков за месяц, 0,5 x 0,625 град. [MERRA-2 Model M2TMNXRAD v5.12.4] за март 2000-март-2022-март, регион Ирак, 37.1953E, 28.1074N, 49.5E, 39.709N

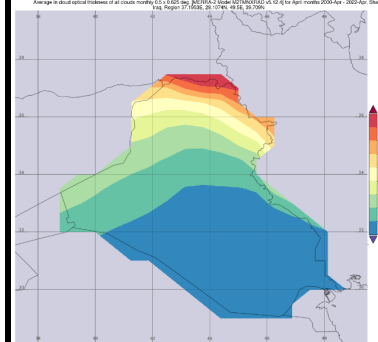


Рис. 4. Апрель, средняя оптическая толщина за 2000-2022 гг.

Средняя оптическая толщина всех облаков за месяц, 0,5 x 0,625 град. [Модель MERRA-2 M2TMNXRAD v5.12.4] за апрель 2000 г. – апрель 2022 г., регион Ирак, 37.1953E, 28.1074N, 49.5E, 39.709N

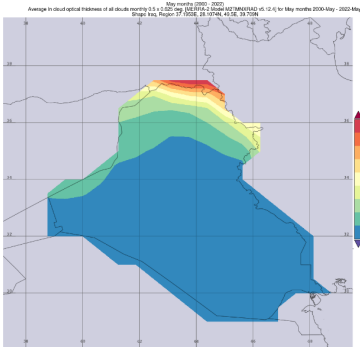


Рис. 5. Май, средняя оптическая толщина за 2000-2022 гг.

Средняя оптическая толщина всех облаков за месяц, $0,5 \times 0,625$ град. [MERRA-2 Model M2TMNXRAD v5.12.4] за май 2000 - май 2022, регион Ирак, 37.1953E, 28.1074N, 49.5E, 39.709N

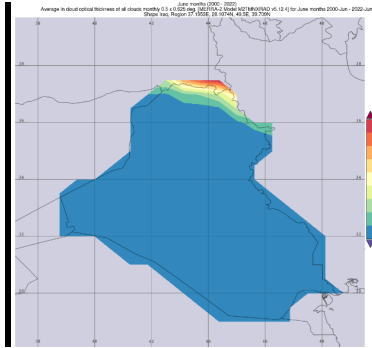


Рис. 6. Июнь, средняя оптическая толщина за 2000-2022 гг.

Средняя оптическая толщина всех облаков за месяц, $0,5 \times 0,625$ град. [MERRA-2 Model M2TMNXRAD v5.12.4] за июнь 2000 – июнь 2022., регион Ирак, 37.1953E, 28.1074N, 49.5E, 39.709N

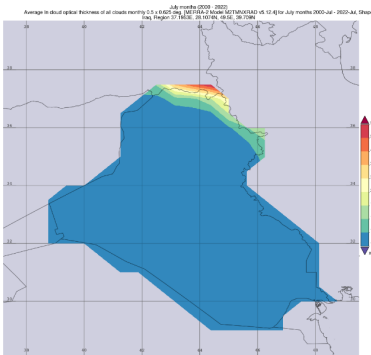


Рис. 7. Июль, средняя оптическая толщина за 2000-2022 гг.

Средняя оптическая толщина всех облаков за месяц, $0,5 \times 0,625$ град. [Модель MERRA-2 M2TMNXRAD v5.12.4] за июль 2000 – июль 2022, регион Ирак, 37.1953E, 28.1074N, 49.5E, 39.709N

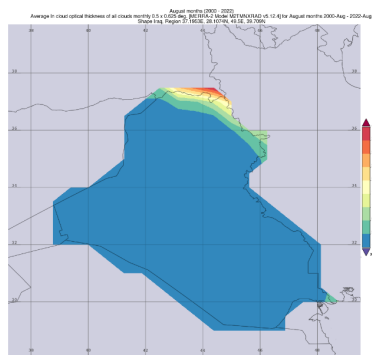


Рис. 8. Август, средняя оптическая толщина за 2000-2022 гг.

Средняя оптическая толщина всех облаков за месяц, $0,5 \times 0,625$ град. [MERRA-2 Model M2TMNXRAD v5.12.4] за август 2000 г. – август 2022 г., регион Ирак, 37.1953E, 28.1074N, 49.5E, 39.709N

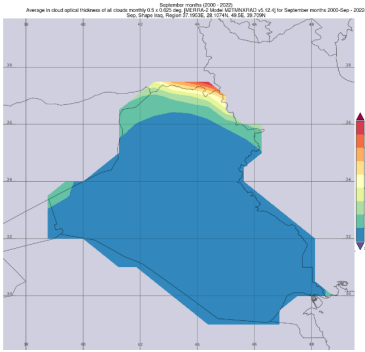


Рис. 9. Сентябрь, средняя оптическая толщина за 2000-2022 гг.

Средняя оптическая толщина всех облаков за месяц, $0,5 \times 0,625$ град. [MERRA-2 Model M2TMNXRAD v5.12.4] за сентябрь 2000 г. - сентябрь 2022 г., регион Ирак, 37.1953E, 28.1074N, 49.5E, 39.709N

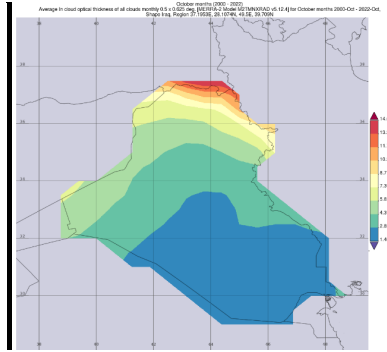


Рис. 10. Октябрь, средняя оптическая толщина за 2000-2022 гг.

Средняя оптическая толщина всех облаков за месяц, $0,5 \times 0,625$ град. [MERRA-2 Model M2TMNXRAD v5.12.4] за октябрь 2000 - октябрь 2022, регион Ирак, 37.1953E, 28.1074N, 49.5E, 39.709N

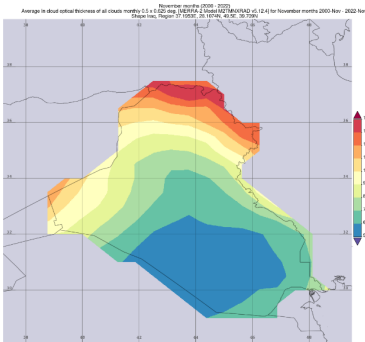


Рис. 11. Ноябрь, средняя оптическая толщина за 2000-2022 гг.

Средняя оптическая толщина всех облаков за месяц, $0,5 \times 0,625$ град. [MERRA-2 Model M2TMNXRAD v5.12.4] за ноябрь 2000 - ноябрь 2022, регион Ирак, 37.1953E, 28.1074N, 49.5E, 39.709N

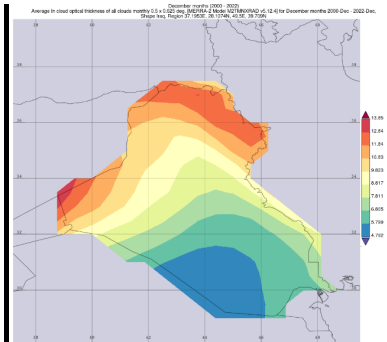


Рис. 12. Декабрь, средняя оптическая толщина за 2000-2022 гг.

Средняя оптическая толщина всех облаков за месяц, $0,5 \times 0,625$ град. [MERRA-2 Model M2TMNXRAD v5.12.4] за декабрь 2000 - декабрь 2022, регион Ирак, 37.1953E, 28.1074N, 49.5E, 39.709N

В целом, увеличение доли облаков демонстрирует широтную зональность и наблюдается с увеличением широты. Летом на более низких широтах эта картина меняется на противоположную: максимальная облачность в этот сезон наблюдается в прибрежных районах. Коэффициент вариации достигает своего пика в низких широтах в холодные месяцы и в высоких широтах в теплые месяцы [3].

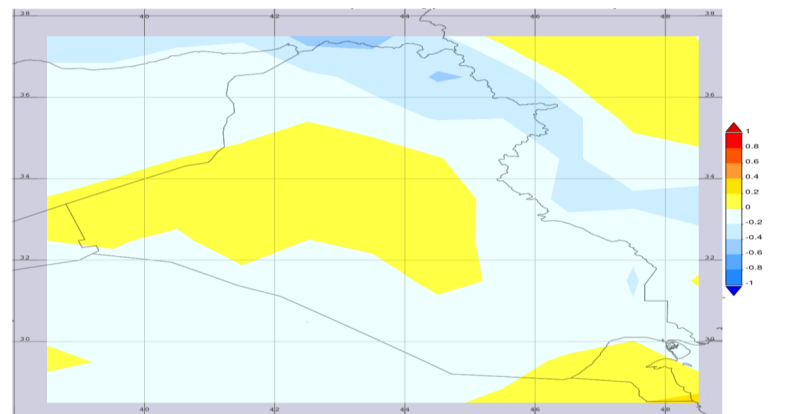


Рис. 13. Корреляция за 2002 июль - 2020 декабрь: 1-я переменная: комбинированная оптическая толщина облаков (COT): среднесуточная среднемесячная 1 град. [MODIS-Aqua MYD08_M3 v6.1] 2-я переменная: индекс площади листьев (LAI) ежемесячно 0,5 x 0,625 град. [Модель MERRA-2 M2TMXLND v5.12.4] над территорией Ирака

На рисунке 13 показана корреляция между оптической толщиной облаков над Ираком и индексом листовой площади (LAI), где выделяются области с положительной корреляцией и отрицательной корреляцией. Наиболее значимыми являются корреляция на севере, что дает информацию о сокращении времени освоения необитаемых территорий в сельском хозяйстве.

Заключение. Таким образом, проведенные исследования характера и плотности облачных систем показывает, что в условиях Республики Ирак для горных районов характерно увеличение количества облаков по мере продвижения на север. Это отражается на фотосинтетических процессах растений данной территории. Изменяется форма листа и площадь листовой поверхности. Тогда как пустынная местность характеризуется наименьшей оптической толщиной облаков в течении года, что, соответственно, влияет на

площадь листа растений и оказывает влияние на распространение растений с другими формами листьев, в частности с игольчатым их строением.

Библиографический список

1. Махмуд, А. М. Оценка некоторых климатических показателей и растительного покрова Ирака // Материалы Международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 180-летию со дня рождения К.А. Тимирязева, г.Москва, 5–7 июня 2023 г.: сборник статей. Том 1. 2023. С.370-374.

2. Махмуд, А. М. Сравнение оптической толщины облаков с индексом площади листьев (LAI) над территорией Ирака // Материалы Международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 180-летию со дня рождения К.А. Тимирязева, г.Москва, 5 –7 июня 2023 г. : сборник статей. Том 1. 2023. -С.374-377.

3. Ghasemifar, E., Farajzadeh, M., Perry, M. C., Rahimi, Y. G., & Bidokhti, A. A. Analysis of spatiotemporal variations of cloud fraction based on geographic characteristics over Iran. *Theoretical and applied climatology* .2018. 134, 1429-1445

4. <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni>

5. <https://www.earthdata.nasa.gov>

6. Rapp A.D. Cloud responses in the AMIP simulations of CMIP5 models in the southeastern Pacific marine subsidence region. *Int J Climatol* 35: 2015. p. 2908–2921.

7. www.distance.to, Retrieved 2018-8-23.

8. www.worldatlas.com , 2018-8-23.

9. Yang P, Baum B.A . *Encyclopedia of Atmospheric Sciences* 2nd Edition.5. 2015. p.116–127, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-382225-3.00503-X>.

ASSESSMENT OF AVERAGE VALUES BY MONTH OF THE YEAR OF THE OPTICAL THICKNESS OF CLOUDS AND THEIR COEFFICIENT OF CORRELATION WITH THE LEAF AREA INDEX IN IRAQ

A.M. Mahmood

Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazeva, abdow.adem@gmail.com, abdowadam@yahoo.com.

Summary: the study of cloud optical depth is considered one of the most important climate indicators, especially for breeders and farmers, since it determines

the amount of precipitation and its effect on plant productivity in general, as well as on plant structure and leaf area index in particular. By comparing the average months of the year, including the twelve months for Iraq, for cloud optical depth from (2002 to 2022) and their correlation coefficient with the Leaf Area Index.

Keywords: clouds, Iraq, climate change, cloud optical thickness, leaf area index.

551.501.777

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ФОРМИРОВАНИЯ СНЕЖНОГО ПОКРОВА В РАЙОНЕ МЕТЕООБСЕРВАТОРИИ имени В.А. МИХЕЛЬСОНА

И.Ф. Асауляк¹, М.С. Асауляк²

¹Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А.Тимирязева, iasaulyak@rgau-msha.ru

²Московский педагогический государственный университет, maryasauluk33@gmail.com

Аннотация: *в данной работе исследовался снежный покров в районе метеообсерватории имени В.А. Михельсона. Были рассмотрены основные характеристики снежного покрова за период с 1935 по 2022 гг. Построены графики даты выпадения первого снега, даты появления снежного покрова и образования устойчивого снежного покрова. Сделаны обобщающие выводы.*

Ключевые слова: *снежный покров, высота снега, плотность, характер залегания.*

Актуальность. Снежный покров – это слой снега на поверхности земли, образующийся в результате выпадения твердых осадков. Снежный покров накапливается в течение холодного полугодия и достигает максимальных значений к началу весеннего снеготаяния. В снежный покров включается также и ледяные прослойки, которые образуются на поверхности почвы и снега, а также скапливающаяся под снегом талая вода.

Основными величинами, характеризующими снежный покров, являются его высота, плотность и характер залегания. Располагая данными о высоте и плотности снега, можно вычислить запас воды в снежном покрове, сведения о котором представляют большой интерес для ряда отраслей народного хозяйства.

Результаты и обсуждение. В данной работе проводили исследования характеристик снежного покрова (дат выпадения первого снега, формирования устойчивого снежного покрова и др.) на площадке метеообсерватории им. В.А. Михельсона РГАУ-МСХА.

Даты установления снежного покрова были рассмотрены за период с 1935 по 2021 гг. Первое выпадение снега в среднем происходит 14 октября. Однако были годы, когда снег выпадал очень рано - 21 сентября, или слишком поздно – 17 ноября (табл.1).

Таблица 1

Средние даты выпадения первого снега, появления снежного покрова, образования устойчивого снежного покрова

Характеристики	Дата выпадения первого снега	Дата появления снежного покрова	Дата образования устойчивого снежного покрова
Средняя	14.X	3.XI	23.XI
Самая ранняя	21.IX	1.X	17.X
Год	1996	1998	2004
Самая поздняя	17.XI	1.XII	20.I
Год	1935	1949	2006

Между датой первого выпадения твердых осадков и датой появления снежного покрова проходит примерно три недели. Появление первого снежного покрова, как правило, наблюдается еще при положительных температурах. Поэтому первый снег держится недолго 2-4 дня, затем тает и образуется вновь. В терминах климатологии этот период называется предзимьем.

При средней дате образования устойчивого снежного покрова - 23 ноября в зависимости от синоптических условий сроки его образования меняются (рис. 1).

Самая поздняя дата (за период с 1935 по 2021 гг.) установления устойчивого покрова отмечена 20 января 2006 года, а самая ранняя - 17 октября 2004 года.

Таблица 1 обобщает сведения с 1935 по 2021 гг. Дату появления снежного покрова находили по степени покрытия снегом видимой окрестности, отмеченному в таблице ТМ-1. Днем со снежным покровом считается такой день, когда более половины видимой окрестности покрыто снегом, Устойчивым принято считать такой снежный покров, который лежит

непрерывно в течение всей зимы или не менее месяца с перерывами не более трех дней подряд, или в отдельности в течение 30 дней.

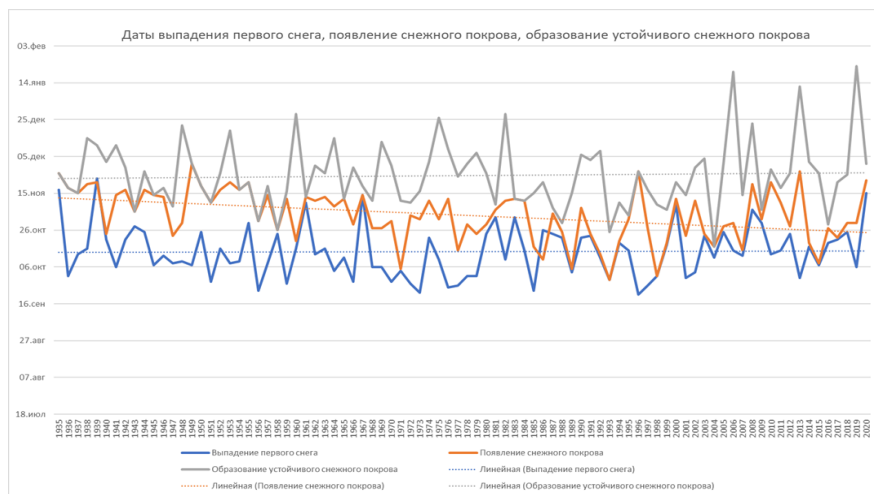


Рис.1. Даты выпадения первого снега, появления снежного покрова, образования устойчивого снежного покрова

С образованием устойчивого снежного покрова происходит постепенное нарастание его высоты. Непременным условием для непрерывного накопления снежной массы являются твердые осадки и отрицательный фон температуры воздуха. В таблице 2 представлена средняя высота снежного покрова на последний день декады с октября по май за период 1894-1914 и 1918-1981 гг., и в таблице 3 за период 1981-2021 гг.

Таблица 2

Средняя из наибольших декадных высот снега за зиму, плотность и запасы воды в снеге при наибольшей высоте

Наибольшая высота снега за зиму (см)	Плотность снега при наиб. высоте, г/см ³	Запасы воды в снеге при наибольшей высоте (мм)
50 (1894-1914; 1918-1981)	0,23	98
40 (1981-2022)	0,22	85

Средняя из наибольших декадных высот снега за зиму изменилась с 50 см (1894-1914; 1918-1981) до 40 см (1981-2022), плотность снега составляет в

среднем $0,22 \text{ г/см}^3$, запасы воды в снеге при наибольшей высоте изменилась с 98 мм (1894-1914; 1918-1981) до 85 мм (1981-2022) [2].

Анализируя данные о средней из наибольших высот снежного покрова за зиму, для наглядности был построен график по десятилетиям за рассматриваемый период (1893-1914; 1918-2022 гг.). Из графика следует, что с 1893 по 2022 год средняя из наибольших высот снежного покрова значительно снизилась с 84,9 см до 36,7 см. Причем с 1893 по 1928 произошло значительное снижение показателя с 84,9 по 46 см, с 1928 по 2008 год средняя из наибольших высот снега была в пределах около 40 см. И в период с 2008 по 2022 гг. этот показатель составил 36,7 см.

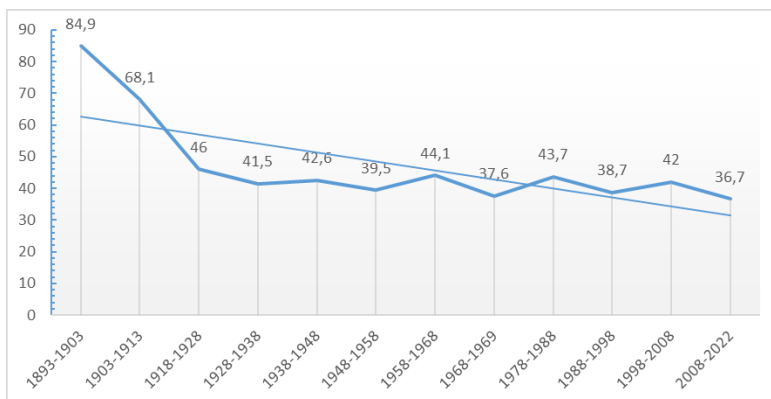


Рис.2. Средняя из наибольших высот снега за зиму, см

Заключение. Таким образом, можно отметить, что за исследуемый период в районе Петровско-Разумовского, на площадке метеообсерватории им. В.А. Михельсона существенно изменились даты образования устойчивого снежного покрова. Средняя из наибольших высот снега за зиму снизилась, а также отмечается тенденция изменения запасов воды в снеге в сторону уменьшения. Это еще раз свидетельствует о наблюдаемых изменениях климата в результате глобального потепления.

Библиографический список

1. Практикум по агрометеорологии и агрометеорологическим прогнозам Белолобцев А.И., Сенников В.А., Асауляк И.Ф., Коровина Л.Н., Авдеев С.М. Учебное пособие для подготовки бакалавров, обучающихся по направлениям 35.03.03 «Агрохимия и агропочвоведение», 35.03.04 «Агрономия», 35.03.05 «Садоводство», 35.03.07 «Технология производства и переработки сельскохозяйственной продукции» / Сер. Учебники и учебные пособия для студентов высших учебных заведений. Москва, 2015.
2. Assessment of trends of air temperature based on 140-year observations of V.A. Mikhelson Meteorological Observatory. Belolubtsev A.I., Ilinich V.V., Dronova E.A., Asaulyak I.F., Kuznetsov I.A. Caspian Journal of Environmental Sciences. 2021. T. 19. № 5. С. 909-914.
3. Impact of changes in snow cover regime on agronomic risks causing pink snow mold. Perevertin, K.A., Belolyubcev, A.I., Dronova, E.A., Mazirov, M.A., Asaulyak I.F., Vasiliev, T.A. *Led i Sneg*. 2022, 62(1), 75–80.
4. Агробиотехнологии XXI века. Серегина И.И., Торшин С.П., Новиков Н.Н., Фокин А.Д., Калашникова Е.А., Пыльнев В.В., Мазиров М.А., Асауляк И.Ф. и др. Москва, 2022.

ABOUT THE FEATURES OF SNOW COVER IN THE AREA OF THE METEEO OBSERVATORY NAMED AFTER V.A. MIKHELSON

I.F. Asaulyak, M.S. Asaulyak

Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after

K.A. Timiryazev, iasaulyak@rgau-msha.ru

Moscow Pedagogical State University, maryasauluk33@gmail.com

Abstract: in this work, snow cover in the area of the meteorological observatory named after V.A. Mikhelson. The main characteristics of snow cover for the period from 1935 to 2022 were considered. Graphs were constructed - the fall of the first snow, the appearance of snow cover, the formation of stable snow cover, and general conclusions were drawn.

Key words: snow cover, snow height, density, nature of occurrence.

**ЦИФРОВАЯ АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ
«АРМ-АГРОПРОГНОЗ»**

***В.М. Лебедева¹, Д.А. Калашиников¹, Т.А. Найдина¹, Н.М. Шкляева¹,
Я.Ю. Знаменская¹***

*¹Всероссийский научно-исследовательский институт
сельскохозяйственной метеорологии, Обнинск, t-naidina@yandex.ru*

Аннотация: цифровая автоматизированная технология «АРМ-Агропрогноз», разрабатываемая в настоящее время «ФГБУ ВНИИСХМ», востребована в управлениях по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды для обеспечения агрометеорологов-прогнозистов средствами обработки оперативной входной информации для расчета агрометеорологических прогнозов, создания информационных таблиц, графиков и картосхем для декадных, месячных бюллетеней и годовых обзоров, оценки состояния посевов сельскохозяйственных культур.

Ключевые слова: построение картосхем, цифровая технология, анализ данных, отчеты, графики, агрометеорологические прогнозы.

Актуальность. Актуальность создания цифрового продукта «АРМ-Агропрогноз» связана с необходимостью автоматизации основных видов работ агрометеорологов в региональных в управлениях гидрометслужбы Росгидромета [1] путем создания технологии автоматизированной обработки ежедневной, ежедекадной метеорологической и агрометеорологической информации из телеграмм в коде КН-21 (РД 52.27.707-2008), статистической информации об урожае сельскохозяйственных культур и удобного визуального представления полученной информации в табличном, графическом и схематичном виде для эффективного её использования.

Объектом исследования является поток информации, включающей телеграммы, поступающие по каналам связи, статистические и дополнительные данные. Методы исследования: статистические методы расчета агрометеорологических прогнозов (прогноз запасов влаги на весну, прогноз оптимальных сроков сева), динамико-статистический метод [2–5] оценки состояния посевов и прогнозирования урожайности основных

сельскохозяйственных культур (пшеницы, ячменя, ржи, картофеля, кукурузы, гречихи, зерновых и зернобобовых в целом).

Основными функциями цифровой системы «АРМ-Агропрогноз» являются:

- 1) автоматизированная обработка входной оперативной информации;
- 2) формирование информационных таблиц;
- 3) расчет агрометпрогнозов;
- 4) построение графиков основных агрометеорологических элементов;
- 5) создание картосхем.

Результаты и обсуждение. Автоматизированная обработка входной информации включает в себя раскодирование телеграмм и ввод дополнительных данных. При раскодировании осуществляется синтаксический разбор телеграмм по РД 52.27.707-2008, анализ входных параметров, логический контроль значений метеорологических и агрометеорологических величин с комментариями об ошибках, разделение телеграмм на правильно структурированные и требующие редактирования, занесение информации в базу данных Firebird. Анализ ошибок в структуре телеграмм позволяет предотвратить потерю информации, которая часто возникает из-за несоответствия структуры телеграммы коду [6–7]. Дополнительные данные вводятся в систему «АРМ-Агропрогноз» вручную посредством пользовательского интерфейса [8].

После ввода входной информации появляется возможность получения метеорологической и агрометеорологической информации в виде таблиц, прогнозов, графиков, картосхем (рис. 1–3). Информационные таблицы – это структурированные отчеты в программах MS Word или Excel, созданные индивидуально для каждого подразделения на основе годовых обзоров, декадных и месячных бюллетеней потребителей.

Информационная таблица в Excel для сезонного обзора

The screenshot shows an Excel spreadsheet titled 'Информационная таблица в Excel для сезонного обзора'. The interface includes a ribbon with 'Главная', 'Вставка', 'Ссылки', 'Данные', 'Референсы', 'Вид', and 'Разработчик'. The data table starts with a header row for 'Число дней с затопом >=15 м/с' and 'Высота снежного покрова на конец декабря, см'. The columns represent months from December to November for the years 2019 and 2020. The rows list various agricultural metrics and locations, such as 'Дальнее СЗУ', 'Тобольск УТМС', 'Великие Луки', 'Иркутск', 'Томск УТМС', 'Иркутск', 'Гомановское', 'Виноград', 'Илань', 'Абастуман', 'Самара', 'Иркутск', 'Волжские Ворота', 'Сосновка', 'Ветейка', 'Пензенское', 'Александровское', 'Владимировское', 'Александровское', 'Иркутск', 'Пенза Павла', 'Усть-Ишим', and 'Троица'.

Агрометеорологическая информация, отчет в Word

The screenshot shows a Word document titled 'Агрометеорологическая информация - Общие запасы продуктивной влаги - с апреля по август'. The document is in Russian and provides a detailed report on soil moisture reserves. It includes a table for 'Запасы продуктивной влаги за вегетационный период, мм, 2023 год' for the 'Забайкальский край, Картофель' region. The table lists various meteorological stations (Метеостанция) and their corresponding soil moisture reserves (Слой почвы, см) for the months of April, May, June, July, and August. The data is presented in a structured format with columns for station name, soil layer depth, and monthly moisture values.

Метеостанция	Номер участка	Слой почвы, см	Апрель		Май			Июнь			Июль			Август			
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
30578 Карластуй	500	0-10	11	13	9	7	7	5	3	25	20	16	31	24			
		0-20	17	24	20	20	14	17	15	7	50	40	34	61	49		
		0-50	66	59	58	41	58	61	22	142	116	98	129	115			
		0-100															
30766 Чернышевск	500	0-10	8	7	7	5	2	1	14	6	7	4	0	10			
		0-20	18	16	14	11	7	7	25	13	14	10	3	13			
		0-50	33	32	27	23	16	15	39	26	28	20	6	19			
		0-100															
30862 Шиска	506	0-10	7	6	7	7	5	9	9	12	0	0	0	5			
		0-20	17	18	18	14	22	22	26	3	1	1	5				
		0-50	52	45	60	46	63	62	69	16	4	1	15				
		0-100															

The report also includes a section for 'Забайкальский край, Пшеница яровая' with a similar table structure. The document footer indicates it was created on April 9, 2023.

Рис. 1. Отчеты в программах MS Word и Excel

На рисунке 1 показаны примеры создания в системе «АРМ-Агропрогноз» сезонного отчета в MS Excel и агрометеорологического отчета в MS Word. Технология позволяет осуществлять предварительный просмотр структурированных Word и Excel таблиц, исходных данных, при необходимости можно изменить свойства отчета. В результате нажатия кнопки «Создать отчет» потребитель получает результирующий файл.

На рисунке 2 показан пример построения графика для годового обзора в системе «АРМ-Агропрогноз», адаптированной для Забайкальского УГМС.

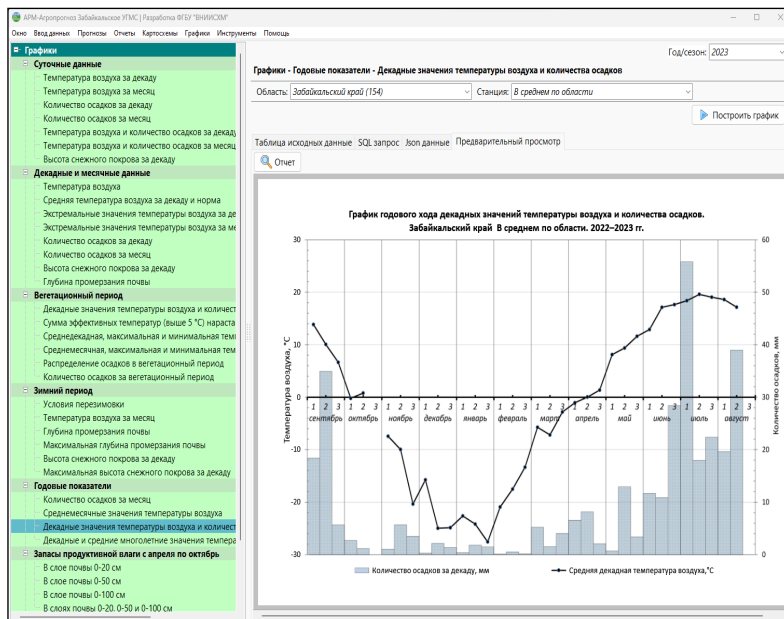


Рис. 2. Декадные значения температуры воздуха и суммы осадков в Забайкальском крае в 2022 – 2023 гг.

Цифровая технология «АРМ-Агропрогноз» дает возможность визуального представления пространственного распределения данных средствами свободно распространяемого пакета QGIS для создания картосхем метеорологических и агрометеорологических параметров по конкретной территории. В «АРМ-Агропрогноз» в меню «Картосхемы» при нажатии кнопки «Построить картосхему» пользователь может увидеть на экране карту

выбранного субъекта РФ и исходные данные по выбранному гидрометеорологическому элементу, а затем создать макет и в результате получить файл в формате JPEG для помещения в бюллетень, отчет, годовой обзор, презентацию. На рис. 3 показан пример картосхемы, при построении которой использовалась прямоугольная система координат WGS84/Mercator (EPSG:3994), в верхнем правом углу указан регион, в нижнем – название картосхемы, также на карте представлена легенда, в соответствии с требованиями по составлению географических карт.

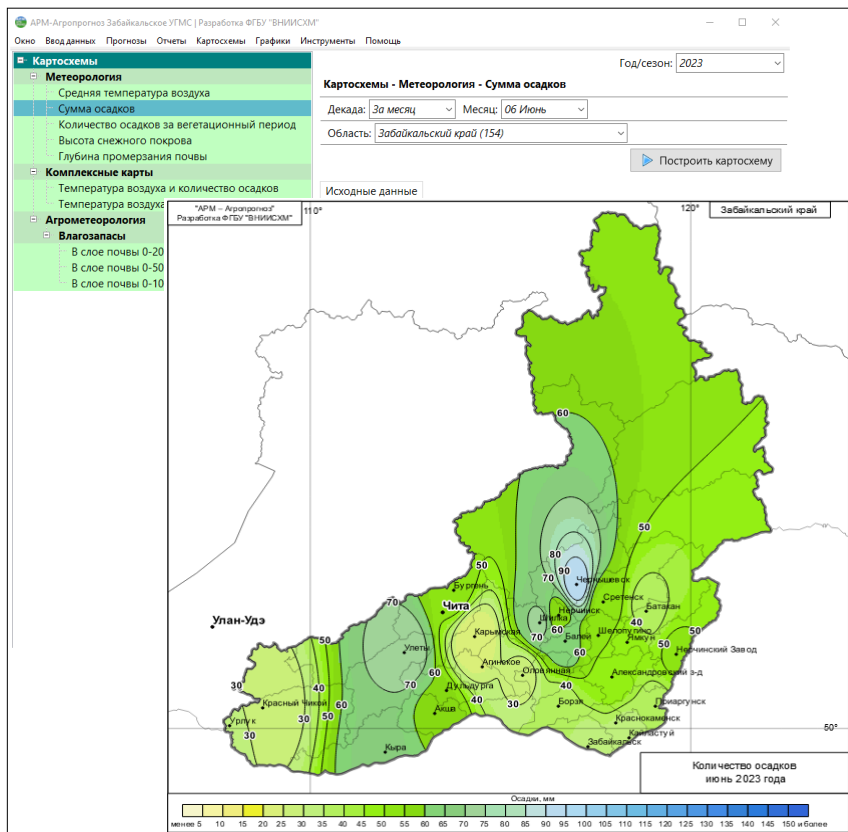


Рис. 3. Построение картосхемы. Количество осадков в Забайкальском крае, июнь 2023 г.

Для отображения изолиний используется один из методов интерполяции данных – расчет обратного взвешенного расстояния. Технология позволяет построить растровое изображение, где значения пикселей являются оценочными значениями, одноканальное псевдоцветное изображение используется при отрисовки растровых слоев. В зависимости от размаха значений гидрометеорологического параметра выбираются интервалы отображения метеорологических величин: глубины промерзания почвы, высоты снежного покрова, количества осадков, температуры воздуха. В некоторых случаях, например, при отображении влагозапасов, данные отображаются на картосхеме условными знаками – пунсонами с числовыми подписями в конкретной точке на карте. Цифровая технология позволяет также создание комплексных карт: температуры воздуха и высоты снежного покрова, температуры воздуха и количества осадков.

Заключение. В настоящее время цифровая технология «АРМ-Агропрогноз» успешно внедрена в 13 региональных подразделениях Росгидромета. ФГБУ «ВНИИСХМ» осуществляет сопровождение ее работы и, по мере необходимости, обновление некоторых компонентов. Таким образом, «АРМ-Агропрогноз» используется на сети, внедрение и разработка продолжают [9–10].

Библиографический список

1. Лебедева В.М., Шкляева Н.М., Знаменская Я.Ю. Автоматизированная система “АРМ-агрометпрогноз” для Уральского УГМС // Метеорология и гидрология. 2019. № 3. С. 102–109.
2. Гончарова Т.А., Найдина Т.А., Лебедева В.М., Береза О.В. Оценка условий вегетации и прогноза урожайности кукурузы с использованием спутниковой и наземной информации по субъектам Российской Федерации и результаты его испытания // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2018. № 2 (368). С. 144–153.
3. Гончарова Т.А., Найдина Т.А., Лебедева В.М., Береза О.В. Результаты испытания метода оценки условий вегетации и прогноза урожайности кукурузы с использованием спутниковой и наземной информации по субъектам Российской Федерации // Результаты испытания новых и усовершенствованных технологий, моделей и методов гидрометеорологических прогнозов. 2018. № 45. С. 127–135.
4. Найдина Т.А. Развитие динамико-статистического метода оперативного прогнозирования урожайности озимой ржи // Гидрометеорология и образование. – 2020. № 4. – С. 51 – 64.

5. Лебедева В.М., Найдина Т.А. Учёт осенне-зимнего увлажнения почвы в динамико-статистической модели прогноза урожайности озимых культур. // Труды Гидрометцентра России «Гидрометеорологические исследования и прогнозы». – 2022. – №4(386). – С. 79–95. DOI: <https://doi.org/10.37162/2618-9631-2022-4-79-95>

6. Найдина Т.А., Лебедева В.М. Раскодирование агрометеорологической информации по районам пастбищного животноводства // Труды СибНИГМИ, выпуск 107 «Проблемы гидрометеорологических прогнозов, экологии, климата». Новосибирск. Издающая организация: Сибирское отделение РАН, 2021 г. С. 112 – 121.

7. Найдина Т.А., Лебедева В.М. Первичная обработка агрометеорологической информации по районам пастбищного животноводства // Научно-практическая конференция по проблемам гидрометеорологических прогнозов, экологии, климата Сибири: Тезисы докладов. – Новосибирск, электронное издание, 2021 г. – С. 19 – 20.

8. Лебедева В.М., Калашников Д.А., Найдина Т.А., Шкляева Н.М., Знаменская Я.Ю. Автоматизированная технология раскодирования и использования оперативной агрометеорологической информации в региональных оперативных подразделениях Росгидромета // Фундаментальные и прикладные исследования в гидрометеорологии [Электронный ресурс]: материалы междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 50-летию каф. общего землеведения и гидрометеорологии Белорус. гос. ун-та, Минск, 11–13 окт. 2023 г./ Белорус. гос. ун-т; редкол.: П. С. Лопух (гл. ред.), Ю. А. Гледко, Е. В. Логинова. – Минск: БГУ, 2023. – С. 512–520.

9. Лебедева В.М., Калашников Д.А., Найдина Т.А., Шкляева Н.М., Знаменская Я.Ю. Автоматизированная система “АРМ-Агропрогноз” для агрометеорологического обеспечения АПК, адаптированная для Центрального УГМС / В.М. Лебедева, Д.А. Калашников, Т.А. Найдина, Н.М. Шкляева, Я.Ю. Знаменская // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2020. № 3 (377). С. 92–102.

10. Лебедева В.М., Калашников Д.А., Найдина Т.А., Шкляева Н.М., Знаменская Я.Ю. Внедрение автоматизированной технологии «АРМ-Агропрогноз» в региональных подразделениях Росгидромета // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Гидрометеорология и физика атмосферы: современные достижения и тенденции развития». 21–23 марта 2023 г. – СПб.: Издательско-полиграфическая ассоциация высших учебных заведений, 2023. – С. 65–70.

DIGITAL AUTOMATED TECHNOLOGY “ARM-AGROPROGNOZ”

V.M. Lebedeva, D.A. Kalashnikov, T.A. Naidina, N.M. Shklyayeva,

Y.Y. Znamenskaya

National Research Institute on Agricultural Meteorology,

Obninsk, t-naidina@yandex.ru

Summary: being developed by Federal State Budgetary Institution "National Research Institute on Agricultural Meteorology" digital automated technology "ARM-Agroprognoz" is in demand in departments for hydrometeorology and environmental monitoring to provide agrometeorologists-forecasters with the processing operational input information tools for calculating of agrometeorological forecasts, information tables, graphs and maps creating for ten-day, monthly bulletins and annual reviews, agricultural crop condition assessment.

Keywords: maps construction, digital technology, data analysis, reports, graphs, agrometeorological forecasts.

УДК 551. 583.1

ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ (на примере Центрального федерального округа)

Л.Ю. Васильев¹, Н.А. Терешонок²

¹ *Институт повышения квалификации руководящих работников и специалистов Росгидромета, Балашиха. l.vasilev@ipkmeteo.ru*

² *Центральное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Москва, nik.tereshonok@yandex.ru*

Аннотация: *представлена информация об основных направлениях деятельности Росгидромета по реализации Климатической доктрины Российской Федерации. Дан краткий обзор климатических изменений в Москве и Московском регионе, причинах глобального потепления и динамики основных климатообразующих параметров.*

Ключевые слова: *климатическая доктрина, адаптация. изменение климата, причины глобального потепления, прогнозные оценки на ближайшие десятилетия.*

Актуальность. Одной из важнейших проблем, стоящих перед человечеством, является глобальное потепление, вызванное растущими выбросами в атмосферу парниковых газов при сжигании углеводородного топлива, как основного источника энергии на современном этапе технологического развития, и связанные с ним неблагоприятные и опасные последствия.

Российская Федерация потенциально уязвима при неблагоприятных изменениях климата: рост среднегодовой температуры после середины 1970-х в два с половиной раза превосходит глобальный, что может повлечь высокий риск засухи в основных зернопроизводящих регионах, деградацию мерзлоты с ущербом зданиям и инфраструктуре, ускоренное таяние ледников с ростом опасности наводнений, лавин в горных районах. С другой стороны, имеются и положительные последствия: увеличенный вегетационный период и теплообеспеченность сельскохозяйственных культур, продолжительное судоходство по трассе Северного морского пути, и другие. Необходим баланс в учете положительных и негативных последствий при выработке мер по адаптации и смягчения последствий изменения климата. В ряде случаев региональные изменения могут происходить очень быстро, а могут на масштабе десятилетий даже временно менять направление в связи с естественной изменчивостью в климатической системе: ускоренное потепление Арктики с 1990-х, быстрое потепление зим 1970-1995 и последующее похолодание вплоть до 2010 г. Необходима информация для своевременной корректировки адаптационных планов. Информация о таких колебаниях является результатом обобщения данных регулярного мониторинга климата, являющегося базовым элементом Глобальной рамочной основы климатического обслуживания под эгидой Всемирной метеорологической организации.

Можно с уверенностью утверждать, что человечество ожидает усугубление наблюдаемых антропогенных изменений климата и соответствующих климатических воздействий. При всех сценариях глобальная приземная температура будет продолжать повышаться, по крайней мере, до середины века [5].

Россия занимает особое место в контексте проблемы изменения климата – благодаря размерам своей территории, географическому положению, исключительному разнообразию климатических условий, структуре экономики, демографическим проблемам и геополитическим интересам.

Росгидромет ведет регулярный мониторинг происходящих изменений климата и текущих климатических аномалий на территории Российской Федерации и ее регионов. Результаты мониторинга представляются в ежегодном Докладе Росгидромета об особенностях климата на территории Российской Федерации. Важнейшим информационно-аналитическим продуктом Росгидромета, содержащим оценки наблюдаемых и возможных в будущем изменений климата и климатических воздействий на природные системы, население и отрасли экономики, являются Оценочные доклады Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. За период с 2008 по 2023 годы было выпущено три Оценочных доклада. Подготовка Росгидрометом Третьего оценочного доклада этой серии была предусмотрена Национальным планом адаптации. Это обстоятельство определило и ряд особенностей Третьего оценочного доклада, который, опираясь на выводы предыдущих оценочных докладов, ориентирован в значительной мере на информационно-аналитическое и научное обеспечение (в области компетенции Росгидромета) адаптации в отраслях и регионах [4].

Объекты и методы исследования. Выводы о количественных показателях климатических изменений, происходящих на планете, подготавливаются на основании данных наблюдений, получаемых с различных наблюдательных платформ. Общее количество метеостанций в мире составляет около 10000. Наблюдательная сеть Росгидромета более 7000 наблюдательных подразделений (2394 станции и 4251 пост, 245 АМСГ) и 13839 пунктов наблюдений. Из этого количества около 1800 метеорологических станций, которые проводят наблюдения в основные синоптические сроки с персоналом и 231 АМС. Наблюдательная сеть на территории Центрального федерального округа (Центральное и Центрально-Черноземное УГМС) составляет около 200 метеорологических станций.

Большой вклад в изучение климата вносят Обсерватория им. В.А. Михельсона, имеющая самый продолжительный, непрерывный ряд наблюдений, и метеорологическая обсерватория МГУ

Обсуждение результатов. Средние темпы потепления приземного воздуха на планете в течение 1976-2020 гг., составили 0,18 °C/10 лет в глобальном масштабе, 0,28 °C/10 лет – над сушей. За этот период глобальная температура выросла на 0,8 °C (Росгидромет, 2021). Значительно интенсивнее в те же годы повышалась температура в средних и высоких широтах Северного полушария: так, в среднем по территории России ее рост достигал (в 2020 г.) 0,51 °C/10 лет. Наиболее быстрыми темпами росла температура Северной

полярной области в последние тридцать лет (1991-2020 гг.): рост среднегодовой температуры достиг здесь $0,88\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет, т. е. $2,64\text{ }^{\circ}\text{C}$ за 30 лет. Наблюдавшееся в первой половине XX века потепление, как и последовавшее затем до 1970-х гг. похолодание, связано в основном с естественными причинами. В связи с этим период с середины 1970-х гг. выделяется как период современного глобального потепления, а 1976 год условно принят за его начало.

Самым теплым годом в истории наблюдений (в целом по России) оказался 2020 год, когда осредненная по территории России среднегодовая температура оказалась на $3,22\text{ }^{\circ}\text{C}$ выше климатической нормы 1961-1990 гг. и на $1,03\text{ }^{\circ}\text{C}$ выше предыдущего температурного рекорда 2007 г. (аномалия $+2,19\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Рассмотрим региональные аспекты климатических изменений на территории Центрального федерального округа (территория деятельности Центрального и Центрально-Черноземного УГМС).

Климат Москвы и Московского региона умеренно континентальный. Годовая амплитуда средней месячной температуры воздуха в Москве составляет $26 - 28\text{ }^{\circ}\text{C}$, которая, несмотря на изменение климата, меняется не значительно. С 1879 года средняя годовая температура воздуха в Москве, судя по тренду полиномиальной аппроксимации, выросла на $4,0\text{ }^{\circ}\text{C}$; за последние 100 лет на $3,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Амплитуда годовой температуры в последние три десятилетия не превышает $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ при стремительном ее росте.

2020 год, несмотря на значительное сокращение выбросов в атмосферу из-за COVID-19, стал самым жарким за всю историю наблюдений, побив мировой рекорд 2016 года и рекорд в Москве 2019 года [1]. А весь 2022 год в Центральной России и Московском регионе был наполнен погодными аномалиями. Очень теплый февраль и холодный май, жаркий с засухами и природными пожарами август и дождливый сентябрь, контрастный по температуре и осадкам декабрь.

Рост глобальной температуры происходит во все периоды года. Наибольший ее рост происходит в холодный период года. При этом с декабря по апрель температура выросла на $5-6\text{ }^{\circ}\text{C}$. В теплый период года рост температуры составил $2-3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Самый холодный год был 1888, когда среднегодовая температура составляла $+1,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, самый теплый – 2020 год ($+8,0\text{ }^{\circ}\text{C}$). Самый холодным месяцем был февраль 1893 года ($-21,6\text{ }^{\circ}\text{C}$), самым теплым – июль 2010 года ($+26,0\text{ }^{\circ}\text{C}$). Абсолютный минимум температуры воздуха зарегистрирован в Москве 17 января 1940 г. ($-43,1\text{ }^{\circ}\text{C}$); абсолютный максимум ($+38,2\text{ }^{\circ}\text{C}$) - 29 июля 2010 года (рис.1).

Средняя годовая температура воздуха Москвы превышает температуры окружающих городов в среднем на 0,6 °С из-за повышенного выброса тепловой энергии, получившей название «остров тепла». Независимо от «острова тепла» глобальное потепление в Москве и регионе развивается одинаковыми темпами. Так за период с 1970 по 2022 годы температура воздуха в Москве и Дмитрове повысилась на 2,4 и 2,3 °С соответственно. В последнее десятилетие площадь столицы стремительно разрастается, соответственно растет и площадь «острова тепла».

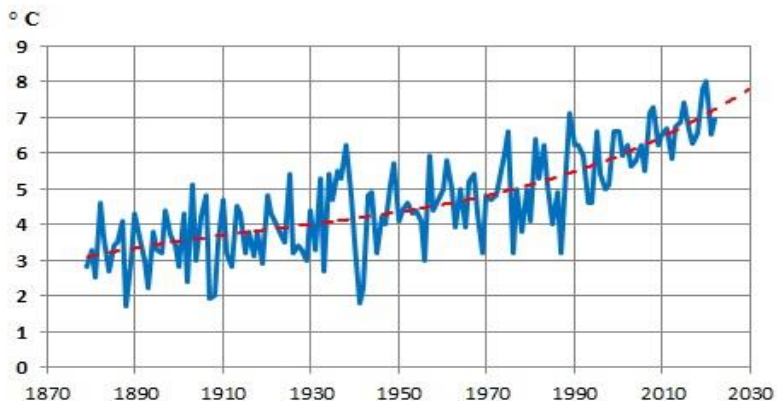


Рис. 1. Ход средней годовой температуры воздуха в Москве (1879-2022 гг.)

С ростом глобальной температуры растет количество испарившейся влаги, что приводит к увеличению количества выпавших осадков. Годовое количество осадков в Москве за весь период наблюдений выросло приблизительно на 200 мм. Наименьшее годовое количество осадков наблюдалось в 1920 году (336 мм), наибольшее – в 2013 году (891 мм). Самым дождливым месяцем был сентябрь 1885 года (203 мм), самым сухим – май 1941 года (0 мм). Суточный максимум осадков 87,8 мм зафиксирован в Москве 15 августа 2016 года. Наибольший рост количества осадков отмечается в осенне-зимний период. Заметна значительная, в 200-300 мм, изменчивость годового количества осадков за последние 30 лет (рис. 2).

За 70-летний период годовая скорость ветра на метеостанциях региона уменьшилась почти в два раза. Если в 40-50-х годах средняя скорость ветра составляла около 4 м/с, то в 2022 году – 2 м/с, в Москве - 1 м/с. Причины уменьшения скорости ветра могут быть следующие: изменение

репрезентативности метеоплощадок застройкой или ростом деревьев в ближнем окружении; смена средств измерения; изменение циркуляции атмосферы. Репрезентативность метеоплощадок на большинстве метеостанций, в основном, соблюдается. Смена средств измерения на скорость ветра повлияла незначительно.

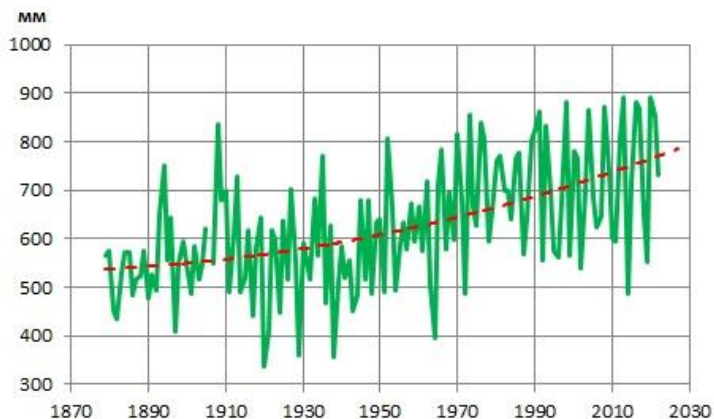


Рис. 2. Годовое количество осадков в Москве (1879-2022 гг.)

Надо полагать, это связано с общей циркуляцией атмосферы и замедлением квазистационарного восточного переноса воздушных масс в период ускоренного глобального потепления. При этом заметен рост максимальной скорости ветра в экстремальных погодных условиях при прохождении циклонических образований и фронтов (рис. 3).

Повышение зимней температуры привело к сокращению продолжительности отопительного сезона (периода между датами перехода средней суточной температуры воздуха через $+8^{\circ}\text{C}$ осенью и весной). С 1880 года отопительный период сократился приблизительно на 20 суток. Если в начале периода отопительный сезон длился более 210 суток (7 месяцев), то в настоящее время около 190 суток. Средняя дата начала отопительного сезона в Москве происходит 5 октября, окончания – 22 апреля (рассчитаны за 30-летний период 1991 - 2020 г.).



Рис. 3. Изменение средней годовой скорости ветра в Москве с 1948 по 2022 гг.

Из-за относительно теплых зим в сочетании с высоким снежным покровом промерзание почвы в Москве и регионе уже многие годы отсутствует или значительно меньше средних многолетних значений. С ростом температуры и увеличением продолжительности теплого периода, увеличилась продолжительность вегетационного периода (период между датами перехода средней суточной температуры воздуха через $+5^{\circ}\text{C}$ весной и осенью). За период с 1879 по 2022 гг. вегетационный период в Московском регионе увеличился приблизительно на 25 суток. Сроки вегетационного периода в Москве, рассчитанные за 30-летний период (1991-2020 г.), находятся в пределах 10 апреля – 21 октября.

Расчеты средних значений температуры воздуха за 10 - летние периоды показали их неуклонный рост. Температура воздуха в каждое десятилетие была выше, чем в любое предшествующее десятилетие. Температура с $3,3^{\circ}\text{C}$ в начальном 10-летнем периоде (1881-1890 г.) выросла до $6,9^{\circ}\text{C}$ в периоде (2011-2020 г.). В последние десятилетия заметно увеличение градиента роста температуры. Высокая достоверность аппроксимации уравнения позволяет сделать предварительный прогноз значения температуры на будущий период

Учет количества абсолютных суточных максимумов температуры воздуха в Москве выполнен за продолжительный период, начиная с 1881 года. Обновление максимальных суточных температур наступает при значительном потеплении. На протяжении 120 лет рекорды температуры наступали в 14 – 47 случаях за 20-летние периоды, а в последние 20 лет абсолютные суточные

максимумы температур обновлялись в 141 случае. Новые температурные рекорды бьются теперь каждое лето и это уже не редкость. С каждым годом волны тепла повторяются в Московском регионе все чаще и более продолжительное время. Наиболее «урожайными» на количество рекордных суток по теплу были годы: 1882-12; 1938-16; 2007-14; 2010-24; 2015-20; 2020-16.

Погодные условия в последние десятилетия заметно меняются, растет количество регистрируемых экстремальных гидрометеорологических явлений, их частоты и масштабов. Это заметно на увеличении интенсивности и продолжительности волн жары и периодов сильных дождей. За тридцатилетний период в Московском регионе количество опасных гидрометеорологических явлений (ОЯ) практически утроилось. Наибольшее количество ОЯ приходится на летние месяцы. С ростом температуры энергия нижних слоев атмосферы увеличивается, поэтому преобладают ОЯ по сильным осадкам и скорости ветра. Участились ОЯ с сильной жарой, аномально жаркой погодой, атмосферной и почвенной засухой, чрезвычайной пожароопасностью.

Заключение. Потепление климата, которое происходит сейчас, никак не вписывается в естественные циклы, и происходит чрезвычайно стремительно. Никогда еще средняя годовая температура не изменялась с такой невероятной скоростью: 2,0 - 3,0 °С за 100 лет, из них 1,6 - 2,8 °С – за последние 50 лет и 0,8 - 1,7 °С – за последние 20 лет [2]. По прогнозам климатологов Центрального УГМС уже к середине нынешнего века в ЦФО потеплеет на 1-3 °С, если темпы роста температуры сохранятся на прежнем уровне. Предполагается, что темпы потепления будут только нарастать.

Ожидается рост до 10 – 50 мм годового количества осадков в северной части ЦФО и падение до 10 – 30 мм в южных областях. [3].

Для адаптации населения к перечисленным климатическим изменениям необходимо увеличение лесных и парковых насаждений, сокращение выбросов углекислого газа и продуктов горения, утилизация бытовых и промышленных отходов, усовершенствование системы ливневых стоков и другие мероприятия, направленные на обеспечение улучшения жизнедеятельности населения. Необходимо совершенствовать и развивать систему мониторинга состояния окружающей среды, сеть наблюдательных подразделений на территории России - государственную, территориальную, частных компаний и физических лиц.

Библиографический список

1. Доклад Росгидромета об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2020 год. – М.: 2021. - 104 с.
2. Материалы наблюдений метеорологических станций ФГБУ «Центральное УГМС» и ФГБУ «Центрально-Черноземное УГМС» (Госфонд данных о состоянии окружающей среды, ВНИИГМИ-МЦД, Обнинск).
3. Стратегия деятельности в области гидрометеорологии и смежных с ней областях на период до 2030 год (с учетом аспектов изменения климата). Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 03.09.2010 г. № 1458-р.
4. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации / под ред. В. М. Катцова; Росгидромет. – Санкт-Петербург: Научное издание, 2022. – 676 с
5. Шестой оценочный доклад Межправительственной группы экспертов ООН по изменению климата (МГЭИК/IPCC). <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>

CLIMATE CHANGE IN THE TERRITORY OF THE RUSSIAN FEDERATION (using the example of the Central Federal District).

L.Yu. Vasiliev, N.A. Tereshonok

Institute for Advanced Training of Managers and Specialists of Roshydromet,

Balashikha. l.vasilev@ipkmeteo.ru

Central Department for Hydrometeorology and Environmental Monitoring, Moscow,

nik.tereshonok@yandex.ru

Abstract: information is presented on the main activities of Roshydromet in implementing the Climate Doctrine of the Russian Federation. Data on warming processes in the country are provided. A brief overview of climate changes in Moscow and the Moscow region, the causes of global warming and the dynamics of the main climate-forming parameters is given: air temperature, precipitation, wind speed, duration of periods, as well as changes in climate norms, temperature records and hazardous natural phenomena.

Key words: climate doctrine, adaptation, climate change, causes of global warming, forecast estimates for the coming decades.

УДК 551.5

**АНАЛИЗ ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
УСЛОВИЙ ВЕГЕТАЦИОННОГО ПЕРИОДА ПО МНОГОЛЕТНИМ
ДАНЫМ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ ИМЕНИ
В.А. МИХЕЛЬСОНА**

Е.В. Береснева¹, И.А. Охлопков¹, А.А. Быстров¹, А.В. Михайленко¹

¹ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва,
beresneva.ev@bk.ru

***Аннотация:** статья посвящена анализу температурно-влажностных особенностей вегетационного периода через призму многолетних данных Метеорологической обсерватории им. В. А. Михельсона. Представленный анализ рассматривает изменения температуры и осадков, вычисляет гидротермический коэффициент ГТК в вегетационный период, определяет основные закономерности и тенденции. Основное внимание уделяется связи между температурой и осадками, их воздействию на рост и развитие растений. Методология анализа включает статистическую обработку данных с 1961 по 2020 год и построение графиков, что помогает выявить сезонные и долгосрочные изменения метеорологических условий. Результаты и заключения данного исследования могут быть полезны для агро-климатических изысканий, сельскохозяйственного планирования и прогнозирования урожаев.*

***Ключевые слова:** изменение климата, адаптация, температура, осадки, сельское хозяйство, гидротермический коэффициент.*

Актуальность. Период вегетации является критически важным этапом в жизненном цикле растений, поскольку определяет условия для их роста и развития, а также формирования будущего урожая. Температура и влажность окружающей среды в течение этого периода существенно влияют на физиологические и биохимические процессы, происходящие внутри растений [1, 2].

На фоне глобального изменения климата, сельское хозяйство, как одна из самых климатозависимых отраслей хозяйства, нуждается в обеспечении различными методами адаптации к изменениям [3, 4]. Формирование адаптационных мероприятий невозможно без длительных рядов наблюдений за погодой и климатом. В данной статье приводятся исследования и анализ

изменений показателей температуры и осадков за период двух климатических норм 1961-1990 и 1991-2020 годы. Подобный длинный ряд позволяет провести количественную и качественную оценку и зафиксировать изменения, которые происходили в этот продолжительный период времени.

Материалы и методы. Цель исследования - проанализировать температурно-влажностные характеристики периода активной вегетации по многолетним данным Метеорологической обсерватории им. В.А. Михельсона по периодам: 1961-1990 гг. и 1991-2020 гг.

Проанализированы длительные ряды метеорологических данных обсерватории им. В.А. Михельсона по температурам и осадкам по периодам – 1961-1990 гг. и 1991-2020 гг. Рассчитан гидротермический коэффициент увлажнения Г.Т. Селянинова за период активной вегетации.

Обсуждение результатов. Для озимых зерновых критический период с точки зрения погодных условий длится с мая по июль. Именно в это время растения проходят стадии выхода в трубку и колошения, когда их потребность во влаге особенно высока из-за активного роста. На стадии колошения и созревания требования озимых зерновых к теплу повышаются [5].

Для комплексной оценки условий вегетационного периода был использован ГТК [6], характеризующий уровень влагообеспеченности территории:

$$\text{ГТК} = \frac{\sum P}{0,1 \sum t},$$

где $\sum P$ – сумма осадков, выпадающих за период активной вегетации, мм; $\sum t$ – сумма активных температур за период активной вегетации, °С.

В таблице 1 показана частота (в процентах) значений ГТК для отдельных месяцев вегетационного периода в соответствии с классификационной шкалой уровней влагообеспеченности, предложенной Е.К. Зойдзе и Т.В. Хомяковой [7].

Оптимальные значения влагообеспеченности в мае наблюдались лишь в 7% случаев за базовый климатический период, в то время как неблагоприятные условия с избыточным увлажнением варьировались в диапазоне от 33 до 57% случаев за исследуемый 60-летний ряд наблюдений в период с мая по июль. Также следует отметить, что экстремально низкие значения ГТК чаще наблюдались за период 1991-2020 гг. в июле с повторяемостью 10%. В целом, наиболее часто засушливые явления складывались в мае за базовый климатический период с повторяемостью 13%.

Таблица 1

Повторяемость ГТК по месяцам вегетационного периода в соответствии с классификацией Е.К. Зондзе и Т.В. Хомяковой

ГТК	Характер степени влагообеспеченности	Повторяемость ГТК, %					
		Май 1961-1990 гг.	Май 1991-2020 гг.	Июнь 1961-1990 гг.	Июнь 1991-2020 гг.	Июль 1961-1990 гг.	Июль 1991-2020 гг.
<0,20	Катастрофическая и низкая (очень сильная засуха)	7	0	0	3	0	10
0,21-0,40	Исключительно низкая (сильная засуха)	7	3	7	0	3	3
0,41-0,60	Очень низкая (средняя засуха)	13	7	7	3	3	7
0,61-0,75	Низкая (слабая засуха)	0	10	0	10	10	0
0,76-1,10	Недостаточная	17	20	13	23	3	20
1,11-1,40	Оптимальная	7	20	17	10	20	13
1,41-1,50	Повышенная	7	7	0	3	7	7
>1,50	Избыточная	43	33	57	47	53	40

На рисунке 1 представлена динамика повторяемости значений ГТК за периоды 1961-1990 и 1991-2020 гг. За последние десятилетия в июне и июле отмечается уменьшение числа лет с оптимальными условиями вегетационного периода. Соответственно возрастает число лет с недостаточным увлажнением. Так, подобные условия за период 1991-2020 гг. наблюдаются в июле в 6 раз чаще, чем за период 1961-1990 гг. Следует отметить, что во всех исследуемых месяцах за период 1991-2020 гг. происходит уменьшение количества лет, характеризующихся избыточной влагообеспеченностью, относительно базового периода.

Статистические характеристики условий периода активной вегетации за период с температурами выше 10°C представлены в табл. 2. Сумма активных температур вегетационного периода за базовый климатический период в среднем составляла 2269°C. Минимальное значение 1855°C наблюдалось в 1980 г., максимальное значение 2675°C – в 1981 г. Сумма осадков вегетационного периода за базовый период в среднем составляла 332 мм. Минимальное значение, 204 мм, наблюдалось в 1964 г., максимальное значение – 474 мм в 1981 г. ГТК за вегетацию в базовом периоде в среднем был равен 1,5. Минимальное значение составляло 0,85 в 1964 г., максимальное 2,3 – в 1976 г.

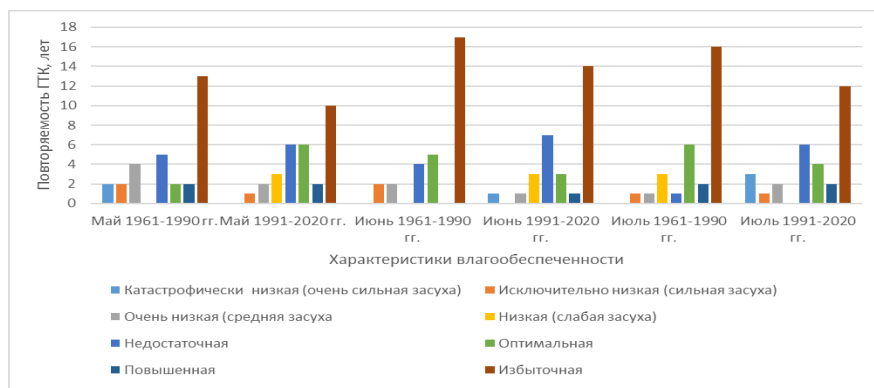


Рис. 1. Многолетняя помесечная динамика повторяемости значений ГТК за 1961-1990 и 1991-2020 гг.

Сумма активных температур за период 1991-2020 гг. в среднем составляла 2508°C. Минимальные значения 2058°C и 2059°C наблюдались в 1993 и в 1994 гг. Максимальное значение 2963°C отмечалось в 2010 г. Сумма осадков за в среднем составляла 350,4 мм. Минимальное значение 154 наблюдалось в 2002 г. Максимальное 667 мм наблюдалось в 2020 г. ГТК за вегетацию в среднем анализируемый период составил 1,4. Максимальное значение 2,5 наблюдалось в 2020 г., минимальное значение 0,6 – в 2002 году.

Таблица 2

Статистические характеристики температурно-влажностных параметров

Статистические характеристики	Сумма активных температур		Сумма осадков		ГТК	
	1961-1990 гг.	1991-2020 гг.	1961-1990 гг.	1991-2020 гг.	1961-1990 гг.	1991-2020 гг.
Среднее	2269	2508	332	350	1,5	1,4
Стандартное отклонение	229	225	72	117	0,4	0,5
Минимальное значение	1855	2058	204	154	0,9	0,6
Квартиль 1	2134	2408	281	247	1,2	1,0
Квартиль 2	2263	2531	327	333	1,4	1,3
Квартиль 3	2441	2620	379	441	1,7	1,9
Максимальное значение	2675	2963	474	667	2,3	2,5

Следует отметить, что по суммам активных температур наблюдается увеличение среднего значения на 239°C (10,5%) за период 1991-2020 гг. по сравнению с базовым. Также увеличились значения по первому и третьему квартилям, при этом межквартильный размах сократился с 307,3 до 211,7 (на 31%), что говорит о стабильном росте значений сумм активных температур при снижении вариативности этого показателя. Сумма осадков за вегетационный период в среднем увеличилась на 18,2 мм (5%) относительно климатической нормы. Сумма осадков по первому квартилю за период 1991-2020 гг. снизилась на 33,8 мм (12%), а по третьему квартилю увеличилась на 61,4 (16,2%). Межквартильный размах увеличился на 95,2 мм (96,7%). Данные изменения свидетельствуют о росте неоднородности в ряде сумм осадков за вегетационный период за последние 60 лет.

ГТК Селянинова в целом повторяет изменения в ряде сумм осадков, прослеживается та же тенденция на рост неоднородности показателя: наблюдается рост межквартильного размаха, стандартного отклонения и пограничных значений.

Заключение. В свете глобальных изменений климата и связанных с ними будущих проблем, анализ климатических данных за период с 1961 по 2020 гг. позволяет выявить качественные перемены в метеорологической ситуации в исследуемом районе. Изменения в режиме температуры и влажности могут иметь крайне негативные последствия для ведения сельского хозяйства, которое является одной из наиболее зависимых от погодных условий отраслей экономики.

Анализ изменений сумм активных температур и осадков за вегетационный период за последние 30 лет показывает значительное увеличение среднего значения суммы активных температур на 10,5%, сопровождаемое увеличением средней суммы осадков на 5%. Одновременно с этим отмечается снижение вариативности показателей и увеличение неоднородности осадков, что свидетельствует о потенциальном влиянии изменяющихся климатических условий на агроклиматические процессы.

Анализ динамики повторяемости значений ГТК за последние десятилетия показывает увеличение числа лет с недостаточным увлажнением в июне и июле, что может негативно сказаться на условиях вегетационного периода. Статистические данные также отражают увеличение средних значений сумм активных температур и сумм осадков за анализируемый период, а также изменение ГТК, что свидетельствует о возможных изменениях в агроклиматических условиях в рассматриваемом регионе.

Библиографический список

1. Грингоф И.Г., Павлова В.Н. Основы сельскохозяйственной метеорологии. В 3 т./Том III. Часть 1. Основы агроклиматологии. Часть 2. Влияние изменений климата на экосистемы, агросферу и сельскохозяйственное производство. – Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2013. – 384 с.
2. Быстров, А. А. Влияние современных агрометеорологических условий на перезимовку озимой тритикале в условиях полевой станции РГАУ МСХА / А. А. Быстров, А. И. Белолобцев, В. Н. Игонин // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2022. Т. 32, № 4. С. 460-467.
3. Белолобцев, А.И. Сценарии воздействия изменений климата на сельское хозяйство / А.И. Белолобцев, Е.А. Дронова, И.Ф. Асауляк // Естественные и технические науки, № 6, 2018 г. С. 77-82.
4. Биоклиматический потенциал России: мера адаптации в условиях изменяющегося климата/А.В. Гордеев, А.Д. Клещенко, Б.А. Черняков и др.; Под ред. А.В. Гордеева. – М.: Типография Россельхозакадемии, 2007. – 236 с.
5. Полевой, А.Н. Сельскохозяйственная метеорология: [Учеб. для вузов по спец. "Агрометеорология"] / А. Н. Полевой. СПб.: Гидрометеоиздат, 1992. 424 с.
6. Сиротенко, О.Д. Основы сельскохозяйственной метеорологии. Том 2. Методы расчетов и прогнозов в агрометеорологии. - Книга 1. Математические модели в агрометеорологии / О.Д. Сиротенко. - Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2012. – 136 с.
7. Зоидзе, Е.К. Моделирование формирования влагообеспеченности территории Европейской России в современных условиях и основы оценки агроклиматической безопасности / Е.К. Зоидзе // Метеорология и климатология. – 2006. – №2. – С. 98 –105.

ANALYSIS OF TEMPERATURE AND HUMIDITY CHARACTERISTICS OF THE GROWING SEASON CONDITIONS BASED ON LONG-TERM DATA FROM THE V.A. MIKHELSON METEOROLOGICAL OBSERVATORY

E.V. Beresneva, I.A. Okhlopkov, A.A. Bystrov, A.V. Mikhailenko
RGAU-Moscow State Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev,
Moscow, beresneva.ev@bk.ru

Summary: the article is devoted to the analysis of temperature and humidity characteristics of the growing season through the prism of long-term data from the V.

A. Mikhelson Meteorological Observatory. The presented analysis examines changes in temperature and precipitation, calculates the hydrothermal coefficient of the SCC during the growing season, and determines the main patterns and trends. The main focus is on the relationship between temperature and precipitation, and their effects on plant growth and development. The methodology of the analysis includes statistical processing of data from 1961 to 2020 and the construction of graphs, which helps to identify seasonal and long-term changes in meteorological conditions. The results and conclusions of this study can be useful for agro-climatic surveys, agricultural planning and crop forecasting.

Keywords: climate change, adaptation, temperature, precipitation, agriculture, hydrothermic coefficient.

УДК 551.5

ИЗМЕРЕНИЯ И РАСЧЁТЫ ИСПАРЕНИЯ С ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ ИМЕНИ В.А. МИХЕЛЬСОНА

П.С. Ильин¹, И.А. Кузнецов¹, А.Б. Кавалли¹, П.С. Васильева¹

¹РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, p.ilyin@rgau-msha.ru

Аннотация: по результатам измерений на испарителе ГГИ-3000, установленного на территории метеорологической обсерватории имени В.А. Михельсона, подобраны параметры формулы Росгидромета для расчёта испарения с водной поверхности.

Ключевые слова: испарение, ГГИ-3000, метеорологическая обсерватория, водная поверхность,

Актуальность. Среди измеряемых элементов водного баланса водосборов наименее точно определяются испарения с суши и с водной поверхности. К сожалению, в последнее десятилетие количество воднобалансовых станций и метеостанций с установками стандартных испарителей ГГИ-3000 существенно уменьшилось [1]. Однако, в рамках территории обсерватории имени Михельсона в 2023 году был установлен дополнительно такой испаритель. С помощью измерений по нему можно уточнять коэффициенты стандартной формулы Росгидромета [2, 3, 4], на

основе которой имеется возможность рассчитывать и прогнозировать величины слоя и объёма испарения на ближайших водных объектах, что позволит более точно прогнозировать их уровни и глубины и уточнять экологические показатели водной среды. Таким образом, цель работы - уточнение коэффициентов формулы Росгидромета для определения слоя испарения с водных объектов, находящихся в районе Тимирязевской академии и её ближайшего окружения. Соответственно, были поставлены следующие задачи:

- организация и проведение хронологических измерений на испарителе ГГИ-3000;
- определение необходимых зависимостей между метеорологическими элементами;
- подбор эмпирических коэффициентов расчётной формулы Росгидромета относительно территории Тимирязевской академии и ближайшего её окружения.

Материалы и методы. Измерения проводились в соответствии с требованиями к измерениям испарения с водной поверхности [5, 6, 8].

Испаритель ГГИ 3000 представляет собой цилиндрический бак с конусообразным дном, он был установлен нормально к поверхности земли на площадке обсерватории имени В.А. Михельсона на открытой местности (рис. 1). Была предусмотрена защита от ветра посадками деревьев с западной стороны на расстоянии 20-30 метров.



Рис. 1. Испаритель ГГИ-3000 на площадке Метеорологической обсерватории имени В.А. Михельсона

В центре бака имеется металлическая реперная трубка, на которую при измерениях устанавливается объёмная бюретка. Площадь поперечного сечения испарителя равна 3000 см^2 . Бюретка представляет собой цилиндрический стакан высотой 60 мм и площадью поперечного сечения 20 см^2 . У верхнего края бюретки со стороны полукрышки имеется сливной носик-трубка, через которую при измерениях переливают воду в измерительную колбу.

Обсуждение результатов. Измерения по испарителю проводились в 8 и 20 часов. Измерения характеристик погоды между этими сроками выполнялись по установленным срокам для метеостанций в 9, 12, 15 и 18 часов, при этом измерялась и температура воды в испарителе с помощью психрометрического термометра. Для расчётов испарения с водной поверхности в случаях, когда невозможно получить измеренную температуру водной поверхности, которая необходима для определения влажности полностью насыщенного воздуха (e_0) при температуре испаряющей поверхности, определялись параметры регрессионного уравнения, связывающего температуру воздуха в психрометрической будке (на высоте 2 м) и температуру воды, измеренную в испарителе. Полученный график связи представлен на рисунке 2, где коэффициент корреляции оказался равным 0,94.

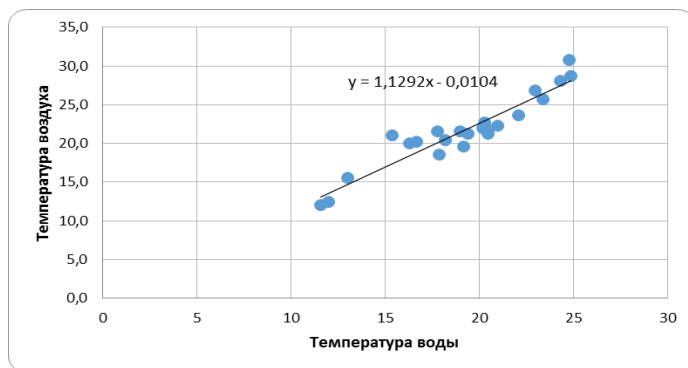


Рис. 2. График связи температуры воды и температуры воздуха

Формула Росгидромета [2, 3, 4] для оценки испарения с водной поверхности (E , мм) имеет следующий вид:

$$E = An (e_0 - e_{200}) (1 + Bu_{200}) \quad (1)$$

где: e_0 – среднее значение максимальной упругости водяного пара при температуре воды, гПа;

e_{200} – средняя упругость водяного пара на высоте 2 м (в стандартной психрометрической будке);

n – число дней в расчетном периоде;

u_{200} – средняя скорость ветра над водоемом на высоте 2 м.

A и B – эмпирические коэффициенты.

В большинстве случаев формула (1) имеет в качестве эмпирических коэффициентов $A=0,14$ и $B=0,72$ [4]. Тем не менее, как правило при установке прибора они уточняются, в ряде случаев они различны для конкретных регионов. В данном случае формула 1 проверялась относительно проведённых измерений испарения с водной поверхности с помощью испарителя ГГИ-3000, который имеет достаточно точные переходные коэффициенты по отношению к принятому за эталонный испарительный бассейн площадью 20 м^2 [2, 4, 7].

Измерения проводились исключительно в дни без осадков с целью более точного установления эмпирических коэффициентов формулы 1. При этом определялись необходимые для расчёта характеристики погоды, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1

Характеристики погоды в дни наблюдений

Дата	Температура воздуха	e_0 (гПа)	e_{200} (гПа)	u_{200}
14.04.2023	6,8	10,4	3,24	4,2
17.04.2023	13,4	14,7	4,9	1,4
18.04.2023	12,9	14,3	7,8	1,4
19.04.2023	14,9	15,9	6	2,1
20.04.2023	15,9	16,8	5,9	2,1
21.04.2023	14,9	15,9	5,3	2,1
22.04.2023	14,5	15,6	6,4	1,4
24.04.2023	19,6	20,2	6,5	2,1
14.05.2023	12,4	13,9	9,4	1,4
15.05.2023	20	18,6	8,5	1,4
16.05.2023	20,2	19,1	8	2,8
29.05.2023	21,3	22,6	9	1,4
30.05.2023	22	23,7	9,2	0,7
09.06.2023	15,6	15	12,3	2,8
15.06.2023	21,8	24,5	10,7	2,1
16.06.2023	26,9	28,2	12,2	2,1
28.06.2023	18,6	20,8	13,7	2,1
03.07.2023	23,6	26,7	14,8	2,8
05.07.2023	22,3	25,4	16,8	2,1
06.08.2023	30,8	31,4	21,9	2,1

Результаты по формуле (1) были получены при различных сочетаниях коэффициентов A и B . Они сравнивались с измеренными значениями, которые принимались истинными. Окончательно коэффициенты были выбраны на основе метода наименьших квадратов: $A=0,14$, $B=0,71$.

Таким образом была получена следующая формула с коэффициентами:

$$E = 0,14n (e_0 - e_{200}) (1+0,71u_{200}) \quad (2)$$

Окончательные принятые результаты расчёта по новой формуле представлены в таблице 2.

Таблица 2

Расчёт испарения по срокам наблюдений

Дата	Е набл	Температура воздуха	Температура воды в испарителе	Е по формуле
14.04.2023	4	6,8	7,5	3,99
17.04.2023	5	13,4	12,7	2,74
18.04.2023	2,4	12,9	12,3	1,81
19.04.2023	3,6	14,9	13,9	3,45
20.04.2023	4	15,9	14,7	3,80
21.04.2023	4	14,9	13,9	3,70
22.04.2023	3,6	14,5	13,6	2,57
24.04.2023	4	19,6	17,6	4,78
14.05.2023	2	12,4	12	1,26
15.05.2023	4	20	16,3	2,82
16.05.2023	4	20,2	16,7	4,64
29.05.2023	2,8	21,3	19,4	3,80
30.05.2023	4	22	20,2	3,04
09.06.2023	0,9	15,6	13	1,13
15.06.2023	3,8	21,8	20,5	4,81
16.06.2023	3,8	26,9	23	5,58
28.06.2023	5,8	18,6	17,9	2,48
03.07.2023	4	23,6	22,1	4,98
05.07.2023	2,4	22,3	21	3,00
06.08.2023	3,4	30,8	24,8	3,31

Уменьшение на 0,01 коэффициента В по сравнению с традиционным В=0,72 по всей видимости обусловлено достаточно высокими деревьями в западной части метеоплощадки, которые препятствуют традиционному преобладающему западному переносу воздушных масс, и тем самым уменьшают ветровое воздействие на турбулентную составляющую испарения с водной поверхности.

Заключение. В итоге работы был получен ряд данных по испарению с водной поверхности и были уточнены эмпирические коэффициенты для

стандартной формулы Росгидромета для условий метеорологической обсерватории имени В.А. Михельсона и окружающей территории. Такие результаты помогут более точно оценивать потери воды из окружающих водных объектов и испаряемость относительно опытных полей Тимирязевской академии.

Библиографический список

1. Многолетние изменения испарения на Европейской территории России по данным водноиспарительной сети. Научно-прикладной справочник под редакцией В.С. Вуглинского. СПб.: ООО "РИАЛ", 2021. 64 с.

2. Голубев В. С., Урываев А. П. Метод водных испарителей и его применение для расчета испарения с поверхности водоемов // Труды ГГИ. 1983. Вып. 289. С. 69–76.

3. Указания по расчету испарения с поверхности водоемов. -Л.: Гидрометеиздат, 1969. 84 с.

4. Вуглинский В. С., Албул И. П. Методика расчета испарения с водной поверхности по данным наземного испарителя ГГИ // Вестник СПбГУ. 2016. Серия 7. Геология. География, Вып. 3. С. 118-127.

5. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 7, Часть II. Наблюдения за испарением с водной поверхности. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 104 с.

6. Руководство по Глобальной системе наблюдений ВМО-№ 488. Женева. Издание 3. 460 с.

7. Кузнецов В.И. Методика расчета испарения с бассейнов площадью 20 м² по наблюдениям в испарителе ГГИ-3000 // Труды ГГИ. 1971. Вып. 181. С. 3-33.

8. World Meteorological Organization, 1997: Estimation of Areal Evapotranspiration. Technical Reports in Hydrology and Water Resources No. 56, WMO/TD-No. 785, Geneva.

MEASUREMENTS AND CALCULATIONS OF EVAPORATION FROM THE WATER SURFACE ON THE TERRITORY OF THE METEOROLOGICAL OBSERVATORY NAMED AFTER V.A. MIKHELSON

P.S. Ilyin, I.A. Kuznetsov, A.B. Kavalli, P.S. Vasilieva

¹Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Moscow, p.ilyin@rgau-msha.ru

Summaru: based on the results of measurements on the GGI-3000 evaporator installed on the territory of the meteorological observatory named after

V.A. Mikhelson selected the parameters of the Roshydromet formula for calculating evaporation from the water surface.

Keywords: evaporation, GGI-3000, meteorological observatory, water surface

УДК 004.855

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ В ЗАДАЧЕ МОНИТОРИНГА ПАВОДКОВОЙ ОБСТАНОВКИ В БАССЕЙНЕ РЕКИ АМУР

М.О. Кучма¹, А.Н. Давиденко¹, А.К. Малков¹, А.В. Бородицкая¹

¹Дальневосточный Центр ФГБУ "Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии "Планета", Хабаровск, m.kuchma@dvrscpod.ru

Аннотация: в работе представлено описание нейросетевого алгоритма для детектирования речных разливов в бассейне реки Амур по данным метеорологических космических аппаратов. Алгоритм основан на сверточной нейронной сети типа U-net, которая была адаптирована эмпирическим методом под решаемую задачу. Анализ проведенной оценки точности показал, что разработанные алгоритмы позволяют детектировать речные разливы с достаточной точностью.

Ключевые слова: наводнение, Амур, нейронные сети, дистанционное зондирование Земли, Sentinel, Landsat, Канопус-В, индексные изображения

Актуальность. Мониторинг паводковой обстановки в бассейне реки Амур является актуальной задачей для Дальневосточного региона России. Причина этого заключается в том, что речная сеть региона достаточно густая и подвержена частым разливам. Поскольку наземная наблюдательная сеть на этой территории распределена крайне неравномерно, основным источником информации о текущем состоянии водных объектов являются данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), которые позволяют проводить одномоментный анализ большой территории.

Обсуждение результатов. Для проведения качественного мониторинга паводковой обстановки по данным ДЗЗ принято использовать карты речных разливов, на которых дешифрируются как основное русло реки, так и

затопленные участки пойм рек. Пример таких карт, выпускаемых в Дальневосточном центре (ДЦ) НИЦ «Планета», представлен на рис. 1.

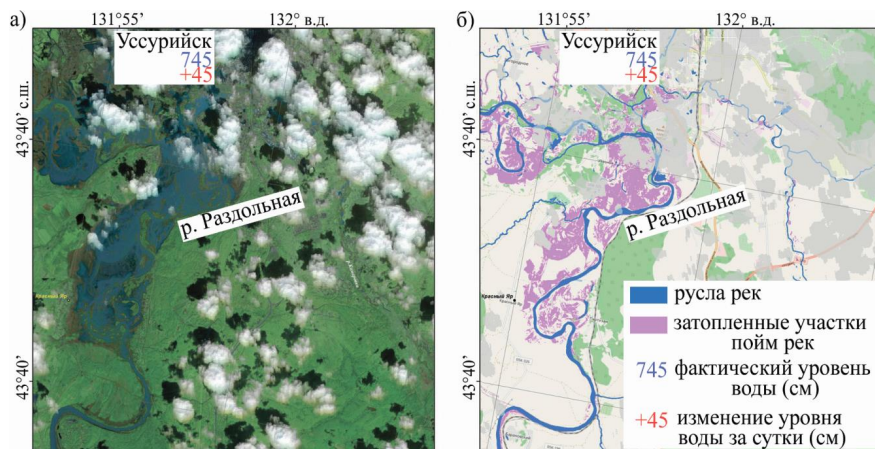


Рис. 1. Гидрологическая обстановка на реке Раздольная 26 августа 2023 г. по данным космического аппарата Канопус-В №3: а) синтезированное изображение, синтез в «естественных» цветах; б) совмещение затопленных площадей, выделенных на спутниковом изображении, с картой OpenStreetMap.

До недавнего времени подобные карты рассчитывались путем ручного, визуального и интерактивного дешифрирования, так как условия съемки, особенности водного состава и сложный рельеф в значительной степени осложняют создание автоматических алгоритмов.

Для решения подобных задач в мировой практике распространено использование различных алгоритмов и методов. Самыми распространенными являются алгоритмы пиксельного анализа данных [1-2]. К алгоритмам пиксельного анализа относятся те, которые используют пороговые значения какого-либо параметра для определения типов объектов по спутниковым данным, или по-другому – спектральные алгоритмы.

В последние годы для мониторинга наводнений применялись методы машинного обучения, такие как опорные вектора и случайный лес [3]. Основываясь на анализе перечисленной информации, а также на основе российского опыта в области ДЗЗ [5-6], можно сделать вывод о том, что в последнее время ведутся активные работы по исследованию и разработке алгоритмов глубокого обучения, в частности сверточных нейронных сетей

(СНС). Они могут успешно применяться при решении различного рода тематических задач. В связи с этим для решения обозначенных задач в ДЦ НИЦ «Планета» применена методика контролируемого обучения сверточной СНС.

Использование выбранной методики базируется, в первую очередь, на процессе обучения, основанном на итерационном подборе весовых коэффициентов с целью минимизации целевой функции. После завершения этого процесса весовые коэффициенты фиксируются, и уже обученная нейронная сеть используется для непосредственных расчетов. Для того чтобы начать этот процесс, необходимо создать обучающую выборку.

Создание обучающей выборки является трудоемким процессом, поскольку зачастую эталонных данных по интересующей территории в свободном доступе нет. В настоящей работе для получения примеров разливов и эталонной информации, были привлечены опытные специалисты-дешифровщики ДЦ НИЦ «Планета». Для выборки использовались данные спутниковых приборов, пространственное разрешение которых не превышает 30 метров на пиксель. Под такие требования подходят данные приборов MSI, OLI и MCC, установленных на зарубежных космических аппаратах (КА) Sentinel-2, Landsat-8 и российских КА серии Канопус-В соответственно. Таким образом, была набрана обучающая выборка для сцен 250x250 пикселей в количестве 15480, 6320 и 344 текстур для приборов MSI, OLI и MCC соответственно. Используемые для обучения текстуры были случайным образом поделены на подвыборки: 70% для обучения, 20% для проверки и 10% для тестирования.

Для обучения СНС по данным прибора MSI за основу была взята модель U-net [7], которая была доработана для получения оптимального результата при решении задачи выделения разливов. Модернизированная архитектура U-net (рис. 2) отличается от классической тем, что в неё добавлены два дополнительных понижающих дискретизацию слоя и слой пакетной нормализации после каждой функции активации.

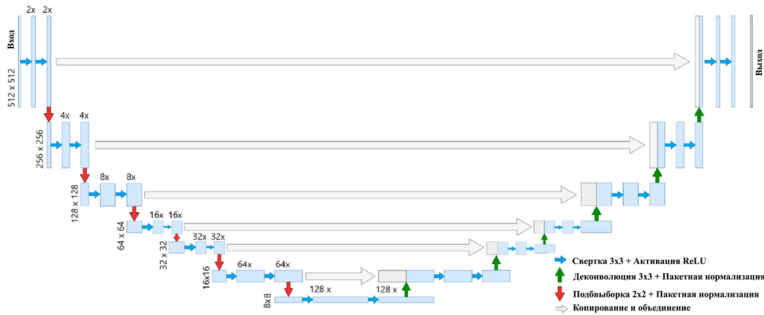


Рис. 2. Модернизированная нейронная сеть типа U-net для детектирования речных разливов

Эмпирическим методом были определены оптимальный размер текстур 512x512 пикселей и набор входных параметров: коэффициент спектральной яркости (КСЯ) каналов № 2, № 3 (Green), № 4 (Red) и № 8 (NIR) прибора MSI; отношения КСЯ каналов – № 2/ № 4, № 4/ № 3; индексы Normalized Difference Water Index (NDWI), Modified Soil-Adjusted Vegetation Index (MSAVI), Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), комбинация индексов Enhanced Vegetation Index (EVI), NDVI и NDWI, а именно $(NDVI+EVI)/2-NDWI$:

$$NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR'}$$

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red'}$$

$$MSAVI = \frac{1}{2} \cdot \left(2 \cdot (NIR + 1) - \sqrt{2 \cdot (2 \cdot NIR + 1) - 8 \cdot (NIR - Red)} \right),$$

$$EVI = 2,5 \cdot \frac{NIR - Red}{NIR + 6 \cdot Red - 7,5 \cdot Blue + 1'}$$

где: Blue – канал № 2, Green – канал № 3, Red – канал № 4, NIR – канал № 8 прибора MSI соответственно.

Обучение заняло 35 эпох, при этом точность работы алгоритма на тестовой выборке составила 90,78%.

Для данных OLI использовались полученные ранее архитектура СНС (рис. 2) и размер текстур, при этом анализировались каналы № 2-7, а также

индексы Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI), Water Ratio Index (WRI) и Automated Water Extraction Index (AWEI):

$$MNDWI = \frac{Green - SWIR2}{Green + SWIR2'}$$

$$WRI = \frac{Green + Red}{NIR + SWIR2'}$$

$$AWEI = 4 \cdot (Green - SWIR2) - (0,25 \cdot NIR + 2,75 \cdot SWIR1),$$

где: Blue – канал № 2, Green – канал № 3, Red – канал № 4, NIR – канал № 5, SWIR1 – канал № 6, SWIR2 – канал № 7 прибора OLI соответственно.

В результате проведенных экспериментов, как и в случае с MSI, выбиралась та комбинация параметров, которая показала наибольшую точность: значения КСЯ каналов № 4, № 5, № 6 и № 9 прибора OLI; индексы NDWI, EVI, WRI, AWEI, NDVI и комбинация индексов (NDVI+EVI)/2-NDWI. Обучение заняло 127 эпох, а точность – 93,54%.

Информация каналов МСС № 1 (Blue), № 2 (Green), № 3(Red), № 4 (NIR) была преобразована в физические величины, после чего было проведено обучение СНС (рис. 2) с размером текстур 512x512x пикселей. При этом в качестве входных параметров тестировались, помимо NDWI, MSAVI, NDVI и EVI, индексы Chlorophyll Absorption Ratio Index (CARI), Adjusted Transformed Soil-Adjusted Vegetation Index (ATSAVI), а также отношение каналов № 2 и № 4 (Datt1) [8], и № 1, № 3 и № 4 (Datt6) [8]:

$$ATSAVI = 1,22 \cdot \frac{(NIR - 1,22 \cdot Red - 0,03)}{1,22 \cdot NIR + Red - 1,22 \cdot 0,3 + 0,08 * (1 + 1,4884)'}$$

$$CARI = \frac{Red}{Green} \cdot \sqrt{\frac{\left(\frac{Red - Blue}{150} \cdot 670 + Green + (Blue - 550 \cdot \frac{Red - Blue}{150})^2\right)}{\frac{Red - Blue}{150} + 1}}$$

$$Datt1 = \frac{NIR - Red}{NIR - Green'}$$

$$Datt6 = \frac{NIR}{Blue \cdot Red'}$$

где: Blue – канал № 1, Green – канал № 2, Red – канал № 3, NIR – канал № 4 прибора МСС соответственно.

В результате проведенных экспериментов была определена следующая комбинация параметров, обеспечивающих лучшую точность: каналы № 1, № 2, № 3, № 4 прибора МСС, а также индексы ATSAVI, CARI, NDWI, Datt1, Datt6. Обучение заняло 953 эпохи, значение функции потерь составило 0,12, а точность – 91,2%.

После завершения процесса обучения проводилось сравнение с эталонной маской на данных, которые не принимали участие при обучении и тестировании, чтобы получить независимые результаты валидации. Результаты показаны на рис. 3. Проведенный визуальный анализ полученных карт в большинстве случаев выявил их соответствие эталонным картам. В некоторых ситуациях наблюдаются проблемы с тенями от облачности, которые классифицируются как вода.

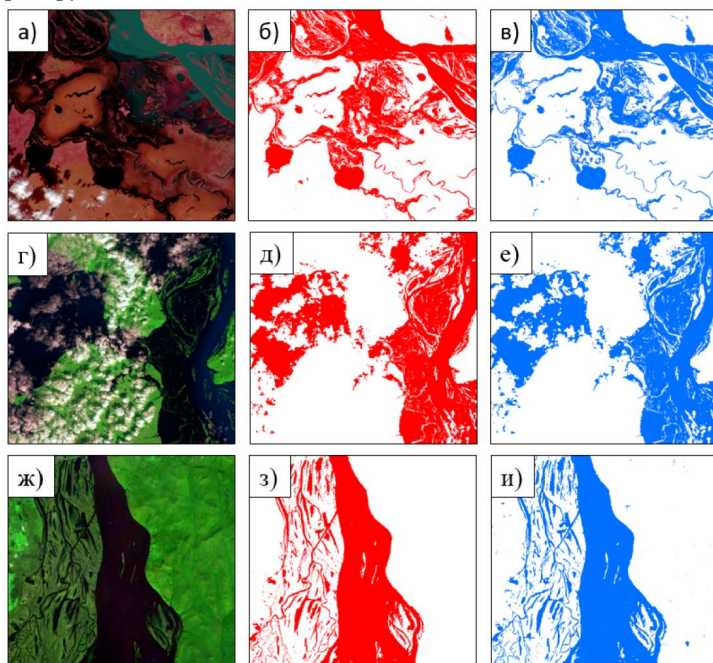


Рис. 3. Результаты классификации водной поверхности: а) мультиспектральное изображение MSI; б) эталонная векторная карта; в) результат работы разработанного алгоритма; г) мультиспектральное изображение OLI; д) эталонная векторная карта; е) результат работы разработанного алгоритма; ж) мультиспектральное изображение МСС; з) эталонная векторная карта; и) результат работы разработанного алгоритма.

Заключение. Таким образом, был получен нейросетевой алгоритм, который позволяет производить детектирование речного разлива в бассейне реки Амур по данным КА Sentinel-2, Landsat-8 и КА серии Канопус-В. На основе полученных алгоритмов для каждого КА были разработаны соответствующие программы на языке программирования Python. Полученные программы работают автоматически в оперативном режиме и интегрированы в технологическую цепочку обработки и подготовки спутниковых данных для геоинформационных систем (ГИС) мониторинга и поддержки принятия решений ГИС «МЕТЕО ДВ» и «ГИС Амур». Дальнейшие усовершенствования алгоритма направлены на устранение текущих недостатков.

Библиографический список

1. Рылов С. А., Новгородцева О. Г., Пестунов И. А. и др. Технология обработки данных с космических аппаратов «Канопус-В», «Ресурс-П» и Метеор-М для мониторинга и картографирования паводковой ситуации // Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли: материалы II международной научной конференции // Сиб. федер. ун-т, Ин-т космич. и информ. технологий; науч. ред. Е. А. Ваганов; отв. ред. М. В. Носков. – 2015. – 367 с.
2. Li M., Zhang T., Tu Y. et al. Monitoring Post-Flood Recovery of Croplands Using the Integrated Sentinel-1/2 Imagery in the Yangtze-Huai River Basin // Remote Sens. – 2022. – Vol. 14. – P. 690.
3. Tanim A. H. et al. Flood Detection in Urban Areas Using Satellite Imagery and Machine Learning // Water. MDPI AG. – 2022. – Vol. 14, Issue 7. – Article 1140.
4. Kim J., Kim H., Jeon H. et al. Synergistic Use of Geospatial Data for Water Body Extraction from Sentinel-1 Images for Operational Flood Monitoring across Southeast Asia Using Deep Neural Networks // Remote Sens. – 2021. – Vol. 13. – Article 4759.
5. Andreev A. I., Shamilova Y. A., Kholodov E. I. Using Convolutional Neural Networks for Cloud Detection from Meteor-M No. 2 MSU-MR Data // Russian Meteorology and Hydrology. – 2019. – Vol. 44, Iss. 7. – pp. 459–466.
6. Kramareva L. S., Andreev A. I., Simonenko E. V. et al. The use of a convolutional neural network for detecting snow according to the data of the multichannel satellite device of meteor-M No.2 spacecraft // Procedia Computer Science: Proceedings of the 13th International Symposium "Intelligent Systems",

INTELS 2018, St. Petersburg, 22–24 october 2018. – St. Petersburg: Elsevier B.V. – 2019. – pp. 368–375.

7. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation // Proc. Int. Conf. Med. Image Comput. Comput.-Assist. Intervent. – 2015. – pp. 234–241

8. Russell Main, Moses Azong Cho, Renaud Mathieu, Martha M. O’Kennedy, Abel Ramoelo, Susan Koch. An investigation into robust spectral indices for leaf chlorophyll estimation // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 2011. – Vol. 66, Iss. 6. – pp. 751–761.

THE USE OF MACHINE LEARNING METHODS FOR PROCESSING SATELLITE DATA IN THE PROBLEM OF FLOOD MONITORING CONDITIONS IN THE AMUR RIVER BASIN

M.O. Kuchma, A.N. Davidenko, A.K. Malkov, A.V. Boroditskaya

Far-Eastern Center of the Federal State Budgetary Institution «State Research Center of Space Hydrometeorology «Planeta», Khabarovsk, m.kuchma@dvrpod.ru

Summary: the paper presents a description of a neural network algorithm for detecting river floods in the Amur River basin using data from meteorological satellites. The algorithm is based on a convolutional neural network of the U-net type, which was adapted empirically to the problem being solved. An analysis of the accuracy assessment showed that the developed algorithms make it possible to detect river floods with sufficient accuracy.

Keywords: river flood, Amur, neural networks, remote sensing, Sentinel, Landsat, Kanopus-V, index images

УДК: 631.6.02

**ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК ВНУТРИСУТОЧНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
ЭРОЗИОННО-ОПАСНЫХ ОСАДКОВ ПО ДАННЫМ
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ ИМЕНИ
В.А. МИХЕЛЬСОНА**

И.А. Кузнецов¹

¹ *Российский государственный аграрный университет - МСХА
имени К.А. Тимирязева, Москва, i.kuznecov@rgau-msha.ru*

Аннотация: *статья посвящена исследованию характеристик неравномерности внутрисуточного распределения ливневых осадков, способных вызвать водную эрозию почв.*

Ключевые слова: *интенсивность осадков, плювиограммы, водная эрозия, поверхностный сток.*

Актуальность. Комплексные исследования внутрисуточного распределения интенсивности атмосферных осадков в тёплое полугодие обуславливаются необходимостью использования более детальных характеристик ливневых осадков в современных моделях типа «осадки-сток». Они способствуют более детальному расчёту характеристик дождевого стока, которые позволяют уточнить степень водной эрозии на сельскохозяйственных полях, и их актуальность диктуется особенностями современных изменений климата.

В мировой практике сельского хозяйства по-прежнему имеются большие потери почв за счёт их эрозии поверхностным стоком [1-7]. В России, как и во многих странах мира, основой расчётов нормативных максимальных расходов воды поверхностного стока, влияющих на степень дождевой водной эрозии почв, являются максимальные суточные осадки, что отражено в ряде работ и нормативных документов [1-7]. При этом практически не рассматривается системно распределение интенсивности осадков в пределах суток. Такой подход во многом обусловлен материалами наблюдений за осадками, в которых существенно преобладают данные суточных наблюдений по осадкомеру, а данные в виде гигетрографов с плювиографа (график суммы осадки с десятиминутной дискретностью) не используются. Однако всё чаще обращается внимание на необходимость использования часовых интервалов

для более точных прогнозов и расчётов степени эрозионных процессов на основе моделей типа «осадки-сток» [9–13].

Объекты и методы исследования. Основой для исследований послужили данные наблюдений Метеорологической обсерватории имени В.А. Михельсона ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, которая обладает уникальными материалами, включающими в себя плювиограммы дождей с 10-минутной дискретностью за период с 1973 по 2023 гг., на примере которых можно достаточно объективно рассмотреть подход к оценке основных характеристик внутри-суточных колебаний ливневых дождей.

Согласно исследованиям [4, 7, 8, 12, 13], во многих странах мира было условно принято, что чувствительные эрозионные процессы и затопления территории начинаются только после дождей с суммой суточных осадков более 10 мм, и в данном случае нет весомой альтернативы принятию такой гипотезы. Для проведения анализа было отобрано 374 оцифрованных плювиограммы с суммарными осадками за сутки 10,0 мм и более. Из выбранных гигетографов формировались ряды интенсивности осадков (мм/час) с 1-часовой дискретностью, которые вычислялись на основании 10-минутных показаний с ленты плювиографа. Если осадки продолжались и в последующие сутки (после снятия ленты с плювиографа), они считались непрерывными и принимались к обработке в пределах одной плювиограммы. При этом следует особо заметить, что максимальная практически непрерывная продолжительность дождей оказалась равной 22 часам, что в некотором смысле подтверждает обоснованность выбора суточных осадков как основу для расчётов дождевого поверхностного стока, вызывающего эрозию почв.

Статистические характеристики внутрисуточного хода осадков определялись на основе подготовленных специальным образом статистических рядов. Часовые максимумы из каждой плювиограммы, имеющей индекс k ($k=1\div 374$), были совмещены относительно максимального часового значения таким образом, чтобы все максимумы были на 12-ой позиции (среди всех рассмотренных плювиограмм не оказалось таких, где перед часовым максимумом было бы больше 11 часов с осадками), при этом индекс i искусственно изменялся на индекс j . Таким образом каждый часовой максимум в k -ой плювиограмме имел соответствующую индексацию $X_{j=12,k}$.

На основании использованного ряда величин $X_{j,k}$ были рассчитаны статистические характеристики (среднее, коэффициент вариации и наблюдаемый максимум) по максимальным осадкам за час (выбирались

максимальные часовые ординаты из каждой наблюденной пловииограммы $X_{j=12,k}$). Такие же процедуры были проведены относительно предыдущих часовых значений $X_{j=11,k}$ и $X_{j=10,k}$, а также последующих $X_{j=13,k}$ и $X_{j=14,k}$. Такой подход обусловлен тем, что согласно визуальной оценке пловииограмм было очевидно, что основной объём осадков выпадал преимущественно в течение 3 часов, включающих в себя и час с максимальными осадками.

Обсуждение результатов. Проведенный анализ данных показал, что при одном и том же значении суточного слоя осадков на пловииограммах могут быть существенные различия во внутрисуточном распределении осадков. Несомненно, это приводит к различным последствиям в формировании поверхностного стока и, соответственно, к различной степени водной эрозии почвенного покрова.

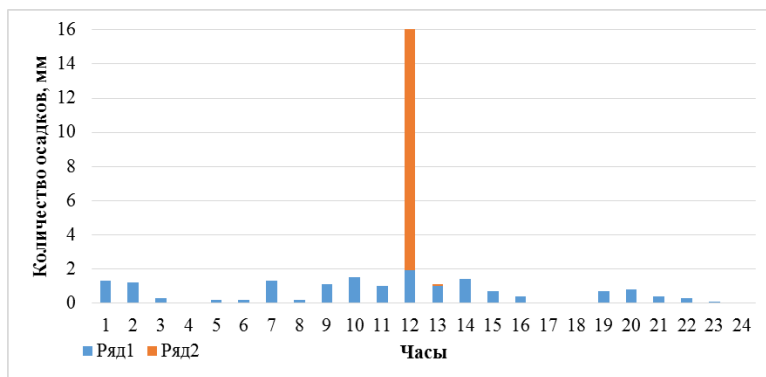


Рис 1. Две пловииограммы с суточным слоем осадков, равным 18 мм

Так, из рис. 1 видно, что при одинаковых суточных осадках, составляющих 18 мм, в первой пловииограмме (ряд 1) максимальная часовая интенсивность осадков составляет менее 2 мм/час, которая, в целом, не приводит к существенной эрозии почв. При этом во втором варианте практически все осадки выпали в пределах одного часа, а их интенсивность практически в 9 раз выше. При такой интенсивности осадков заведомо будет иметь место существенный процесс водной эрозии.



Рис. 2. Долевое распределение продолжительности осадков по кластерам времени

В рабочей статистической выборке суточных осадков при искусственно ограниченном нижнем пределе, равном 10,0 мм, максимальные часовые суммы осадков варьировались от 2,0 до 31,4 мм. Суммарная продолжительность осадков в течение суток также имеет существенные различия – от 1 часа до 22 часов. Гистограмма распределения продолжительности осадков в течение одних суток представлена на рис. 2.

При анализе 374 плювиограмм было также выявлено, что процентная доля суммы всех осадков за максимальный час ($X_{j=12}$) к общей сумме всех осадков составила 43%. Соответственно за 3 смежных часа ($X_{j=11}$, $X_{j=12}$ и $X_{j=13}$) такая доля составила уже 63%, а за 5 часов ($X_{j=10} \div X_{j=14}$) 73%. За пределами рассмотренного периода в 3 часа, и, тем более, периода в 5 часов, часовые осадки были совсем незначительны, и, как правило, их интенсивность не превышала 2 мм/час. Традиционные статистические характеристики основных элементов плювиограмм приведены в таблице 1.

Таблица 1

Статистические характеристики основных элементов плювиограмм

Характеристики	Часовые характеристики осадков				
	$X_{j=10}$	$X_{j=11}$	$X_{j=12}$	$X_{j=13}$	$X_{j=14}$
Среднее, мм	0,73	1,50	6,97	1,73	0,91
C_v	1,63	1,03	0,71	1,02	1,47
Максимум, мм	6,71	6,90	31,39	8,88	7,42

Очевидно, что изменчивость всех рассмотренных характеристик, оцениваемая коэффициентом вариации (C_v), является существенной. Среди

часовых интенсивностей осадков наименьшее значение C_v – у максимальных часовых осадков, и, по мере удаления часовых интервалов от часа с максимальной их интенсивностью, изменчивость увеличивается. Такой факт тоже можно считать подтверждением того, что концентрация ливневых осадков в пределах рассмотренных 3–5 часов имеет существенное превышение над интенсивностью осадков в другие часы суток.

Закключение. С помощью методов статистического анализа получены результаты, которые позволяют нам утверждать, что режим выпадения ливневых дождей в течение суток исключительно разнообразен. В Московском регионе в большинстве случаев штормовые осадки, вызывающие ощутимую эрозию почв, имеют существенную интенсивность в пределах 3–5 часов.

При использовании максимальных суточных осадков в формулах и моделях мы получаем один единственный вариант максимального суточного расхода, не имея гарантии, что он самый неблагоприятный для эрозии почв. Моделируя множество вариантов ливневых осадков для моделей поверхностного стока с часовой дискретностью, можно выявить наиболее неблагоприятный сценарий их выпадения относительно эрозионных процессов для конкретного водосбора или сельскохозяйственного угодья. Такой сценарий при моделировании поверхностного стока может быть обусловлен уклоном водосбора, видом почв и растительности на нём, его ориентацией по отношению к линии прохождения атмосферного фронта и т.д.

С помощью современных моделей по типу «осадки-сток» имеется возможность учитывать разнообразные сценарии ливневых осадков с часовой дискретностью и на их основе более детально рассчитывать степень водной эрозии почв, что обусловлено, в том числе, и необходимостью адаптации к наблюдающейся интенсификации ливневых осадков.

Подход к выявлению всевозможных сценариев ливневых осадков на основе многолетних данных обсерватории В.А. Михельсона может быть реализован для других регионов на основе данных пловииографов с ближайших метеостанций.

Библиографический список

1. СП 33 – 101 – 2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. М. 2004 с. 70.
2. СП 131.13330.2020. Свод правил Строительная климатология. 2020. С.109.

3. Инструкция по определению расчетных гидрологических характеристик при проектировании противоэрозионных мероприятий на европейской территории СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1979. С. 62.
4. Мирцхулава Ц.Е. Инженерные методы расчета и прогноза водной эрозии. Изд-во «Колос». М. 1970. 350 с.
5. Бондаренко Ю.В. Эрозионно-гидрологическое обоснование систем адаптивно-ландшафтных мелиораций водосборов. Саратов, 2002. 184 с.
6. Кочетов И.С., Белолобцев А.И., Чебаненко С.И., Григоров А.А. Влияние почвозащитных приемов обработки на динамику, состав органического вещества почвы и формирование урожая сельскохозяйственных культур // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2000. № 3. С. 24-26.
7. R.P.C. Morgan. – 3rd ed, National Soil Resources Institute, Cranfield University, 2005, P.303.
8. Statistical methods in the Atmospheric Sciences / Ed. R. Dmowska, D. Hartman, H.T. Rossby // Inter. Geoph. Series. - 2011-Vol. 1 - Oxford, OX51GB, UK. - 668 p.
9. Ильинич В.В., Перминов А.В., Наумова А.А. Оценка влияния климатических характеристик и ландшафтных изменений на максимальный сток малых водосборов. Вестник МГСУ. 2021, Том 16, выпуск 9, С. 1228-1235.
10. Kuznetsov, I. Stochastic modeling of storm precipitation scenarios. A: IAHR Young Professionals Congress. "Proceedings of the 1st IAHR Young Professionals Congress". 2020, p. 70-71. ISBN 978-90-82484-6-63.
11. Lenderink G., van Meijgaard E. 2008. Increase in hourly precipitation extremes beyond expectations from temperature changes. Nat. Geosci., 1, p. 511–514.
12. V. Ilinich, E. Akulova, V. Belchihina and K. Ponomarchuk. 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.
13. 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.

**DAILY DISTRIBUTION OF EROSION-HAZARDOUS PRECIPITATION
CHARACTERISTICS ESTIMATION BASED ON THE DATA PROVIDED
BY THE METEOROLOGICAL OBSERVATORY NAMED AFTER
V.A. MIKHELSON**

I.A. Kuznetsov

Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy,
Moscow, i.kuznecov@rgau-msha.ru

Abstract: The article is devoted to the study of irregularity characteristics of daily storm precipitation distribution capable of causing water erosion of soils.

Keywords: precipitation intensity, rain gauge charts, water erosion, surface runoff.

УДК 551.515.4

**АНАЛИЗ ПОВТОРЯЕМОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ
В МОСКВЕ ЗА ПЕРИОД С 1879 по 2023 гг.**

Д.Н. Фалалева¹

Научный руководитель – проф. А.И. Белолюбцев¹

¹ ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», darnifa200513@gmail.com

Аннотация: в статье были приведены результаты многолетних метеорологических наблюдений Метеорологической обсерватории имени В.А. Михельсона в период с 1879 г. по 1966 г. и Метеорологической станции ВДНХ с 1966 г. по 2023 г. включительно. Установлена прямая зависимость между увеличением количества дней с явлениями этого типа и изменением климата вследствие глобального потепления. Вследствие повышения температуры, в атмосфере увеличивается концентрация водяного пара, что в конечном итоге приводит к образованию Кучевых (*Cumulus*, *Cu*) и Кучево-дождевых (*Cumulonimbus*, *Cb*) облаков. Следовательно, возрастает вероятность возникновения опасных электрических явлений.

Ключевые слова: электрические явления, гроза, молнии, городская инфроструктура, изменение климата.

Актуальность. Изменение климата было определено учеными и специалистами климатологами как одна из самых насущных глобальных

проблем XXI века. В настоящее время его проявление уже ощущается во всем мире и имеет серьезные последствия для населения, окружающей среды и отраслей экономики, прежде всего в лесном и сельском хозяйстве [1-3].

Одним из секторов, уязвимых к изменению климата и его неблагоприятным последствиям, является городская инфраструктура. Вследствие глобального потепления можно отметить увеличение количества экстремальных погодных явлений, таких как ураганы, сильные дожди и грозы. Анализ данных грозовой активности атмосферных процессов имеет важное практическое значение для обеспечения надежности электроснабжения и безопасности городского населения. Учет характера и частоты электрических явлений позволяет разработать эффективные меры предупреждения и защиты городской инфраструктуры от возможных неблагоприятных воздействий атмосферных явлений.

Объект исследования. Объектом исследования являются световые и звуковые электрические явления атмосферы – грозы и молнии.

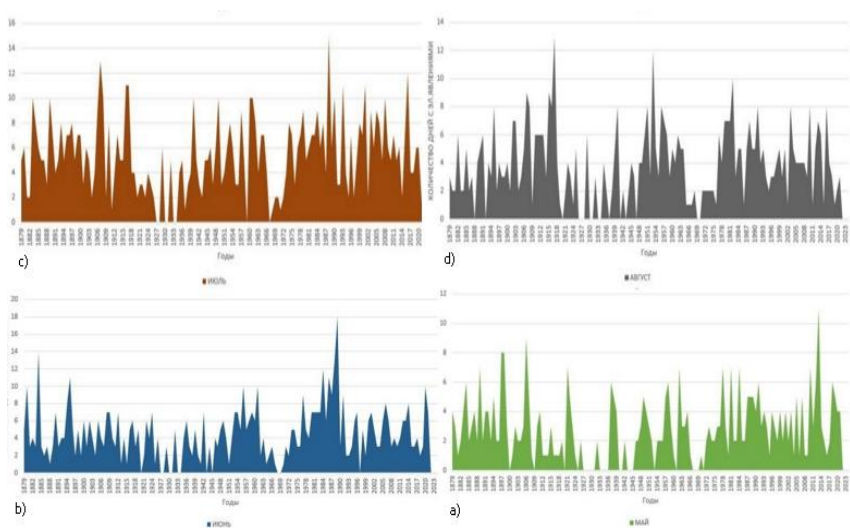
Методы исследования. В статье проведен анализ литературных источников по грозовым явлениям и атмосферному электричеству, массива многолетних наблюдений Метеорологической обсерватории имени В.А. Михельсона РГАУ-МСХА, а также данных станции ВДНХ.

Обсуждение результатов. При оцифровке многолетних данных электрических атмосферных явлений и последующем анализе результатов наблюдений обсерватории имени В.А. Михельсона в указанный период были установлены закономерности в происхождении указанных физических атмосферных процессов.

Периодами с наибольшей электрической активностью в атмосфере в Московском регионе являются летние месяцы (июнь, июль, август), весенние (май) и осенние (сентябрь) месяцы.

В период с конца XIX до начала XXI века прослеживается тенденция увеличения продолжительности дней с грозовыми облаками и увеличение их количества. Так, на рисунке 1 можно заметить, что в июле и июне после 1970-х годов происходит резкое увеличение количества дней с электрическими явлениями, с дальнейшим сохранением выявленной к ее росту тенденции.

По своим электрическим характеристикам облака подразделяются на грозовые и не грозовые. Обычно грозовым облаком называется такое Кучево-дождевое облако, внутри которого (или между ним и поверхностью Земли) наблюдаются молнии [5].



**Рис.1. Изменение количества дней с электрическими явлениями по месяцам:
(а – май, b – июнь, с – июль, d – август), 1879-2023 гг.**

Молния возникает в результате электрического разряда между облаками или между облаком и землей. Преимущественно для образования такого явления необходимо создание особых, кучево-дождевых облаков (Cumulonimbus, Cb), которые отличаются своим развитием в вертикальном направлении и образующимися в них условиями.

Обычно развитие грозового облака делят на три стадии: зарождения, развития (зрелости) и распада. Стадия зарождения характеризуется наличием сильных восходящих потоков теплого влажного воздуха. В стадии развития усиливаются электрическая активность, восходящие потоки и влагосодержание облака, а в стадии распада наблюдается затухание восходящих движений воздуха, уменьшение электрической активности и выпадение осадков [7].

Процесс формирования молнии начинается с того, что в результате трения и столкновения частиц внутри Кучево-дождевого облака (Cumulonimbus, Cb) за счет взаимодействия капель дождя, льда и водяного пара образуются электрически заряженные области. При этом положительные и отрицательные заряды разделяются внутри облака, что приводит к возникновению электрического поля.

Когда разность потенциалов становится достаточно большой, происходит разряд между заряженными областями, что инициирует формирование молнии.

Стоит отметить, что грозовые облака по сравнению с негрозовыми появляются гораздо реже. Однако в отличие от негрозовых облаков они являются самыми водонасыщенными и имеют самую большую вертикальную протяженность [5, 6]. Исходя из представленных факторов, следует вывод, что грозовые облака обладают наибольшим количеством воды и, как следствие, способны вызывать своим появлением сильные дожди и ливни.

Молнии и сопровождающий их гром, как электрические явления, представляют опасность для жизни и здоровья людей, так как они могут вызвать пожары, поражения электрическим током и другие опасные последствия.

Помимо возникновения потенциальной электромагнитной опасности, Кучевые (Cumulus, Cu) и Кучево-дождевые (Cumulonimbus, Cb) облака несут в себе гидрологическую опасность: являясь носителями большого количества водяного пара, частиц льда и капель воды, они способны нанести большой ущерб инфраструктуре городов и сельского хозяйства, привести к наводнениям, оползням и разливам рек.

Опираясь на данные Метеорологической обсерватории имени В.А. Михельсона и Метеорологической станции ВДНХ, можно проследить зависимость изменения атмосферных процессов. То есть изменения воздушного пространства под действием потепления климата в увеличении количества электрических явлений. Для их появления необходим, как указано выше, особый тип облаков. Данная зависимость наглядно иллюстрирует ключевые преобразования атмосферы от антропогенных и других различных факторов, что является подтверждением серьезных климатических трансформаций.

Заключение. В данной работе были оцифрованы и приведены данные по количеству и частоте возникновений электрических явлений (молнии, зарницы, грозы). Установлена прямая зависимость между увеличением количества дней с явлениями этого типа и изменением климата вследствие глобального потепления. Вследствие повышения температуры, в атмосфере увеличивается концентрация водяного пара, что в конечном итоге приводит к образованию Кучевых (Cumulus, Cu) и Кучево-дождевых (Cumulonimbus, Cb) облаков. Следовательно, возрастает вероятность возникновения опасных электрических явлений.

Экстремальные погодные события, такие как молнии, могут представлять значительную опасность для людей, животных и инфраструктуры, приводя к пожарам, поражениям электрическим током и другим негативным

последствиям. Поэтому необходимо учитывать повышенную вероятность их возникновения, частоты и интенсивности электрических явлений, при разработке стратегий адаптации к изменению климата и управлению рисками для укрепления мер безопасности населения и городской инфраструктуры.

Библиографический список

1. Белолобцев А.И. Адаптация сельского хозяйства с учетом текущих и ожидаемых климатических рисков / в сборнике: Адаптация сельского хозяйства России к меняющимся погодно-климатическим условиям. Сборник докладов Международной научно-практической конференции. 2011. С. 11-23.
2. Белолобцев А.И., Асауляк И.Ф. Агроклиматическое обеспечение продукционных процессов сельскохозяйственных культур в условиях центрального района Нечерноземной зоны // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2013. № 4. С. 66-84.
3. Белолобцев А.И., Асауляк И.Ф. Агроклиматическая оценка продуктивности озимой пшеницы на склоновых землях // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2012. № 2. С. 46-57.
4. Бекряев В.И. Молнии, спрайты и джеты. СПб: РГГМУ. 98 с., 2009.
5. Ермаков В.И., Стожков Ю.И. Физика грозовых облаков. М: РАН, 2004.
6. Кашлева Л.В., Михайловский Ю.П. Атмосферное электричество. СПб: РГГМУ, 2019.
7. Марчук Г.И., Кондратьев К.Я., Козодеров В.В., Хворостьянов В.И. Облака и климат. Л.: Гидрометеиздат, 1986, 512 с.

ANALYSIS OF THE REPEATABILITY OF ELECTRICAL PHENOMENA IN MOSCOW FOR THE PERIOD FROM 1879 to 2023.

D.N. Falaleeva

Scientific supervisor – prof. A.I. Belolubtsev

'Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev",
darnifa200513@gmail.com

Abstract: the article presented the results of long-term meteorological observations of the V.A. Meteorological Observatory. Mikhelson in the period from 1879. to 1966 and the VDNKh Meteorological Station since 1966. until 2023

inclusive. A direct relationship has been established between the increase in the number of days with phenomena of this type and climate change due to global warming. Due to rising temperatures, the concentration of water vapor in the atmosphere increases, which ultimately leads to the formation of Cumulus (Cu) and Cumulonimbus (Cb) clouds. Consequently, the likelihood of hazardous electrical phenomena occurring increases.

Keywords: electrical phenomena, thunderstorm, lightning, urban infrastructure, climate change.

СОДЕРЖАНИЕ

Метеорологическая обсерватория имени В.А. Михельсона: 145 лет истории наблюдений за погодой в Москве. Предисловие	3
<i>А.Д. Клещенко, О.В. Савицкая.</i> Использование спутниковой информации при оперативном агрометеорологическом мониторинге....	12
<i>И.А. Смирнов, Е.А. Дронова.</i> Климатическая оценка изменений метеопараметров зимы, влияющих на урожайность озимой пшеницы в Центрально-Черноземном экономическом районе	21
<i>П.С. Кланг, В.М. Хан, Л.Л. Тарасова.</i> Оценка объемной влажности почвы реанализа ERA5-LAND по данным наблюдений влагозапасов в регионах ЕТР.....	30
<i>С.С. Давыдов.</i> Оценка тенденций экстремальных суточных осадков на территории города Краснодар	37
<i>Ю.А. Шамилова, В.В. Суханова, Ю.А. Амельченко, А.А. Филей, Е.И. Холодов.</i> Спутниковый мониторинг морфометрических изменений водных объектов со сниженным стоком воды на примере озера Ханка...	45
<i>Ю.А. Спириг.</i> Микроклиматические аспекты как связующий фактор в создании методической базы для расчета поступления загрязняющих веществ с сельскохозяйственных земель.....	53
<i>А.В. Кожунов.</i> Анализ влияния метеопараметров, измеренных двумя близлежащими метеостанциями, при различной их дискретности на модельную влажность почвы.....	57
<i>В.Н. Павлова, В.А. Романенков, А.А. Карачёнова.</i> Динамика агроклиматических ресурсов на юге Европейской части России при изменении климата.....	71
<i>Д.А. Зайцева.</i> Закономерности распределения продолжительности солнечного сияния по многолетним актинометрическим данным Метеорологической обсерватории имени В.А. Михельсона РГАУ-МСХА.....	80
<i>А.А. Быстров, Е.В. Береснева, Ю.А. Спириг, И.А. Охлопков.</i> Агрометеорологические условия 2023 года и их анализ на основе наблюдений обсерватории имени В.А. Михельсона.....	88
<i>М.О. Обухов.</i> Анализ степени пожарной опасности в Московском регионе в теплый период 2023 года.....	94
<i>Е.В. Горбаренко, Н.А. Бунина.</i> Мониторинг фотосинтетически активной радиации в МО МГУ.....	100

<i>А.В. Михайленко, Е.В. Береснева, С.М. Авдеев.</i> Динамика агрометеорологических показателей продукционного процесса в условиях Нечерноземной зоны Российской Федерации.....	109
<i>А.В. Кочин.</i> Радиозондовые измерения коэффициента затухания солнечного света.....	118
<i>А.М. Махмуд.</i> Оценка средних значений по месяцам года оптической толщины облаков и их коэффициента корреляции с индексом площади листьев в Ираке.....	123
<i>И.Ф. Асауляк, М.С. Асауляк.</i> Об особенностях формирования снежного покрова в районе метеообсерватории имени В.А. Михельсона.....	130
<i>В.М. Лебедева, Д.А. Калашников, Т.А. Найдина, Н.М. Шкляева, Я.Ю. Знаменская.</i> Цифровая автоматизированная технология «АРМ-Агропрогноз».....	135
<i>Л.Ю. Васильев, Н.А. Терешонок.</i> Изменение климата на территории Российской Федерации (на примере Центрального федерального округа).....	142
<i>Е.В. Береснева, И.А. Охлопков, А.А. Быстров, А.В. Михайленко.</i> Анализ температурно-влажностных характеристик условий вегетационного периода по многолетним данным Метеорологической обсерватории имени В.А. Михельсона.....	151
<i>П.С. Ильин, И.А. Кузнецов, А.Б. Кавалли, П.С. Васильева.</i> Измерения и расчёты испарения с водной поверхности на территории Метеорологической обсерватории имени В.А. Михельсона.....	157
<i>М.О. Кучма, А.Н. Давиденко, А.К. Малков, А.В. Бородинская.</i> Использование методов машинного обучения для обработки спутниковых данных в задаче мониторинга паводковой обстановки в бассейне реки Амур.....	163
<i>И.А. Кузнецов, В.В. Ильинич.</i> Оценка характеристик внутрисуточного распределения эрозионно-опасных осадков по данным Метеорологической обсерватории имени В.А. Михельсона.....	171
<i>Д.Н. Фалалеева.</i> Анализ повторяемости электрических явлений в Москве за период с 1879 по 2023 гг.	177

Подписано к печати 04.03.2024. Формат 60x84/16.

Печать офсетная. Печ. л. 10,7. Тираж 50 экз. Заказ № 5.

Отпечатано с готового оригинал-макета в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД»,
г. Обнинск, ул. Королёва, 6.