

АГРОЭКОЛОГИЯ

УДК 635.37

Р. Майсснер, В.И. Беляев, А.А. Бондарович,
Е.В. Понькина, В.В. Щербинин, Н.И. Быков
R. Meissner, V.I. Belyayev A.A. Bondarovich,
Ye.V. Ponkina, V.V. Shcherbinin, N.I. Bykov

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ЮЖНЫХ ЧЕРНОЗЕМОВ В УСЛОВИЯХ СУХОСТЕПНОЙ ЗОНЫ КУЛУНДИНСКОЙ РАВНИНЫ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

COMPARATIVE ANALYSIS OF THERMAL REGIME OF SOUTHERN CHERNOZEMS IN THE KULUNDA DRY STEPPE (ALTAI REGION)

Ключевые слова: температурный режим, агрометеорология, южные черноземы, гидрометеорологическая станция, гравитационная лизиметрическая станция, Кулундинская степь, Алтайский край.

Представлены результаты наблюдений температурного режима приземного атмосферного воздуха и почв в условиях сухостепной зоны Кулунды за вегетационные периоды 2013-2016 гг., полученные на гравитационной лизиметрической станции нового поколения. Первые результаты показывают, что в перспективе имеется возможность отслеживать изменения климатических условий и их влияние на почвенные режимы (температурный, водный, солевой). На основе данных полевой гидрометеорологической и лизиметрической станций установлены даты переходов устойчивых среднесуточных температур почв через 0, +5, +10°C. Существенные колебания температуры почв наблюдаются на глубине 30 см. Для выявления значимых метеорологических величин, влияющих на ход температуры в почвенных монолитах Лиз 1 и 2 на глубине 30 см, была использована адаптивная модель авторегрессии ARIMA (0, 1, 0). Выявлено, что естественная степная растительность способствует стабилизации и более

равномерному распределению температуры в почве.

Keywords: thermal regime, agrometeorology, southern chernozems, hydrometeorological station, gravitation lysimeter station, Kulunda steppe, Altai Region.

The results obtained with automatic weather stations and a weighable gravitation lysimeter in the Kulunda dry steppe during the growing seasons of 2013-2016 are discussed. The preliminary results show the possibility to monitor the climate changes that affect soil regimes (thermal, water, and salt regimes). We determined the dates of average daily air and soil temperature transitions through 0°, +5°, and +10°C by means of automatic weather and lysimeter stations. Significant fluctuations of soil temperature were revealed only at the depth of 30 cm. The autoregressive integrated moving average (ARIMA) model was used to determine the meteorological variables that affected the course of temperature in lysimeter soil monoliths at 30 cm. We suggested that the natural steppe vegetation contributes to more stable and equal distribution of soil temperature.

Майсснер, Ральф, Центр исследования окружающей среды им. Гельмгольца, Департамент физики почв, лизиметрическая станция. 39615, Фалькенберг, ФРГ. E-mail: ralph.meissner@ufz.de.

Беляев Владимир Иванович, д.т.н., проф., зав. каф. сельскохозяйственной техники и технологий, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 62-35-99. E-mail: prof-Belyaev@yandex.ru.

Бондарович Андрей Александрович, к.г.н., доцент, каф. экономической географии и картографии, Алтайский государственный университет. E-mail: bondarovich@geo.asu.ru.

Понькина Елена Владимировна, к.т.н., доцент, каф. теоретической кибернетики и прикладной математики, Алтайский государственный университет. E-mail: ponkinaelena77@mail.ru.

Meissner, Ralph, Helmholtz Center for Environmental Research, Department of Soil Physics, Lysimeter Station, 39615, Falkenberg, Germany. E-mail: ralph.meissner@ufz.de.

Belyayev Vladimir Ivanovich, Dr. Tech. Sci., Prof., Head, Chair of Agricultural Machinery and Technologies, Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-35-99. E-mail: prof-Belyaev@yandex.ru.

Bondarovich Andrey Aleksandrovich, Cand. Geo. Sci., Assoc. Prof., Chair of Economic Geography and Cartography, Altai State University. E-mail: bondarovich@geo.asu.ru.

Ponkina Elena Vladimirovna, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Chair of Theoretical Cybernetics and Applied Mathematics, Altai State University. E-mail: ponkinaelena77@mail.ru.

Щербинин Всеволод Владиславович, к.ф.-м.н., зав. лаб. физических проблем мониторинга агро-систем, Алтайский государственный университет. E-mail: scherbinin@phys.asu.ru.

Быков Николай Иванович, к.г.н., декан географического фак-та, Алтайский государственный университет. E-mail: nikolai_bykov@mail.ru.

Shcherbinin Vsevolod Vladislavovich, Cand. Phys.-Math. Sci., Head, Lab. of Physical Problems of Agro-System Monitoring, Altai State University. E-mail: scherbinin@phys.asu.ru.

Bykov Nikolay Ivanovich, Cand. Geo. Sci., Assoc. Prof., Dean, Geography Dept., Altai State University. E-mail: nikolai_bykov@mail.ru.

Введение

Кулундинская равнина, расположенная в сухостепной зоне Западной Сибири, характеризуется сложными климатическими и почвенными условиями для ведения хозяйственной деятельности [1]. Началом интенсивного освоения сухой степи в пределах Казахстана и Западной Сибири принято считать кампанию по «освоению целинных и залежных земель» 1954-1963 гг., во время которой были допущены стратегические ошибки, среди которых сплошная распашка каштановых почв на площади около 20 млн га [2]. Изменение альbedo подстилающей поверхности в результате сплошной распашки изменяет температурный режим почв и, вероятнее всего, увеличивает потери почвенной влаги, что оказывает определенное влияние на климат. Поэтому изучение температурного режима воздуха и почв представляет практический интерес для сельхозпроизводителей при выборе культур, сроков и схем проведения агротехнических мероприятий.

Начиная с середины XX столетия отечественными исследователями опубликовано немало научных трудов, посвященных изучению влияния абиотических факторов на урожайность сельскохозяйственных культур, в том числе теплофизических свойств почв, и пространственному распределению температурного режима почв в аграрных регионах России [3-9]. Современные инструментальные средства измерений (полевые метео- и почвенные станции, лизиметры) позволяют более детально изучить процессы, протекающие в почвах в условиях изменяющегося климата [10-14]. Инструментальная база дает возможность также создавать и проводить верификацию различных адаптивных моделей, которые могут описывать значимые для науки и практики степного природопользования экологические процессы. Анализ особенностей разработки адаптивных моделей различных конфигураций выполнен рядом авторов [15-19].

Цель исследования – выявить различия в ходе сезонной динамики температур на различной глубине южных черноземов в сухой зоне Алтайского края под естественным и агроценозом с использованием ме-

теорологической и лизиметрической станций нового поколения.

Объекты и методы исследования

По состоянию на июль 2017 г. наблюдения в режиме реального времени проводятся на территории сухой степи на поле-вом стационаре, организованном на базе крестьянского хозяйства ООО «КХ Партнер» (с. Полуямки, Михайловский район, Алтайский край, далее стационар «Полуямки» (координаты: ш.с. 52° 03,959' в.д. 79° 42,786', система WGS 84). Стационар оборудован гравитационной лизиметрической станцией (производитель «Приборы для окружающей среды», г. Мюнхеберг, ФРГ), а также гидрометеорологической станцией (далее ГМС) (производитель «Эко-Тех», г. Бонн, ФРГ). Начало эксперимента было положено в 2013 г., результаты наблюдений охватывают период 2013-2016 гг.

Лизиметрическая станция осуществляет измерения параметров водного и солевого баланса почв, а также при помощи TDR-датчиков – влажности и температуры на глубинах 30, 50 и 120 см [14]. Станция состоит из водонепроницаемой сварной конструкции (полиэтилен высокого давления) площадью 11,56 м², двух контейнеров для почвенных монолитов, центральной входной (контрольной) шахты. Стальные емкости лизиметра заполнены ненарушенными 2-метровыми монолитными кернами почвы (рис.).

Один из монолитов (далее Лиз. 1) отобран на пашне, которая интенсивно использовалась в течение последних 60 лет. Ротация культур в системе севооборота Лиз. 1: 2013 г. – яровая пшеница, 2014 г. – горох, 2015 г. – яровая пшеница, 2016 г. – механический пар. Второй монолит (далее Лиз. 2) был отобран в защитной лесополосе 30-летнего возраста с участком ковыльно-злаковой сухой степи (доминант лат. *Stipa pennata*). Исследуемые почвы – черноземы южные среднесплошные легко- и среднесуглинистого гранулометрического состава.

ГМС на стационаре «Полуямки» установлена в мае 2013 г. и оборудована на высоте 2 м пиранометром для измерения солнечной радиации, а также многофунк-

циональным датчиком (производитель «Vaisala»), измеряющим направление и скорость ветра, температуру и влажность воздуха, атмосферное давление и количество осадков.

В ходе обработки метеорологических величин были использованы методики, принятые Всемирной Метеорологической организацией (WMO) и Межправительственной группой экспертов по изменению климата (IPCC). Для сравнительного анализа температурного режима почв в условиях пашни и степного ценоза разработана адаптивная модель авторегрессии интегрированного скользящего среднего ARIMA (0,1,0), описывающая колебания температур на глубине 30 см.

Результаты исследований и их обсуждение

На основе данных ГМС «Полуямки» за 2013-2016 гг. выявлены даты устойчивого перехода среднесуточных температур воздуха через 0, +5 и +10°C. Самый длительный вегетационный период зафиксирован в 2014 г., его продолжительность составила 202 дня. Максимальная сумма активных температур (выше 10°C) наблюдалась в

2015 г. По рассчитанному гидротермическому коэффициенту (ГТК) Г.Т. Селянинова (1955) 2013 и 2015 гг. можно охарактеризовать как «засушливые», а 2014 и 2016 гг. – как годы «обеспеченного увлажнения» [20]. Метеорологические данные за наблюдаемый период представлены в таблице 1.

Необходимо отметить влияние степной растительности на прогревание почвы весной. Сравнительный анализ данных температуры на глубине 30 см показывает, что в 2014 г. переход через 0, +5 и +10°C в Лиз. 1 в сравнении с температурой воздуха произошел позднее на 10, 19 и 14 дней соответственно, а в Лиз. 2 – на 13, 21 и 15 дней соответственно (табл. 2). 2015 г. характеризовался поздними сроками наступления весны, однако количество поступающей на земную поверхность солнечной радиации было больше, чем во все наблюдаемые годы, что повлияло на быстрый переход температуры в почве через 0, +5 и +10°C: в Лиз. 1 был с задержкой в 2, 9 и 5 дней соответственно; в Лиз. 2 – 3, 10 и 9 дней соответственно.

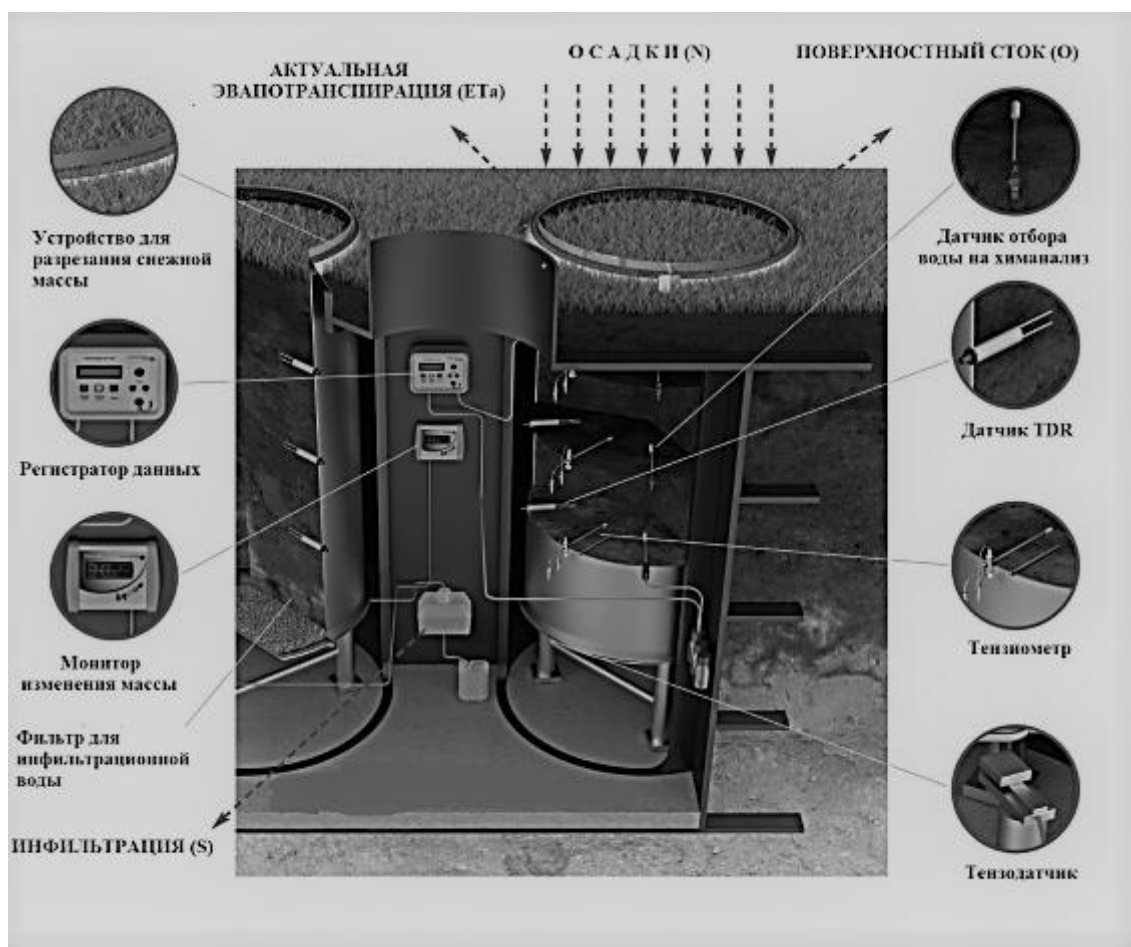


Рис. Схема лизиметрической станции и элементы водного баланса

Таблица 1

Среднемесячная температура и влажность воздуха, скорость ветра, солнечная радиация и сумма осадков за вегетационные периоды 2013–2016 гг., ГМС «Полуямки»

Период	Температура воздуха, среднее, °С	Влажность воздуха, среднее, %	Солнечная радиация, среднее, Вт/м ²	Скорость ветра, среднее, м/с	Сумма осадков, мм ¹
2013 г.					
Май	11,4	54,8	214,7	3,5	55,5
Июнь	17,2	52,1	279,7	2,6	37,6
Июль	20,7	63,3	238,2	2,3	91,7
Август	19,1	65,8	209,1	2,6	78,7
Сентябрь	12,1	59,9	154,7	2,4	20,2
Октябрь	4,2	65,1	79,1	2,7	12,21
Среднее (сумма)	14,1	60,1	(1175)	2,6	(295,9)
2014 г.					
Май	12,8	44,8	253,5	3,2	53,6
Июнь	20,9	44,1	287	2,8	29
Июль	21	55,8	239,7	2,8	122,3
Август	20,2	56,8	229,9	2,4	48,3
Сентябрь	10	62,3	138,5	2,6	18,3
Октябрь	3,1	73,2	57,1	3,5	51,3
Среднее (сумма)	14,6	56,1	(1205)	2,9	(322,7)
2015 г.					
Май	15,7	49,2	279,6	3,1	22,4
Июнь	20,9	54,6	299,3	3,2	59
Июль	21,4	55,2	246,1	2,8	89,8
Август	19,2	51,9	216,1	2,5	55,4
Сентябрь	11,6	56,9	133,4	2,6	17,9
Октябрь	5,4	61,5	69,8	3,4	37,6
Среднее (сумма)	15,7	54,9	(1244)	2,9	(282,1)
2016 г.					
Май	13,1	46,2	260,8	2,9	45,7
Июнь	20,3	53,5	271,2	2,5	62,8
Июль	21,6	68,3	227	2,1	141,7
Август	18,1	62,1	234,6	2,4	30,2
Сентябрь	15,6	42,9	157,7	2,3	7,5
Октябрь ²	1,3	77,7	66,5	2,5	9,5
Среднее (сумма)	15	58,45	(1217)	2,45	(297,4)

Примечание. ¹Сумма осадков приведена по мультитадчику фирмы «Vaisala», установленному на стандартной высоте 2 м; ²данные до 21.10.16 г.

Таблица 2

Даты перехода устойчивых среднесуточных температур почвы на глубине 30 см через 0°, +5°, +10°С в 2013–2016 гг., по данным лизиметрической станции «Полуямки»

Год	Дата перехода устойчивых среднесуточных температур почвы на глубине 30 см					
	через 0°С/обратный переход через 0°С		через 5°С/обратный переход через 5°С		через 10°С/обратный переход через 10°С	
	Лиз. 1	Лиз. 2	Лиз. 1	Лиз. 2	Лиз. 1	Лиз. 2
2013	-/6.12	-/6.12	-/20.10	-/20.10	-/3.10	-/3.10
2014	27.03/28.12 ¹	31.03/6.12	16.04/4.11	18.04/4.11	2.05 /2.10	3.05 /28.09
2015	12.04/20.11 ²	13.04/20.11 ²	19.04/24.10	21.04 /24.10	23.04/11.10	27.04 ³ /5.10
2016	2.04 ⁴ /20.11	2.04 ⁴ /20.11	25.04/24.10	25.04/24.10	23.04/11.10	27.04/5.10

Примечание. ¹Данные до 28.12.2014 г.; ²пробел в данных с 08.11.15 по 20.11.15 г.; ³пробел в данных с 25.04.15 по 07.05.15 г.; ⁴пробел в данных 25.03.16–02.04.16 г.

В 2016 г. переход температуры почвы через +5 и +10°С относительно температуры воздуха в Лиз. 1 был позднее, соответственно, на 24 и 8 дней, а в Лиз. 2 – на 24 и 12 дней (табл. 3). Из-за пробела в рядах данных сроки перехода температур в

почве через 0°С в 2016 г. не были зафиксированы. Наблюдалось также отставание переходов температуры через 0, +5, +10°С почвы в Лиз. 2. относительно Лиз. 1 (табл. 2).

Предварительный анализ среднемесячных значений температуры почв по результатам измерений лизиметрической станции за вегетационный период (май-сентябрь) 2013-2016 гг. показал, что под пашней, в среднем, были отмечены более высокие температуры по сравнению со степным ценозом. На глубине 30 см это различие температур являлось статистически значимым по критерию t-Стьюдента (при p-value 0.5) и составило: в мае – 2,0°C; июне – 2,3°C, июле – 1,8°C; августе – 1,6°C; в сентябре – 1,3°C. Максимальное различие – 2,8°C было отмечено на глубине 30 см в июне 2014 и 2016 гг. Это были годы «обеспеченного увлажнения», но с различным фоном (2014 г. – горох, 2016 г. – пар).

С увеличением глубины не было установлено существенного различия в температурном режиме почв в пашне и степи. Измерения отражают падение температуры почвы с глубиной на каждые 10 см под

различными монолитами, это составило в среднем: для Лиз. 1 – 0,9°C, а для Лиз. 2 – 0,4°C. В слое 30-50 см под пашней снижение температуры – 0,8°C на каждые 10 см, а в слое 50-120 см – только 0,3°C. Вместе с тем степной ценоз характеризуется более равномерным распределением температуры в почве: снижение составило 0,3 и 0,2°C на глубинах 30-50 и 50-120 см соответственно (табл. 3).

В феврале 2017 г. на полях хозяйства «Партнер» была выполнена снегосъемка. Она показала значительные различия в снегосапах на пашне и естественных сенокосах. Существенным фактором распределения снежного покрова на пашне является высота стерни. Вероятно, большие снегосапы выступают одним из факторов запаздывания перехода температур почвы в естественной степи в начале вегетационного периода в сравнении с пашней.

Таблица 3

Среднемесячные значения температуры почв под различными типами ценозов на глубинах 30, 50 и 120 см. Май-сентябрь 2013-2016 гг., лизиметрическая станция «Полуямки»

Год	Лизиметр 1				Лизиметр 2			
	культура	t почвы, °C			растительность	t почвы, °C		
		30 см	50 см	120 см		30 см	50 см	120 см
Май								
2013	Пшеница	-	-	-	Ковыль перистый	-	-	-
2014 ¹	Горох	13,9	11,9	9,0	Ковыль перистый	12,1	11,0	9,2
2015 ²	Пшеница	15,2	13,3	10,9	Ковыль перистый	13,4	12,3	10,5
2016	Пар	13,6	11,7	9,6	Ковыль перистый	11,2	10,3	9,2
Средние		14,2	12,3	9,8		12,2	11,2	9,6
Июнь								
2013	Пшеница	-	-	-	Ковыль перистый	-	-	-
2014 ³	Горох	23,4	20,1	15,2	Ковыль перистый	20,6	18,6	15,2
2015	Пшеница	19,5	17,6	15,1	Ковыль перистый	18,1	16,9	14,9
2016	Пар	20,5	18,2	15,3	Ковыль перистый	17,7	16,7	14,8
Средние		21,1	18,6	15,2		18,8	17,4	15,0
Июль								
2013	Пшеница	-	-	-	Ковыль перистый	-	-	-
2014	Горох	-	-	-	Ковыль перистый	-	-	-
2015	Пшеница	22,0	20,1	17,9	Ковыль перистый	19,8	19,1	17,6
2016	Пар	21,8	20,0	18,0	Ковыль перистый	20,3	19,3	17,8
Средние		21,9	20,1	18,0		20,1	19,2	17,7
Август								
2013 ⁴	Пшеница	19,2	18,3	17,3	Ковыль перистый	18,1	17,9	17,6
2014	Горох	-	-	-	Ковыль перистый	-	-	-
2015	Пшеница	20,0	,	17,7	Ковыль перистый	18,2	17,9	17,5
2016	Пар	20,1	18,8	17,6	Ковыль перистый	18,2	17,8	17,4
Средние		19,8	18,6	17,5		18,2	17,9	17,5
Сентябрь								
2013	Пшеница	14,4	13,9	13,8	Ковыль перистый	13,4	13,7	14,2
2014 ⁵	Горох	13,2	13,1	13,4	Ковыль перистый	12,6	13,0	13,8
2015	Пшеница	14,5	14,2	14,5	Ковыль перистый	13,1	13,6	14,4
2016 ⁶	Пар	18,4	17,3	16,5	Ковыль перистый	16,1	16,1	16,2
Средние		15,1	14,6	14,6		13,8	14,1	14,7

Примечание. ¹Данные с 01.05.14 по 24.05.14 г.; ²данные с 07.05.15 по 31.05.15 г.; ³данные с 10.06.14 по 25.06.14 г.; ⁴данные с 21.08.13 по 31.08.13 г.; ⁵данные с 07.09.14 по 30.09.14 г.; ⁶данные с 01.09.16 по 25.09.16 г.

Коэффициенты модели (ARIMA) влияния метеорологических величин на температуру почвы на глубине 30 см (ST30). Май-сентябрь 2015-2016 гг. ГМС и лизиметрическая станция «Полуямки»

Метеорологические величины	Лиз. 1		Лиз. 2	
	коэффициент	стандартная ошибка	коэффициент	стандартная ошибка
2015 г.				
a_N	-0,011**	0,0036	-0,0066**	0,0027
a_T	-0,054**	0,0036	-0,027**	0,0024
a_φ	-0,0011	0,0008	-0,000079	0,00053
a_P	-0,054**	0,0042	-0,031**	0,0026
a_W	-0,00018**	0,000014	-0,000054**	0,00001
ϵ (ε)	0,14	0,00028	0,085	0,00010
Количество наблюдений	3428			
2016 г.				
a_N	-0,010**	0,0016	-0,0058**	0,00087
a_T	-0,049**	0,0029	-0,0250**	0,0014
a_φ	-0,0013**	0,0007	-0,00029	0,00034
a_P	-0,057**	0,0047	-0,0209**	0,0026
a_W	-0,00015**	0,00001	-0,00005**	0,000006
ϵ (ε)	0,1243	0,0016	0,066	0,00079
Количество наблюдений	3538			

Примечание. *Статистически значимый коэффициент по критерию t-Стьюдента при p-value = 0,1; **p-value = 0,05.

Для анализа значимых метеорологических факторов и выявления различий в их влиянии на ход температуры в почвенных монолитах Лиз. 1 и 2 на глубине 30 см была разработана адаптивная модель авторегрессии интегрированного скользящего среднего ARIMA (0,1,0):

$$\Delta ST_{30}(t) = ST_{30}(t) - ST_{30}(t-1) = a_T T(t) + a_\varphi \varphi(t) + a_P P(t) + a_W W(t) + a_N N(t) + \epsilon(t),$$

где $\Delta ST_{30}(t)$ – изменение температуры почвы по лизиметру на глубине 30 см в момент t (°C);

$T(t)$ – температура воздуха, °C;

$\varphi(t)$ – влажность воздуха, %;

$P(t)$ – атмосферное давление воздуха,

Па;

$W(t)$ – солнечная радиация, Вт/м²;

$N(t)$ – сумма осадков (мм) в момент t ;

$\epsilon(t)$ – ошибка модели.

Сравнительный анализ коэффициентов моделей, построенных по месяцам вегетации, показал устойчивость значений коэффициентов, поэтому в качестве базовых мы рассматривали модели вегетационных периодов (май-сентябрь) 2015 и 2016 гг. Сравнительный анализ моделей температурного режима почв выполнен только для глубины 30 см, поскольку по нашим исследованиям с глубины 30 см колебания температуры постепенно затухают [20].

Результат идентификации коэффициентов моделей приведены в таблице 4. Найденные параметры являются статистически значимыми. Ошибка моделирования $\epsilon(t)$ имеет стандартное нормальное рас-

пределение со средним значением, близким к нулю, среднее квадратичное отклонение ошибки модели достигает 0,12-0,13 для модели Лиз. 1 и 0,06-0,08 для модели по данным Лиз. 2.

Анализ коэффициентов, описывающих влияние метеорологических величин на температурный режим почвы на глубине 30 см, показал, что степная растительность снижает действие метеорологических факторов по сравнению с пашней в 2 раза. Так, в модели по Лиз. 2 в сравнении с Лиз. 1 мы наблюдаем не только меньшее влияние температуры воздуха на температуру почвы, но и остальных метеорологических величин. Это подтверждает и более низкое значение среднеквадратичного отклонения в Лиз 2 (практически в 2 раза в сравнении с Лиз 1), которое показывает, что на участках под степной растительностью значимость всех факторов группируется вокруг средних значений и обуславливает более равномерное распределение и ход температуры почвы.

Знак минус для всех коэффициентов означает запаздывание в реакции температуры почвы на моделируемые метеорологические величины. На глубине 30 см запаздывание прогрева в сравнении с поверхностью почвы до максимальных значений составляет 6-9 ч [20, 21]. В целом, существенных различий коэффициентов по Лиз. 1 между 2015 и 2016 гг., которые различались по севообороту и степени увлажнения, модель не выявила.

Выводы

Под естественным степным ценозом отмечается запаздывание при переходах устойчивых среднесуточных температур почв через 0, +5, +10°C в сравнении с переходами температуры воздуха и почв под пашней. Подобное запаздывание может происходить и на участках, где используются технологии земледелия с минимальной обработкой почвы и сохранением пожнивных остатков, которое может являться лимитирующим фактором при выборе сроков посева теплолюбивых культур. Одним из факторов подобного запаздывания в начале вегетационного периода являются более высокие снегозапасы на этих участках.

Более высокие температуры почв характерны для пашни, при этом максимальные различия в температурном режиме почв степного ценоза и пашни проявляются на глубине 30 см, а на глубинах 50 и 120 см колебания температуры в обоих монолитах затухают.

Результаты анализа данных и моделирования выявили, что степная растительность снижает влияние внешних метеорологических факторов практически в 2 раза на температурный режим почвы в сравнении с пашней и способствует более равномерному распределению температуры в почве.

Созданная приборная и методологическая база мониторинга климатических и почвенных параметров дает возможность обоснования выбора и адаптации различных технологий земледелия, а также изучения хода экологических процессов в естественных и аграрных ценозах.

Библиографический список

1. Кулундинская степь и вопросы ее мелиорации / под ред. П.Я. Полубариновой-Кочиной. – М.: Наука, 1972. – 508 с.
2. Чибилев А.А., Левыкин С.В. Целина, разделенная океаном (актуальные заметки о судьбе степей Северного полушария) // Степной бюллетень: электронный журнал. – 1998. – № 1. – Режим доступа: <http://savesteppe.org/ru/archives/5591>.
3. Шульгин А.М. Температурный режим почвы. – Л.: Гидрометиздат, 1957. – 242 с.
4. Димо В.Н. Тепловой режим почв СССР: дис. д.с.-х.н. – М., 1970. – 445 с.
5. Куртнер Д.А., Чудновский А.Ф. Агрометеорологические основы тепловой мелиорации почв. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 231 с.
6. Макарычев С.В. Теплофизические свойства почв Юго-Западной Сибири: дис. ... докт. биол. наук. – М., 1993. – 378 с.

7. Гефке И.В., Бондаренко С.Ю., Макарычев С.В. Анализ теплофизического состояния почвенного профиля // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2007. – № 10 (36). – С. 13-18.

8. Григорьев Г.Н., Степина С.Г. Термический режим природных и пахотных темно-серых лесных почв Белгородской области // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. – 2008. – Т. 3. – № 6. – С. 203-208

9. Трофимова И.Е., Балыбина А.С. Районирование Западно-Сибирской равнины по термическому режиму почв // География и природные ресурсы. – 2015. – № 3. – С. 27-38.

10. Xiao H., Meissner R., Seeger J., Rupp H., Borg H. Effect of vegetation type and growth stage on dewfall, determined with high precision weighing lysimeters at a site in northern Germany // Journal of Hydrology. – 2009. – Vol. 399 (1). – P. 43-49.

11. Stephan Eckart, Meissner Ralph, Rupp Holger, Fruhauf Manfred, Schmidt Gerd, Illiger Patrick, Bondarovich Andrej, Balykin Dmitri, Scherbinin Vsevolod, Puzanov Alexander Aufbau eines bodenhydrologischen Messnetzes in der sibirischen Kulundasteppe // Wasserwirtschaft. – 2014. – Nr. 10. – S. 15-22.

12. Gebler S., Hendricks Franssen H.-J., Putz T., Post H., Schmidt M., Vereecken H. Actual evapotranspiration and precipitation measured by lysimeters: a comparison with eddy covariance and tipping bucket // Hydrol. Earth Syst. Sci. – 2015. – Vol. 19. – P. 2145-2161.

13. Balykin D., Puzanov A., Stephan E., Meissner R. Using the Innovative Lysimeter Technology in the German-Russian Research Project «KULUNDA». In: Novel Methods for Monitoring and Managing Land and Water Resources Siberia, Springer Water. Springer International Publishing, Switzerland, 2016. – P. 387-399.

14. Пузанов А.В., Балыкин Д.Н., Бондарович А.А., Щербинин В.В., Шибистова О., Стефан Э., Майсснер Р. Оценка водного баланса почв с использованием гравитационных взвешиваемых лизиметров // Мелиорация и водное хозяйство. – 2016. – № 2 (март-апрель). – С. 6-10.

15. Box, G.E.P., Jenkins, G.M., Reinsel, G.C. Time Series Analysis: Forecasting and Control. 4th ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2008.

16. Diggle, P.J. Time Series: A Biostatistical Introduction. Oxford: Oxford University Press, 1990.

17. Hamilton, J.D. Time Series Analysis. Princeton: Princeton University Press, 1994.

18. Harvey, A.C. Forecasting, Structural Time Series Models and the Kalman Filter. Cambridge: Cambridge University Press, 1989.

19. Newton, H.J. TIMESLAB: A Time Series Analysis Laboratory. Wadsworth & Brooks/Cole, Pacific Grove, California, 1988.

20. Беляев В.И., Бондарович А.А., Понькина Е.В., Щербинин В.В., Шмидт Г., Мацюра А.В., Кожанов Н.А., 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.

21. Почвоведение / под ред. И.С. Кауричева, И.П. Гречина. – М.: Колос, 1969. – 546 с.

References

1. Kulundinskaya step i voprosy ee melioratsii / pod red. P.Ya. Polubarinovoy-Kochinoy. – М.: Nauka, 1972. – 508 s.

2. Chibilev A.A. Levykin S.V. Tselina, razdelennaya okeanom (aktualnye zametki o sudbe stepey Severnogo polushariya) // Stepnoy byulleten. [Elektronnyy resurs]: Elektronnyy zhurnal. 1998, № 1. Rezhim dostupa k state: <http://savesteppe.org/ru/archives/5591>.

3. Shulgin A.M. Temperaturnyy rezhim pochvy. – L.: Gidrometizdat, 1957. – 242 s.

4. Dimo V.N. Teplovoy rezhim pochv SSSR: dis. ... dokt. s.-kh. nauk. – М., 1970. – 445 s.

5. Kurtener D.A., Chudnovskiy A.F. Agrometeorologicheskie osnovy teplovoy melioratsii pochv. – L., 1979. – 231 s.

6. Makarychev S.V. Teplofizicheskie svoystva pochv Yugo-Zapadnoy Sibiri: dis. ... dokt. biol. nauk. – М., 1993. – 378 s.

7. Bondarenko S.Yu., Makarychev S.V., Gefke I.V. Analiz teplofizicheskogo sostoyaniya pochvennogo profilya // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2007. – № 10 (36). – С. 13-18.

8. Grigorev G.N., Stepina S.G. Termicheskyy rezhim prirodnykh i pakhotnykh temnoserykh lesnykh pochv Belgorodskoy oblasti // Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki. – 2008. – Т. 3. – № 6. – С. 203-208

9. Trofimova I.E., Balybina A.S. Rayonirovanie Zapadno-Sibirskoy ravniny po termicheskomu rezhimu pochv // Geografiya i prirodnye resursy. – 2015. – № 3. – С. 27-38.

10. Xiao H., Meissner R., Seeger J., Rupp, H., Borg H. Effect of vegetation type and growth stage on dewfall, determined with high precision weighing lysimeters at a site in northern Germany // Journal of Hydrology. – 2009. – Vol. 399 (1). – P. 43-49.

11. Stephan Eckart, Meissner Ralph, Rupp Holger, Fruhauf Manfred, Schmidt Gerd, Illiger Patrick, Bondarovitsch Andrej, Balykin Dmitri, Scherbinin Vsevolod, Puzanov Alexander Aufbau eines bodenhydrologischen Messnetzes in der sibirischen Kulundasteppe // Wasserwirtschaft. – 2014. – Nr. 10. – С. 15-22.

12. Gebler S., Hendricks Franssen H.-J., Putz T., Post H., Schmidt M., Vereecken H. Actual evapotranspiration and precipitation measured by lysimeters: a comparison with eddy covariance and tipping bucket // Hydrol. Earth Syst. Sci. – 2015. – Vol. 19. – P. 2145-2161.

13. Balykin D., Puzanov A., Stephan E., Meissner R. Using the Innovative Lysimeter Technology in the German-Russian Research Project «KULUNDA». In: Novel Methods for Monitoring and Managing Land and Water Resources Siberia, Springer Water. Springer International Publishing, Switzerland, 2016. – P. 387-399.

14. Puzanov A.V., Balykin D.N., Bondarovich A.A., Shcherbinin V.V., Shibistova O., Stefan E., Mayssner R. Otsenka vodnogo balansa pochv s ispolzovaniem gravitatsionnykh vzveshivaemykh lizimetrov // Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo. – 2016. – № 2 (mart-aprel). – С. 6-10.

15. Box, G.E.P., Jenkins, G.M., Reinsel, G.C. Time Series Analysis: Forecasting and Control. 4th ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2008.

16. Diggle, P.J. Time Series: A Biostatistical Introduction. Oxford: Oxford University Press, 1990.

17. Hamilton, J.D. Time Series Analysis. Princeton: Princeton University Press, 1994.

18. Harvey, A.C. Forecasting, Structural Time Series Models and the Kalman Filter. Cambridge: Cambridge University Press, 1989.

19. Newton, H.J. TIMESLAB: A Time Series Analysis Laboratory. Wadsworth & Brooks/Cole, Pacific Grove, California, 1988.

20. Belyaev V.I., Bondarovich A.A., Ponkina E.V., Shcherbinin V.V., Shmidt G., Matsyura A.V., Kozhanov N.A., Rudev N.V.

Temperaturnyy rezhim vozdukha i pochvy po dannym meteorologicheskoy i pochvenno-gidrologicheskoy monitoringovoy seti v Kulundinskoj ravnine za vegetatsionnye periody 2013-2016 gg. // Vestnik Altayskogo gosu-

darstvennogo agrarnogo universiteta. – 2017. – № 3 (149). – S. 30-37.

21. Pochvovedenie / pod red. I.S. Kauricheva, I.P. Grechina. – M.: Kolos, 1969. – 546 s.



УДК 633.11:631.559:631.423.2

Л.В. Соколова, В.И. Беляев
L.V. Sokolova, V.I. Belyayev

**ВОДНЫЙ РЕЖИМ ПОЧВЫ И УРОЖАЙНОСТЬ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРЕДШЕСТВЕННИКОВ
В УМЕРЕННО ЗАСУШЛИВОЙ КОЛОЧНОЙ СТЕПИ АЛТАЙСКОГО КРАЯ**

**SOIL WATER REGIME AND SPRING SOFT WHEAT YIELD DEPENDING ON FORECROPS
IN THE MODERATELY ARID FOREST-STEPPE OF THE ALTAI REGION**

Ключевые слова: водный режим почвы, яровая мягкая пшеница, урожайность, предшественники, умеренно засушливая колючая степь, растениеводство.

Алтайский край занимает одно из ведущих мест в Российской Федерации по посевной площади зерновых и зернобобовых культур. Основные территории возделывания сельскохозяйственных культур в Алтайском крае находятся в степной зоне. История земледелия в степи – это борьба за влагу, за её сохранение. Целью работы является изучение водного режима почвы и урожайности яровой мягкой пшеницы в зависимости от предшественников в умеренно засушливой колючей степи Алтайского края. В 2005-2014 гг. в шести хозяйствах Алтайского края нами проводились измерения содержания воды в почве на производственных посевах яровой мягкой пшеницы. Результаты показали, что содержание воды в метровом слое почвы в течение вегетации уменьшалось в среднем с 234,5 до 153,3 мм, т.е. на треть. Средняя урожайность яровой мягкой пшеницы в 2005-2014 гг. составляла 1,79 т/га в Приобский зоне и 2,02 т/га в Восточно-Кулундинской, в качестве лидирующего предшественника выступал пар, урожайность 1,97 и 2,38 т/га соответственно в Приобской и Восточно-Кулундинской зонах. Средний расход влаги из метрового слоя почвы на единицу урожая яровой мягкой пшеницы в зависимости от предшественников в умеренно засушливой колючей степи Алтайского края в среднем в Приобской зоне составлял 38,2 мм/т, в Восточно-Кулундинской – 46,6 мм/т. Максимальное значение получено в Приобской зоне по зерновым и бобовым предшественникам – 51,4 и 51,5 мм/т соответствен-

но, минимальное – в Восточно-Кулундинской зоне по пропашным предшественникам (42,5 мм/т).

Keywords: soil water regime, spring soft wheat, yield, forecrops, moderately dry forest-steppe, crop growing.

The Altai Region is a leader in terms of the areas under cereal and legume crops in the Russian Federation. The main areas under crops in the Altai Region are situated in the steppe zone. The history of agriculture in the steppe is associated with a struggle for moisture and moisture conservation. The research goal is to study soil water regime and the yield of spring soft wheat depending on forecrops in the moderately arid forest-steppe of the Altai Region. From 2005 to 2014, we made measurements of soil water content in the fields under spring soft wheat on six farms of the Altai Region. It was found that the water content in one meter soil layer during the growing season decreased on average from 234.5 mm to 153.3 mm, i.e. by one third. The average yield of spring soft wheat from 2005 to 2014 amounted to 1.79 t ha in the Priobskaya zone and 2.02 t ha in the East Kulunda zone; a leading forecrop was a fallow field with a yield of 1.97 and 2.38 t ha, respectively, in the Priobskaya and East Kulunda zones. The average moisture consumption from one meter soil layer per unit of spring soft wheat yield depending on the forecrops in the moderately arid forest-steppe of the Altai Region averaged 38.2 mm t in the Priobskaya zone, and 46.6 mm t in the East Kulunda zone. The maximum value was obtained in the Priobskaya zone after cereal and legume forecrops – 51.4 and 51.5 mm t, respectively, the minimum value in the East Kulunda zone after tilled forecrops (42.5 mm t).

Соколова Людмила Валерьевна, к.с.-х.н., доцент, каф. ботаники, физиологии растений и кормопроизводства, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 62-84-08. E-mail: l.v.sokol@mail.ru.

Sokolova Lyudmila Valeryevna, Cand. Agr. Sci., Assoc. Prof., Chair of Botany, Plant Physiology and Forage Production, Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-84-08. E-mail: l.v.sokol@mail.ru.