



Научная статья

РЕГИОНАЛЬНАЯ АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ МОНИТОРИНГОВАЯ СЕТЬ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВОДНОГО РЕЖИМА АГРОЦЕНОЗОВ ЗАСУШЛИВЫХ ОБЛАСТЕЙ КАЗАХСТАНА

Андрей А. Бондарович¹ к.г.н., доцент , Даурен М. Нурекенов^{1*} , Мархаба А. Карменова¹ PhD ,
Нурасыл Жомарткан¹ , Юрий С. Каменев² к.с.н. .

¹Лаборатория цифровых технологий и моделирования, Восточно-Казахстанский университет имени Сарсена Аманжолова, Усть-Каменогорск, Казахстан; a9130262571@gmail.com (ААБ.), dnurekenov@gmail.com (ДМН), mmm_0582@mail.ru (МАК), nurasy1.1998@mail.ru (НЖ)

²Крестьянское хозяйство Хамзин, ВКО, Казахстан; kam.kz@internet.ru (ЮСК)

*Автор корреспонденции: Даурен М. Нурекенов, e-mail: dnurekenov@gmail.com

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

агрометеорологическая
сеть,
влажность почвы,
гидротермический
коэффициент
Селянинова

АБСТРАКТ

В статье обсуждается актуальность проведения наземного инструментального мониторинга за ходом температуры и влаги в почве в условиях дефицита водных ресурсов в засушливых регионах мира. Приведено описание приборной базы агрометеорологических стационаров, развернутых в период 2021...2024 гг. в рамках проектов Министерства образования РК на базе фермерских хозяйств Восточно-Казахстанской области. Приведены предварительные результаты обработки измерений температуры и влажности почвы в метровом слое на поле, которое в течение вегетационных периодов 2022...2024 гг. находилось под сидеральным паром (Люцерна серповидная) на территории ТОО «Опытное хозяйство масличных культур». Измеряемые данные хорошо согласуются с результатами наблюдений Национальной сети «Казгидромет» и удовлетворительно отражают общую динамику хода критических параметров растениеводства в различные по влагообеспеченности вегетационные периоды 2022, 2023, 2024 года. Полученные результаты по динамике температуры воздуха, осадков, а также температуры и влажности почв в метровом слое могут быть полезны руководителям фермерских хозяйств при выборе севооборотов включая различные формы парования полей, которые повышают влагосбережение, что особенно актуально в засушливых условиях Казахстана. Результаты могут представлять интерес для страховых компаний и лиц, принимающих решения в сфере растениеводства.

1. ВВЕДЕНИЕ

Актуальность тематики мониторинга водных ресурсов для Республики Казахстан подтверждает мероприятие [1] «One Water Summit: Towards a Water-Sustainable World» состоявшийся в Эр-Рияде 3 декабря 2024 года. На фоне нарастающего дефицита водных ресурсов что требует их учета в различных формах сформировалась концепция «Зеленая вода» «Green water» к которой отнесены — атмосферные осадки (terrestrial precipitation), эвапорация (evaporation) и влажность почвы в корнеобитаемой зоне (root-zone soil moisture, далее RZSM). При этом основной акцент в данной концепции [2] сделан на RZSM.

Влажность почвы (soil moisture, далее SM) оказывает глубокое воздействие на круговорот воды, энергии, парниковых газов и климат [3...6]. Учет данного параметра позволяет более глубоко понимать разнообразные взаимосвязи в триаде: экосистема-атмосфера-океан и давать более точные прогнозы происходящих глобальных и

По статье:

Получено: 13.05.2025

Пересмотрено: 3.09.2025

Принято: 26.09.2025

Опубликовано: 01.10.2025

Для цитирования:

Бондарович А., Нурекенов Д., Карменова М., Жомарткан Н., Каменов Ю. Региональная агрометеорологическая сеть для прогнозирования водного режима агроценозов засушливых областей Казахстана // Гидрометеорология и экология, 118 (3), 2025, 34-47.

региональных климатических изменений [7]. Безусловно SM – параметр имеющий ключевое значение в растениеводстве и особое значение мониторинг SM приобретает в связи с внедрением инновационных технологий земледелия [8].

Основными источниками информации о поверхностной влажности почв (surface soil moisture, далее SSM) и RZSM являются наземные наблюдения (ground observation) (далее in-situ), инверсия данных дистанционного зондирования (remote sensing inversion) и методы ассимиляции данных (data assimilation methods)[9...13]. Программа ВМО Глобальная система наблюдений за климатом (англ. Global Climate Observing System, далее GCOS) предоставляет открытый доступ и возможность к обмену глобальными данными по SM на платформах: ESA Climate Change Initiative for Soil Moisture, Copernicus Climate Change Service, Soil Moisture Active Passive mission(далее SMAP, продукт NASA), Soil Moisture Ocean Salinity mission (далее SMOS, продукт ESA), Satellite ECV Inventory by the CEOS/CGMS Working Group on Climate (WGClimat), International Soil Moisture Network (далее ISMN) [14]. Среди перечисленных платформ только ISMN предоставляет результаты измерений in-situ SM с более чем 2800 датчиков по всему миру [15]. Несмотря на развитие дистанционных методов и моделирования данные in-situ по-прежнему являются более точными и необходимы для обучения и калибровки моделей [16] и среди наблюдений за SM выделяют: (а) гравиметрические измерения (признаны как эталон), (b) экспресс-измерения с помощью ручных устройств, (с) автоматические станции наблюдения, которые подходят для непрерывного наблюдения на разных глубинах [17...19]. В данной приведена архитектура и предварительный анализ функционирования мониторинговой сети в Восточно-Казахстанской области, которая позволяет получать с низкой погрешностью набор данных для комплексной агрометеорологической оценки.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследуемая территория.

Объектом исследования выбрана территория Восточно-Казахстанской, Абайской, Северо-Казахстанской, Акмолинской и Костанайской областях (рисунок 1), где в силу социально-экономических причин и наличию обширных площадей плодородных почв в середине 1950-х годов в СССР была развернута Целинная кампания, что привело к разнообразным эколого-экономическим проблемам, которые в настоящий момент могут обостриться на фоне глобальных изменений климата [20].

Климат территории исследования характеризуется следующими показателями: средняя температура января -22 °С, июля +21 °С., среднее количество осадков 300 мм - 450 мм, высокая эвапотранспирация до 900 мм, что ведет к дефициту почвенной влаги [21].

По классификации климатов Кёппена-Гейгера [22...23], к типу Dfa (Humid continental, no dry season, hot summer) относятся горные районы Восточно-Казахстанской и юг Костанайской областей; к типу Dfb (умеренный континентальный климат) – равнинная часть Восточно-Казахстанской, Акмолинская, Северо-Казахстанская, Павлодарская и Абайская области; к типу BSk (холодный степной климат) – юго-запад Абайской области [24]. Соответственно зонально распределяется растительность и почвы. Естественная растительность на исследуемой территории практически сведена в результате сельскохозяйственного освоения и это показательно на примере Северо-Казахстанской области [25]. На рисунке 1 по данным продукта MCD12Q1 так же хорошо видно, что в выбранном экстенде преобладают именно пахотные земли. В свою очередь Восточно-Казахстанская область, которая расположена в предгорной и горной зоне Южного Алтая [26], обладает большим разнообразием почвенно-климатических условий и в целом на ее территории представлены основные типы почв, характерные для исследуемой территории [27].

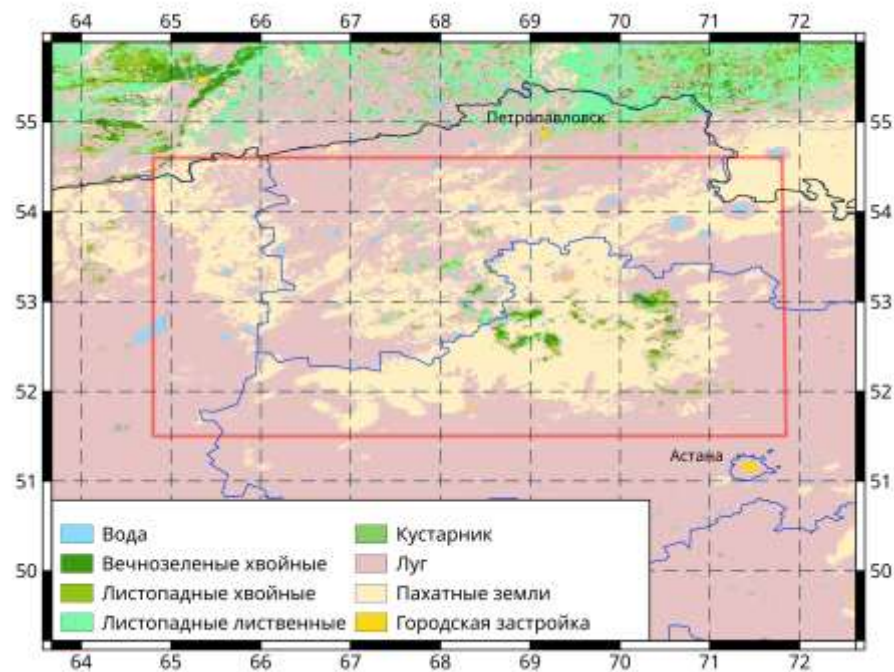


Рисунок 1. Классификация типов подстилающей поверхности по данным продукта MCD12Q1 за 2024 г для территории Северного и Восточного Казахстана. Красными прямоугольниками обозначены области исследования (координаты 49.20...50.75 с.ш. 81.0...82.75 в.д)

Материалы.

Мониторинговая сеть состоит из 3-х опорных стационаров, где установлены автоматические агрометеорологические станции в различных почвенно-климатических условиях Восточно-Казахстанской и соседней Абайской областей. Агрометеорологические станции оснащены стандартным набором измерительных приборов от ведущих мировых производителей (таблица 2).

Таблица 2

Основные характеристики приборов регистрации и датчиков агрометеорологической станции AWS310

Элемент станции/датчик (высота-глубина установки, см)	Параметры	Производитель, страна
Даталоггер, блок электроники метеостанции, смонтированный в боксе с радиационной защитой. (+150)	Даталоггер, источник питания 220В, регулятор заряда аккумулятора, резервный аккумулятор 12V/26Ah) – 1шт. Ethernet интерфейс для GSM роутера, 3G-модем, интерфейсы для датчиков: WXT536, Осадкомера RG13, QMT107, Delta PR2/6-SDI12, Мачта 2м, кабель для сервисного обслуживания.	TOO «SKYMAX TECHNOLOGIES», РК
Мультисенсор «MeteoMS» WXT-536 (+200)	а) Скорость ветра: диапазон 0...60 м/с, точность +0,3 м/с (2 %), разрешение 0,1 м/с; б) Направление ветра: диапазон 0 ... 360°, точность +2°, разрешение 1°; в) Осадки: площадь сбора 60 см², разрешение 0,01 мм, точность 5 %; г) Температура воздуха: диапазон -52 ... 60 °С, точность 20 °С +- 0,3 °С , разрешение 0,1 °С ; д) Относительная влажность воздуха: диапазон 0 ... 100 %, точность +-3 % (0 ... 90 %), +- 5 % (90 ... 100 %), разрешение 0,1 %; е) Атмосферное	«Vaisala», Финляндия

Элемент станции/датчик (высота-глубина установки, см)	Параметры	Производитель, страна
Осадкомер RG13 (+100)	давление: диапазон 600 ... 1100 гПа, точность $\pm 0,5$ гПа (0 ... 30 °C), ± 1 гПа (-52 ... 60 °C), разрешение 0,1 гПа. Летние и зимние осадки. Плувиометр. Диаметр отверстия – 225 мм, Площадь отверстия – 400 см ² , Количество дождевой воды – не ограничено, Чувствительность (дождевая вода на импульс) – 0,2 мм.	«Vaisala», Финляндия
Датчик температуры почвы QMT107 (+5, 0, -5, -10, -20, -50, -100).	Температура почвы: диапазоны от -40 до +80 °C, точность $\pm 0,3$ v.	«Vaisala», Финляндия
Датчик объемной влажности почвы PR2/6-SDI12 (-10, -20, -30, -40, -60, -100).	Принцип измерения (FDR), Объемная влажность почвы: диапазоны измерения 0...100% (точность ± 3 %); Стекловолоконная трубка для измерителя влажности почвы Delta PR2/6, длина 1 метр.	«Delta-T Devices», Великобритания

В соответствии с поставленными задачами для организации стационаров были выбраны репрезентативные в почвенно-климатическом отношении участки по градиенту общего увлажнения территории. Важным условием также является размещение стационаров на территории действующих фермерских хозяйств в непосредственной близости с участками пашни (таблица 3 и рисунок 2). На стационаре «ОХМК 1» наблюдения проводятся с сентября 2021 года. На поле, где установлена станция «ОХМК 1» в течение трех лет произрастала люцерна серповидная (лат. *Medicago falcata*), которая, как и многие виды семейства Бобовых (*Fabaceae*) позволяет улучшать естественное плодородие почв. Кроме того, люцерна серповидная обладает хорошими адаптационными свойствами к различным экологическим факторам[28]. Наблюдения на данном стационаре позволят внести новые данные в многолетнюю дискуссию о целесообразности применения в севооборотах пара с позиции влагосбережения и улучшения естественного плодородия почв, а также применения различных видов пара-механический, химический или сидеральный[29].

Таблица 3

Места размещения агрометеорологических стационаров

№ Стационара, название, дата установки	Административная единица, фермерское хозяйство	Координаты WGS84	Почвенно-климатические условия
№1 «ОХМК 1», 20.09.2021	с. Солнечное, Усть-Каменогорск	50.085636 82.716296	Климат умеренно-влажный. Холодный период – с ноября по март. Минимум температуры воздуха в январе -49 °C, в июле +4 °C. Максимум – +8 °C в январе и +43 °C в июле. Среднегодовое кол-во осадков 519 мм. Тип почвы: Горные черноземы выщелоченные и оподзоленные*
№2 «Алтын Казан», 15.11.2024	с. Сулусары, Жарминский район, Абайская область, ТОО «Алтын Казан и К»	49.511944, 81.786111	Климат континентальный. Средние температуры января от -16 до -18 °C, июля 20...22 °C. Среднегодовое количество атмосферных осадков 200...300° мм. Тип почвы: предгорные темно-каштановые почвы*
№3 «ОХМК 2», 18.11.2024	с. Луговое, Шемонаихинский район,	50.738889, 81.816694	Климат умеренно-влажный. Холодный период – с ноября по март. Минимум температуры воздуха в

№ Стационара, название, дата установки	Административная единица, фермерское хозяйство	Координаты WGS84	Почвенно-климатические условия
	Восточно-Казахстанская область ТОО «Опытное хозяйство масличных культур»		январе -49 °С, в июле +4 °С. Максимум— +8 °С в январе и +43 °С в июле. Среднегодовое кол-во осадков 519 мм. Тип почвы: предгорные черноземы обыкновенные и южные*

* Название типов почв приведены по работе [27]



Рисунок 2. Автоматическая агрометеорологическая станция на территории ТОО «Алтын Казан и К» (Фото Нурекинов, февраль 2025 г.)

Для обработки и визуализации результатов анализа данных были использованы методы дескриптивной статистики и корреляционный анализ. Для выявления различий во влагообеспеченности вегетационных периодов был рассчитан гидротермический коэффициент Селянинова [30, 31], который рекомендован к использованию Всемирной метеорологической организацией [32].

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В статье будут приведены результаты анализа данных 2022...2024 гг. только одного из стационаров («ОХМК 1»), организованном в 2021 году совместно с ТОО «Опытное хозяйство масличных культур». Измеряемые параметры следующие: температура воздуха [°C], солнечная радиация [W/m²], относительная влажность воздуха [%], сумма осадков [mm], влажность листа [%], скорость ветра [m/s], направление ветра -румбы [°C], атмосферное давление [kPa], температура [°C] и влажность [%] почвы каждые 10 см до глубины 100 см. За период с 2022 по 2024 годы в среднем регистрировалось от 719 до 744 измерений в месяц, что соответствует почти полному объёму суточных или почасовых наблюдений. Рассчитан один из важнейших агрометеорологических показателей - даты устойчивого перехода среднесуточных температур воздуха через 0, 5 и 10 °C. В качестве даты начала (окончания) вегетационного периода в международной практике [33...35] принят устойчивый переход среднесуточных температур воздуха через 5 °C (таблица 4).

Таблица 4

Даты перехода устойчивых среднесуточных температур воздуха через 0, 5 и 10 °С и продолжительность вегетационного периода в 2022...2024 гг. по данным «ОХМК1»

Год	Дата перехода устойчивых среднесуточных температур воздуха			Продолжительность вегетационного периода, суток
	через 0 °С/обратный переход через 0 °С	через 5 °С/обратный переход через 5 °С	через 10 °С/обратный переход через 10 °С	
2022	27.03...7.11	11.04...28.09	27.04...28.09	171
2023	10.04...26.10	22.04...23.10	5.05...23.09	185
2024	25.03...08.11	14.04...12.10	28.04 - 12.09	182

Самым продолжительным вегетационным периодом был 2023 год, а самый короткий вегетационный период 2022 года. Анализ данных за вегетационные периоды (май-октябрь 2022...2024 гг.) показал, что наиболее теплообеспеченным был период 2023 г. наиболее увлажненными периодами, были 2023 и 2024 гг. Для этой цели был произведен также расчет гидротермического коэффициента Селянинова (таблица 5). Из таблицы 5. видно, что, основным лимитирующим фактором в степной зоне является сумма осадков, так как варьирование суммы активных температур для благоприятного роста по культурам отмечается в довольно широком диапазоне [35]. Несмотря на самые низкие значения ГТК в 2022 году, с точки зрения растениеводства 2022 год был относительно благоприятным благодаря структуре распределения осадков по вегетационному периоду. Наиболее важными для формирования будущего урожая являются май-июнь частично июль и сумма осадков за эти месяцы распределилась следующим образом: 2022 год – 119.8 мм, 2023 год – 58 мм, 2024 год – 172.4 мм. Наиболее неблагоприятным 2023 год, когда засуха в июне и июле, связанная с практическим отсутствием осадков июнь – 9 мм, июль – 14 мм и сравнительно высокими значениям солнечной радиации июнь – 7040.8 Вт/м², июль – 6169.8 Вт/м² и среднемесячными температурами воздуха июнь – 20.4 °С, июль – 21.4 °С (таблица 5), что в итоге привело к катастрофическим потерям почвенной влаги. В июне-июле 2023 отмечены самые низкие значения влаги в корнеобитаемом слое до 30 см (таблица 6.), а также сравнительно высокие значения температуры почвы (таблица 7). Кроме того, мы видим, что основной объем осадков в 2023 году пришелся на время уборочной кампании - август, сентябрь, октябрь, когда избыточные осадки, как и во время посевной являются негативным фактором [36]. Важно отметить, что осадки август-октябрь 2023 года позволили сформировать сравнительно хороший стартовый влагозапас в метровом слое почвы 2024 года (234 мм) (таблица 7), который пополнился также осадками мая (70 мм) (таблица 5). Затем влагозапас на фоне высоких температур июня и июля уменьшился и держался на уровне 180 мм/м. В целом полученные данные по «ОХМК1» подтвердили умеренный прогноз на развитие засушливых явлений по Восточному Казахстану на 2024 год [37].

Таблица 5

Среднемесячные температура и влажность воздуха, сумма осадков, скорость ветра и солнечная радиация, и ГТК Селянинова за вегетационные периоды 2022...2024 гг. по данным «ОХМК1»

Месяц	Средняя температура воздуха, °С	Средняя солнечная радиация, Вт/м ²	Сумма осадков, мм	Средняя влажность воздуха, %	Средняя скорость ветра, м/с	Сумма осадков (Т > 10 °С)	Сумма температур (Т > 10 °С)	ГТК Селянинова
2022 год								
май	17.88	6354.90	10.6	48.68	1.23	115.6	2782.03	0.42
июнь	19.12	6224.50	66	73.82	0.97			
июль	19.75	6359.06	43.2	71.29	0.81			

август	16.59	5818.00	12.8	72.81	0.71			
сентябрь	13.90	3688.03	7	53.28	0.96			
октябрь	5.61	2264.45	55.4	65.26	1.09			
Среднее / сумма	15.47	5118.16	195	64.19	0.96			
2023 год								
май	12.98	6224.29	34.8	0.05	1.16			
июнь	20.42	7040.80	9	0.79	0.80			
июль	21.39	6169.81	14.2	11.50	0.65			
август	19.08	4988.52	84.4	6.37	0.40	242.4	2794.31	0.87
сентябрь	12.55	3002.70	115.6	5.04	0.37			
октябрь	8.07	1920.48	110.4	1.24	0.70			
Среднее / сумма	15.75	4891.10	368.4	4.16	0.68			
2024 год								
май	15.18	5543.61	70	0.40	0.82			
июнь	20.07	6768.57	39.2	3.86	0.32			
июль	21.73	6002.03	63.2	5.18	0.27			
август	20.10	5217.74	42	0.37	0.38	228.4	2777.8	0.82
сентябрь	10.02	3464.40	49	0.02	0.33			
октябрь	6.38	1851.81	43.6	0.01	0.48			
Среднее / сумма	15.58	4808.03	307	1.64	0.43			

Таблица 6
Среднемесечные данные по объемной влажности почвы на 6 уровнях (0...60 см) и влагозапас в метровом слое за вегетационные периоды 2022...2024 гг.

Глубины(см)								
Год/Месяц	0(soil_1)	10(soil_2)	20 (soil_3)	30 (soil_4)	40 (soil_5)	50 (soil_6)	60 (soil_7)	Влагозапас в метровом слое. (soil_9)
2022								
май	2.04	18.43	36.99	41.12	35.49	32.89	30.65	318.29
июнь	6.97	15.19	26.15	36.31	33.83	32.89	30.97	317.85
июль	4.19	9.23	19.55	30.53	32.01	32.47	30.41	307.20
август	2.96	8.48	16.09	26.08	30.91	31.74	29.29	248.28
сентябрь	1.09	7.06	14.95	24.38	30.26	31.48	28.78	242.14
октябрь	7.35	7.26	18.00	24.17	29.37	30.83	28.09	239.04
Среднее	4.10	10.94	21.95	30.43	31.98	32.05	29.70	278.80
2023								
май	4.43	16.21	26.35	29.60	32.88	30.07	35.36	222.09
июнь	0.89	4.93	12.10	19.13	22.01	23.20	29.73	190.72
июль	1.29	4.17	11.38	17.43	18.95	19.22	23.61	131.65
август	7.92	12.91	19.18	21.09	19.51	18.58	22.21	119.06
сентябрь	11.02	15.36	20.12	21.13	20.70	18.64	22.03	115.31

октябрь	18.85	25.59	34.04	31.36	30.81	23.22	23.79	125.30
Среднее	7.40	13.20	20.53	23.29	24.14	22.15	26.12	150.69
2024								
май	7.54	13.57	23.44	26.80	29.21	29.82	32.24	234.18
июнь	5.62	6.69	16.02	21.54	22.49	23.42	27.03	204.12
июль	3.41	6.86	15.36	20.70	21.53	22.33	25.34	182.70
август	2.12	5.12	14.33	20.29	21.72	22.33	25.38	187.12
сентябрь	5.07	11.22	21.15	22.89	20.52	21.33	24.64	180.53
октябрь	5.26	13.34	20.05	21.23	20.01	20.84	24.02	172.82
Среднее	4.84	9.47	18.39	22.24	22.58	23.34	26.44	193.45

Таблица 7

Среднемесячные данные по температуре почвы на 6 уровнях (0...60 см) за вегетационные периоды 2022...2024 гг.

Глубины(см)							
Год/Месяц	0(temp_1)	10 (temp_2)	20(temp_3)	30 (temp_4)	40 (temp_5)	50 (temp_5)	60 (temp_7)
2022							
май	20.71	18.45	17.02	15.37	14.37	13.51	12.54
июнь	21.42	20.48	19.59	18.29	17.59	16.94	16.17
июль	22.28	21.44	20.73	19.59	18.99	18.39	17.70
август	19.05	18.56	18.24	17.40	17.13	16.88	16.50
сентябрь	15.71	15.77	15.80	15.19	15.13	15.10	14.90
октябрь	6.02	7.17	7.94	7.88	8.32	8.82	9.24
Среднее	17.53	16.98	16.55	15.62	15.26	14.94	14.51
2023							
май	13.84	13.04	12.08	10.77	10.17	9.72	9.17
июнь	22.06	19.74	18.12	16.45	15.58	14.96	14.24
июль	23.60	21.84	20.56	19.18	18.49	17.87	17.19
август	18.87	18.93	18.77	17.98	17.78	17.54	17.21
сентябрь	12.26	13.35	13.79	13.47	13.70	13.93	14.02
октябрь	7.59	8.74	9.19	8.90	9.13	9.50	9.82
Среднее	16.37	15.94	15.42	14.46	14.14	13.92	13.61
2024							
май	15.15	14.20	13.32	12.03	11.49	11.01	10.44
июнь	18.70	17.61	16.67	15.31	14.68	14.20	13.60
июль	22.58	21.23	20.44	19.16	18.54	17.89	17.21
август	20.07	19.92	19.89	19.15	18.94	18.64	18.25
сентябрь	9.66	11.58	12.34	12.17	12.52	12.91	13.14
октябрь	5.44	6.92	7.50	7.27	7.56	7.98	8.37
Среднее	15.27	15.24	15.03	14.18	13.95	13.77	13.50

Для понимания согласованности хода критических параметров приведем график динамики отдельным параметров внутри вегетационного периода 2022 года: ход температуры воздуха и температуры почвы на поверхности (0 см), 10 см и 20 см (рисунок 3), а также суммы осадков и влажности почвы в 20 см слое (рисунок 4). Кроме того, приводим динамику температуры воздуха и осадков за этот же период метеостанции Казгидромета «Усть-Каменогорск» (номер ID 5008270). На графике видна хорошая согласованность: а)

хода температуры воздуха и осадков по станции «ОХМК1» и «Усть-Каменогорск»; б) хода температуры воздуха и почвы на трех уровнях (0...20 см). При этом видим перегрев поверхности почвы, наблюдаемый в мае, июне и июле. Подобный перегрев как правило зависит от выбранной технологии земледелия [38]. Например, технологии, исключающие глубокую обработку почвы и мульчирование, демонстрируют в течение вегетации оптимальные температуры для развития и роста растений [39].



Рисунок 3. Ход температуры воздуха и температуры почвы 0, 10, 20 см за вегетационный период (1 мая...30 сентября) 2022 года

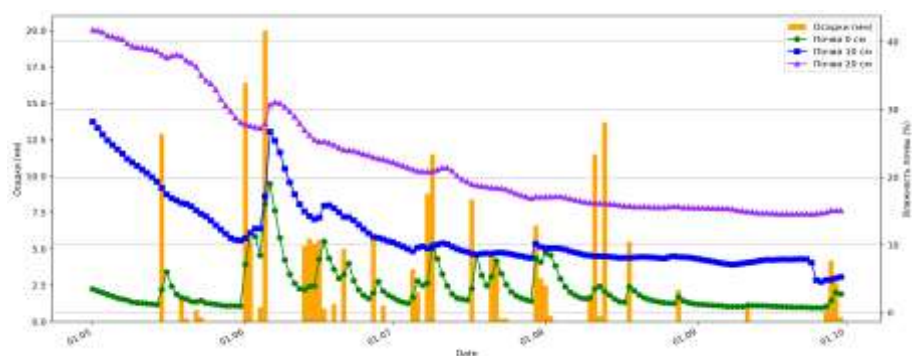
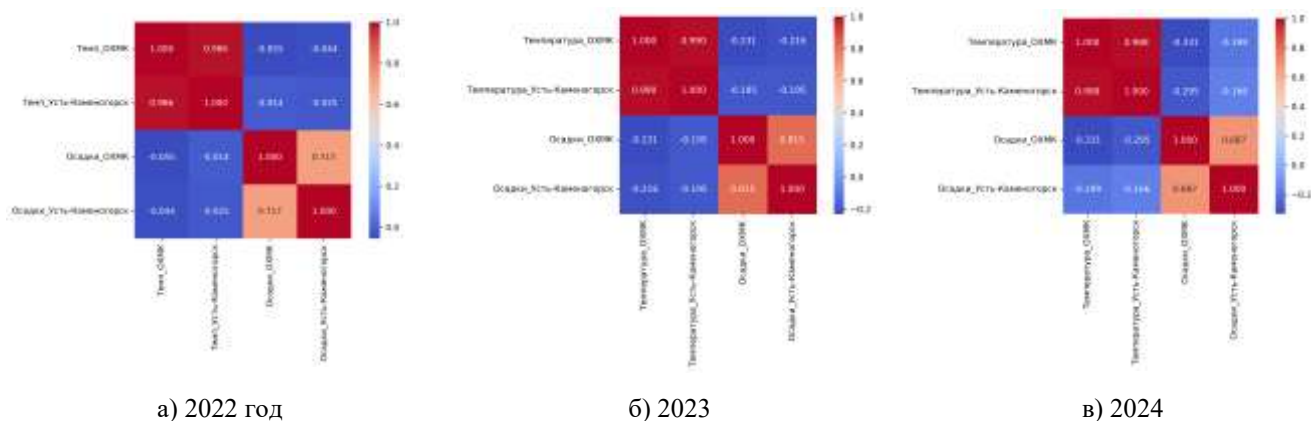


Рисунок 4. Ход осадков и влажности почвы 0, 10, 20 см за вегетационный период (1 мая...30 сентября) 2022 года

Хорошую согласованность между ходом параметров на станциях «ОХМК 1» и «Усть-Каменогорск» (номер ID 5008270) демонстрируют тепловые карты, отображающих коэффициенты корреляции Пирсона между среднесуточной температурой воздуха и суммой осадков (Рисунок 5, а,б,в).



а) 2022 год

б) 2023

в) 2024

Рисунок 5. Корреляция температуры и осадков за вегетационные периоды 2022...2024 гг. между станциями «ОХМК 1» и «Усть-Каменогорск»

На 5 рисунке видно, что наиболее высокая корреляция температурных показателей между станциями фиксировалась в 2023 году ($r \approx 0.99$), тогда как в 2022 и 2024 годах значения были несколько ниже. Это подтверждает общую синфазность температурного режима региона, при этом 2023 год можно охарактеризовать как наиболее климатически стабильный по температурному фону. Такая стабильность создаёт благоприятные условия для построения единых температурных сценариев при прогнозировании вегетационного развития культур. Показатели корреляции осадков традиционно демонстрировали большую изменчивость. В 2023 году отмечалась наиболее высокая положительная корреляция между станциями по величинам осадков ($r \approx 0.82$), что указывает на синхронность атмосферных процессов, определяющих влагозапасы. В 2022 и особенно в 2024 году уровень корреляции был ниже, что может свидетельствовать об усилении локальных конвективных процессов и нестабильности атмосферной циркуляции.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате предварительного анализа можно сделать следующие выводы:

1. Существующая мониторинговая сеть состоит из высокоточных современных измерительных приборов, данные измерения которых хорошо согласуются с результатами наблюдений Национальной сети «Казгидромет» и удовлетворительно отражают общую динамику хода критических параметров растениеводства в различные по влагообеспеченности вегетационные периоды 2022, 2023, 2024 года.

2. Данные организуемой агрометеорологической сети возможно использовать для калибровки прогнозных климатических моделей и валидации данных ДЗЗ.

ДОСТУПНОСТЬ ДАННЫХ

Данные, использованные в этом исследовании получены авторами из открытых и платных источников.

ВКЛАД АВТОРОВ

Концептуализация – ААБ; управление данными – ДМН, НЖ; формальный анализ – ААБ, МАК; методология – ААБ; руководство – МАК, ААБ; визуализация – ДМН, НЖ; написание исходного текста – ААБ; написание и редактирование окончательного текста – ДМН, НЖ.

БЛАГОДАРНОСТЬ

При необходимости указывается информация.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан в рамках грантового финансирования по научным и научно-техническим программам на 2024–2026 гг. по теме «Мониторинг и прогнозирование водного режима агроценозов Казахстана в условиях глобальных изменений климата» (ИРН AP23489072).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Саммит "Единая вода": на пути к миру, устойчивому к воздействию воды [Электрон. ресурс] // Министерство водных ресурсов и ирригации Республики Казахстан. – URL: <https://www.gov.kz/memleket/entities/water/documents/details/783067?lang=ru> (дата обращения: 28.01.2025).
2. Wang-Erlandsson, L., Tobian, A., Van der Ent, R. J., Fetzer, I., te Wierik, S., Porkka, M., ... & Rockström, J. (2022). A planetary boundary for green water. *Nature Reviews Earth & Environment*, 3(6), 380–392. <https://doi.org/10.1038/s43017-022-00287-8>
3. Seneviratne, S. I., Corti, T., Davin, E. L., Hirschi, M., Jaeger, E. B., Lehner, I., ... & Teuling, A. J. (2010). Investigating soil moisture–climate interactions in a changing climate: A review. *Earth-Science Reviews*, 99(3–4), 125–161. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2010.02.004>
4. Liu, Y., & Li, Y. (2019). Synergy and trade-off between carbon sequestration and soil water balance: impact of revegetation choices. *Environmental Earth Sciences*, 78(23), 651.
5. Humphrey, V., Berg, A., Ciais, P., Gentile, P., Jung, M., Reichstein, M., ... & Frankenberg, C. (2021). Soil moisture–atmosphere feedback dominates land carbon uptake variability. *Nature*, 592(7852), 65–69. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03325-5>
6. Boyer, T., Bartow-Gillies, E., Abida, A., Ades, M., Adler, R., Adusumilli, S., ... & Feely, R. A. (2023). Introduction [in “State of the Climate in 2022 “]. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-23-0090.1>

7. Qiao, L., Zuo, Z., Zhang, R., Piao, S., Xiao, D., & Zhang, K. (2023). Soil moisture–atmosphere coupling accelerates global warming. *Nature Communications*, 14(1), 4908. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-40641-y>
8. Zhang, X., Feng, G., & Sun, X. R. (2024). Advanced technologies of soil moisture monitoring in precision agriculture. *Journal of Agriculture and Food Research*, 101473. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101473>
9. Albergel, C., Rüdiger, C., Pellarin, T., Calvet, J. C., Fritz, N., Froissard, F., ... & Martin, E. (2008). From near-surface to root-zone soil moisture using an exponential filter: an assessment of the method based on in-situ observations and model simulations. *Hydrology and Earth System Sciences*, 12(6), 1323-1337. <https://doi.org/10.5194/hess-12-1323-2008>
10. Li, P., Zha, Y., Shi, L., Tso, C. H. M., Zhang, Y., & Zeng, W. (2020). Comparison of the use of a physical-based model with data assimilation and machine learning methods for simulating soil water dynamics. *Journal of Hydrology*, 584, 124692., ISSN 0022-1694. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124692>
11. Wyatt, B. M., Ochsner, T. E., & Zou, C. B. (2021). Estimating root zone soil moisture across diverse land cover types by integrating in-situ and remotely sensed data. *Agricultural and Forest Meteorology*, 307, 108471. Qin Jun, Tian Jiaxin, Yang Kun, Lu Hui, Li Xin, Yao Ling, Shi Jiancheng, Bias correction of satellite soil moisture through data assimilation, *Journal of Hydrology*, Volume 610, 2022, 127947, ISSN 0022-1694. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.127947>
12. Qin, J., Tian, J., Yang, K., Lu, H., Li, X., Yao, L., & Shi, J. (2022). Bias correction of satellite soil moisture through data assimilation. *Journal of Hydrology*, 610, 127947, ISSN 0022-1694. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.127947>
13. Liu, E., Zhu, Y., Lü, H., Horton, R., Gou, Q., Wang, X., ... & Pan, Y. (2023). Estimation and assessment of the root zone soil moisture from near-surface measurements over Huai River Basin. *Atmosphere*, 14(1), 124. <https://doi.org/10.3390/atmos14010124>
14. Global Climate Observing System (GCOS) <https://gcos.wmo.int/ru/node/24885>
15. Dorigo, W., Himmelbauer, I., Aberer, D., Schremmer, L., Petrakovic, I., Zappa, L., ... & Sabia, R. (2021). The International Soil Moisture Network: serving Earth system science for over a decade. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 2021, 1-83. <https://doi.org/10.5194/hess-25-5749-2021>
16. Ikonen, J., Vehviläinen, J., Rautiainen, K., Smolander, T., Lemmetyinen, J., Bircher, S., & Pulliainen, J. (2016). The Sodankylä in situ soil moisture observation network: An example application of ESA CCI soil moisture product evaluation. *Geoscientific Instrumentation, Methods and Data Systems*, 5(1), 95-108. <https://doi.org/10.5194/gi-5-95-2016>
17. Reynolds, S. G. (1970). The gravimetric method of soil moisture determination Part IA study of equipment, and methodological problems. *Journal of Hydrology*, 11(3), 258-273. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(70\)90066-1](https://doi.org/10.1016/0022-1694(70)90066-1)
18. Robinson, D. A., Campbell, C. S., Hopmans, J. W., Hornbuckle, B. K., Jones, S. B., Knight, R., ... & Wendroth, O. (2008). Soil moisture measurement for ecological and hydrological watershed-scale observatories: A review. *Vadose zone journal*, 7(1), 358-389. <https://doi.org/10.2136/vzj2007.0143>
19. Hodges, B., Tagert, M. L., Paz, J. O., & Meng, Q. (2023). Assessing in-field soil moisture variability in the active root zone using granular matrix sensors. *Agricultural Water Management*, 282, 108268, ISSN 0378-3774. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108268>
20. Беляев, В. И., Силантьева, М. М., Никулин, А. М., & Бондарович, А. А. (2021). Кулунда: сельское хозяйство и низкоэмиссионные технологии устойчивого земледелия: коллективная монография. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/temperaturnyy-rezhim-vozduha-i-pochvy-po-dannym-meteorologicheskoy-i-pochvenno-gidrologicheskoy-monitoringovoy-seti-v-kulundinskoj> (дата обращения: 07.04.2025).
21. Nyssanbayeva, A. S., Cherednichenko, A. V., Cherednichenko, V. S., Abayev, N. N., & Madibekov, A. S. (2019). Bioclimatic conditions of the winter months in Western Kazakhstan and their dynamics in relation to climate change. *International journal of biometeorology*, 63, 659-669.
22. Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., & Rubel, F. (2006). World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. DOI: 10.1127/0941-2948/2006/0130.
23. Beck, H. E., Zimmermann, N. E., McVicar, T. R., Vergopolan, N., Berg, A., & Wood, E. F. (2018). Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Scientific data*, 5(1), 1-12. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214>
24. Kazakhstan. Climate Change Overview Country Summary. The Climate Change Knowledge Portal (CCKP) [Электронный ресурс: <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/kazakhstan> (дата обращения 28.01.2025)].
25. Пермитина В. Н., Байбулов А. Б. Растительность лесостепной зоны Северного Казахстана, классификация и антропогенная трансформация // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. – 2019. – Т. 18, № 1. – С. 360–364. – DOI: <https://doi.org/10.14258/pbssm.2019072>.
26. Chupakhin, V. *Physical Geography of Kazakhstan*; Mektep Press: Almaty, Kazakhstan, 1968; p. 260. [Google Scholar]
27. Uspanov, U.U.; Evstifeev, Y.G.; Storozhenko, D.M.; Lobova, E.V.; Kolkhozhaev, M.K.; Kotin, N.I.; et al. Soil Map of the Kazakh SSR; Ed. Voronina, L.M.; Scale: 1 cm to 25 km. Available online: http://www.etomesto.ru/map-kazakhstan_pochva-1976/ (accessed on 19 March 2025).
28. Осипова В. В. Влияние разных доз минеральных удобрений на формирование надземной массы люцерны серповидной в условиях мерзлотных засоленных почв Якутии // Вестник Северо-Казахстанского университета им. М. Козыбаева. – 2021. – № 2 (47). – С. 54–58.
29. Żarczyński, P. J., Krzobietke, S. J., Sienkiewicz, S., & Wierzbowska, J. (2023). The Role of Fallows in Sustainable Development. *Agriculture*, 13(12), 2174. <https://doi.org/10.3390/agriculture13122174>
30. Селянинов Г. Т. О сельскохозяйственной оценке климата //Труды по сельскохозяйственной метеорологии. – 1928. – Т. 20. – С. 165-177.
31. Селянинов Г. Т. Принципы агроклиматического районирования СССР //Вопросы агроклиматического районирования СССР. М.: МСХ СССР. – 1958. – С. 7-14.
32. Svoboda, M., & Fuchs, B. (2016). World Meteorological Organization (WMO) and Global Water Partnership (GWP). Handbook of Drought Indicators and Indices. Integrated Drought Management Programme (IDMP), Integrated Drought Management Tools and Guidelines Series, 2. [Электронный ресурс: https://www.droughtmanagement.info/literature/GWP_Handbook_of_Drought_Indicators_and_Indices_2016.pdf (дата обращения 12.02.2024)].
33. Crabtree, B. (2010). In Search for Sustainability in Dryland Agriculture, Crabtree Agricultural Consulting, Australia. 204. URL: www.no-till.com.au (19. 3. 2023.).

34. Kassam, A., Friedrich, T., Shaxson, F., & Pretty, J. (2009). The spread of conservation agriculture: justification, sustainability and uptake. *International journal of agricultural sustainability*, 7(4), 292-320.
35. Байшоланов С. С. и др. Агроклиматическое районирование сельскохозяйственных культур в Северном Казахстане // *Гидрометеорология и экология*. – 2017. – № 3 (86). – С. 17-28.
36. Саранча, сайгаки, засуха и ливни. 2023 год назвали худшим для аграриев [Электрон. ресурс]. – 2023. – URL: https://tengrinews.kz/kazakhstan_news/sarancha-saygaki-zasuha-livni-2023-god-nazvali-hudshim-510903/ (дата обращения: 28.01.2025).
37. Засуху прогнозируют в следующем агросезоне в Казахстане [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <https://apk-news.kz/news/item-4319> (дата обращения: 12.04.2025).
38. Ральф М., Беляев В. И., Бондарович А. А., Понькина Е. В., Щербинин В. В., Быков Н. И. Сравнительный анализ температурного режима южных черноземов в условиях сухостепной зоны Кулундинской равнины Алтайского края // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. – 2017. – № 11 (157). – С. 48–56.
39. Беляев В. И., Бондарович А. А., Понькина Е. В., Щербинин В. В., Шмидт Г., Мацюра А. В., ... Рудев Н. В. Температурный режим воздуха и почвы по данным метеорологической и почвенно-гидрологической мониторинговой сети в Кулундинской равнине за вегетационные периоды 2013–2016 гг. // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. – 2017. – № 3 (149). – С. 30–37.

REFERENCES

1. Sammit "Edinaya voda": na puti k miru, ustojchivomu k vozdeystviyu vody [Elektron. resurs] // *Ministerstvo vodnyh resursov i irrigacii Respubliki Kazahstan*. – URL: <https://www.gov.kz/memleket/entities/water/documents/details/783067?lang=ru> (data obrashcheniya: 28.01.2025).
2. Wang-Erlandsson, L., Tobian, A., Van der Ent, R. J., Fetzer, I., te Wierik, S., Porkka, M., ... & Rockström, J. (2022). A planetary boundary for green water. *Nature Reviews Earth & Environment*, 3(6), 380-392. <https://doi.org/10.1038/s43017-022-00287-8>
3. Seneviratne, S. I., Corti, T., Davin, E. L., Hirschi, M., Jaeger, E. B., Lehner, I., ... & Teuling, A. J. (2010). Investigating soil moisture–climate interactions in a changing climate: A review. *Earth-Science Reviews*, 99(3-4), 125-161. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2010.02.004>
4. Liu, Y., & Li, Y. (2019). Synergy and trade-off between carbon sequestration and soil water balance: impact of revegetation choices. *Environmental Earth Sciences*, 78(23), 651.
5. Humphrey, V., Berg, A., Ciais, P., Gentile, P., Jung, M., Reichstein, M., ... & Frankenberg, C. (2021). Soil moisture–atmosphere feedback dominates land carbon uptake variability. *Nature*, 592(7852), 65-69. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03325-5>
6. Boyer, T., Bartow-Gillies, E., Abida, A., Ades, M., Adler, R., Adusumilli, S., ... & Feely, R. A. (2023). Introduction [in “State of the Climate in 2022 “]. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-23-0090.1>
7. Qiao, L., Zuo, Z., Zhang, R., Piao, S., Xiao, D., & Zhang, K. (2023). Soil moisture–atmosphere coupling accelerates global warming. *Nature Communications*, 14(1), 4908. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-40641-y>
8. Zhang, X., Feng, G., & Sun, X. R. (2024). Advanced technologies of soil moisture monitoring in precision agriculture. *Journal of Agriculture and Food Research*, 101473. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101473>
9. Albergel, C., Rüdiger, C., Pellarin, T., Calvet, J. C., Fritz, N., Froissard, F., ... & Martin, E. (2008). From near-surface to root-zone soil moisture using an exponential filter: an assessment of the method based on in-situ observations and model simulations. *Hydrology and Earth System Sciences*, 12(6), 1323-1337. <https://doi.org/10.5194/hess-12-1323-2008>
10. Li, P., Zha, Y., Shi, L., Tso, C. H. M., Zhang, Y., & Zeng, W. (2020). Comparison of the use of a physical-based model with data assimilation and machine learning methods for simulating soil water dynamics. *Journal of Hydrology*, 584, 124692., ISSN 0022-1694. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124692>
11. Wyatt, B. M., Ochsner, T. E., & Zou, C. B. (2021). Estimating root zone soil moisture across diverse land cover types by integrating in-situ and remotely sensed data. *Agricultural and Forest Meteorology*, 307, 108471. Qin Jun, Tian Jiaxin, Yang Kun, Lu Hui, Li Xin, Yao Ling, Shi Jiancheng, Bias correction of satellite soil moisture through data assimilation, *Journal of Hydrology*, Volume 610, 2022, 127947, ISSN 0022-1694. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.127947>
12. Qin, J., Tian, J., Yang, K., Lu, H., Li, X., Yao, L., & Shi, J. (2022). Bias correction of satellite soil moisture through data assimilation. *Journal of Hydrology*, 610, 127947, ISSN 0022-1694. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.127947>
13. Liu, E., Zhu, Y., Lü, H., Horton, R., Gou, Q., Wang, X., ... & Pan, Y. (2023). Estimation and assessment of the root zone soil moisture from near-surface measurements over Huai River Basin. *Atmosphere*, 14(1), 124. <https://doi.org/10.3390/atmos14010124>
14. Global Climate Observing System (GCOS) <https://gcos.wmo.int/ru/node/24885>
15. Dorigo, W., Himmelbauer, I., Aberer, D., Schremmer, L., Petrakovic, I., Zappa, L., ... & Sabia, R. (2021). The International Soil Moisture Network: serving Earth system science for over a decade. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 2021, 1-83. <https://doi.org/10.5194/hess-25-5749-2021>
16. Ikonen, J., Vehviläinen, J., Rautiainen, K., Smolander, T., Lemmetyinen, J., Bircher, S., & Pulliainen, J. (2016). The Sodankylä in situ soil moisture observation network: An example application of ESA CCI soil moisture product evaluation. *Geoscientific Instrumentation, Methods and Data Systems*, 5(1), 95-108. <https://doi.org/10.5194/gi-5-95-2016>
17. Reynolds, S. G. (1970). The gravimetric method of soil moisture determination Part IA study of equipment, and methodological problems. *Journal of Hydrology*, 11(3), 258-273. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(70\)90066-1](https://doi.org/10.1016/0022-1694(70)90066-1)
18. Robinson, D. A., Campbell, C. S., Hopmans, J. W., Hornbuckle, B. K., Jones, S. B., Knight, R., ... & Wendroth, O. (2008). Soil moisture measurement for ecological and hydrological watershed-scale observatories: A review. *Vadose zone journal*, 7(1), 358-389. <https://doi.org/10.2136/vzj2007.0143>
19. Hodges, B., Tagert, M. L., Paz, J. O., & Meng, Q. (2023). Assessing in-field soil moisture variability in the active root zone using granular matrix sensors. *Agricultural Water Management*, 282, 108268, ISSN 0378-3774. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108268>
20. Belyaev, V. I., Silant'eva, M. M., Nikulin, A. M., & Bondarovich, A. A. (2021). Kulunda: sel'skoe hozyajstvo i nizkoemissionnye tekhnologii ustojchivogo zemlepol'zovaniya: kollektivnaya monografiya. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/temperaturnyy-rezhim-vozduha-i-pochvy-po-dannym-meteorologicheskoy-i-pochvenno-gidrologicheskoy-monitoringovoy-seti-v-kulundinskoy> (data obrashcheniya: 07.04.2025).

21. Nyssanbayeva, A. S., Cherednichenko, A. V., Cherednichenko, V. S., Abayev, N. N., & Madibekov, A. S. (2019). Bioclimatic conditions of the winter months in Western Kazakhstan and their dynamics in relation to climate change. *International journal of biometeorology*, 63, 659-669.
22. Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., & Rubel, F. (2006). World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. DOI: 10.1127/0941-2948/2006/0130.
23. Beck, H. E., Zimmermann, N. E., McVicar, T. R., Vergopolan, N., Berg, A., & Wood, E. F. (2018). Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Scientific data*, 5(1), 1-12. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214>
24. Kazakhstan. Climate Change Overview Country Summary. The Climate Change Knowledge Portal (CCKP) [Elektronnyj resurs: <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/kazakhstan> (data obrashcheniya 28.01.2025)].
25. Permitina V. N., Bajbulov A. B. Rastitel'nost' lesostepnoj zony Severnogo Kazakhstana, klassifikaciya i antropogennaya transformaciya // Problemy botaniki YUzhnoj Sibiri i Mongolii. – 2019. – T. 18, № 1. – S. 360–364. – DOI: <https://doi.org/10.14258/pbssm.2019072>.
26. Chupakhin, V. Physical Geography of Kazakhstan; Mektep Press: Almaty, Kazakhstan, 1968; p. 260. [Google Scholar]
27. Uspanov, U.U.; Evstifeev, Y.G.; Storozhenko, D.M.; Lobova, E.V.; Kolkhozhaev, M.K.; Kotin, N.I.; et al. Soil Map of the Kazakh SSR; Ed. Voronina, L.M.; Scale: 1 cm to 25 km. Available online: http://www.etomesto.ru/map-kazakhstan_pochva-1976/ (accessed on 19 March 2025).
28. Osipova V. V. Vliyanie raznyh doz mineral'nyh udobrenij na formirovanie nadzemnoj massy lyucerny serpovidnoj v usloviyah merzlotnyh zasolennyh pochv YAkutii // Vestnik Severo-Kazakhstanskogo universiteta im. M. Kozybaeva. – 2021. – № 2 (47). – S. 54–58.
29. Żarczyński, P. J., Krzbiećka, S. J., Sienkiewicz, S., & Wierzbowska, J. (2023). The Role of Fallows in Sustainable Development. *Agriculture*, 13(12), 2174. <https://doi.org/10.3390/agriculture13122174>
30. Selyaninov G. T. O sel'skohozyajstvennoj ocenke klimata //Trudy po sel'skohozyajstvennoj meteorologii. – 1928. – T. 20. – S. 165-177.
31. Selyaninov G. T. Principy agroklimaticheskogo rajonirovaniya SSSR //Voprosy agroklimaticheskogo rajonirovaniya SSSR. M.: MSKH SSSR. – 1958. – S. 7-14.
32. Svoboda, M., & Fuchs, B. (2016). World Meteorological Organization (WMO) and Global Water Partnership (GWP). Handbook of Drought Indicators and Indices. Integrated Drought Management Programme (IDMP), Integrated Drought Management Tools and Guidelines Series, 2. [Электронный https://www.droughtmanagement.info/literature/GWP_Handbook_of_Drought_Indicators_and_Indices_2016.pdf (дата обращения 12.02.2024)].
33. Crabtree, B. (2010). In Search for Sustainability in Dryland Agriculture, Crabtree Agricultural Consulting, Australia. 204. URL: www.no-till.com.au (19. 3. 2023.).
34. Kassam, A., Friedrich, T., Shaxson, F., & Pretty, J. (2009). The spread of conservation agriculture: justification, sustainability and uptake. *International journal of agricultural sustainability*, 7(4), 292-320.
35. Kassam, A., Friedrich, T., Shaxson, F., & Pretty, J. (2009). The spread of conservation agriculture: justification, sustainability and uptake. *International journal of agricultural sustainability*, 7(4), 292-320.
36. Bajsholanov S. S. i dr. Agroklimaticheskoe rajonirovanie sel'skohozyajstvennyh kul'tur v Severnom Kazakhstane //Gidrometeorologiya i ekologiya. – 2017. – №. 3 (86). – S. 17-28.
37. Sarancha, sajgaki, zasuha i livni. 2023 god nazvali hudshim dlya agrariy [Elektron. resurs]. – 2023. – URL: https://tengrinews.kz/kazakhstan_news/sarancha-saygaki-zasuha-livni-2023-god-nazvali-hudshim-510903/ (data obrashcheniya: 28.01.2025).
38. Zasuhu prognoziruyut v sleduyushchem agrozone v Kazakhstane [Elektron. resurs]. – Rezhim dostupa: <https://apk-news.kz/news/item-4319> (data obrashcheniya: 12.04.2025).
39. Ral'f M., Belyaev V. I., Bondarovich A. A., Pon'kina E. V., SHCHerbinin V. V., Bykov N. I. Sravnitel'nyj analiz temperaturnogo rezhima yuzhnyh chernozemov v usloviyah suhostepnoj zony Kulundinskoj ravniny Altajskogo kraja // Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2017. – № 11 (157). – S. 48–56.
40. Belyaev V. I., Bondarovich A. A., Pon'kina E. V., SHCHerbinin V. V., SHmidt G., Macyura A. V., ... Rudev N. V. Temperaturnyj rezhim vozduha i pochvy po dannym meteorologicheskoy i pochvenno-gidrologicheskoy monitoringovoj seti v Kulundinskoj ravnine za vegetacionnye periody 2013–2016 gg. // Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2017. – № 3 (149). – S. 30–37.

ҚАЗАҚСТАННЫҢ ҚҰРҒАҚ АЙМАҚТАРЫНДАҒЫ АГРОЦЕНОЗДАРДЫҢ СУ РЕЖИМІН БОЛЖАУҒА АРНАЛҒАН Өңірлік АГРОМЕТЕОРОЛОГИЯЛЫҚ МОНИТОРИНГ ЖЕЛІСІ

Андрей А. Бондарович¹ г.ғ.к., доцент, Даурен М. Нурекенов^{1*}, Мархаба А. Карменова¹ PhD,
Нұрасыл Жомартқан¹, Юрий С. Каменев² а.ғ.к.

¹Сандық технологиялар және модельдеу зертханасы, Сәрсен Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті, Өскемен, Қазақстан; a9130262571@gmail.com, dnurekenov@gmail.com, mmm_0582@mail.ru, nurasy1.1998@mail.ru

²Хамзин шаруа қожалығы, ШҚО, Қазақстан; kam.kz@internet.ru

*Автор корреспонденции: Даурен М. Нурекенов, e-mail: dnurekenov@gmail.com

ТҮЙІН СӨЗДЕР

АБСТРАКТ

агрометеорологиялық желі,
топырақтың ылғалдылығы,
Селяниновтың
гидротермиялық коэффициенті

Мақала жайында:

Жіберілді: 13.05.2025
Қайта қаралды: 03.09.2025
Қабылданды: 26.09.2025
Жарияланды: 01.10.2025

Мақалада әлемнің құрғақ аймақтарында су ресурстарының тапшылығы жағдайында топырақтағы температура мен ылғалдың барысына жердегі аспаптық мониторинг жүргізудің өзектілігі талқыланады. Шығыс Қазақстан облысының фермерлік шаруашылықтары базасында ҚР Білім Министрлігінің жобалары шеңберінде 2021...2024 жылдар кезеңінде орналастырылған агрометеорологиялық стационарлардың аспаптық базасының сипаттамасы келтірілген. 2022...2024 вегетациялық кезеңінде егістіктегі метрлік қабаттағы топырақ температурасы мен ылғалдылығын өлшеудің алдын-ала нәтижелері келтірілген. "Майлы дақылдардың тәжірибелік шаруашылығы" ЖШС аумағында жасыл көң буы (орақ тәрізді жоңышқа) астында болды. Өлшенетін деректер "Қазгидромет" Ұлттық желісінің бақылауларының нәтижелерімен жақсы сәйкес келеді және 2022, 2023, 2024 жылғы ылғалмен қамтамасыз етілуі бойынша әртүрлі вегетациялық кезеңдердегі өсімдік шаруашылығының сыни параметрлері барысының жалпы динамикасын қанағаттанарлықтай көрсетеді. Ауа температурасының, жауын-шашынның, сондай-ақ метрлік қабаттағы топырақтың температурасы мен ылғалдылығының динамикасы бойынша алынған нәтижелер фермер қожалықтарының басшыларына ылғалды үнемдеуді арттыратын, әсіресе Қазақстанның құрғақ жағдайларында өзекті болып табылатын егістік будың әртүрлі нысандарын қоса алғанда, ауыспалы егістерді таңдау кезінде пайдалы болуы мүмкін. Нәтижелер сақтандыру компаниялары мен өсімдік шаруашылығы шешімдерін қабылдаушылар үшін қызығушылық тудыруы мүмкін.

REGIONAL AGROMETEOROLOGICAL MONITORING NETWORK FOR FORECASTING THE WATER REGIME OF AGROCENOSSES IN THE ARID REGIONS OF KAZAKHSTAN

Andrey Bondarovich¹ Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Dauren Nurekenov¹,
Markhaba Karmenova¹ PhD, Nurassyl Zhomartkan¹, Uriy Kamenov² Candidate of Agricultural Sciences

¹Digital Technologies and Modeling Laboratory, Sarsen Amanzholov East Kazakhstan University, Kazakhstan; a9130262571@gmail.com, dnurekenov@gmail.com, mmm_0582@mail.ru, nurasyl.1998@mail.ru

²Khamzin peasant farm, East Kazakhstan region, Kazakhstan; kam.kz@internet.ru

* Corresponding author: Dauren Nurekenov, dnurekenov@gmail.com

KEY WORDS

agrometeorological network,
soil moisture,
Selyaninov hydrothermal coefficient

ABSTRACT

The article discusses the relevance of conducting ground-based instrumental monitoring of temperature and moisture in the soil in conditions of water scarcity in arid regions of the world. The description of the instrument base of agrometeorological hospitals deployed in the period 2021-2024 within the framework of projects of the Ministry of Education of the Republic of Kazakhstan on the basis of farms in the East Kazakhstan region is given. The preliminary results of processing measurements of soil temperature and humidity in a meter layer in a field that during the growing season of 2022...2024 are presented. It was located under sideral steam (Sickle alfalfa) on the territory of the Experimental Farm of Oilseeds LLP. The measured data are in good agreement with the results of observations by the National Kazhydromet Network and satisfactorily reflect the overall dynamics of the critical parameters of crop production in the growing seasons of 2022, 2023, and 2024, depending on moisture availability. The results obtained on the dynamics of air temperature, precipitation, as well as soil temperature and humidity in the meter layer can be useful to farm managers when choosing crop rotations, including various forms of field steaming, which increase moisture conservation, which is especially important in the arid conditions of Kazakhstan. The results may be of interest to insurance companies and decision makers in the field of crop production.

About article:

Received: 13.05.2025
Revised: 03.09.2025
Accepted: 26.09.2025
Published: 01.10.2025

Примечание издателя: заявления, мнения и данные во всех публикациях принадлежат только автору (авторам), а не журналу "Гидрометеорология и экология" и/или редактору (редакторам).