



Вісник Дніпропетровського університету. Біологія, екологія.  
Visnik Dnipropetrovs'kogo universitetu. Seriâ Biologiâ, ekologiâ  
Visnyk of Dnipropetrovsk University. Biology, ecology.

Visn. Dnipopetr. Univ. Ser. Biol. Ekol. 2016. 24(2), 531–539.

doi:10.15421/011672

ISSN 2310-0842 print

ISSN 2312-301X online

www.ecology.dp.ua

УДК 551.506:631.41

## Водный режим почвы и урожайность сельскохозяйственных культур при различных технологиях возделывания в Кулундинской степи Алтайского края

В.И. Беляев<sup>1</sup>, Т. Майнелъ<sup>2</sup>, Л. Грунвальд<sup>3</sup>, Г. Шмидт<sup>5</sup>, А.А. Бондарович<sup>4</sup>, В.В. Щербинин<sup>4</sup>,  
Е.В. Понькина<sup>4</sup>, А.В. Мацюра<sup>4</sup>, Э. Штефан<sup>5</sup>, П. Иллигер<sup>5</sup>, Н.А. Кожанов<sup>6</sup>, Н.В. Рудев<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Алтайский государственный аграрный университет, Барнаул, Россия

<sup>2</sup>Компания «Амазон», Хасберген, Германия

<sup>3</sup>Компания «Амазон», Астана, Казахстан

<sup>4</sup>Центр исследования окружающей среды имени Гельмгольца, Фалькенберг, Германия

<sup>5</sup>Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия

<sup>6</sup>КХ «Партнер», с. Полуямки, Россия

Приведены результаты урожайности сельскохозяйственных культур на участках при различных технологиях возделывания с учетом данных сети автоматических станций климатического и почвенно-гидрологического мониторинга в сухой степи (за вегетационные периоды май – сентябрь 2013–2016 гг.). Опубликованы региональные данные по значимым эколого-климатическим параметрам, представляющие интерес для экологов, физиологов растений и фермеров, работающих на Кулундинской равнине. Сравнивали следующие варианты технологий возделывания культур: современная система, представляющая технологию “no-till”, без осенней обработки почвы; интенсивная технология глубокой осенней обработки почвы орудием ПГ-3-5 на глубину 22–24 см. Возделывание культур осуществляли с использованием следующей схемы севооборотов: современная система: 1 – 2 – 3 – 4 (пшеница – горох – пшеница – рапс); интенсивная система: 5/6 – 7/8 – 9/10 (пар – пшеница – пшеница). При использовании современной технологии наблюдается лучшая связь между различными слоями почвы. В варианте обычной советской системы так называемая «плужная подошва» на глубине 24 см создает барьер водопроницаемости, что, видимо, препятствует подъему влаги с более низких горизонтов. Результаты изучения хода влажности почвы на глубинах 30 и 60 см за отдельные годы показали преимущества современной технологии перед обычной системой: в варианте с использованием современной технологии прослеживается лучшая

Алтайский государственный аграрный университет, Красноармейский пр., 98, Барнаул, 656049, Алтайский край, Россия  
Altai State Agrarian University, Krasnoarmeyskiy Ave., 98, Barnaul, 656049, Altai Krai, Russia  
E-mail: belyaev@asuu.ru

Компания «Амазон», Хасберген, 49205, Германия  
Amazon Company, Hasbergen, 49205, Germany  
E-mail: Lars.Christian.Grunwald@bbg.leipzig.de

Компания «Амазон» в Казахстане, Сарыарка р-н, Астана, 010000, Казахстан  
Amazon Company in Kazakhstan, Saryarka District, Astana, 010000, Kazakhstan  
E-mail: Dr.Tobias.Meinel@amazone.de

Центр исследования окружающей среды имени Гельмгольца, Альтмеркише Више, 55, Фалькенберг, 39615, Германия  
Institute of GeoSciences and Geography, Martin Luther University Halle-Wittenberg, Von-Seckendorff-Platz, 4, Halle, 06120, Germany  
E-mail: eckart.stephan@geo.uni-halle.de

Алтайский государственный университет, пр. Ленина, 61, Барнаул, 656049, Алтайский край, Россия  
Altai State University, Lenin Ave., 61, Barnaul, 656049, Altai Krai, Russia  
Tel.: +7-385-229-12-21. E-mail: bondarovich@geo.asu.ru

КХ «Партнер», с. Полуямки, 656056, Алтайский край, Россия  
CH "Partner", Poluyamki Village, 656056, Altai Krai, Russia  
E-mail: rudev.nikolaj@mail.ru

связь между различными горизонтами и, вероятно, происходит восполнение влаги с более низких горизонтов. Различия в отдельные периоды наблюдений во многом обусловлены перераспределением влаги в почве в зависимости от погодных условий, культур в севообороте и технологии их возделывания. Причем средняя величина влагозапасов за период вегетации 2013–2016 гг. в метровом слое существенно не отличалась. С точки зрения использования почвенной влаги и получения прибавки урожая по данным за четыре года применение современной технологии с севооборотом «пшеница – рапс – пшеница – горох» было более эффективным, чем обычная система с севооборотом «пшеница – пар – пшеница – пшеница». Четырехлетний период наблюдений явно недостаточен для выявления преимуществ современной системы, поскольку за это время невозможно существенно улучшить качественные показатели почвы, которые в дальнейшем будут определять ее водоудерживающие характеристики и влагонакопление.

*Ключевые слова:* изменение климата; геоэкологический мониторинг; урожайность сельскохозяйственных культур; технологии земледелия; сухая степь; Кулундинская равнина

## Soil water regime and crop yields in relation to various technologies of cultivation in the Kulunda Steppe (Altai Krai)

V. Beliaev<sup>1</sup>, L. Grunwald<sup>2</sup>, T. Meinel<sup>3</sup>, G. Schmidt<sup>5</sup>, A.A. Bondarovich<sup>4</sup>, V.V. Scherbinin<sup>4</sup>,  
E.V. Ponkina<sup>4</sup>, A.V. Matsyura<sup>4</sup>, E. Stephan<sup>5</sup>, P. Illiger<sup>5</sup>, N.A. Kozhanov<sup>6</sup>, N.V. Rudev<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Altai State Agrarian University, Barnaul, Russia

<sup>2</sup>Amazon Company, Hasbergen, Germany

<sup>3</sup>Amazon Company, Astana, Kazakhstan

<sup>4</sup>Altai State University, Barnaul, Russia

<sup>6</sup>CH "Partner", Village of Poluyamki, Russia

This article presents the results of crop yield in areas with different technologies of cultivation based on the network of automatic stations that provide data on climatic and soil-hydrological monitoring in the dry steppe during the vegetation period of May–September 2013–2016. These data on regional ecological and climatic parameters are of great interest to the ecologists, plant physiologists, and farmers working in the Kulunda Plain (Altai Territory). We compared the following options for cropping technologies: the modern system, which is the "no-till", technology without autumn tillage; the intensive technology of deep autumn tillage by plough PG-3-5 at a depth of 22–24 cm. Cultivation of crops was carried out using the following scheme of crop rotation: the modern system: 1–2–3–4 (wheat – peas – wheat – rape); the intensive system: 5/6 – 7/8 – 9/10 (fallow – wheat – wheat). We believe that the use of modern technology in these conditions is better due to exchange between the different layers of soil. When the ordinary Soviet system, the so-called "plow sole", was used, at a depth of 24 cm, we observed that this creates a water conductivity barrier that seems to preclude the possibility of lifting water from the lower horizons. Results of the study of infiltration of soil moisture at the depth of 30 and 60 cm have shown in some years the advantages of the modern technology over the ordinary Soviet system: in the version with the use of modern technology we can trace better exchange between the various horizons and, probably, moisture replenishment from the lower horizons. Differences in individual observation periods are comparatively large due to the redistribution of soil moisture, depending on the weather conditions, the crops used in the crop rotations, and cultivation techniques. Moreover, the average moisture reserves within the one meter layer did not show any significant differences during the growing seasons of 2013–2016. In terms of soil moisture usage and productive grain yield according to the four year experiment, the application of the modern technology with crop rotation "wheat – rape – wheat – peas" was more effective than the ordinary Soviet system with crop rotation "wheat – fallow – wheat – wheat". The four-year observation period is clearly insufficient to identify the advantages of the modern system, as during this time it is impossible to significantly improve soil quality indicators, which will continue to determine its water-retaining properties and moisture accumulation.

*Keywords:* global and regional climate change; geo-ecological monitoring; crop yields; agricultural technology; dry steppe; Kulunda Plain

### Введение

Кулундинская степь – уникальная территория площадью 5,3 млн га, имеющая существенное значение для развития агропромышленного комплекса Алтайского края. Сложность хозяйственной деятельности в Кулунде во многом обусловлена специфическими погодными условиями, которые на фоне глобальных изменений климата приобретают как позитивный, так и негативный характер (Mosienko, 1972; Polubarinov-Kochin, 1972; Kiryushin, 2013; Fryuau, 2014; Belyaev, 2015). Особенности территории Кулунды является обилие света и тепла с суммами активных температур 2 000–2 600 °С и недостаточным увлажнением в течение годового периода – 230–350 мм в течение вегетационного периода. Распределение осадков по территории и по сезонам достаточно неравномерное (Slyadnev, 1965).

Почвы исследуемой территории развивались на мезозойско-кайнозойском седименте в соответствующих климатических условиях. 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, солоди), которые, как правило, используются под пастбища. Для этих условий особенно важным является изучение водного режима почв, обоснование эффективных технологий возделывания сельскохозяйственных культур и их чередования в условиях изменяющегося климата с учетом экологических и экономических факторов (Puzanov, 2014).

По-настоящему пересмотреть взгляды на сложившуюся систему обработки почвы заставили разразившиеся в Северной Америке в 1930-х годах пыльные бури. В конце 1930-х – начале 1940-х годов в США и Канаде стали применять почвозащитную обработку – мульчирование стерней. Она заключалась в рыхлении почвы без оборота пласта на глубину 12–25 см с оставлением на поверхности стерней. Эта система обработки

не смогла вытеснить отвальную вспашку: во-первых, вследствие инерции мышления земледельцев, во-вторых, потому, что отвальная вспашка во многих случаях в отсутствие дефляции эффективнее безотвальной, особенно в борьбе с сорняками.

Разразившиеся в 1950-х годах в США пыльные бури дали новый толчок к внедрению безотвальных систем обработки, общему уменьшению интенсивности и количества обработок, стала внедряться даже нулевая система обработки, когда посев культур производился в необработанную почву прямо по стерне предшествующей культуры (Baig and Gamache, 2009; Derpsch and Friedrich, 2009; Kassam et al., 2010).

В последние годы резко возросли средства, вкладываемые в сельское хозяйство. Одна из причин этого заключается в деградации почв под действием эрозии и обработки, распыления ее структуры, уменьшения содержания гумуса. В то же время на полях появилось много мощной «энергонасыщенной» техники, имеющей большую массу. Возникли проблемы деградации почвы при уплотнении ее и разрушении под действием движущейся по полю техники (Crabtree, 2010; Gabriela et al., 2012; Scanlon et al., 2012; Crosbie et al., 2013a, 2013b; Liu et al., 2014).

Одно из основных направлений в решении этой задачи – минимализация обработки почвы, то есть сокращение количества приемов при возделывании сельскохозяйственных культур, уменьшение интенсивности воздействия обработки на почву, уменьшение энергоемкости приемов обработки. Например, при замене отвальной вспашки плоскорезной обработкой на ту же глубину уменьшается воздействие рабочих органов на почву, уменьшается количество топлива, которое расходуется на обработку единицы площади, повышается производительность труда. Количество обработок можно сократить. Когда поле относительно свободно от сорняков, применяются химические или биологические методы их уничтожения, плотность почвы близка к оптимальной для развития сельскохозяйственной культуры (Eitzinger et al., 2004; Lopez-Utrera et al., 2006; Steward et al., 2013; Jasechko et al., 2014).

Особое значение в процессах, определяющих продуктивность и устойчивость агроценоза, имеет сохранение на поверхности почвы растительных остатков. Известна их решающая роль в защите почвы от ветровой эрозии. Разработаны эмпирические связи эродированности почв и количества стерни на поверхности. Определенное значение пожнивных остатки имеют и в защите почвы от водной эрозии, однако эта их роль изучена крайне слабо. Важно определить соответствующие количественные связи.

Исходя из этих предпосылок, минимализация обработки возможна и осуществляется на большей части территории Евразии, особенно там, где равновесная плотность почвы близка к оптимальной, или велика опасность проявления ветровой и водной эрозии. С другой стороны, чрезвычайное увлечение минимализацией обработки, особенно проведением только безотвальных обработок, приводило на практике к самоотравлению почвы, массовому размножению сорняков, если не было эффективных средств борьбы с ними помимо обработки. Как показал опыт земледельцев Северной Америки, где

минимальные системы земледелия применяются длительное время, отвальную обработку в настоящее время нельзя полностью исключить из систем обработки независимо от почвенно-климатических условий. Периодичность ее применения обуславливается указанными выше причинами. Необходимость в применении отвальной обработки может возникать один раз в несколько лет (Ines et al., 2001; Lindwall and Sonntag, 2010; Westenbroek et al., 2010; Soldevilla-Martinez et al., 2014).

За последние 20 лет безотвальная вспашка видоизменила системы земледелия, основанные на вспашке, на больших площадях, в частности, в Северной и Южной Америке и в Австралии. За последние десять лет система “no-till” нашла свое распространение в Азии и Африке, а также в Европе. В настоящее время по этим принципам ведется земледелие на около 125 млн га пашни, что составляет 9% пахотных земель по всему миру на всех континентах и агроэкологических зонах (Friedrich et al., 2012).

На текущий момент издано всего несколько монографий, посвященных изучению теплового и водного баланса за период 1953–1971 гг. – период интенсивного освоения Кулундинской равнины (Mosienko, 1972; Polubarinov-Kochin, 1972; Voronina et al., 1972). Поэтому изучение водного режима почвы и урожайности сельскохозяйственных культур при различных технологиях возделывания в Кулундинской степи Алтайского края представляет значительный практический и научный интерес.

## Материал и методы исследований

С целью углубленного исследования природных и технологических факторов динамики урожайности сельскохозяйственных культур на территории степной зоны с 2011 г. начал работу пятилетний германо-русский проект «Кулунда – как предотвратить глобальный синдром “dust bowl” – пыльных бурь»; далее – проект Кулунда (Fruhauf, 2014). Особое место в проекте Кулунда занимает сравнение различных технологий возделывания культур в севообороте. Одна из опытных площадок находится в хозяйстве ООО КХ «Партнер» Михайловского района. Закладка опыта выполнена осенью 2012 года. Сравнивали следующие варианты технологий возделывания культур:

– современная технология, представляющая собой технологию “no-till” без осенней обработки почвы;

– интенсивная технология (технология глубокой осенней обработки почвы орудием ПП-3-5 на глубину 22–24 см).

Возделывание культур осуществляли в севооборотах:

– современная технология: 1 – 2 – 3 – 4 (пшеница – горох – пшеница – рапс);

– интенсивная технология: 5/6 – 7/8 – 9/10 (пар – пшеница – пшеница).

Весной на опытном поле проводили боронование поперек обработки. До посева на делянках проводили обработку глифосатом сплошного действия. Посевы культур выполняли в агротехнические сроки. Характеристики вариантов по культурам, их размещению, глубине заделки семян, нормам посева и дозам внесения удобрений приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

**Характеристики вариантов по культурам, глубине заделки семян, нормам высева и дозам внесения удобрений на участках с современной технологией обработки почвы**

Культура	Предшественник	Глубина заделки семян, см	Норма высева, кг/га	Доза внесения удобрений, кг/га
Яровая пшеница	рапс	5	120	100
Горох	яровая пшеница	6	180	50
Яровая пшеница	горох	5	120	100
Рапс	яровая пшеница	4	4	100

Таблица 2

**Характеристики вариантов по культурам, глубине заделки семян, нормам высева и дозам внесения удобрений на участках с интенсивной технологией обработки почвы**

Культура	Предшественник	Глубина заделки семян, см	Норма высева, кг	Доза внесения удобрений, кг
Яровая пшеница	механической пар	5	150	0
Яровая пшеница	химической пар	5	150	0
Стерня яровой пшеницы	механический пар	5	150	0
Стерня яровой пшеницы	химический пар	5	150	0
Механический пар	стерня яровой пшеницы	4	0	0
Химический пар	стерня яровой пшеницы	глифосат	0	0

Посев культур по интенсивной технологии выполняли сеялками СЗС-2,1, а по современной технологии – опытной сеялкой Condor.

Для изучения взаимосвязи между технологиями возделывания, метеорологическими и почвенно-гидрологическими параметрами была создана мониторинговая сеть, которая состоит из метеостанции, двух почвенно-гидрологических станций фирмы-производителя ООО «Эко-Тех» (Германия, Eco-Tech) и лизиметрической установки гравитационного действия (лизиметр) фирмы-производителя ООО «Приборы для окружающей среды» (Германия, UGT).

Почвенно-гидрологические станции установлены под тестовыми участками с различными технологиями возделывания культур в севообороте: на повторности опытов 0, делянки 3 (современная технология) и 11 (интенсивная технология). Влажность (%), осмотическое давление и температуру почвы измеряли на глубинах 30, 60, 120 см (Zhang et al., 2005, 2011). Дополнительно в весенний период (начало мая), по всходам (начало июня) и при уборке (сентябрь) на опытных делянках определяли влажность почвы по слоям до одного метра и запасы влаги в метровом слое прибором для экспресс-анализа влажности почв (рис. 1).

При появлении всходов на делянках определяли глубину заделки семян, количество всходов по рядкам посевов, высоту растений. На период уборки проводили отбор проб урожая по делянкам, определяли влажность почвы по слоям, запасы влаги в метровом слое почвы, высоту растений и оценивали элементы структуры урожая: количество растений, сохранившихся к уборке, продуктивных стеблей, массу зерна в колосе, количество зерен в колосе, массу 1 000 зерен, биологический урожай и качество зерна: клейковину, протеин, измерение деформации клейковины, натуру (Eitzinger et al., 2004; Belyaev, 2015; Maksyutov et al., 2015).

Особое внимание уделено ходу влажности в метровом слое почвы, где почвенно-гидрологические станции были установлены в 2013 г. одновременно с началом

опытов под двумя вариантами технологий на участках размерами 12 × 30 м. На опытных делянках, оборудованных почвенно-гидрологическими станциями, сравнивали следующие варианты агротехнологий:

- а) интенсивная технология; размещение культур в севообороте: пшеница (2013) – пар (2014) – пшеница (2015) – пшеница (2016);
- б) современная технология; севооборот: пшеница (2013) – рапс (2014) – пшеница (2015) – горох (2016).



**Рис. 1. Комплект для экспресс-анализа влажности почв: ручной прибор-индикатор HH2 Moisture Meter, Гидрозонд FDR ML2x «Эко-Тех», Германия**

Количество всходов, глубину заделки семян, высоту растений по рядкам посевов определяли в 10-кратной повторности. Отбор проб урожая выполнен в 5-кратной повторности.

### Результаты

На основе данных метеостанции Полуямки за 2013–2015 гг. выявлены даты устойчивого перехода среднесуточных температур воздуха через 0, 5 и 10 °С. В качест-

ве даты начала (окончания) вегетационного периода (Crabtree, 2010; Friedrich et al., 2009; Kassam et al., 2009) принят устойчивый переход среднесуточных температур воздуха через 5 °С (табл. 3).

Анализ данных за вегетационный период (май – сентябрь 2013–2016 гг.) показал, что наиболее теплообеспеченным был период 2015 г., наиболее увлажненными периодами были 2014 и 2016 гг. (табл. 4). Расчетные среднемесячные данные по фактической влажности почвы

за вегетационные периоды 2013–2016 гг. приведены в сводных таблицах (табл. 5). Продуктивную влагу не рассчитывали. Сравнение данных средней влажности почвы, полученных на участках с применением различных технологий обработки почвы на глубинах 30, 60 и 120 см, указывает на высокую статистически значимую корреляционную связь показателей влажности между почвенными слоями и вариантами агротехнологий (табл. 6).

Таблица 3

**Даты перехода устойчивых среднесуточных температур воздуха через 0, 5 и 10 °С в 2013–2016 гг. по данным метеостанции Полуямки**

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	нет данных / 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
2016	24 марта / 12 октября	1 апреля / 4 октября	12 апреля / 24 сентября	187

Примечание: \* – имеются данные только с 01.05.2013.

Таблица 4

**Среднемесячные температура и влажность воздуха, сумма осадков, скорость ветра и солнечная радиация за вегетационный период 2013–2016 гг. (метеорологическая станция Полуямки)**

Период	Средняя температура воздуха, °С	Средняя солнечная радиация, Вт/м <sup>2</sup>	Сумма осадков, мм		Средняя влажность воздуха, %	Средняя скорость ветра, м/с
			Вайсала	Хелльманн		
2013 г.						
Май	11,4	214,7	37,1	55,5	54,8	3,5
Июнь	17,2	279,7	20,2	37,6	52,1	2,6
Июль	20,7	238,2	51,5	91,7	63,3	2,3
Август	19,1	209,1	42,7	78,7	65,8	2,6
Сентябрь	12,1	154,7	12,8	20,2	59,9	2,4
Среднее / сумма	16,1	219,3 / 1 096,4	164,3	283,7	59,2	2,7
Среднее Вайсала – Хелльманн			224,0		–	
2014 г.						
Май	12,8	253,5	30,2	53,6	44,8	3,2
Июнь	20,9	287,0	11,8	29,0	44,1	2,8
Июль	21,0	239,7	55,8	122,3	55,8	2,8
Август	20,2	229,9	25,5	48,3	56,8	2,4
Сентябрь	10,0	138,5	17,1	18,3	62,3	2,6
Среднее / сумма	17,0	229,6 / 1 148,1	140,4	271,5	52,8	2,8
Среднее Вайсала – Хелльманн			206,0		–	
2015 г.						
Май	15,7	279,6	21,4	22,4	49,2	3,1
Июнь	20,9	299,3	38,7	59,0	54,6	3,2
Июль	21,4	246,1	63,7	89,8	55,2	2,8
Август	19,2	216,1	40,5	55,4	51,9	2,5
Сентябрь	11,6	133,4	17,0	17,9	56,9	2,6
Среднее / сумма	17,8	234,9 / 1 174,5	181,3	244,5	53,6	14,2
Среднее Вайсала – Хелльманн			212,9		–	
2016 г.						
Май	13,1	257,5	31,4	45,7	46,2	2,9
Июнь	20,3	267,9	45,7	56,7	53,6	2,5
Июль	21,6	223,3	95,3	136,9	68,5	2,1
Август	18,0	230,3	17,4	30,2	62,5	2,4
Сентябрь*	16,0	175,9	0,7	2,2	50,7	2,3
Среднее / сумма	17,8	232,9 / 1 154,9	190,5	271,7	56,6	2,4
Среднее Вайсала – Хелльманн			231,1		–	

Примечание: \* – данные с 01.09.2016 по 25.09.2016; данные по количеству осадков приведены по датчику фирмы «Вайсала», Финляндия – на высоте 2 м и суммарному осадкомеру фирмы «Эко-Тех», ФРГ – «Хелльманн» на высоте 1 м.

Среднемесячные значения влажности почв под различными системами земледелия, вегетационный период 2013–2016 гг. (метеорологическая станция Полужамки)

Период	Интенсивная технология обработки почвы, влажность почвы, (%)			Современная система “no-till”, влажность почвы, (%)		
	глубина 30 см	глубина 60 см	глубина 120 см	глубина 30 см	глубина 60 см	глубина 120 см
2013 г.	яровая пшеница			яровая пшеница		
Май	30,7	31,4	30,0	28,2	31,5	30,5
Июнь	29,7	33,4	28,5	26,0	30,4	27,8
Июль	18,9	26,7	26,4	19,5	19,1	15,6
Август	14,0	18,5	18,4	12,8	15,6	13,6
Сентябрь	1,4	17,3	16,2	12,3	14,9	12,6
Среднее	21,3	25,5	23,9	19,8	22,3	20,0
2014 г.	механический пар			рапс		
Май	–	–	–	13,4	21,9	22,6
Июнь	–	–	–	15,0	21,8	20,9
Июль	–	–	–	15,1	16,5	13,5
Август	–	–	–	12,9	15,7	16,3
Сентябрь <sup>1</sup>	20,1	20,9	20,0	11,9	14,6	12,0
Среднее	20,1	20,9	20,0	15,0	18,1	12,0
2015 г.	яровая пшеница			яровая пшеница		
Май	–	–	–	15,9	22,7	23,1
Июнь <sup>2</sup>	11,7	15,3	20,4	18,0	22,3	20,4
Июль <sup>3</sup>	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
Среднее	12,1	13,6	16,1	14,7	17,8	16,3
2016 г.	яровая пшеница			горох		
Апрель	21,5	21,7	20,8	15,5	21,7	23,3
Май <sup>4</sup>	20,8	21,2	20,5	17,5	22,6	23,1
Июнь	–	–	–	17,9	22,6	20,8
Июль	12,7	14,5	16,2	17,5	17,4	14,2
Август	11,6	13,6	16,5	16,4	15,0	12,3
Сентябрь	11,3	13,4	16,7	15,4	14,8	11,8
Среднее	15,6	16,9	18,1	16,7	19,1	17,6

Примечание: 1 – данные по “no-till” с 07.09.2014 по 30.09.2014; данные по “no-till” и интенсивной технологии с 01.03.2014 по 23.03.2014; 2 – данные по интенсивной технологии с 25.06.2015 по 30.06.2015; 3 – нет данных по “no-till” и интенсивной технологии с 11.07.2015 по 15.07.2015; 4 – данные по “no-till” только 01.05.2016 и с 23.07.2016 по 07.09.2016; данные по интенсивной технологии с 01.04.2016 по 25.09.2016.

Таблица 6

Корреляционная матрица влажности почвы по различным слоям и вариантам технологий

Слой почвы, см	Технология	30 см		60 см		120 см	
		СС	ИС	СС	ИС	СС	ИС
30 см	СС	–	0,77*	0,84*	0,80*	0,84*	0,80*
	ИСС	–	–	0,80*	0,94*	0,87*	0,90*
60 см	СС	–	–	–	0,84*	0,96*	0,80*
	ИСС	–	–	–	–	0,88*	0,99*
120 см	СС	–	–	–	–	–	0,83*
	ИСС	–	–	–	–	–	–

Примечание: СС – современная система, ИС – интенсивная система; \* – результаты значимы при P = 0,001.

Отмечена сильная связь между влажностью почвы на всех глубинах, а при использовании системы “no-till” сильная связь установлена для глубин 60 и 120 см с уровнем влажности на глубине 30 см, что обусловлено изменением водного режима в слоях до 60 см в связи с отказом от обработки почвы.

Этот вывод подтверждается оценками различий влажности почвы при использовании двух технологий обработки, выполненными по формуле:

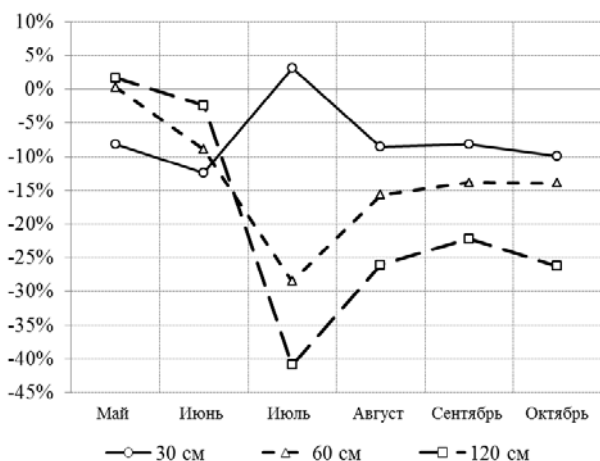
$$(NT - OS) / OS \quad (1),$$

где NT – влажность почвы с использованием технологии

“no-till” (%), OS – влажность почвы с использованием интенсивной технологии (%).

В 2013 г., скорее всего, проявились проблемы «переходного этапа». Например, влажность в слое 30 см на протяжении всего вегетационного периода была выше на участках с интенсивной обработкой почвы. Особенно хорошо эти различия проявились в начале вегетации (май – июнь). В июле на глубине 30 см влажность почвы на участках с современной технологией была лишь на 3% выше, чем на участках с интенсивной технологией обработки почвы. Далее, до конца вегетации, влаги на

участках с современной технологией было меньше, чем на участках с интенсивной технологией. Интересно, что количество влаги на участках с интенсивной технологией в почве на глубине 60 и 120 см в июле достигли одинаковых значений, и далее до конца вегетации существенного разрыва в количестве при одновременном понижении не наблюдалось. На участках с современной технологией на глубине 60 см влаги было больше, чем на глубине 30 и 120 см на протяжении всей вегетации (рис. 2).



**Рис. 2. Динамика различий влажности в почвенном профиле при сравнении современной и интенсивной технологии (май – октябрь 2013 г., почвенно-гидрологическая станция Полуямки):** расчет различия влажности почвы выполнен по формуле (1); отрицательное значение показывает, что влажность почвы при современной технологии ниже, чем при использовании интенсивной технологии, положительное – наоборот

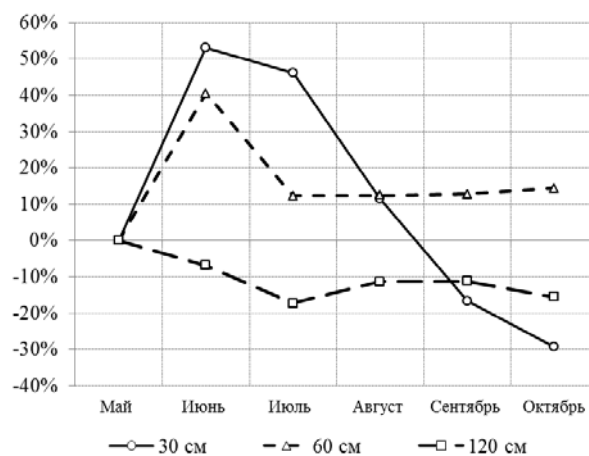
Подобный результат объясняется, скорее всего, двумя причинами:

- 1) отсутствием подстилки из пожнивных остатков на участках с современной технологией обработки почвы, которые были минимальны в первый год опыта;
- 2) при почвенной обработке по интенсивной технологии разрушение капилляров привело в целом к лучшему водоудержанию в 30 см слое почвы.

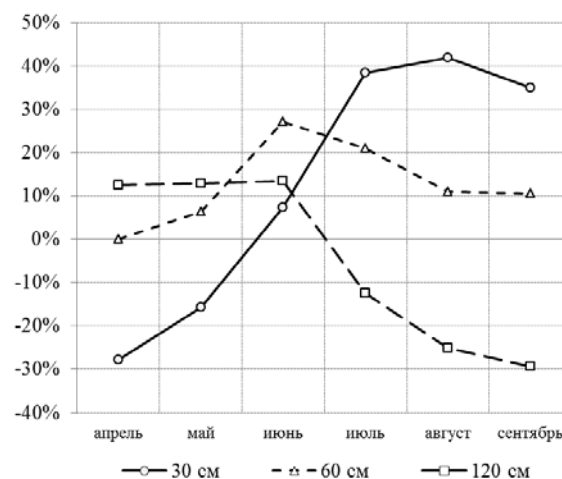
Особенно хорошо преимущества современной технологии проявились в июне – июле 2015 г., в период формирования и созревания урожая на глубине 30 и 60 см. В июне на участках “no-till” на глубине 30 см влаги было на 53%, а на 60 см – на 41% больше, чем на участках с интенсивной обработкой. Уже в июле эти различия составили: на глубине 30 см – 46%, на глубине 60 см – 12%. Вместе с тем, на глубине 120 см влаги на участках “no-till” было меньше, чем на участках с интенсивной обработкой (рис. 4).

В 2016 г. начальная влагообеспеченность участков с интенсивной технологией на глубине 30 см была на 30% выше, чем на участках с современной технологией обработки почвы. В период июня – августа технология “no-till” демонстрирует преимущества относительно интенсивной обработки почвы по распределению и накоплению влаги в почве на глубине 30 и 60 см (на 40% и 20% соответственно, рис. 5). Кроме того, на опытных делянках с применением этих двух технологий определяли общую урожайность культур и измеряли общие

запасы влаги в метровом слое почвы (конец апреля, середина июня, конец августа, начало сентября) за весь период исследований. Замеры осуществляли при помощи ручного влагомера через каждые 10 см (рис. 2). Запасы влаги приведены в таблице 7. Анализ урожайности с применением различных технологий обработки почвы не выявил существенных различий (табл. 8).



**Рис. 4. Динамика различий влажности (%) в почвенном профиле при сравнении современной и интенсивной технологии (май – октябрь 2015 г., почвенно-гидрологическая станция Полуямки):** обозначения см. рис. 3



**Рис. 5. Динамика различий влажности в почвенном профиле (%) при сравнении современной и интенсивной технологии обработки почвы (апрель – сентябрь 2016, почвенно-гидрологическая станция Полуямки):** обозначения см. рис. 3; данные для участков с интенсивной обработкой за июль интерполированы

## Обсуждение

Результаты анализа показывают, что при использовании современной технологии наблюдается лучшее распределение влаги на различных глубинах. При использовании интенсивной технологии на глубине 24 см образуется так называемая «плужная подошва», что создает барьер водпроницаемости, который препятствует подъему влаги из нижних почвенных горизонтов (Belyaev, 2015).

Таблица 7

## Общие запасы влаги (мм) в метровом слое почвы относительно разных технологий обработки почвы

Технология	2013 г.			2014 г.			2015 г.			2016 г.			Среднее
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Интенсивная	195,1	168,0	117,6	140,9	101,1	52,5	176,7	176,3	123,9	208,7	202,4	101,8	147,1
Современная	197,8	170,0	121,6	177,5	108,4	71,9	179,4	156,7	124,1	148,3	196,5	94,3	145,5

Примечание: см. табл. 1; сроки замеров запасов влаги: 1 – конец апреля, 2 – середина июня, 3 – конец августа – начало сентября.

Таблица 8

## Урожайность возделываемых культур по вариантам технологий обработки почвы

Технология обработки почвы		2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.
Современная	культура	пшеница	рапс	пшеница	горох
	урожай, ц/га	26,1	5,7	14,7	30,7
Интенсивная	культура	пшеница	пар	пшеница	пшеница
	урожай, ц/га	26,9	0,0	14,1	23,3

В.П. Панфилов (Panfilov, 1972) отмечал, что характерная особенность порового пространства супесчаных каштановых почв определяет незначительную капиллярную водоподъемную способность почв Кулунды. Это объясняется порозностью супесчаных каштановых почв, которая составляет менее 50%. При этом 70% – это поры диаметром более 3 мкм, а на долю мелких пор приходится только 30%. Подобная форма порового пространства свидетельствуют о слабой способности почв к удержанию влаги (Lindwall and Sonntag, 2010; Liua et al., 2011; Stanton et al., 2013) и снижении водоподъемных свойств почвы. Таким образом, при иссушении поверхностных горизонтов почвы не происходит капиллярного передвижения влаги и восполнения водного дефицита в этих горизонтах за счет запасов влаги нижележащих слоев почвы (Panfilov, 1972; Lopez-Urrea et al., 2006; Crosbie et al., 2013b).

В 2013 году значимых различий в запасах влаги на метровом слое почвы по сравниваемым технологиям не наблюдали. Урожайность возделываемой яровой пшеницы также отличалась незначительно (26,1 и 26,9 ц/га при использовании современной и интенсивной технологии обработки почвы соответственно).

Весной 2015 г. значимых различий в запасах влаги относительно вариантов технологий не выявлено, а в летний период достоверное увеличение зафиксировано при использовании современной технологии (в среднем на 19,6 мм). Увеличение урожайности яровой пшеницы при применении современной технологии составило 0,6 ц/га. Значительное преимущество во влагонакоплении при использовании современной технологии получено весной 2016 г. (60,4 мм), а к осени этот показатель снизился до 7,5 мм.

## Выводы

Результаты исследования динамики влажности почвы показали определенные преимущества современной технологии перед интенсивной технологией обработки почвы; при использовании современной технологии прослеживается более выраженная связь между запасами влаги на исследованных глубинах, и, вероятно, происходит движение влаги из более глубоких слоев почвы.

Различия распределения влаги в отдельные периоды наблюдений во многом обусловлены погодными условиями, культурами севооборота и технологиями их возделывания; средняя величина влагозапасов в периоды вегетации 2013–2016 гг. в метровом слое почвы практически идентична.

С точки зрения распределения почвенной влаги более эффективна комбинация с использованием современной технологии с севооборотом «пшеница – рапс – пшеница – горох», чем интенсивная технология с севооборотом «пшеница – пар – пшеница – пшеница».

Продолжение мониторинговых исследований позволит качественно оценить потенциальные преимущества современной системы обработки почвы в данных почвенно-климатических условиях относительно распределения и баланса влаги в почве, влагозапасов и конечных результатов земледелия – урожайности культур.

## Библиографические ссылки

- Baig, M.N., Gamache, P.M., 2009. The economic, agronomic and environmental impact of no-till on the Canadian Prairies. Alberta Reduced Tillage Linkages, Canada.
- Belyaev, V.I., 2015. Ratsional'nye parametry tekhnologii "no-till" i pryamogo poseva pri vozdelevanii sel'skokhozyayvennykh kul'tur v Altaiskom krae [Rational technology parameters of "no-till" and direct seeding in the cultivation of agricultural crops in the Altai region]. Vestnik Altaiskoi Nauki 23, 7–12 (in Russian).
- Crabtree, B., 2010. In search for sustainability in dryland agriculture. Crabtree Agricultural Consulting, Australia.
- Crosbie, R.S., Pickett, T., Mpelasoka, F.S., Hodgson, G., Charles, S.P., Barron, O.V., 2013a. An assessment of the climate change impacts on groundwater recharge at a continental scale using a probabilistic approach with an ensemble of GCMs. Climatic Change 117, 41–53.
- Crosbie, R.S., Scanlon, B.R., Mpelasoka, F.S., Reedy, R.C., Gates, J.B., Zhang, L., 2013b. Potential climate change effects on groundwater recharge in the high plains aquifer, USA. Water Resour. Res. 49, 3936–3951.
- Derpsch, R., Friedrich, T., 2009. Development and current status of no-till adoption in the world. Proceedings on CD, 18th Triennial Conference of the International Soil Tillage Research Organization (ISTRO). Izmir, Turkey.
- Eitzinger, J., Trnka, M., Hösch, J., Žalud, Z., Dubrovský, M., 2004. Comparison of CERES, WOFOST and SWAP models



- in simulating soil water content during growing season under different soil conditions. *Ecol. Model.* 171, 223–246.
- Friedrich, T., Derpsch, R., Kassam, A., 2012. Overview of the global spread of conservation agriculture. *Field Actions Science Reports* [Online], Special Issue 6. Retrieved from: <http://factsreports.revues.org/1941>
- Friedrich, T., Kassam, A.H., Shaxson, F., 2009. Conservation agriculture. In: *Agriculture for developing countries. Science and Technology Options Assessment (STOA) Project*, European Technology Assessment Group, Karlsruhe, Germany.
- Fryuauuf, M., 2014. Opyt i posledstviya severoamerikanskogo sindroma "dust bowl – pyl'nykh bur" dlya proekta «Kulunda» [The experience and the effects of the North American syndrome "dust bowl – Dust Bowl" for "Kulunda" project]. *Vestnik Altaiskoi Nauki* 4, 226–233 (in Russian).
- Gabriela, J.L., Munoz-Carpenab, R., Quemadaa, M., 2012. The role of cover crops in irrigated systems: Water balance, nitrate leaching and soil mineral nitrogen accumulation. *Agr. Ecosyst. Environ.* 155, 50–61.
- Ines, A.V.M., Droogers, P., Makin, I.W., Das Gupta, A., 2001. Crop growth and soil water balance modeling to explore water management options. *IWMI Working Paper 22*. International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka.
- Jasechko, S., Birks, S.J., Gleeson, T., Wada, Y., Fawcett, P.J., Sharp, Z.D., McDonnell, J.J., Welker, J.M., 2014. The pronounced seasonality of global groundwater recharge. *Water Resour. Res.* 50, 8845–8867.
- Kassam, A.H., Friedrich, T., Derpsch, R., 2010. Conservation agriculture in the 21st century: A paradigm of sustainable agriculture. *Proceedings of the European Congress on Conservation Agriculture*. Madrid, Spain.
- Kassam, A.H., Friedrich, T., Shaxson, F., Pretty, J., 2009. The spread of conservation agriculture: Justification, sustainability and uptake. *Int. J. Agr. Sustain.* 7(4), 1–29.
- Kiryushin, V.I., 2013. Problema minimizatsii obrabotki pochvy: Perspektivy razvitiya i zadachi issledovaniy [The problem of minimizing tillage: Prospects for development and research tasks]. *Zemledelie* 7, 3–6 (in Russian).
- Polubarinov-Kochin, P.Y. (ed.), 1972. Kulundinskaya step' i voprosy ee melioratsii [Kulunda steppe and questions of its reclamation]. *Nauka*, Novosibirsk (in Russian).
- Lindwall, C.W., Sonntag, B., 2010. Landscape transformed: The history of conservation tillage and direct seeding, knowledge impact in society. *University of Saskatchewan*, Saskatoon.
- Liu, D., Wang, G., Mei, R., Yu, Z., Yu, M., 2014. Impact of initial soil moisture anomalies on climate mean and extremes over Asia. *J. Geophys. Res. Atmos.* 119, 529–545.
- Liua, H.L., Yanga, J.Y., Tana, C.S., Drurya, C.F., Reynoldsa, W.D., Zhanga, T.Q., Baib, Y.L., Jinb, J., 2011. Simulating water content, crop yield and nitrate-N loss under free and controlled tile drainage with subsurface irrigation using the DSSAT model. *Agric. Water Manage.* 98, 1105–1111.
- Lopez-Urrea, R., Martin de Santa Olalla, F., Fabeiro, C., Moratalla, A., 2006. Testing evapotranspiration equations using lysimeter observations in a semiarid climate. *Agric. Water Manage.* 85, 15–26.
- Maksyutov, N.A., Zhdanov, V.M., Skorokhodov, V.Y., Kaftan, Y.V., Mitrofanov, D.V., Zenkova, N.A., Zhizhin, V.N., 2015. Vlagosberegayushchie priemy i tekhnologii v zemledelii Orenburzh'ya [Water saving techniques and technologies in the agriculture of Orenburg region]. *Zernovoe Khozyaistvo Rossii* 6, 67–72 (in Russian).
- Mosienko, N.A., 1972. Agrogidrologicheskie osnovy orosheniya v stepnoi zone (na primere Zapadnoi Sibiri i Severnogo Kazakhstana) [Agrohydrological irrigation bases in the steppe zone (by the example of Western Siberia and Northern Kazakhstan)]. *Gidrometeoizdat*, Leningrad (in Russian).
- Panfilov, V.P., 1972. Vodno-fizicheskaya kharakteristika pochv Kulundy v svyazi s orosheniem [Water-physical characteristics Kulunda soils due to irrigation]. *Nauka*, Novosibirsk (in Russian).
- Puzanov, A., 2014. Aufbau eines bodenhydrologischen Messnetzes in der sibirischen Kulunda steppe. *Wasserwirtschaft* 10, 15–22.
- Scanlon, B.R., Faunt, C.C., Longuevergne, L., Reedy, R.C., Alley, W.M., McGuire, V.L., McMahon, P.B., 2012. Groundwater depletion and sustainability of irrigation in the US High Plains and Central Valley. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 109, 9320–9325.
- Slyadnev, A.P., 1965. Geograficheskie osnovy klimaticheskogo raionirovaniya i opyt ikh primeneniya na yugo-vostoke Zapadno-Sibirskoi ravniny [Geographical bases of climatic regions and the experience of their application in the south-east of the West-Siberian Plain]. *Geografiya Zapadnoi Sibiri*. Novosibirsk (in Russian).
- Soldevilla-Martinez, M., Quemada, R., López-Urrea, R., Muñoz-Carpena, J.I., Lizaso, J.I., 2014. Soil water balance: Comparing two simulation models of different levels of complexity with lysimeter observations. *Agric. Water Manage.* 139, 53–63.
- Stanton, J.S., Ryter, D.W., Peterson, S.M., 2013. Effects of linking a soil-waterbalance model with a groundwater-flow model. *Groundwater* 51, 613–622.
- Steward, D.R., Bruss, P.J., Yang, X., Staggenborg, S.A., Welch, S.M., Apley, M.D., 2013. Tapping unsustainable groundwater stores for agricultural production in the High Plains Aquifer of Kansas, projections to 2110. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 110, 3477–3486.
- Voronina, L.V., Pazukhina, R.A., Slyadnev, A.P., 1972. K voprosu o teplovom balanse yugo-vostoka Zapadno-Sibirskoi ravniny [Comments on the heat balance of the south-east of the West Siberian Plain]. *Geografiya Zapadnoi Sibiri* 60, 34–72 (in Russian).
- Westenbroek, S.M., Kelson, V., Dripps, W., Hunt, R., Bradbury, K., 2010. SWB – a modified thornthwaite-mather soil-water-balance code for estimating groundwater recharge. *US Department of the Interior, US Geological Survey, Ground Resources Program*.
- Yue, S., Pilon, P., Cavadias, G., 2002. Power of the Mann-Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. *J. Hydrol.* 259, 254–271.
- Zhang, X., Alexander, L., Hegerl, G.C., Jones, P., Tank, A.K., Peterson, T.C., Trewin, B., Zwiers, F.W., 2011. Indices for monitoring changes in extremes based on daily temperature and precipitation data. *Wiley Interdiscip. Rev. Clim. Change* 2, 851–870.
- Zhang, X., Hegerl, G., Zwiers, F.W., Kenyon, J., 2005. Avoiding inhomogeneity in percentile-based indices of temperature extremes. *J. Clim.* 18, 1641–1651.

*Надійшла до редколегії 21.09.2016*