

Г. Шмидт¹, А.А. Бондарович², В.В. Щербинин², Е.В. Понькина², Н.Ф. Харламова², А.В.Мацюра²,
Э. Штефан¹, П. Иллигер¹, Н.В. Рудев³, Н.А. Кожанов³

**РЕЗУЛЬТАТЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МЕЖДУНАРОДНОЙ
АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ И ПОЧВЕННО-ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ
МОНИТОРИНГОВОЙ СЕТИ В ПРЕДЕЛАХ КУЛУНДИНСКОЙ РАВНИНЫ
НА ЮГЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ ЗА 2013-2015 ГГ.**

¹Институт наук о Земле и географии, Университет Мартина-Лютера Галле-Виттенберг,
06120, г. Галле, Фон-Зекендорфф-Платц 4, Email: gerd.schmidt@geo.uni-halle.de

²Алтайский государственный университет, 656049, Барнаул, пр-т Ленина, 61,
Email: bondarovich@geo.asu.ru

³КХ «Партнер», 656056, с. Полуямки, Алтайский край, Email: rudev.nikolaj@mail.ru

Приведены результаты функционирования сети автоматических станций в сухой степи, климатического и почвенно-гидрологического мониторинга за вегетационные периоды 2013-2015 гг. Опубликованные региональные данные по значимым эколого-климатическим параметрам представляют интерес для экологов, физиологов растений и фермеров, работающих на Кулундинской равнине.

Ключевые слова: глобальные и региональные изменения климата, геоэкологический мониторинг, Кулундинская равнина.

G. Schmidt¹, A.A. Bondarovich², V.V. Scherbinin², E.V. Ponkina², N.F. Harlamova², A.V. Matsyura²,
E. Stephan¹, P. Illiger¹, N.V. Rudev³, N.A. Kozhanov³

**RESULTS OF OPERATION OF THE INTERNATIONAL AGRICULTURAL-
METEOROLOGICAL AND SOIL-HYDROLOGICAL MONITORING NETWORK
IN KULUNDA PLAIN (SOUTH OF WESTERN SIBERIA, 2013-2015)**

¹Institute of GeoSciences and Geography, Martin Luther University Halle-Wittenberg, 06120, Halle, Halle,
Von-Seckendorff-Platz, 4, Email: gerd.schmidt@geo.uni-halle.de

²Altai State University, 656049, Barnaul, Lenin St., 61, Email: bondarovich@geo.asu.ru

³CH "Partner", 656056, Village of Poluyamki, Altai Krai, Email: rudev.nikolaj@mail.ru

The results of the functioning of the network of automatic stations, the climate, soil, and hydrological monitoring for dry steppe during the vegetation periods of 2013-2015. The regional data on ecological and climatic parameters could be of great interest to the ecologists, plant physiologists, and farmers of Kulunda plain.

Keywords: global and regional climate change, geo-ecological monitoring, Kulunda Plain

Следует цитировать / Citation:

Шмидт Г., А.А. Бондарович А.А., В.В. Щербинин В.В., Е.В. Понькина Е.В., Н.Ф. Харламова Н.Ф., Мацюра А.В., Штефан Э., Иллигер П., Рудев Н.В., Кожанов Н.А. (2016). Результаты функционирования международной агрометеорологической и почвенно-гидрологической мониторинговой сети в пределах Кулундинской равнины на юге Западной Сибири за 2013-2015 гг. *Acta Biologica Sibirica*, 2 (2), 89–102.

Schmidt G., Bondarovich A.A., Scherbinin V.V., Ponkina E.V., Harlamova N.F., Matsyura A.V., Stephan E., Illiger P., Rudev N.V., Kozhanov N.A. (2016). Results of operation of the international agricultural-meteorological and soil-hydrological monitoring network in Kulunda plain (south of Western Siberia, 2013-2015). *Acta Biologica Sibirica*, 2 (2), 89–102.

Поступило в редакцию / Submitted: 21.04.2016

Принято к публикации / Accepted: 29.06.2016

crossref <http://dx.doi.org/10.14258/abs.v2i2.1424>

© Шмидт, Бондарович, Щербинин, Понькина, Харламова, Мацюра, Штефан, Иллигер, Рудев, Кожанов, 2016

Users are permitted to copy, use, distribute, transmit, and display the work publicly and to make and distribute derivative works, in any digital medium for any responsible purpose, subject to proper attribution of authorship.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 3.0 License

ВВЕДЕНИЕ

Кулундинская равнина – уникальная трансграничная территория в пределах степной зоны Западной Сибири общей площадью 13 млн. га, в том числе на территории России - Алтайский край (5,3 млн. га) и Новосибирская область (3,8 млн. га), Казахстана (3,9 млн. га) - Павлодарская и Восточно-Казахстанская области (Кулундинская..., 1972). Освоение Кулундинской равнины имеет продолжительную историю, в которой отмечались периоды интенсивного заселения и освоения. В настоящий момент она играет важную роль в Агропромышленном комплексе Алтайского края. При этом наблюдается ряд проблем экологического и демографического характера, среди которых наиболее важная – это миграция населения из сельских районов в города (Понькина и др., 2015). Для предотвращения оттока населения из сельских трансграничных районов, которые имеют особое геополитическое значение, в первую очередь необходимо улучшение условий жизни населения посредством сохранения и развития здесь сельского хозяйства, туризма и экологических услуг.

Сложность осуществления хозяйственной деятельности в Кулунде во многом обусловлена специфическими погодными условиями, которые на фоне глобальных изменений климата приобретают черты как позитивной, так и негативной направленности. В целях углубленного исследования природных факторов динамики урожайности сельскохозяйственных культур на территории степной зоны Западной Сибири в условиях наблюдаемых изменений климата Кулунды требуется расширение существующей сети метеостанций Росгидромета.

С этой целью в Алтайском крае в 2011 году начал работу пятилетний германо-российский проект «Кулунда» - Как предотвратить глобальный синдром "dust bowl" – «пыльных бурь»?» (далее «Кулунда»), финансируемый Федеральным министерством образования и науки Германии (BMBF) (Фрюауф, 2014). Особое место в проекте занимает тестирование технологий земледелия и восстановления пастбищ на фоне наблюдаемых изменений климата (Елесова и др., 2014, Беляев, 2015). Опытные поля заложены в трех крестьянско-фермерских хозяйствах, расположенных в зоне сухой степи, умеренно засушливой колочной степи и лесостепи (рис. 1), в пределах которых авторами создана мониторинговая сеть по наблюдению за метеорологическими и почвенно-гидрологическими параметрами.

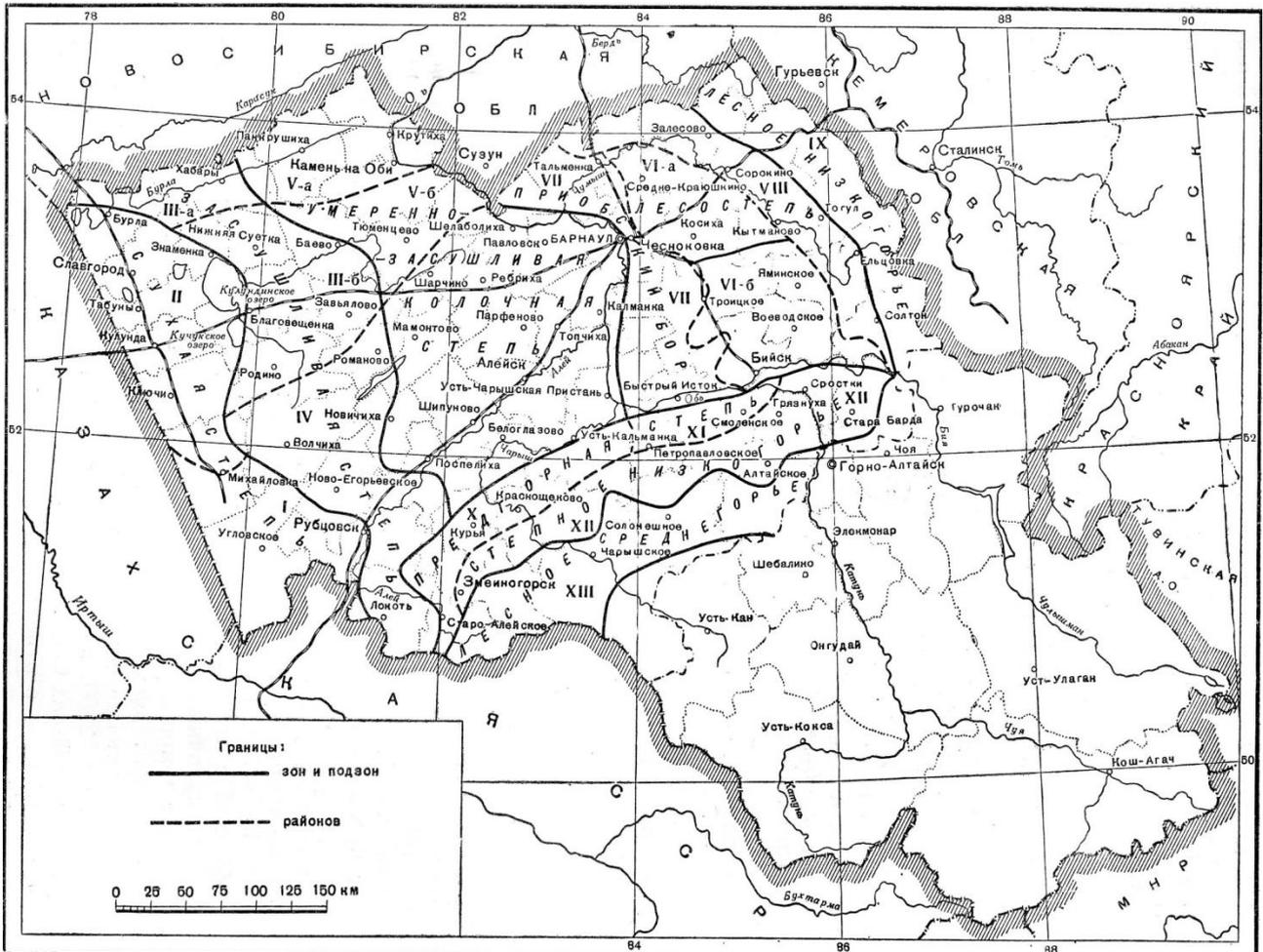


Рис. 1. Схема климатического районирования Алтайского края (Сляднев, Фельдман, 1958)

По состоянию на 2016 год мониторинговая сеть включает: 4 метеостанции (ГМС), 4 почвенно-гидрологических станции (ПГС) фирмы-производителя ООО «Эко-Тех» (Германия, *Eco-Tech*). В состав сети так же входит лизиметрическая установка гравитационного действия (*лизиметр*) фирмы-производителя ООО «Приборы для окружающей среды» (Германия, *UGT*). Стационар в сухой степи организован на базе крестьянского хозяйства «Партнер», с. Полуямки, Михайловского района Алтайского края (*далее стационар «Полуямки»*).

Первое подробное описание климата и климатическое районирование исследуемой территории опубликовано в работе А.П. Сляднева, Я.И. Фельдмана «Важнейшие черты климата Алтайского края» (1958), основанной на анализе ограниченного ряда метеонаблюдений (см. рис. 1).

Для Кулундинской равнины в течение вегетационного периода характерно обилие света и тепла с суммами активных температур - 2000-2600 °С и недостаточным увлажнением в течение годового периода в количестве 230-350 мм/год. Распределение осадков, как по территории, так и по сезонам является достаточно неравномерным.

Почвы исследуемой территории развивались на мезозойско-кайнозойском седименте в соответствующих климатических условиях. Для Западно-Кулундинской подпровинции характерны каштановые и темно-каштановые почвы, которые переходят в южные малогумусные маломощные и среднемощные черноземы Восточно-Кулундинской подпровинции. В непосредственной близости от соленых озер идет процесс засоления, определяющий появление почв галогенного ряда (солонцы, солончаки, солоды), которые, как правило, используются под пастбища (Атлас..., 1978).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Осенью 2012 г. в с. Полуямки были установлены 1 ГМС и 2 ПГС, а в июне-августе 2013 г. – лизиметр в непосредственной близости от ГМС. ПГС установлены под тестовыми участками с различными технологиями обработки почв (Беляев, 2015). В непосредственной близости заложены опытные делянки по восстановлению пастбищ (Елесова и др., 2014). Полное описание технических характеристик автоматических станций и особенности их установки опубликованы в ряде совместных статей авторского коллектива (Stephan et al., 2014; Пузанов и др., 2016). Лизиметр, позволяющий получать в режиме реального времени количественные данные по суммарному испарению (эвапотранспирации), по различным причинам стабильно функционировал только в вегетационном периоде 2015 г., поэтому данные этого прибора в статье не приводятся.

Использованы данные существующей сети метеостанций Росгидромета в сухостепной зоне, обработанных по методикам, принятым Всемирной Метеорологической организацией (WMO) и Межправительственной группой экспертов по изменению климата (IPCC). Проанализированы материалы монографий, посвященных изучению теплового и водного баланса в период 1953-1971 гг. – период интенсивного освоения Кулундинской равнины (Мосиенко, 1972, Кулундинская ..., 1972). Характеристики местоположения метеостанций, данные которых использованы в работе, представлены в табл. 1.

Таблица 1. Характеристика отдельных метеостанций (ГМС) сухой степи

Метеостанция	Широта	Долгота	Высота над ур. моря, м
Славгород (Росгидромет)	52°58'	78°39'	125
Полуямки	52° 03'	79° 42'	133
Рубцовск (Росгидромет)	51°35'	81°12'	216

Наибольший интерес для сельскохозяйственного производства представляют данные по климату и водному балансу почв в течение вегетационного периода (с мая по октябрь). В качестве основных параметров выбраны среднемесячные значения: 1) температура воздуха, °С; 2) сумма осадков, мм (*Примечание:* для расчетов использованы данные суммарного осадкомера Хелльмана (*Hellmann*), установленного на высоте 1 м); 3) влажность воздуха, %; 4) скорость ветра, м/с; 5) солнечная радиация, Вт/м²; 6) изменения влажности в метровом слое почвы, %.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Репрезентативность данных наблюдений ГМС Полуямки подтверждается значимой корреляцией с данными сети Росгидромета на территории Алтайского края, а синхронность хода параметров между всеми станциями стационара «Полуямки» детально рассмотрена в совместной статье (Stephan et al., 2014).

На основе распределения среднесуточных температур воздуха по ГМС Полуямки за 2013-2015 гг. выявлены даты устойчивого перехода среднесуточных температур воздуха *через 0, 5 и 10 °С*. В

качестве даты начала/окончания вегетационного периода принят устойчивый переход среднесуточных температур воздуха через 5°C (см. табл. 2).

Таблица 2. Даты перехода устойчивых среднесуточных температур воздуха *через 0, 5 и 10 °С* по данным ГМС Полуямки, 2013-2015 гг.

Год	Дата перехода устойчивых среднесуточных температур воздуха			
	через 0 °С / обратный переход через 0 °С	через 5 °С / обратный переход через 5 °С (вегетационный период)	через 10 °С / обратный переход через 10 °С	Продолжительность вегетационного периода, суток
2013	данные отсутствуют / 8 ноября	1 мая* / 3 октября	21 мая / 27 сентября	156*
2014	18 марта / 8 ноября	29 марта / 16 октября	18 апреля / 18 сентября	202
2015	10 апреля / 1 ноября	11 апреля / 12 октября	18 апреля / 5 октября	184

*данные только с 01.05.13 г.

В течение 2013-2015 гг. наиболее теплообеспеченным был вегетационный период 2015 г. ($\sum t > 10^\circ\text{C} = 2844^\circ\text{C}$), наиболее влажным – 2014 г. (см. табл. 3-5 и рис. 2).

Таблица 3. Средняя температура и влажность воздуха, сумма осадков, скорость ветра и солнечная радиация за вегетационный период 2013 г., ГМС Полуямки

Полуямки, 2013 г.	Средняя t воздуха, °С	Средняя солнечная радиация, Вт/м ²	\sum осадки, мм	Средняя влажность воздуха, %	Средняя скорость ветра, м/с
Май	11,4	214,7	55,5	54,8	3,5
Июнь	17,2	279,7	37,6	52,1	2,6
Июль	20,7	238,2	91,7	63,3	2,3
Август	19,1	209,1	78,7	65,8	2,6
Сентябрь	12,1	154,7	20,2	59,9	2,4
Октябрь	4,2	79,1	12,21	65,1	2,7
Среднее/ \sum	14,1	195,9/1175	295,9	60,1	2,6

Таблица 4. Средняя температура и влажность воздуха, сумма осадков, скорость ветра и солнечная радиация за вегетационный период 2014 г., ГМС Полуямки

Полуямки, 2014 г.	Средняя t воздуха, °С	Средняя солнечная радиация, Вт/м ²	\sum осадки, мм	Средняя влажность воздуха, %	Средняя скорость ветра, м/с
Май	12,8	253,5	53,6	44,8	3,2
Июнь	20,9	287	29	44,1	2,8
Июль	21	239,7	122,3	55,8	2,8
Август	20,2	229,9	48,3	56,8	2,4
Сентябрь	10	138,5	18,3	62,3	2,6
Октябрь	3,1	57,1	51,3	73,2	3,5
Среднее/ \sum	14,6	201\1205	322,7	56,1	2,9

Таблица 5. Средняя температура и влажность воздуха, сумма осадков, скорость ветра и солнечная радиация за вегетационный период 2015 г., ГМС Полуямки

Полуямки, 2015 г.	Средняя t воздуха, °С	Средняя солнечная радиация, Вт/м ²	∑ осадки, мм	Средняя влажность воздуха, %	Средняя скорость ветра, м/с
Май	15,7	279,6	22,4	49,2	3,1
Июнь	20,9	299,3	59	54,6	3,2
Июль	21,4	246,1	89,8	55,2	2,8
Август	19,20	216,1	55,4	51,9	2,5
Сентябрь	11,6	133,4	17,9	56,9	2,6
Октябрь	5,4	69,8	37,6	61,5	3,4
Среднее/∑	15,7	207,4/1244	282,1	54,9	2,9

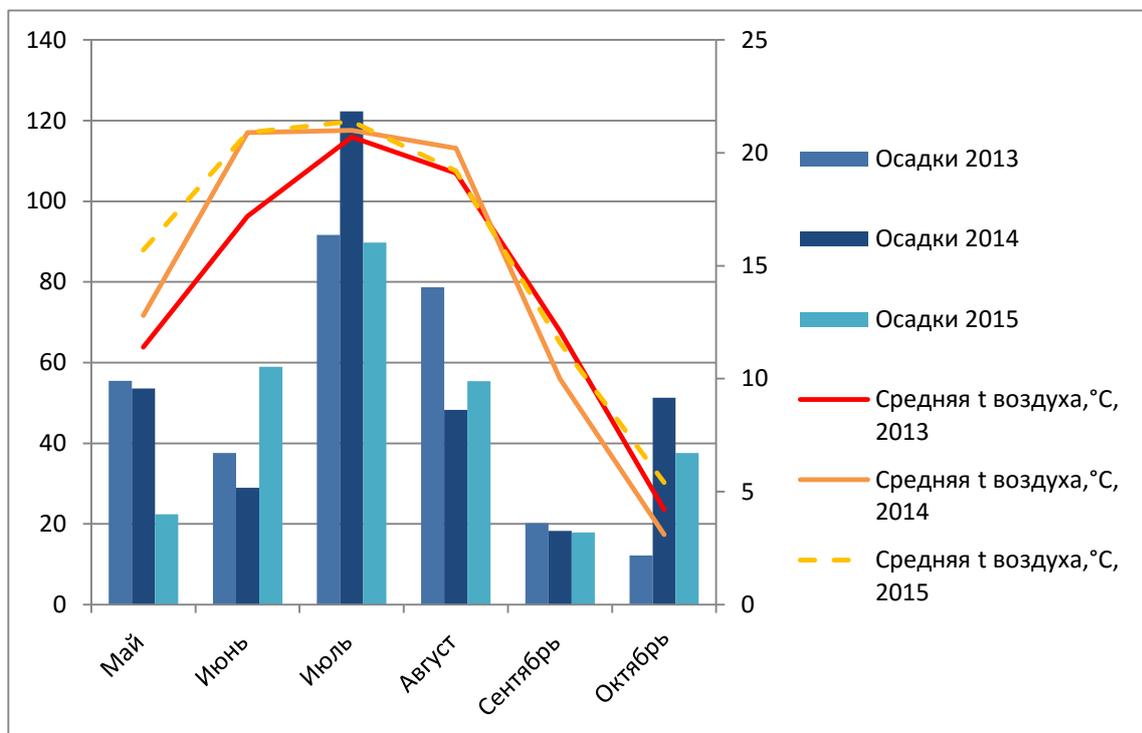


Рис. 2. Распределение среднемесячных значений температур воздуха и сумма осадков за вегетационные периоды (май-октябрь) 2013-2015 гг., ГМС Полуямки

Значительная повторяемость засух в период освоения целины 1951-1954 гг. требовала детального изучения регионального климата. А.П. Сляднев (1965) определил, что среднегодовое количество осадков варьировало от 220-250 мм на юго-западе равнины до 350 мм на северо-востоке. В первую половину вегетационного периода (май-июнь), когда для растений влага особенно необходима, выпадало только 50-70 мм. В засушливые годы (1962, 1963, 1965) общая сумма осадков снижалась до 120-150 мм, а максимум смещался на август, во влажные годы наблюдалось увеличение осадков во все сезоны, особенно в мае и июне.

Август в засушливые годы нередко характеризовался обильным увлажнением с количеством осадков, составлявшем 150-200 % от средней многолетней суммы. В северной части Кулунды (ГМС Славгород) в 1930-1969 гг. месячная сумма июня менее 20 мм наблюдалась в 25 % всех лет, менее 30 мм – в 50%, 10 мм – в 17%. В двух из десяти лет очень сухими были июнь и июль. Раз в десятилетие после засушливого июня шли обильные дожди в июле, которые рассматривались как бесполезные для поздних яровых и технических культур (Кулиндинская..., 1972). В.Н. Гнатовским (2010) на основе анализа данных по ГМС Ключи с 1936 по 2009 гг. была выявлена относительно высокая корреляция ($r = 0,62$) количества осадков в июне и изменчивости урожайности зерновых культур в Ключевском

районе, при менее значимой корреляции с осадками холодного периода с сентября по май ($r = 0,36$) и осадками июля ($r = 0,15$).

На основе анализа наиболее длительного ряда данных наблюдений ГМС Барнаул выявлен вековой цикл увлажнения 1850-1976 гг., максимум которого отмечался в 1907-1912 гг. С 1977-1978 гг. началась восходящая ветвь нового векового цикла, максимум проявления которого можно ожидать в 2038 г. В течение этого векового цикла был отмечен внутривековой цикл пониженного увлажнения, начавшийся в 2002 г. и окончившийся в 2012 г. (Харламова, 2013).

Первая половина и начало второй половины XX в. были отмечены сильными засухами: 1929, 1931, 1936, 1940, 1945, 1951, 1952, 1955, 1957, 1963, 1965 гг. Выявлен важный прогнозный признак – жестокой засухе предшествовали холодные малоснежные зимы (Кулиндинская..., 1972).

Для ГМС Славгород и Рубцовск были выделены периоды повышенного увлажнения 1968-1972, 1990-1996 и 2000-2004 гг., чередующиеся с засухами 1967, 1974, 1988, 1997, 2005 гг. Анализ данных по температуре воздуха и осадкам показал, что на фоне значительного положительного линейного тренда годовой температуры с 1966 по 2011 гг. наблюдался заметный отрицательный тренд годовых осадков в степной зоне Алтайского края (Харламова, 2013) (см. табл. 6). Изменчивость ГТК Селянинова в течение 1982-2013 гг. свидетельствует о наиболее минимальных темпах сокращения увлажненности в сухостепных районах Кулундинской равнины Алтайского края ($-0,019/10$ лет) (Харламова и др., 2014).

Таблица 6. Количество осадков за теплый период и год (мм) по ГМС Славгород и Рубцовск за 1966-2011, 1971-2000, 1981-2010 гг. (Харламова, 2013)

Период, гг.	Метеостанции			
	Славгород		Рубцовск	
	теплый период (IV-X)	Год	теплый период (IV-X)	год
1966-2011	228,1	321,8	241,6	337,1
1971-2000	233,3	334,4	247,5	345,5
1981-2010	230,3	321,6	240,3	327,4

Засушливые явления на территории России, которые начали развиваться ещё во второй половине 2010 г. и достигли пика в 2012 г., нанесли довольно значительный урон Агропромышленному комплексу России и Алтайского края (Морозова, 2012). Вследствие того, что ГМС Полуямки была установлена только в сентябре 2012 г., данные за вегетационный период этого засушливого года отсутствуют. Для сравнения мы привели данные по количеству осадков за теплый период года и весь год для 2012-2015 гг. по ГМС Славгород и Рубцовск (см. табл. 7 и рис. 3).

Таблица 7. Распределение количества осадков за теплый период и год (мм). ГМС Рубцовск, Славгород, 2012-2015 гг. (Росгидромет); ГМС Полуямки, 2013-2015.

Год	Метеостанции					
	Славгород		Рубцовск		Полуямки	
	теплый период (IV-X)	год	теплый период (IV-X)	год	теплый период (IV-X)	год
2012	131,3	170,3	256,3	360	Данных нет	Данных нет
2013	253,4	335,3	276,9	391,7	295,4	317,3
2014	218,7	291,3	313,4	399	334,7	356,7
2015	248,6	321	265,5	377	318	368,6
Среднее	213	279,5	278,0	381,93	316	347,5

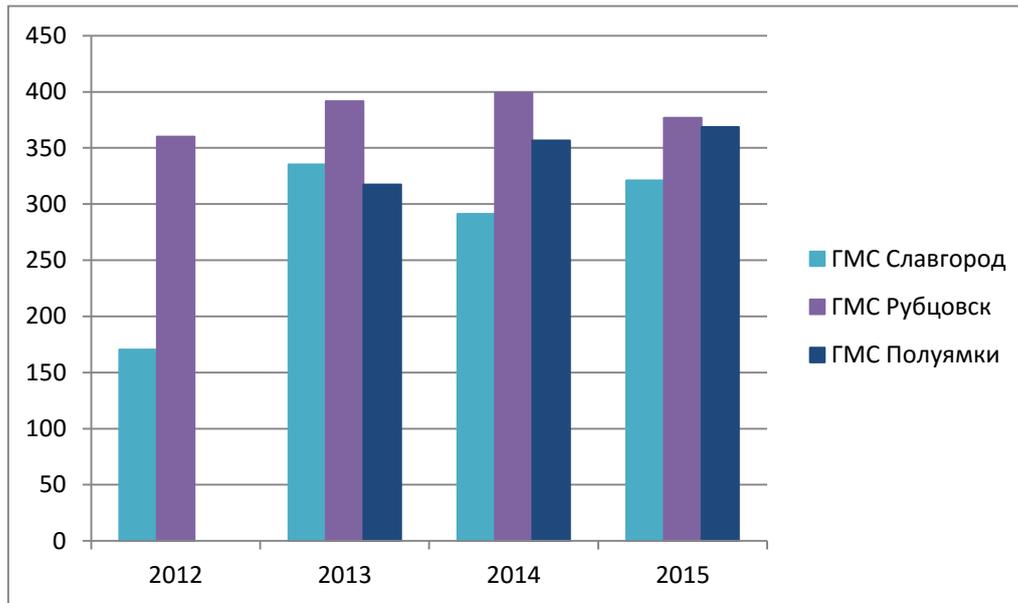


Рис. 3. Годовое количество осадков (мм). ГМС Рубцовск, Славгород за 2012-2015 гг. (Росгидромет) и ГМС Полуямки за 2013-2015 гг.

Представляется затруднительным экстраполировать данные по осадкам засушливого 2012 г. для ГМС Славгород, Рубцовск и Полуямки. Если в Славгороде сумма осадков за 2012 г. составила 170 мм, то в Рубцовске – 360 мм, что несколько выше, чем среднемноголетнее за период 1966-2011 гг. (см. табл. 6) и практически на 40 мм выше значений, отмеченных в середине 1960-х (см. табл. 8). Данная особенность объясняется положением ГМС Рубцовск в предгорной зоне Алтайского края, отличающейся большим увлажнением.

Таблица 8. Количество осадков по периодам года (Сляднев, 1965)

Метеостанция	Начало вегетации (V-VI)		Теплый период (IV-X)		Год
	мм	%	мм	%	
Рубцовск	74	24	227	72	317
Славгород	57	22	202	73	276
Павлодар	54	25	170	78	219

Таблица 9. Распределение количества осадков по периодам года, ГМС Рубцовск, Славгород, 2012-2015 гг. (Росгидромет)

Год	Метеостанции									
	Славгород					Рубцовск				
	Начало вегетации (V-VI)		Теплый период (IV-X)		Год	Начало вегетации (V-VI)		Теплый период (IV-X)		Год
	мм	%	мм	%		мм	мм	%	мм	
2012	36,1	21,2	131,3	77,1	170,3	91,1	25,3	256,3	71,2	360
2013	60,9	18,2	253,4	75,6	335,3	62	15,8	276,9	70,7	391,7
2014	27,2	9,3	218,7	75,1	291,3	88,1	22,1	313,4	78,5	399
2015	49,5	15,4	248,6	77,4	321	69,9	18,5	265,5	70,4	377
Среднее	43,4	16,0	213	76,0	279,5	77,8	20,4	278,0	72,7	381,9

Таблица 10. Количество осадков по периодам года, ГМС Полуямки

Год	Начало вегетации (V-VI)		Теплый период (IV-X)		Год
	мм	%	мм	%	
2013*	93,1	29,3	295,4	93,1	317,3
2014	82,7	23,2	334,7	93,8	356,7
2015*	81,3	22	318	86,3	368,6
Среднее	85,7	24,7	316	90,9	347,5

* за периоды 01.01-30.04.13 и 27-31.05.15 данных нет.

Относительно пространственно-временной структуры осадков выявлено:

1) более синхронное сезонное распределение осадков в течение 2013-2015 гг. наблюдалось между ГМС Рубцовск и Полуямки (см. табл. 9, 10);

2) для ГМС Рубцовск и Славгород значимого увеличения количества осадков в начальный период вегетации (май-июнь) в 2012-2015 гг. по сравнению с данными А.П. Сляднева (1965) не было отмечено (см. табл. 8-10).

Значительный интерес представляет изменчивость влажности в метровом слое почвы. Как уже упоминалось выше, в рамках проекта «Кулунда» были заложены опытные участки по изучению воздействия различных технологий на физико-химические свойства почвы и урожайность. ПГС были установлены в 2013 г. одновременно с началом опытов под двумя вариантами технологий на участках размерами 12х30 м с темно-каштановыми супесчаными почвами. Влажность (%), осмотическое давление (pF) и температура почвы (°C) измерялись на уровнях 30, 60 и 120 см. Технологии в проекте получили следующие названия:

а) «обычная советская система» (*сокр. и далее OCC*): осенняя глубокая обработка до 24 см, весенняя обработка 10 см, без применения средств защиты растений, севооборот: 2013 г. – яровая пшеница, 2014 г. – механический пар, 2015 г. – яровая пшеница;

б) «современная система», (*англ. No-Till, сокр. и далее CC*): система без обработки почвы; включает в себя уборку с измельчением и распределением соломы; боронование тяжелыми боронами для лучшего распределения соломы; химическую защиту растений; посев в стерню (Беляев, 2015), севооборот: 2013 г. – яровая пшеница, 2014 г. – рапс, 2015 г. – яровая пшеница.

Следует отметить некоторые преимущества CC-технологии (нулевой или прямой посев): а) увеличение полевой влагоемкости и повышение доступной влаги; б) улучшение поглощения воды (доступность влаги); в) снижение испарения влаги за счет закрытия почвы растительными остатками; г) улучшение снегозадержания. Вместе с тем существуют проблемы «переходного периода», которые делают невозможным любое сравнение нулевого посева с другими системами возделывания (Беляев, 2015). Расчетные среднемесячные данные по фактической влажности почвы за вегетационные периоды 2013-2015 гг. приведены в сводных таблицах (см. табл. 11, 13, 14), продуктивная влага не рассчитывалась.

Таблица 11. Среднемесячные значения влажности почв под различными системами земледелия, вегетационный период 2013 г., ПГС Полуямки

Полуямки, 2013 год	Обычная советская система (OCC), влажность почвы, (%), (я. пшеница)			Современная система (CC) - No-Till, влажность почвы, (%), (я. пшеница)		
	глубина 30 см	глубина 60 см	глубина 120 см	глубина 30 см	глубина 60 см	глубина 120 см
Май	30,7	31,4	30	28,2	31,5	30,5
Июнь	29,7	33,4	28,5	26	30,4	27,8
Июль	18,9	26,7	26,4	19,5	19,1	15,6
Август	14	18,5	18,4	12,8	15,6	13,6
Сентябрь	13,4	17,3	16,2	12,3	14,9	12,6
Октябрь	13,1	16,5	16	11,8	14,2	11,8
Среднее	19,9	23,9	22,6	18,4	20,9	18,6

Таблица 12. Среднемесячные значения влажности почв под различными системами земледелия, вегетационный период 2014 г., ПГС Полуямки

Полуямки 2014 год	Обычная советская система (ОСС), влажность почвы, (%), (механический пар)			Современная система (СС) - No-Till, влажность почвы, (%), (рапс)		
	глубина 30 см	глубина 60 см	глубина 120 см	глубина 30 см	глубина 60 см	глубина 120 см
Май	Нет данных	Нет данных	Нет данных	13,4	21,9	22,6
Июнь	Нет данных	Нет данных	Нет данных	15	21,8	20,9
Июль	Нет данных	Нет данных	Нет данных	15,1	16,5	13,5
Август	Нет данных	Нет данных	Нет данных	12,9	15,7	16,3
Сентябрь*	20,1	20,9	20	11,9	14,6	12
Октябрь**	21,2	21,2	19,8	11,4	13,8	14,1
Среднее	20,6	21,1	19,9	13,3	17,4	16,6

*данные ОСС с 07.09 по 30.09.14, ** данные ОСС с 07.10 по 27.10.14; ***данные ОСС и СС с 01.03 по 23.03.14

Таблица 13. Среднемесячные значения влажности почв под различными системами земледелия, вегетационный период 2015 г., ПГС Полуямки

Полуямки, 2015 год	Обычная советская система (ОСС), влажность почвы, (%), (я. пшеница)			Современная система (СС) - No-Till, влажность почвы, (%), (я. пшеница)		
	глубина 30 см	глубина 60 см	глубина 120 см	глубина 30 см	глубина 60 см	глубина 120 см
Май	нет данных	нет данных	нет данных	15,9	22,7	23,1
Июнь*	11,7	15,3	20,4	18,0	22,3	20,4
Июль**	10,2	13,8	15,6	14,8	15,5	12,9
Август	11,3	12,9	14,1	12,6	14,5	12,5
Сентябрь	14,9	12,5	14,3	12,4	14,1	12,7
Октябрь***	16,7	11,8	14,1	11,8	13,5	11,9
Среднее	12,9	13,3	15,7	14,2	17	15,3

* данные по ОСС и СС с 25.06 по 30.06.15, **данных нет по ОСС и СС с 11.07 по 15.07.15, ***данные по ОСС и СС с 01.10 по 17.10.15).

В опытах по изучению влажности почв в 2013 г., скорее всего, проявились проблемы «переходного этапа». Так, влажность в 30 см слое на протяжении всего вегетационного периода была несколько выше под ОСС. Особенно хорошо эти различия были заметны на начало вегетации май-июнь. В июле на глубине 30 см влажность под СС была лишь на 3% выше, чем по ОСС. Далее до конца вегетации влаги под СС было меньше, чем под ОСС (рис. 4 и 5).

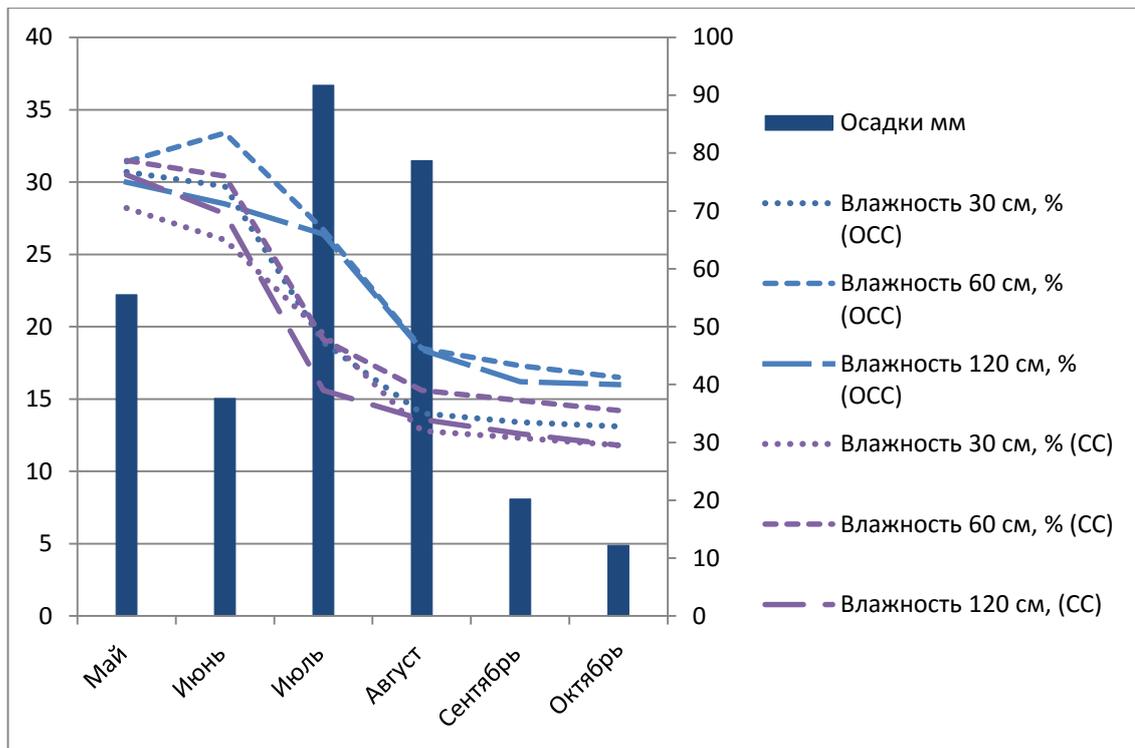


Рис. 4. Распределение среднемесячных значений влажности почвы и осадков под различными системами земледелия, вегетационный период 2013 г., ГМС и ПГС Полуямки.

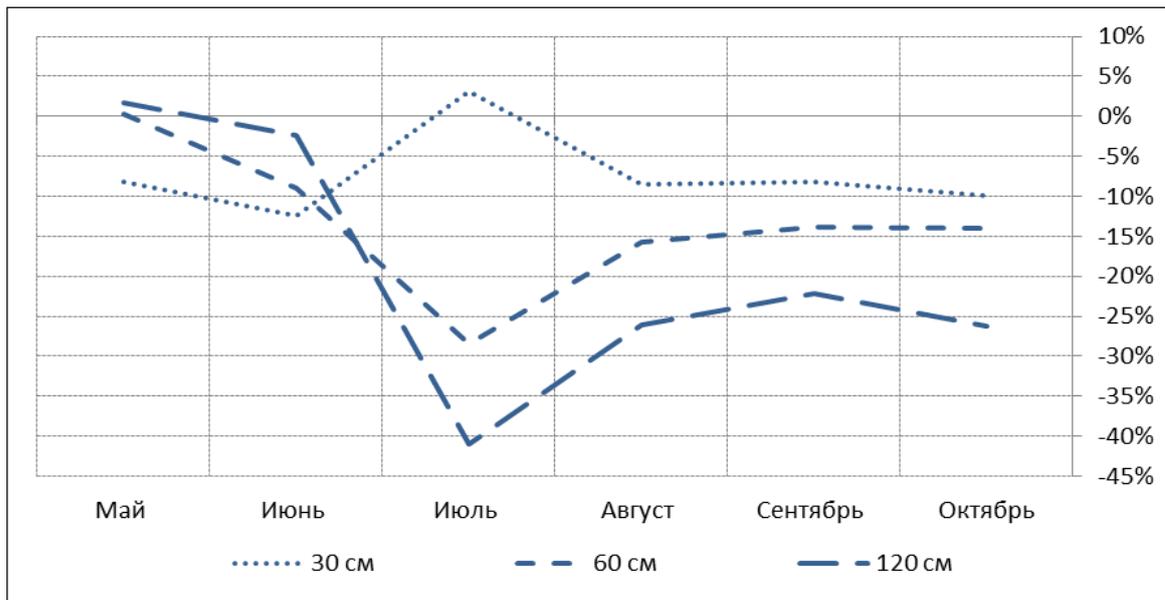


Рис. 5. Динамика различий влажности в почвенном профиле при сравнении технологий СС и ОСС (%), вегетационный период 2013 г., ПГС Полуямки. Расчет различия влажности почвы выполнен по формуле: $(\% \text{ СС} - \% \text{ ОСС}) / \% \text{ ОСС}$. Отрицательное значение показывает, что влажность почвы по технологии СС ниже, чем при использовании ОСС, положительное значение – наоборот.

Интересной особенностью является то, что количество влаги под ОСС на глубине 60 см и 120 см в июле достигли одинаковых значений и далее до конца вегетации существенного разрыва в количестве при одновременном понижении не наблюдалось. Под СС на глубине 60 см влаги было больше чем на 30 см и 120 см на протяжении всей вегетации (см. табл. 11 и рис. 6, 7).

Подобный результат 2013 г. можно объяснить двумя причинами: а) отсутствием подстилки из пожнивных остатков под СС, которые были минимальны в первый год опыта; б) при почвенной обработке в ОСС разрушение капилляров привело к сравнительно более лучшему водоудержанию в 30 см слое.

В 2014 г. по техническим причинам в варианте ОСС данные ПГС были утрачены, кроме того на варианте ОСС был введен механический пар, а на СС был посеян рапс (см. табл. 12). По названным причинам сравнивать технологии за вегетацию 2014 г. не представляется возможным.

В 2015 г. (третий год опытов) СС продемонстрировал значительно лучшие результаты, чем ОСС (см. рис. 6 и 7). При этом вегетационный период 2015 года на фоне 2013-2014 был менее влагообеспеченным и более жарким (см. табл. 3-5). Предшественником яровой пшеницы под СС был рапс, а под ОСС – механический пар. Известно, что за период вегетации рапс, как правило, потребляет в 1,5-2 раза больше воды, чем зерновые культуры. В этой связи, стартовые условия по влаге на начало вегетации были различны. Например, в марте до начала активного снеготаяния, под СС влажность почв была несколько ниже, чем под ОСС (см. табл. 14).

Таблица 14. Среднемесячные значения влажности почв под различными системами земледелия, март 2015 г., ПГС Полуямки.

Полуямки, 2015 год	Обычная советская система (ОСС), влажность почвы, (%), (в 2014 году – механический пар)			Современная система (СС) - No-Till, влажность почвы, (%), (в 2014 году - рапс)		
	глубина 30 см	глубина 60 см	глубина 120 см	глубина 30 см	глубина 60 см	глубина 120 см
Март	10,6	15,5	18,4	10,2	14,2	11,7

В мае 2015 г. ПГС под ОСС не работала, кроме того, были утрачены данные по ОСС с 25.06 по 30.06.15 и с 11.07 по 15.07.15. Поэтому в расчетах по СС за июнь-июль были использованы также укороченные ряды, что не повлияло на достоверность, поскольку количество влаги в почве изменялось более медленно. Короткий ряд был применен в обоих вариантах и по октябрю – с 01.10 по 17.10.15 г.

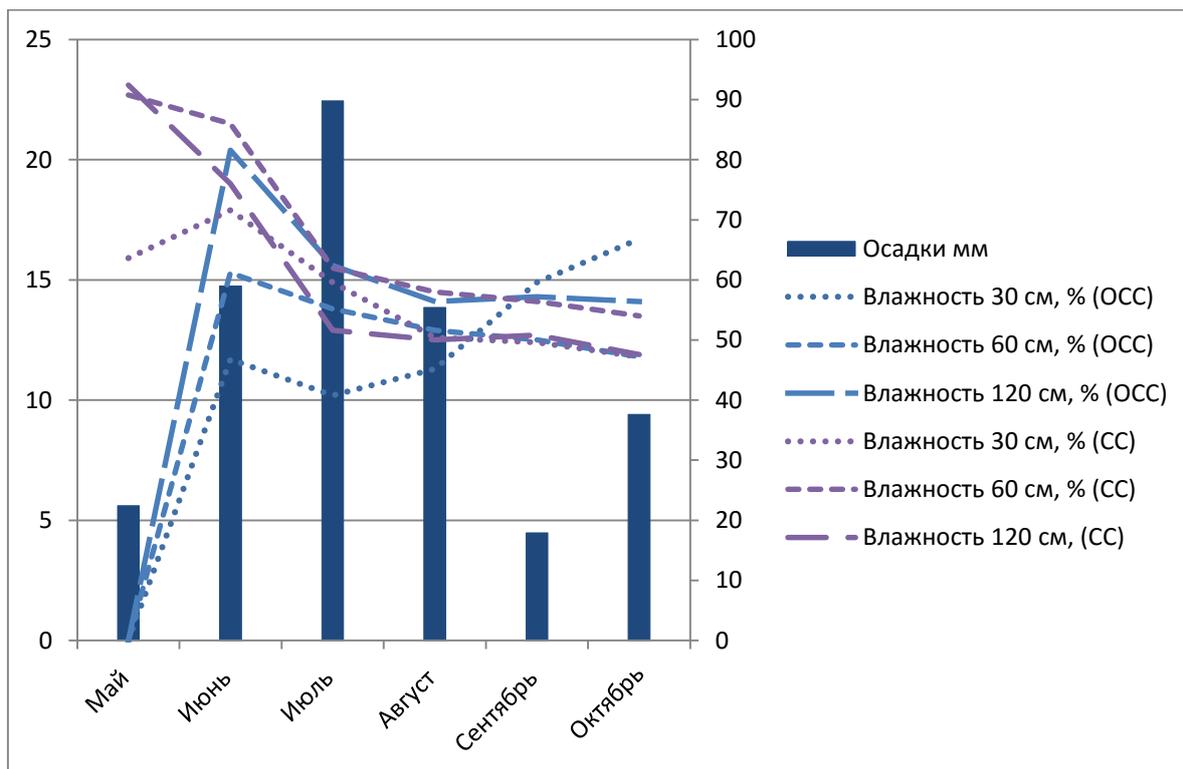


Рис. 6. Распределение среднемесячных значений влажности почвы и осадков под различными системами земледелия, вегетационный период 2015 г., ГМС и ПГС Полуямки.

Особенно хорошо преимущества СС видны в июне-июле в период формирования и созревания урожая на глубине 30 и 60 см. Так, в июне на глубине 30 см влаги под СС было на 53%, а на 60 см на 41 % больше, чем под ОСС. В июле различия составили на глубине 30 см - 46%, 60 см - 12 %. Вместе с тем, на 120 см влаги под СС было меньше чем под ОСС (рис. 7).

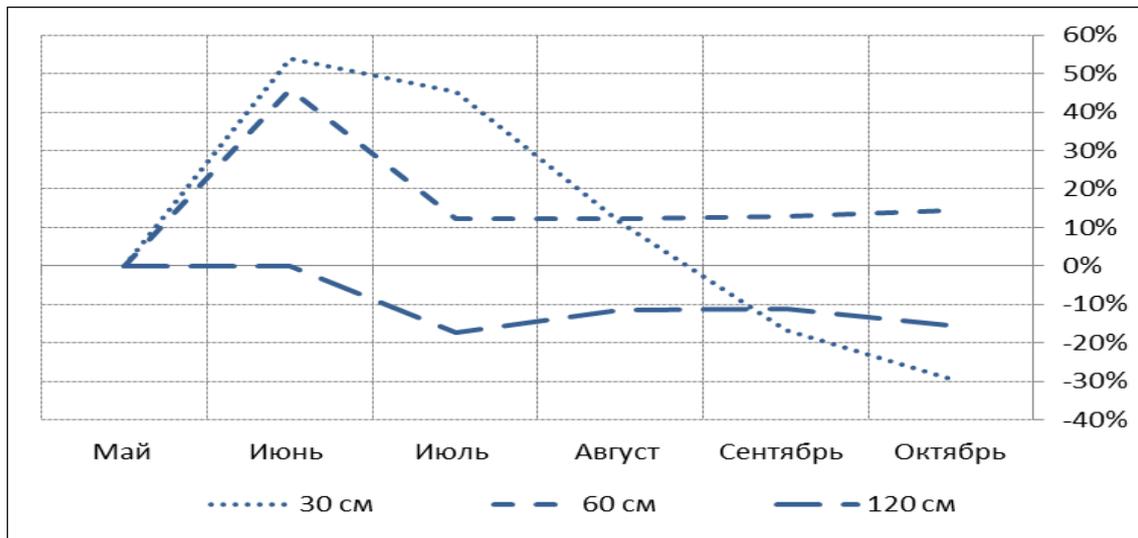


Рис. 7. Динамика различий влажности в почвенном профиле при сравнении технологий СС и ОСС (%), вегетация 2015 г., ПГС Полуямки. Примечание: расчет различия влажности почвы выполнен по формуле: $(\% \text{ СС} - \% \text{ ОСС}) / \% \text{ ОСС}$. Отрицательное значение показывает, что влажность почвы по технологии СС ниже, чем при использовании ОСС, положительное значение - наоборот.

Можно предположить, что под СС наблюдается лучшая связь между различными почвенными горизонтами. В варианте ОСС т.н. «плужная подошва» на глубине 24 см создает барьер водпроницаемости, что, видимо препятствует возможности подъема влаги с более низких горизонтов. Этот эффект виден на графике (см. рис. 7): ход влаги по СС на разных глубинах идет в более «узком коридоре», тогда как разброс под ОСС между 30 см, 60 см и 120 см довольно значительный.

Мы подошли к дискуссионному вопросу, который интересует практиков. В.П. Панфилов (1972) отмечал, что характерная особенность порового пространства супесчаных каштановых почв определяет незначительную капиллярную водоподъемную способность почв Кулунды. Таким образом, при иссушении поверхностных горизонтов почвы, капиллярного передвижения влаги к ним и восполнения в них водного дефицита за счет запасов влаги нижележащих горизонтов не должно происходить. Вероятно, что в варианте СС в 2015 году мы наблюдали подъем влаги с более низких уровней. Эта гипотеза, безусловно, требует своей проверки на более длинном ряде наблюдений.

Следует также отметить, что осадки июля слабо влияют на изменение почвенной влаги на глубине 30 и 60 см, что хорошо видно на графиках распределения за вегетационные периоды 2013 и 2015 гг. (см. рис. 6 и 7). Относительно большое количество осадков июля (2013 г. - 91,7 мм и 2015 г. - 89,9 мм) в сравнении с другими месяцами нивелирует высокий уровень эвапотранспирации этих месяцев (*в печати*).

ВЫВОДЫ

Существенных изменений в температурном режиме и общей увлажненности территории Кулундинской равнины с середины 1960-х гг., которые были отмечены жестокими засухами, не было нами выявлено. В 2012 году закончился внутривековой цикл пониженного увлажнения, начавшийся в 2002 г. После засушливого периода 2010-2012 гг. структура и количество осадков по ГМС Славгород, Рубцовск и Полуямки за 2013-2015 гг. были близки к периоду 1971-2000 гг., во время которого был выявлен кратковременный цикл повышенного увлажнения. Результаты изучения воздействия различных агротехнологий на распределение влажности почвы в метровом слое показали преимущества «прямого посева» перед технологией с осенней глубокой обработкой почв. В июне и июле 2015 года на глубинах 30 и 60 см влажность была на 40-50% выше под «прямым посевом», что особенно важно для формирования урожая зерновых.

Результаты исследований в перспективе позволят уточнить схемы агроклиматического районирования, выбрать и адаптировать оптимальные технологии земледелия в сухостепной, степной и лесостепной зонах внутриконтинентальных территорий Евразии в условиях региональных и глобальных изменений климата.

Работа выполнена в рамках научного проекта № 16-45-220662_p_a. Российского фонда фундаментальных исследований.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- Беляев В.И. Рациональные параметры технологии «no-till» и прямого посева при возделывании сельскохозяйственных культур в Алтайском крае // Вестник Алтайской науки. – 2015. – № 1 (23) – С. 7–12.
- Гнатовский В.Н. Некоторые пути адаптации земледелия сухостепной зоны Алтайского края к климату и почвам // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2010. – № 11(73). – С.5–9.
- Елесова Н. В., Силантьева М. М., Сперанская Н. Ю., Гребенникова А. Ю. Оценка и возможные пути восстановления деградированного пастбища в сухостепных условиях Кулунды // Вестник Алтайской науки. – 2014. – № 1 (19). – С. 204–208.
- Морозова Е. В Алтайском крае введен режим ЧС из-за засухи // Газета «Ведомости» от 27.07.2012 – Режим доступа: http://www.vedomosti.ru/politics/articles/2012/07/27/v_altajskom_krae_vveden_rezhim_chs – Загл. с экрана.
- Панфилов В.П. Водно-физическая характеристика почв Кулунды в связи с орошением / В.П. Панфилов // Кулундинская степь и вопросы её мелиорации. – Новосибирск: Наука, 1972. – С. 81–109.
- Понькина Е.В., Беднарикова З., Баворова М., Кузнецова А.А. Исследование факторов миграции сельской молодежи на основе байесовских сетей доверия: факторы перспектив профессиональной реализации // Сборник трудов всероссийской конференции по математике МАК-2015: "Математики – Алтайскому краю". – Барнаул: Изд-во Алтайский государственный университет, 2015. – С. 155–159.
- Пузанов А.В., Балькин Д.Н., Бондарович А.А., Щербинин В.В., О. Шибистова, Э. Стефан, Р. Майсснер Оценка водного баланса почв с использованием гравитационных взвешиваемых лизиметров // Мелиорация и водное хозяйство. – 2016. – №2. – С. 6–10
- Сляднев А.П., Фельдман Я.И., Важнейшие черты климата Алтайского края (без Горно-Алтайской АО) // Природное районирование Алтайского края. Т. 1.: Труды комплексной экспедиции. – М.: Изд-во АН СССР, 1958. – С. 9–61.
- Сляднев А.П. Географические основы климатического районирования и опыт их применения на юго-востоке Западно - Сибирской равнины // География Западной Сибири. – Новосибирск, 1965. – С. 3–122.
- Фрюауф М. Опыт и последствия североамериканского синдрома “dust bowl-пыльных бурь” для проекта «Кулунда» // Вестник Алтайской науки, 2014. – № 4. – С. 226–233.
- Харламова Н.Ф. Оценка и прогноз современных изменений климата Алтайского региона. – Барнаул: Изд-во Алтайского государственного университета, 2013. – 156 с.
- Харламова Н.Ф., Бондарович А.А., Козлова Д.С., Плехова А.В. Изменчивость увлажненности территории лесостепной и степной зон Алтайского края в течение 1982-2013гг. // География и природопользование Сибири: сборник научных статей, 2014. – Вып.18. – С. 206–215.
- Кулундинская степь и вопросы ее мелиорации /под ред. П.Я. Полубаринова-Кочина. – Новосибирск: Наука, 1972. – 508 с.
- Мосяенко Н.А. Агрогидрологические основы орошения в степной зоне (на примере Западной Сибири и Северного Казахстана). – Ленинград, Изд-во: Гидрометеиздат, 1972. – 214 с.
- 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. – №10. – S. 15–22.

REFERENCES

- Beljaev, V.I. (2015). Racional'nye parametry tehnologii «no-till» i prjamogo poseva pri vzdelyvanii sel'skohozjajstvennyh kul'tur v Altajskom krae. *Vestnik Altajskoj nauki*, 1(23), 7–12. (in Russian).
- Elesova, N.V., Silant'eva, M.M., Speranskaja, N.Ju., Grebennikova, A.Ju. (2014). Ocenka i vozmozhnye puti vosstanovlenija degradirovannogo pastbishha v suhostepnyh uslovijah Kulundy. *Vestnik Altajskoj nauki*, 1(19), 204–208. (in Russian).
- Fruhauf, M. (2014). Opyt i posledstvija severoamerikanskogo sindroma “dust bowl-pyl'nyh bur” dlja proekta «Kulunda». *Vestnik Altajskoj nauki*, 4, 226–233. (in Russian).
- Gnatovskij, V.N. (2010). Nekotorye puti adaptacii zemledelija suhostepnoj zony Altajskogo kraja k klimatu i pochvam. *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 11(73), 5–9. (in Russian).
- Harlamova, N.F. (2013). *Ocenka i prognoz sovremennyh izmenenij klimata Altajskogo regiona*. Barnaul: ASU. (in Russian).

- Harlamova, N.F., Bondarovich, A.A., Kozlova, D.S., Plehova, A.V. (2014). Izmenchivost' uvlazhnennosti territorii lesostepnoj i stepnoj zon Altajskogo kraja v techenie 1982-2013. *Geografija i prirodopol'zovanie Sibiri: sbornik nauchnyh statej*, 18, 206–215. (in Russian).
- Kulundinskaja step' i voprosy ee melioracii*. (1972). P.Ja. Polubarinov–Kochin (Ed.). Novosibirsk: Nauka. (in Russian).
- Morozova, E. (2012). *V Altajskom krae vveden rezhim ChS iz-za zasuhi*. Retrieved from: http://www.vedomosti.ru/politics/articles/2012/07/27/v_altajskom_krae_vveden_rezhim_chs (in Russian).
- Mosienko, N.A. (1972). *Agrohidrologicheskie osnovy oroshenija v stepnoj zone (na primere Zapadnoj Sibiri i Severnogo Kazahstana)*. Leningrad: Gidrometeoizdat. (in Russian).
- Panfilov, V.P. (1972). *Vodno-fizicheskaja karakteristika pochv Kulundy v svjazi s orosheniem*. In: *Kulundinskaja step' i voprosy ejo melioracii*. Novosibirsk: Nauka, 81–109. (in Russian).
- Pon'kina, E.V., Bednarikova, Z., Bavorova, M., Kuznecova, A.A. (2015). *Issledovanie faktorov migracii sel'skoj molodezhi na osnove bajesovskih setej doverija: faktory perspektiv professional'noj realizacii*. Proceed. All-Russian Conf. MAK-2015: "Matematiki – Altajskomu kraju". Barnul: ASU. (in Russian).
- Puzanov, A.V., Balykin, D.N., Bondarovich, A.A., Shherbinin, V.V., Shibistova, O., Stefan, E., Meissner, R. (2016). Ocenka vodnogo balansa pochv s ispol'zovaniem gravitacionnyh vzveshivaemyh lizimetrov. *Melioracija i vodnoe hozjajstvo*, 2, 6–10. (in Russian).
- Sljadnev, A.P., Fel'dman, Ja.I. (1958). *Vazhnejšie cherty klimata Altajskogo kraja (bez Gorno-Altajskoj AO)*. In: *Prirodnoe rajonirovanie Altajskogo kraja. Trudy kompleksnoj jekspedicii*. Moscow: SSSR Academy of Sciences, 9–61. (in Russian).
- Sljadnev, A.P. (1965). *Geograficheskie osnovy klimaticeskogo rajonirovanija i opyt ih primenenija na jugo-vostoke Zapadno-Sibirskoj ravniny*. In: *Geografija Zapadnoj Sibiri*. Novosibirsk, 3–122. (in Russian).
- Stephan, E., Meissner, R., Rupp, H., Fruhauf, M., Schmidt, G., Illiger, P., Bondarovitsch, A., Balykin, D., Scherbinin, V., Puzanov, A. (2014). Aufbau eines bodenhydrologischen Messnetzes in der sibirischen Kulundasteppe. *Wasserwirtschaft*, 10, 15–22.